

Kollaborative Positionierung von Objekten in räumlich getrennten Mixed Reality Umgebungen

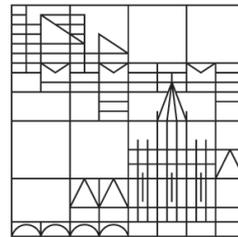
Collaborative Object Positioning in Physically Separate Mixed Reality Environments

Bachelorarbeit

vorgelegt von **Matthias Miller**

an der

Universität
Konstanz



*zur Erlangung des akademischen Grades **Bachelor of Science***

Arbeitsgruppe: Mensch Computer Interaktion

Fachbereich: Informatik & Informationswissenschaft

- 1. Gutachter:** Prof. Dr. Harald Reiterer
- 2. Gutachter:** Jun.-Prof. Dr. Bela Gipp

Konstanz, 2016

Miller, Matthias:

*Kollaborative Positionierung von Objekten in
räumlich getrennten Mixed Reality Umgebungen*

Bachelor Arbeit, Fachbereich Informatik, 2016.

Kurzfassung

In einer Mixed Reality Umgebung können Komponenten der Virtualität und realen Welt so miteinander kombiniert werden, dass virtuelle Objekte auf einem Display so dargestellt werden können, als würden sie in der Realität existieren. Zukünftige Anwendungsbereiche können beispielsweise die interaktive Modellierung von dreidimensionalen Objekten in kooperativen virtuellen Umgebungen beinhalten, in denen virtuelle Referenzobjekte die Zusammenarbeit mehrerer Mitarbeiter begünstigen, die sich an unterschiedlichen geographischen Orten aufhalten. In einer früheren Studie konnte gezeigt werden, dass im selben physikalischen Kontext virtuelle Referenzobjekte einen positiven Einfluss auf das Kommunikationsverhalten und User Task Load bei der Gruppenbearbeitung von Aufgaben zur Identifizierung und Positionierung virtueller Objekte haben. Auf gleiche Weise können Personen, die sich an räumlich getrennten Orten aufhalten, gemeinsam an derartigen Gruppenaktivitäten unter Verwendung einer geteilten virtuellen Umgebung teilnehmen. Im Rahmen dieser Bachelorarbeit wurde ein Forschungsprototyp konzipiert, um eine Folgestudie mit 16 Zweiergruppen durchzuführen. Anhand dieser wurde der Einfluss zusätzlich eingeblendeter virtueller Objekte auf das Kommunikationsverhalten, User Task Load, User Experience und die Ausprägung des Anwesenheitsgefühls in der Mixed Reality Umgebung untersucht. Die Ergebnisse der Studie zeigten auf, dass die Teilnehmer die virtuellen Objekte der Mixed Reality Umgebung gegenüber der physikalischen bevorzugten. Darüber hinaus verringerten diese den subjektiv wahrgenommenen Arbeitsaufwand und vermittelten den Teilnehmern eine erhöhte Kontrolle über die Interaktionen mit virtuellen Objekten. Die Auswertungsergebnisse deuten darauf hin, dass zusätzliche virtuelle Referenzobjekte in räumlich getrennten Mixed Reality Umgebungen Versuchsteilnehmer bei kooperativen Objektpositionierungsaufgaben unterstützen können. Die künstlich dargestellten Objekte verbessern zudem das Kommunikationsverhalten und ermöglichen eine bessere Wahrnehmung der Anwesenheit des Kooperationspartners in der gemeinsam genutzten Umgebung.

Abstract

In Mixed Reality Environments components of the virtual and the real world can be blended. In this way, virtual objects can be depicted on a single display as they exist in reality. For instance, future application domains can contain interactive modeling of three-dimensional objects in cooperative virtual environments where virtual cues facilitate the collaboration of several co-workers who are situated at different geographical locations. The results of a previous study in a colocated setting indicated that virtual cues have a positive influence on communication behaviour and user task load during cooperative object identification and positioning tasks. In the same way, persons, who are physically separated, can mutually take part in such group activities using a common virtual environment. Within the scope of this bachelor thesis, we conceptualized a research prototype in order to conduct a study with 16 dyads. On the basis of this study we analyzed the influence of additionally displayed virtual cues on participants' communication behaviour, user task load, user experience and telepresence. The study results revealed that the participants preferred the virtual objects of the Mixed Reality Environment compared to the physical surrounding. Furthermore, the virtual cues reduced participants' subjective perceived workload and provided a better impression of control when interacting with virtual objects. The evaluation outcomes suggest that additive spatial cues in physically separated Mixed Reality Environments support participants during collaborative object positioning tasks. Synthetically rendered objects improve communication behavior and provide an enhanced perception of cooperation partners' presence in the shared environment.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	7
Tabellenverzeichnis	9
Abkürzungen	11
1 Einleitung	13
2 Verwandte Arbeiten	19
2.1 Mixed Reality Umgebung – MRE	19
2.2 Computer Supported Cooperative Work	21
2.3 Collaborative Virtual Environment – CVE	22
3 Forschungsprototyp	25
3.1 Interaktionskonzept	25
3.1.1 Objektidentifizierung (Memoryphase)	26
3.1.2 Objektpositionierung (Rekonstruktionsphase)	27
3.2 Technische Realisierung	28
3.2.1 Hardware Spezifikation	28
3.2.2 Server–Klient Prinzip	29
3.2.3 Bedienoberflächen & Modi	30
3.2.4 Module	38
3.2.5 TeamSpeak 3 – Kommunikation	39
3.2.6 Bildstabilisierungsalgorithmus	40

4 Empirische Studie	41
4.1 Studiendesign	41
4.1.1 Variablen & Operationalisierung	42
4.1.2 Reale Umgebung	44
4.1.3 Virtuelle Umgebung	45
4.1.4 Interaktionsaufgabe	46
4.1.5 Ablauf der Studie	48
4.2 Studiendurchführung	51
4.3 Auswertung & Ergebnisse	51
4.3.1 Kommunikationsverhalten	52
4.3.2 User Task Load – NASA TLX	60
4.3.3 Telepräsenz – Temple Presence Inventory	61
4.3.4 Interview	64
4.3.5 Sonstige	68
4.4 Diskussion	75
4.5 Implikationen	80
4.6 Einschränkungen	80
4.7 Future Work	82
5 Zusammenfassung	85
Literatur	87
Anhangsverzeichnis	91

Abbildungsverzeichnis

1.1	'See-Through'	13
1.2	HoloLens: Mixed Reality Interaktion.	14
1.3	Virtuelles Organ in einer 'Mixed Reality' Umgebung.	15
1.4	Struktur der Arbeit.	17
2.1	Virtualitäts-Kontinuum.	20
3.1	Ansicht aus der Vogelperspektive auf MRE – Memoryphase.	26
3.2	Ansicht aus der Vogelperspektive auf MRE – Rekonstruktionsphase.	27
3.3	Project Tango Tablet mit eingefügter 'See Through' Ansicht.	28
3.4	Server–Klient Kommunikation	29
3.5	Forschungsprototyp: Hauptmenü.	31
3.6	Server GUI.	32
3.7	Benutzerschnittstelle der Memoryphase.	34
3.8	Benutzerschnittstelle der Rekonstruktionsphase.	35
3.9	Rekonstruktionsphase beenden.	37
3.10	Bestätigung nach Beenden einer der beiden Phasen.	37
3.11	Module und ihre Abhängigkeiten.	38
4.1	Unabhängige Variable: Virtuelle Einrichtungsgegenstände.	42
4.2	Studienvariablen.	43
4.3	Physische Umgebungen der beiden Räume.	45
	a Raum 1.	45
	b Raum 2.	45
4.4	Gemeinsam verwendete virtuelle Umgebung.	46
	a Ansicht auf den gemeinsamen virtuellen Raum aus der Vogelperspektive.	46

b Virtuelle Umgebung in Raum 1.	46
c Virtuelle Umgebung in Raum 2.	46
4.5 Würfelsymbole.	47
a Set 1.	47
b Set 2.	47
c Trainingset.	47
4.6 Objektpositionierungsphase: <i>'See-Through'-Ansicht der beiden Teilnehmer.</i>	48
a Displayansicht in Raum 1.	48
b Displayansicht in Raum 2.	48
4.7 Unterschiedliche Würfelpositionen – Koordinatensets.	49
4.8 Referenztypen.	53
4.9 Audio- und Videoanalyse.	54
4.10 Objektidentifizierung: Prozentuale Verteilung der räumlichen Referenzen.	56
4.11 Prozentuale Referenzverteilung bei Objektidentifizierung.	56
4.12 Objektidentifizierung – Prozentuale Referenzverteilung.	57
4.13 Objektpositionierung: Prozentuale Verteilung der räumlichen Referenzen.	58
4.14 Prozentuale Referenzverteilung bei Objektpositionierung.	58
4.15 Objektpositionierung – Prozentuale Referenzverteilung.	59
4.16 Gesamte prozentuale Referenzverteilung.	60
4.17 NASA TLX Fragebogen Ergebnisse: Aufgabenteile separat dargestellt.	60
4.18 Wahrnehmungseinschätzung: TPI Fragebogen - letzte 7 Fragen.	62
4.19 TPI Ergebnisse: Durchschnittswerte.	63
4.20 Wichtigkeit der realen/physischen Umgebung.	66
4.21 Durchschnittliche Bearbeitungsdauer.	68
4.22 Extremwerte für die Bearbeitungszeit und Gesamtdistanz.	69
4.23 Durchschnittliche Gesamtdistanzen.	70
4.24 Memory: Benötigte Versuche.	70
4.25 Prioritätsdistanz und Optimale Distanz.	71
4.26 Würfel – Distanzberechnung: Identisches Ergebnis.	72
4.27 Auswertung der Objektpositionierungsaufgabe	72
4.28 HeatMap-Visualisierung der Tablet-Positionen.	74

Tabellenverzeichnis

4.1 Chronologischer Ablauf einer Studiendurchführung einer Teilnehmergruppe.	49
4.2 Gesamter Studienverlauf mit entsprechender Bedingungsreihenfolge. . . .	50

Abkürzungen

ADF – Area Description File

AR – Augmented Reality

CMRE – Cooperative Mixed Reality Environment

CSCW – Computer Supported Cooperative Work

CVE – Collaborative Virtual Environment

GUI – Graphical User Interface

HMD – Head Mounted Display

MR – Mixed Reality

MRE – Mixed Reality Environment

SDK – Software Development Kit

TLX – Task Load Index

TPI – Temple Presence Inventory

VR – Virtual Reality

WVRT – Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test

Kapitel 1

Einleitung

Der Begriff 'Mixed Reality' (MR) bezeichnet die Vermischung der realen Welt mit einer virtuellen Realität (siehe Abbildung 1.1), bei welcher sowohl physische Objekte der realen Welt als auch künstliche virtuelle Objekte auf einem einzelnen Display gleichzeitig angezeigt werden (Milgram und Kishino, 1994). Dabei wird die physische Realität auf dem Display des mobilen Gerätes durch zusätzliche Informationen erweitert, sodass dem Benutzer der Eindruck vermittelt wird, dass die virtuellen Objekte nahtlos in die physische Realität integriert sind und sich entsprechend im gleichen Raum befinden. Gegenüber zur reinen virtuellen Realität hat der Benutzer den Vorteil, dass nicht versucht wird, die physische Realität zu imitieren oder zu ersetzen, sondern vielmehr mit digi-

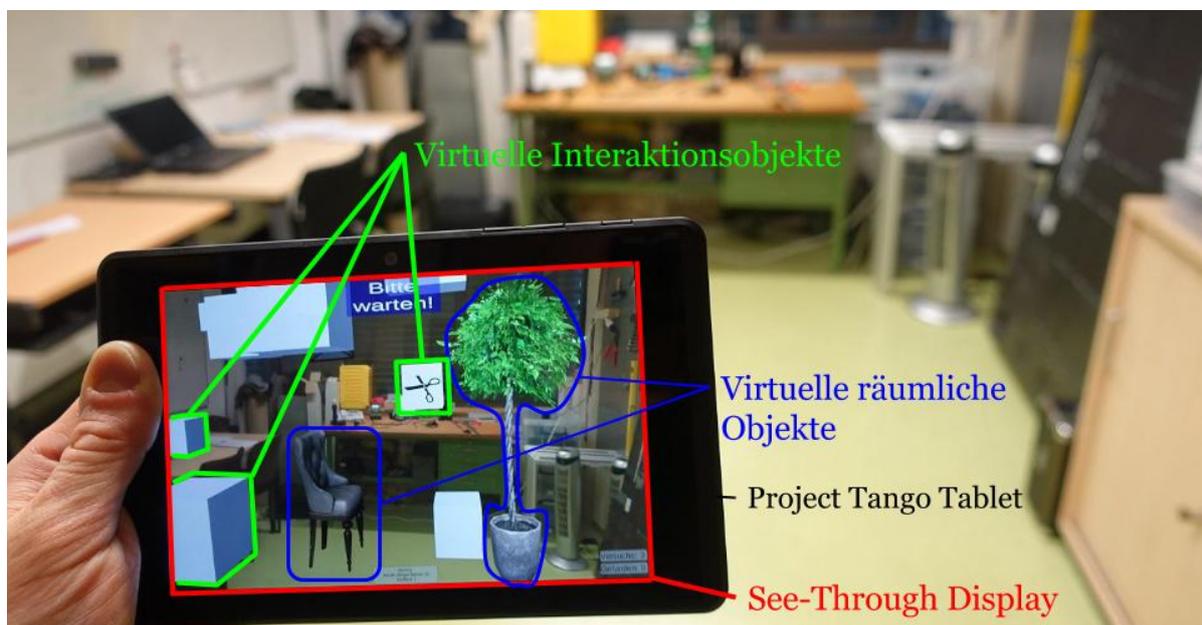


Abbildung 1.1: 'See-Through'

Display-Ansicht auf eine Mixed Reality Umgebung mit virtuellen Objekten unter Verwendung eines Project Tango Tablets.

tales Informationen zu erweitern. Auf diese Weise besteht die Möglichkeit, räumliche Merkmale der physischen Welt mit denen der virtuellen Realität zu verbinden.

Die Verwendung eines Displays als 'Sichtfenster' auf eine Szene, die aus virtuellen und physischen Merkmalen zusammengesetzt ist, bezeichnen wir nachfolgend als 'See-Through'-Konzept, da durch das Display des mobilen Gerätes 'hindurch gesehen' werden kann, um die Kombination aus virtueller und realer Welt betrachten zu können. In Abbildung 1.1 wird dieses 'See-Through'-Konzept näher verdeutlicht. Das Display eines *Project Tango Tablets* (Google, 2016) dient als Schnittstelle, auf dem zunächst eine Videoübertragung der Kamera des zugehörigen mobilen Gerätes in Echtzeit angezeigt wird. Über dieses Live-Abbild der physischen Realität können nun künstliche Objekte (siehe Abbildung 1.1 – blaue Markierung) gelegt werden, die auf dem Display so aussehen, als befänden sie sich tatsächlich im realen Raum. Die Position der virtuellen Objekte ist durch Registrierung im realen Raum festgelegt, sodass die Objekte an der gleichen Position im Raum verbleiben, selbst wenn das Display bewegt wird und damit nicht von der Position des Betrachters abhängig ist.

Im Zeitalter des Internets wird durch digitale Datenübertragung weltweite und damit räumlich getrennte Kommunikation ermöglicht. 'Mixed Reality' Umgebungen erlauben es, einen gemeinsamen visuellen und synthetischen Kontext zu erschaffen, um damit kooperative Interaktionsaufgaben zu bewältigen. Eine derartige Umgebung wird auch als 'Cooperative Mixed Reality Environment' (CMRE) bezeichnet, da gemischte Realitäten genutzt werden können, um die Kooperation mehrerer Mitarbeiter eines Teams bei verschiedenen Aufgaben zu unterstützen. Grundlegende Aktionen bei derartigen kooperativen Aufgaben sind sowohl die Identifizierung als auch die Positionierung und Einordnung von Objekten. Diese atomaren Aktivitäten können mehrere Teammitglie-

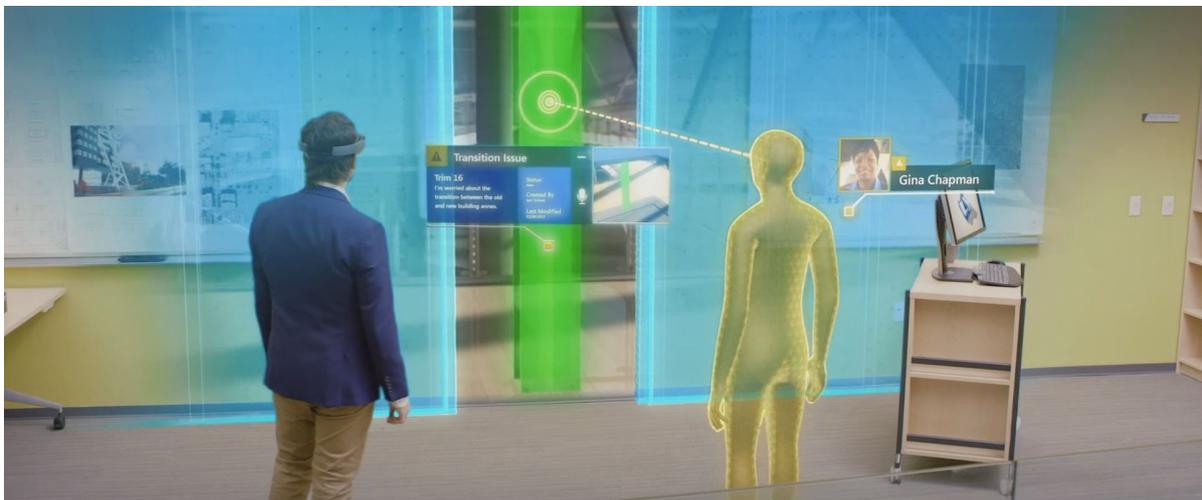


Abbildung 1.2: HoloLens: Mixed Reality Interaktion.

Mitarbeiter, der physisch nicht anwesend ist, wird mithilfe eines virtuellen Avatars (gelb) dargestellt. Interaktive Positionierung eines virtuellen Objektes (Microsoft, 2016).

der mithilfe geeigneter Kommunikation in einer CMRE gemeinsam durchführen. Da sich Mitarbeiter gegenseitig nicht physisch wahrnehmen können, wenn sie sich gleichzeitig an unterschiedlichen Orten und in einem gemeinsamen virtuellen Raum befinden, können stattdessen Avatare über die 'Mixed Reality' Umgebung angezeigt werden, welche die Positionen und Bewegungen des Kooperationspartners übertragen. HoloLens: Abbildung 1.2 stellt ein Szenario dar, in welchem zwei Architekten ein Bauprojekt planen und die Position eines virtuellen Objektes in ihrem Modell diskutieren, indem sie mit einem virtuellen dreidimensionalen Modell interagieren. Dabei ist der andere Architekt mithilfe eines Avatars (gelb) eingeblendet, um dessen Präsenz zu imitieren und ein Gefühl der Anwesenheit im Raum zu vermitteln.

Im folgenden Anwendungsszenario kann ein gemeinsamer visueller Bezugsrahmen, welcher das Konzept der vermischten Realität implementiert, dann besonders vorteilhaft sein, wenn sich die interagierenden Personen nicht am gleichen geographischen Ort befinden: So kann beispielsweise ein Arzt die Hilfe eines Kollegen, der nicht anwesend sein kann, unter Verwendung einer gemeinsamen synthetischen und visuellen Umgebung (*Shared Visual Context*) zügig seine konstruktive Unterstützung bei der Diagnose eines Krankheitsbildes in Anspruch nehmen (Identifizierung von Informationen – siehe Abbildung 1.3). Beide Personen können die gleichen visuellen Informationen – beispielsweise in Form einer dreidimensionalen Darstellung eines Organs – betrachten und mit ihnen interagieren, indem zum Beispiel virtuelle räumliche Notizen im Raum hinzugefügt werden (Positionierung von Informationen).

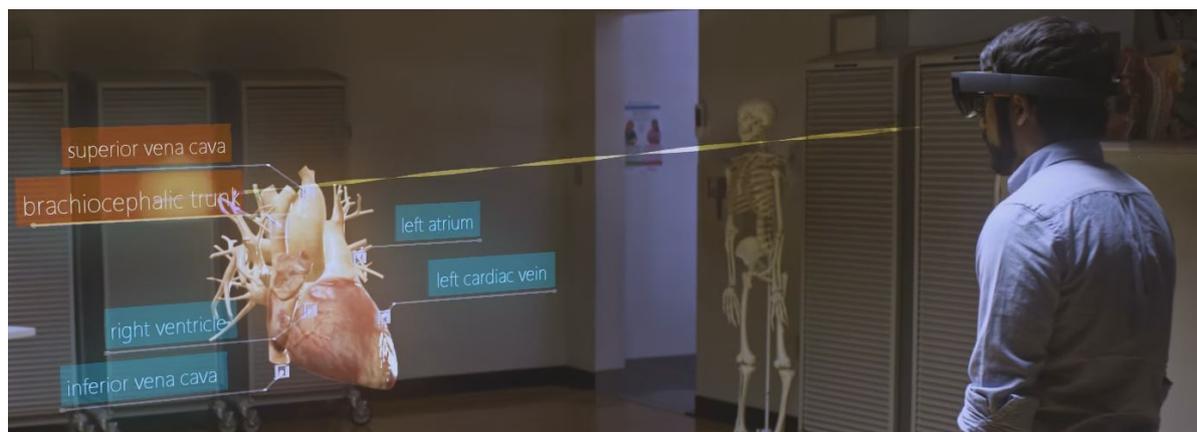


Abbildung 1.3: Virtuelles Organ in einer 'Mixed Reality' Umgebung.

Identifizierung von Informationen. HoloLens (Microsoft, 2016).

Im Bereich der Medizin und Architektur bieten CMREs anhand von Repräsentationen und Visualisierungen dreidimensionaler Informationen konstruktive Möglichkeiten, welche die interaktive Zusammenarbeit von Mitarbeitern, die sich nicht am geographisch identischen Ort befinden, begünstigen. Auf diese Art können räumliche Barrieren durch digitale Vernetzung für gemeinschaftliche Aufgaben über beliebige Distanzen überwunden werden.

Jedoch entsteht durch die physische räumliche Trennung das Problem, dass die Benutzer nur noch den virtuellen Raum gemeinsam haben und dadurch ein wichtiger und grundlegender Aspekt zur gegenseitigen Orientierung verloren geht. Dieser kann durch virtuelle räumliche Orientierungshilfen ausgeglichen werden, um eine konstruktive Basis für die Kommunikation bei der Bearbeitung von gemeinschaftlichen Aufgaben zu bilden. Um dieses Problem zu adressieren, wurde daher im Rahmen dieser Bachelorarbeit ein Forschungsprototyp implementiert, anhand dessen die Forschungsfrage

„Welchen Einfluss haben visuelle Referenzobjekte im virtuellen Raum auf die Kommunikation, User Task Load und User Experience bei der Bearbeitung einer Aufgabe, bei der virtuelle Objekte identifiziert und positioniert werden?“

untersucht. *User Task Load* bezeichnet den erforderlichen Arbeitsaufwand zur Bearbeitung der interaktiven Aufgaben und anhand der Variablen *User Experience* wird die subjektive Wahrnehmung der Studienteilnehmer während der Aufgabebearbeitung untersucht.

Der Prototyp ermöglicht die Interaktion zweier Anwender unter Verwendung einer 'Mixed Reality'-Umgebung auf geographisch getrennter Ebene. Dabei befinden sich die beiden interagierenden Personen in zwei unterschiedlichen realen Räumen und können dennoch eine gemeinsame Repräsentation der virtuellen Realität sehen, die in ihre jeweilige reale Umgebung integriert ist. Somit ermöglicht das System den Benutzern eine Zusammenarbeit auf den gleichen virtuellen Daten, obwohl sie sich physisch nicht im selben Raum aufhalten.

In einer derartigen gemischten Realität sollen digitale Referenzobjekte zusätzlich zu Verfügung gestellt werden, um die Kommunikation von Benutzern während ihrer Zusammenarbeit zu verbessern. Da diese visuellen Anhaltspunkte ebenfalls zur synthetischen Realität gehören, können sie als Hilfestellung zur Orientierung dienen, da sie den Anwendern räumliche Bezugssysteme liefern.

Mithilfe des erwähnten Prototyps wurde eine Studie durchgeführt, um zu eruieren, ob und inwiefern künstliche räumliche Hinweise in einer solchen geographisch getrennten 'Mixed Reality' Umgebung das Kommunikationsverhalten von Benutzern bei kollaborativer Identifikation und Positionierung von virtuellen Objekten beeinflussen. Der Fokus dieser Arbeit liegt dabei vordergründig auf der Positionierung von virtuellen Objekten. Weiterhin wird untersucht, ob der User Task Load bei einer solchen Benutzeraufgabe, durch Hinzufügen von künstlichen visuellen Hilfsreferenzen verbessert werden kann. Dazu führen wir eine ausführliche Analyse und Evaluation der Studienergebnisse durch und diskutieren anschließend, inwiefern die Verwendung von virtuellen räumlichen Bezugsreferenzen die Zusammenarbeit, Kommunikation, User Task Load und Telepräsenz beeinflusst. Sowohl die Implementation des eigens für die Studie entworfenen Prototyps als auch deren Durchführung, wurde in Kooperation mit Matthias Kraus ausgearbeitet und realisiert, sodass zwei verschiedene Forschungsaspekte gleichermaßen untersucht werden können. Im Zentrum von Matthias Kraus' Forschungsarbeit steht, inwiefern sich räumliche virtuelle Objekte auf das Kommunikationsverhalten, User Task Load und User

Experience bei der Identifikation (anstatt Positionierung) virtueller Objekte auswirken. Die Idee für dieses Interaktionsszenario entstammt einer Studie, die Müller et al. (2015) durchgeführt haben. Dabei wurde untersucht, ob virtuelle Objekte, die als räumliche Referenzen dienen, das Kommunikationsverhalten und den User Task Load der Probanden beeinflussen. Bei dem Versuchsaufbau ihrer Studie befanden sich die Teilnehmer allerdings im gleichen Raum, sodass physische Gesten des jeweiligen Partners wahrgenommen werden konnten. Ein wesentlicher Unterschied zur hier vorgestellten Folge-Studie, ist demnach, dass die Studienteilnehmer nicht von der gegenseitigen physischen Präsenz profitieren konnten.

Zusammengefasst liegt im Zentrum dieser Bachelorarbeit die Untersuchung von Interaktionsaufgaben in einem CMRE auf räumlich getrennter Basis (Remote), bei denen virtuelle Objekte *positioniert* werden und inwiefern *zusätzliche* virtuelle Referenzobjekte die Zusammenarbeit in der Gruppe beeinflussen.

Die vorliegende Bachelorarbeit ist folgendermaßen strukturiert (siehe Abbildung 1.4): Im anschließenden Kapitel wird zunächst eine detaillierte Literaturrecherche durchgeführt, um anzugeben, welche Szenarien bereits für Mixed Reality Environments (MRE) implementiert wurden und es werden grundlegende Forschungsarbeiten, die sich mit computergestützter Kooperation befassen, vorgestellt. Im dritten Kapitel wird die Interaktionsaufgabe und der implementierte Prototyp (Technizität) vorgestellt. In Kapitel 4 wird anschließend der Studienentwurf erläutert, die ausgewerteten Studienergebnisse in Bezug auf die Forschungsfrage vorgestellt und die Gründe für die erzielten Ergebnisse diskutiert. Nachfolgend werden weitere Forschungsaspekte genannt, die im Fokus zukünftiger Untersuchungen liegen können. Zum Abschluss werden die wichtigsten Ergebnisse zusammengefasst und ein Fazit darüber gezogen.

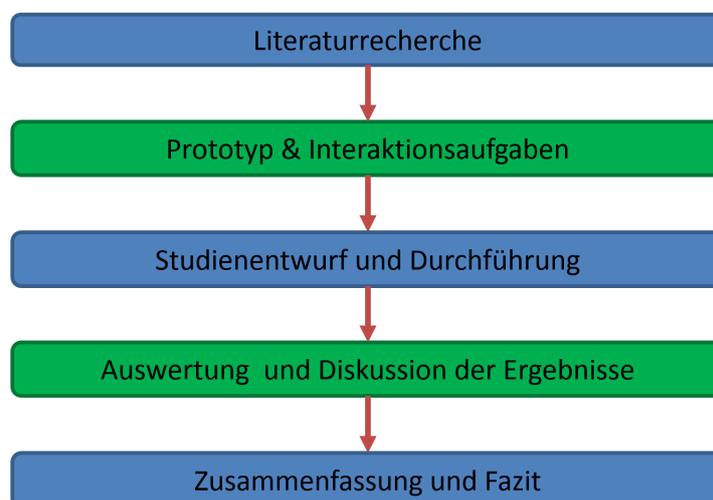


Abbildung 1.4: Struktur der Arbeit.

Kapitel 2

Verwandte Arbeiten

In diesem Kapitel wird eine Analyse verwandter Arbeiten vorgestellt, um schließlich eine Hypothese aufzustellen, welche anhand der durchgeführten Studie untersucht wird. Von besonderer Bedeutung für den von uns vorgestellten Ansatz sind die Gebiete **Computer Supported Cooperative Work** (Wilson, 1991) (CSCW), **'Mixed Reality' Umgebungen** und inwiefern diese in Kombination mit **geographisch getrennten Räumen** (Remote) es ermöglichen, eine Interaktionsaufgabe zu realisieren. Der Bereich CSCW ist wichtig, da er beschreibt, inwiefern Computer die Bearbeitung von Aufgaben in der Gruppe unterstützen können und welche Vorteile die Anwendung von technischen Hilfsmitteln bieten. Unsere Aufgabe ist derart aufgebaut, dass die zusammenarbeitenden Personen sich an unterschiedlichen Orten befinden und daher die Benutzung von Computern, um eine Gruppenarbeit zu ermöglichen, unabdingbar ist. In Verbindung mit dem Bereich 'Mixed Reality', kann eine Collaborative Virtual Environment (CVE) implementiert werden, welche die notwendige Basis für die kollaborative Bearbeitung dieser räumlich getrennten Personen darstellt. Nachfolgend wird zu jedem Gebiet eine *state-of-the-art* Analyse zu verwandten Arbeiten durchgeführt, um die Relevanz des jeweiligen Bereichs für die Implementation des Prototyps, sowie zur Beantwortung für die im vorigen Kapitel genannte *Forschungsfrage* zu erläutern.

2.1 Mixed Reality Umgebung – MRE

Der Begriff *'Mixed Reality'* (MR) wurde von Milgram und Kishino (1994) vorgestellt und als „Vereinigung von realer und virtueller Welten irgendwo entlang des 'Virtualität-Kontinuums', welche vollständig reale mit ausschließlich virtuellen Umgebungen verbindet“ beschrieben. Dabei werden beide Realitäten so 'vermischt', dass dem Benutzer der Eindruck vermittelt wird, dass die virtuelle Realität (VR) in die physische integriert ist und damit eine sogenannte 'Mixed Reality Environment' (MRE) erzeugt wird. Dabei ist wichtig, dass virtuelle Objekte in Bezug zur realen Umgebung so verwendet werden können, dass sie vom Betrachter als 'echt' empfunden werden. Dies wird unter anderem dadurch bewerkstelligt, dass sie eine feste Position im realen Raum haben

(‘Registrierung’ in physikalischer Umgebung), welche in die virtuelle Realität projiziert wird. Manipulationen an virtuellen Objekten werden nahtlos in die reale Welt übertragen (Billinghurst, Clark et al., 2015).



Abbildung 2.1: Virtualitäts-Kontinuum.

Vereinfachte Darstellung des ‘Mixed Reality’ Spektrums im Virtualitäts-Kontinuum (nach Milgram und Kishino (1994)).

Die Idee für das Interaktionskonzept, das in dieser Arbeit verwendet wird, zur Untersuchung der Zusammenarbeit in Mixed Reality (MR) Umgebungen stammt aus der Forschungsarbeit von Müller et al. (2015). Darin wurde eine Studie mit Project Tango Tablets (Google, 2016), also Handheld-Geräten, durchgeführt, um herauszufinden, welchen Einfluss virtuelle räumliche Objekte auf die Kommunikation und den Benutzeraufwand bei der Positionierung und Identifizierung von Objekten haben. Der Hauptunterschied liegt allerdings darin, dass sich die Teilnehmer, im Gegensatz zur im Rahmen dieser Bachelorarbeit durchgeführten Fallstudie, im gleichen Raum befinden und dass der Fokus der Untersuchung primär auf der Positionierung von virtuellen Objekten liegt. Demnach geht die Information der Position des Interaktionspartners, welche eine starke Hilfestellung zum gegenseitigen Referenzieren und Navigieren im realen und virtuellen Raum bietet, verloren, was einen erheblichen Nachteil im räumlich getrennten Szenario darstellt, wie bereits Billinghurst und Kato (1999) erläuterten.

Weiterhin kann der MR-Anwendungsbereich als Kontinuum-Spektrum betrachtet werden (siehe Abbildung 2.1), zu dem sowohl ‘Augmented Reality’ (AR) als auch ‘Augmented Virtuality’ (AV) gehören und meistens eine der beiden Kategorien vorherrschend ist. Dabei unterscheiden sich AR und AV folgendermaßen: AR bezeichnet die Erweiterung der vorrangig physischen Realität mit virtuellen Informationen oder Objekten, mit denen in Echtzeit interagiert werden kann (Azuma, 1997). Auf der anderen Seite kann auch eine computergenerierte virtuelle Realität erweitert werden, welche dennoch mit der realen Welt verbunden sein kann. Da bei letzterem aber die Virtualität im Vordergrund steht, bestehen grundlegende Unterschiede dieser zwei Unterkategorien von MR. Diese Unterscheidung definieren Milgram und Kishino (1994), um darzulegen, dass aufgrund dieser Verschmelzung eine „Grauzone“ im Virtualitäts-Kontinuum zwischen Realität und Virtualität besteht, welche anhand des Überbegriffs ‘Mixed Reality’ adressiert werden kann. Von besonderer Relevanz ist, welche realen Objekte in die virtuelle Welt übertragen

und imitiert werden können, um das Erlebnis des Benutzers zu verbessern.

Billinghurst, Clark et al. (2015) beschreiben MR Umgebungen als vorteilhaft für Benutzeranwendungen, bei denen das Betrachten und Manipulieren virtueller Objekte eine gewohnte physische Interaktion ist. Nicht nur Anwendungen für einzelne Benutzer profitieren von MR, sondern auch bei Gruppenarbeitsabläufen können MR Applikationen die Kooperation fördern.

Billinghurst und Kato (1999) beschrieben die Nachteile von VR gegenüber MR: Der Benutzer ist im virtuellen Raum derart eingeschränkt, dass die Vorteile der realen Welt nicht genutzt werden können. Daher stellen sie einen MR Ansatz vor, der die „echte Welt mit virtuellen Objekten überlagert“. Auf diese Weise findet eine Anreicherung der echten Welt durch zusätzliche virtuelle Hinweise statt, und liefert eine breitere Kommunikationsbasis bei gemeinschaftlicher Manipulation virtueller Informationen, welche die beiden Bereiche für sich allein stehend nicht bieten können.

Milgram und Kishino (1994) haben für die verschiedenen Arten von MR Umgebungen eine Taxonomie entworfen, wie 'reale' und 'virtuelle' Aspekte realisiert werden können und führen eine Klassifikation bestehender MR Schnittstellen ein, um eine Grundlage für die Terminologie in diesem Gebiet zu festzulegen. Es gibt bereits diverse Ansätze, welche die Vermischung von realen und virtuellen Umgebungen im Fokus haben: Edwards et al. (1993) stellten bereits früh einen Entwurf vor, bei dem ein Head-Mounted-Display (HMD) mit Kameras versehen wurde, um ein Video 'See-Through' zu kreieren, um die reale Welt, die anhand von am Datenhelm befestigten Kameras auf das HMD eine stereoskopische Bildübertragung ermöglichen, mit virtuellen Informationen zu erweitern. Dies kann als Nachteil betrachtet werden, da die Bildqualität von den Spezifikationen der eingesetzten Kameras abhängig und dementsprechend eingeschränkt ist. Piekarski und Thomas (2003) beschrieben eine objektorientierte Software-Architektur zur Realisierung dreidimensionaler Mixed Reality Anwendungen und präsentieren dieses, ebenfalls unter Verwendung eines HMD, anhand einer „mobilen Außenmodellierung“ virtueller Objekte.

2.2 Computer Supported Cooperative Work

Der Forschungsbereich *Computer Supported Cooperative Work* (abgekürzt CSCW) ist heutzutage von ansteigender Wichtigkeit, da die Nutzung von Computern in allen Lebensbereichen zunimmt. In diesem breit gefächerten Forschungsgebiet wird untersucht, inwiefern Gruppenarbeit, also die Zusammenarbeit von Menschen bei verschiedenen Aufgaben, durch die Anwendung von Informationstechnologien unterstützt werden kann. Von besonderem Interesse ist, ob die Effektivität und Effizienz bei einer Gruppenarbeit durch Computer verbessert werden kann. Stahl (2006) diskutierte, wie über lokale und globale Netzwerke verbundene Computer neue Möglichkeiten zum gemeinschaftlichen Arbeiten und Lernen bieten und zeigt anhand einer empirischen Analyse, inwiefern sich dies auf die Zusammenarbeit kleinerer Gruppen bei der Erstellung von Wissen auswirkt. Dabei spielt die Gruppe als solche für seine Sozialtheorie gemeinschaftlicher Erkenntnisse eine wichtige Rolle.

Greif (1988) erläuterte, wie Menschen bei ihren Arbeitsabläufen durch den Einsatz von Computer und Kommunikationstechnologien unterstützt werden können. Wilson (1991) lieferte eine Aufteilung von CSCW in zwei Teilbereiche: Auf der einen Seite steht die „Verbesserung der Gruppeneffizienz während eines Arbeitsprozesses“, auf der anderen die Charakterisierung der genutzten „CSCW Technologie“. Zudem hielt er folgenden Aspekt der Technologien für besonders relevant: Kommunikationsmechanismen ermöglichen es, dass Personen an unterschiedlichen Orten, die gleichen elektronischen Informationen in Echtzeit gemeinsam bearbeiten können. Grudin und Poltrock (1997) erklärten außerdem, dass bei der Entwicklung und dem Design von Software zur Unterstützung von Gruppenarbeit verhaltensbezogene Merkmale der Gruppe oft schwerwiegendere Herausforderungen birgt als zu technischen Aspekten und geben einen Überblick zu Technologien in deren Zentrum die Unterstützung menschlicher Kommunikation liegt.

Ein weiterer Teilbereich von CSCW ist der Lernprozess bzw. Gruppenarbeit durch Unterstützung von Handheld-Geräten. Wagner et al. erläuterten, dass der Vorteil von Handheld-Geräten gegenüber tragbaren Computern (i.e. Wearables, z.B. Datenhelm – HMD) darin besteht, dass diese leichter außerhalb von Laborbedingungen genutzt werden können. Außerdem beschrieben sie, dass Handheld-Geräte für Augmented Reality Anwendungen zur Zusammenarbeit genutzt werden können (Wagner et al., 2005).

2.3 Collaborative Virtual Environment – CVE

Das Grundkonzept kollaborativer virtueller Umgebungen – auch CVEs genannt – ist die ‚gemeinsame Nutzung virtueller Welten‘. Diese bestehen aus von Computern erzeugten Raumdarstellungen, in denen Anwender durch eine geeignete visuelle, aber ausschließlich synthetische Repräsentation dargestellt werden (Benford, Greenhalgh, Reynard et al., 1998). Da virtuelle Umgebungen die physische Wirklichkeit ersetzen, gehen charakteristische Eigenschaften der realen Welt verloren (Milgram und Kishino, 1994). Benford, Greenhalgh, Reynard et al. (1998) erläuterten das CVE-Konzept folgendermaßen: Jedes Individuum ist in der Lage, unabhängig von anderen Individuen, seinen Standpunkt beliebig zu verändern und sowohl mit Benutzern als auch Darstellungen von Informationen innerhalb der Grenzen der virtuellen Realität über visuelle und auditive Kanäle zu interagieren. Hervorzuheben ist hier in erster Linie der konsistente, gemeinsame und räumliche Bezugsrahmen des geteilten Raumes, der durch ein dreidimensionales Koordinatensystem beschrieben werden kann, das relative Positionen und Ausrichtungen von Objekten und Interakteuren eindeutig definiert. Die Darstellung eines solchen interagierenden Individuums im virtuellen Raum durch einen geeigneten Avatar wird hier als hilfreich beschrieben, da es das Nachvollziehen, wo sich teilnehmende Personen befinden und welche Sichtweise sie auf die Repräsentation der Daten haben, möglich macht.

Benford und Bowers et al. stellten 1994 ein räumliches Interaktionsmodell in einem System unter Verwendung von Virtueller Realität (VR) vor und diskutierten, wie mehrere Nutzer in ihrer Zusammenarbeit unter Benutzung eines gemeinsamen Interaktionsraumes durch ein solches System bei der Kommunikation und Kooperation unterstützt

werden können (Benford, Bowers et al., 1994). Zurita und Nussbaum (2004) stellten vor, wie drahtlos verbundene Handheld-Geräte kollaborative Lernaktivitäten begünstigen können. Für die Durchführung nutzen wir ebenfalls eine Drahtlosverbindung über ein WLAN-Netzwerk, um so die Basis für unser CSCW-System zu bilden.

Um trotz des Konzepts der räumlichen Trennung eine Zusammenarbeit zu ermöglichen, benötigen wir zusätzlich einen gemeinsamen virtuellen Raum der eine Interaktionsgrundlage zu Verfügung stellt. So erläuterten beispielsweise Ouramdane-Djerrah et al. (2007) ein Modell zur gleichzeitigen Interaktion mit virtuellen dreidimensionalen Objekten in einer kollaborativen Umgebung (CVE), um mit ihrem Entwurf die Zusammenarbeit und Interaktion zwischen Benutzern zu unterstützen. Somit werden die Bereiche CSCW und Virtuelle Realität (VR) kombiniert, was einen wichtigen CSCW-Forschungszweig darstellt. Benford, Greenhalgh, Rodden et al. (2001) hoben außerdem eine wichtige Voraussetzung für eine solche kollaborative virtuelle Umgebung hervor: Jeder Benutzer hat zu jedem Zeitpunkt die gleiche Repräsentation der Daten und wird über Änderungen in Echtzeit informiert. CVEs haben allerdings auch bestimmte Einschränkungen, auf die Snowdon et al. (2001) hinwiesen: Der gemeinsame Kontext virtueller Informationen und Kommunikation wird unter anderem dadurch beschränkt, dass keine realen Objekte mehr wahrgenommen werden können. Da sie zumeist für das Unterbewusstsein eine wichtige Rolle spielen, ist dies dennoch ein beachtlicher Nachteil von CVEs. Außerdem kann das Erlebnis auch durch Verbindungsverzögerungen bei der Übertragung von Interaktionen, Bewegungen von Avatars und vor allem bei der Synchronisierung von visueller und sprachlicher Kommunikation negativ beeinflusst werden.

Jedes in diesem Kapitel genannte Gebiet ist eine wichtige Komponente für den Aufbau unseres Experiments und die Umsetzung des Prototyps. MR bietet die erforderlichen Voraussetzungen, um einen gemeinsamen virtuellen Raum umzusetzen. Da wir eine computergestützte Anwendung verwenden, um eine Gruppenarbeit damit zu unterstützen und möglich zu machen, wird der Bereich CSCW in unserem Konzept berücksichtigt. Schließlich wird aus diesen beiden Komponenten eine CVE konzipiert, in dem interaktive Aufgaben durch mehrere Benutzer gemeinsam gelöst werden können. Diese Bedingungen sind erforderlich, um die Forschungsfrage untersuchen zu können.

Müller et al. (2015) haben in ihren Untersuchungen anhand ihrer durchgeführten Studie feststellen können, dass virtuelle Hinweise in einem virtuellen Raum, es erleichtern, interaktive Aufgaben, bei welchen virtuelle Objekte identifiziert und positioniert werden sollen, zu lösen. Analog zu diesem Ergebnis, soll folgende **Hypothese** anhand unserer *Studienresultate* geprüft werden, die sich aus der in Kapitel 1 genannten *Forschungsfrage* ableiten lässt:

„Zusätzliche visuelle Referenzobjekte verbessern das Kommunikationsverhalten, den User Task Load und die User Experience von zusammenarbeitenden Personen bei der Positionierung von virtuellen Objekten in Mixed Reality Umgebungen.“

Kapitel 3

Forschungsprototyp

Zur Untersuchung des Kommunikationsverhaltens und dem Benutzeraufwand bei der Identifizierung und Positionierung dreidimensionaler virtueller Objekte in einer kooperativen Mixed Reality Umgebung haben Müller et al. (2015) eine Studie durchgeführt. Inspiriert von diesem Konzept haben wir einen Prototypen konzipiert, auf dessen Grundlage wir eine Folgestudie durchgeführt haben, um die Forschungsfrage anhand von Interaktionsaufgaben auf räumlich getrennter Basis zu untersuchen. Zentrum der Untersuchung ist die Auswirkung virtueller räumlicher Referenzobjekte auf das Kommunikationsverhalten und Nutzerbeanspruchung während der Aufgabenbearbeitung, wenn sich die interagierenden Personen an unterschiedlichen Orten befinden. Der Forschungsprototyp wurde in Zusammenarbeit mit Matthias Kraus implementiert, da sich dessen Teil der Forschungsfrage mit den Ergebnissen der gleichen Studie untersuchen lassen.

3.1 Interaktionskonzept

Um den Zweck des Prototypen zu verstehen, wird zunächst die interaktive Aufgabe, welche im Rahmen der Studie von Zweiergruppen mithilfe des Prototypen bearbeitet werden soll, erläutert. Die Aufgabe besteht aus zwei Teilen: In der ersten Teilaufgabe geht es um die Identifizierung von virtuellen Objekten und in der zweiten werden die identifizierten Objekte aus dem ersten Teil räumlich positioniert. Da wir das Aufgabenkonzept von Müller et al. (2015) zur Datenerhebung und Analyse unserer Forschungsfrage als geeignet betrachten, wurde dieses auf unser Interaktionsszenario übertragen. Beide Teilaufgaben dienen zur Untersuchung des User Task Loads, User Experience, Telepräsenz und Kommunikationsverhaltens bezüglich räumlicher Referenzen und sollen unter Anwendung gegenseitiger Hilfestellung der Studienteilnehmer gelöst werden.

3.1.1 Objektidentifizierung (Memoryphase)

Der erste Aufgabenteil besteht aus einer modifizierten und dreidimensionalen Version des Memory-Kartenspiels. Um eine räumliche Darstellung der normalerweise zweidimensionalen 'Karten' zu erhalten, wurden weiße Würfel als dreidimensionale Objekte mit einheitlicher Größe zufällig und gleichmäßig im virtuellen Raum verteilt (siehe Abbildung 3.1). Die Würfel haben eine registrierte Position im realen Raum (Ankerpunkt). Zu Beginn sind alle Paare verdeckt und müssen immer paarweise aufgedeckt werden. Die Teilnehmer müssen abwechselnd versuchen, *gemeinsam* passende Paare zu finden. Stimmen zwei geöffnete 'Karten' überein, werden diese aus der Szene entfernt, anderenfalls wieder zugedeckt. Sind alle Memory-Paare gefunden, ist die Objektidentifizierungsphase abgeschlossen. Die Untersuchung dieser Identifizierungsaufgabe ist Teil der Forschungsfrage und steht im Zentrum von Matthias Kraus' Bachelorarbeit.

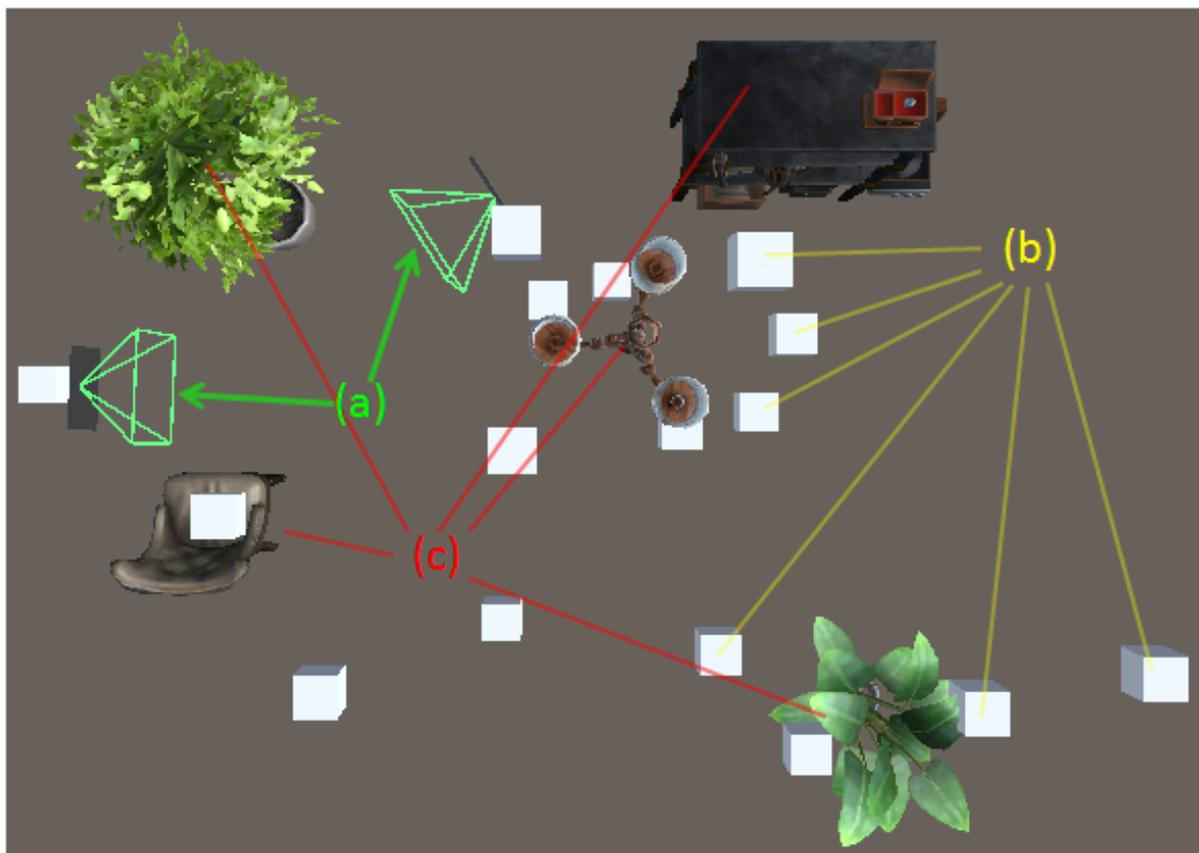


Abbildung 3.1: Ansicht aus der Vogelperspektive auf MRE – Memoryphase.

Ansicht aus der Vogelperspektive auf den virtuellen Teil der MR Umgebung während des Memory-Aufgabenteils. Virtuelle Einrichtungsobjekte (c) (Unabhängige Variable) sind zusätzlich zu den Memory-Würfeln (b) eingeblendet. Position und Orientierung der Teilnehmer wird ebenfalls angezeigt (a).

3.1.2 Objektpositionierung (Rekonstruktionsphase)

Im Anschluss an die Identifikation der Paare, werden die Teilnehmer im zweiten Aufgabenteil dazu aufgefordert, die 'Karten' räumlich wieder dort zu platzieren, wo sie sich in der vorangegangenen Phase befunden haben (siehe Abbildung 3.2). Daran lässt sich erkennen, dass die vorhergehende Objektidentifizierung erforderlich ist, um die Positionen der Würfel feststellen zu können. Jeder Teilnehmer muss einen der beiden Würfel jedes Paares ablegen. Im Gegensatz zur Identifizierung können die Teilnehmer ihre Würfel unabhängig voneinander ablegen und müssen sich nicht dabei abwechseln. So kann ein Teilnehmer bereits alle 'Karten' abgelegt haben, bevor der andere begonnen hat und ist damit nicht von dem Erinnerungsvermögen des Mitspielers eingeschränkt, um die eigenen Würfel zu positionieren. Da die Objektidentifikationsaufgabe die Positionierung der Würfel bedingt und damit der zweite Teil von der ersten Phase abhängig ist, werden beide Teile bei der Auswertung der Studienergebnisse berücksichtigt, obwohl die Analyse der Rekonstruktionsphase im Fokus dieser Arbeit liegt.

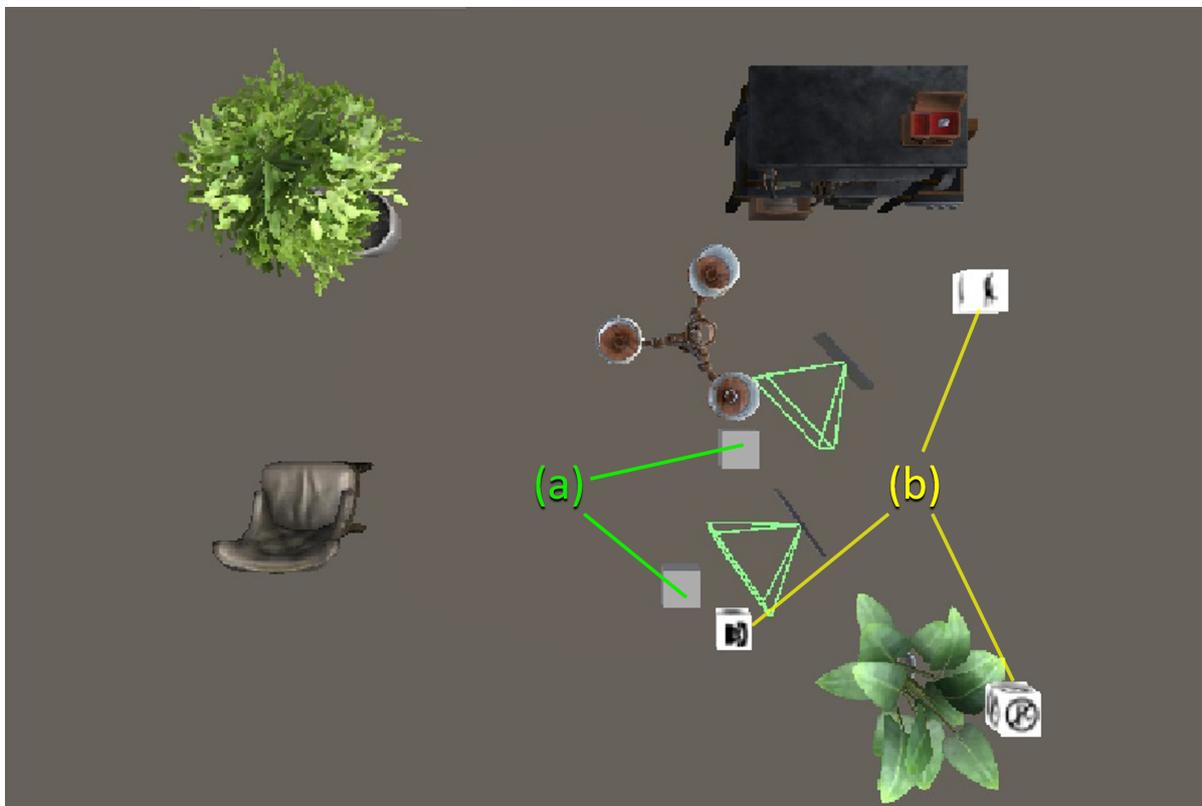


Abbildung 3.2: Ansicht aus der Vogelperspektive auf MRE – Rekonstruktionsphase.

Ansicht aus der Vogelperspektive auf den virtuellen Teil der MR Umgebung während des Rekonstruktion-Aufgabenteils (mit virtuellen Referenzobjekten). Würfelplatzierungsschablonen der Teilnehmer (a). Bereits platzierte Würfel (b).

3.2 Technische Realisierung

In diesem Abschnitt werden alle erforderlichen technischen Details des Prototypen näher erklärt. Zur Realisierung der Anwendung für die 'Mixed-Reality' Umgebung, die in der Studie erforderlich ist, wurde die 3D Entwicklungsumgebung Unity3d (2015) genutzt, da sie Funktionalitäten für Netzwerkanwendungen zu Verfügung stellt, welche für die Umsetzung des Prototypen notwendig ist. Zur Applikation-Entwicklung wurde die Programmiersprache C# verwendet. Da die *Project Tango Tablets* (Google, 2016) das Android-Betriebssystem 4.4.2 KitKat ausführen, musste die Unity-Applikation bezüglich der AndroidSDK entsprechend kompiliert werden.

3.2.1 Hardware Spezifikation

Für die Implementierung unseres Forschungsprototypen wurde die gleiche Hardware (siehe Abbildung 3.3) verwendet, die bereits Müller et al. (2015) eingesetzt haben, da sie stabiles Tracking von Bewegungen ermöglicht und virtuelle Objekte, die in der realen Umgebung registriert sind, nahtlos in die physikalische Realität übertragen werden können. Dazu mussten die beiden für die Studie genutzten realen Räumlichkeiten im Vorfeld bei verschiedenen Lichtverhältnissen gründlich aufgezeichnet werden, um eine gute Wiedererkennung der Position des Tablets im Raum zu ermöglichen. Dazu wurde jeder Raum über eine Zeitspanne von 15 Minuten gescannt und jeweils in einer Datei, die *Area Description File* (ADF) bezeichnet wird, abgespeichert. In der Implementierungsphase wurde die Anwendung so entwickelt, dass diese beiden Dateien, welche die visuellen Wiedererkennungsinformationen beider Räume beinhalten, anschließend von



Abbildung 3.3: Project Tango Tablet mit eingefügter 'See Through' Ansicht.

den entsprechenden Tablets (raumabhängig) geladen werden können.

Die Applikation wurde auf Basis des Android 4.4.2 Betriebssystems KitKat entwickelt, und enthält die konkreten Aufgaben, die von zwei Personen (Studienteilnehmer) bearbeitet werden können. Jeder der beiden Teilnehmer erhält ein Tablet (mit entsprechender hinterlegter ADF), um gemeinsam mit seinem Versuchspartner interaktiv die Aufgaben zu bewältigen. Als Schnittstelle für diesen Prototypen wird das Display des Project Tango Tablets (Hardware-Spezifikationen: Gewicht: 370g, Auflösung: 1920x1200 Pixel, Displaydiagonalen: 7.02 Zoll, Pixeldichte: 323ppi (Google, 2015), siehe Abbildung 3.3) verwendet.

3.2.2 Server–Klient Prinzip

Der Prototyp wurde anhand des Server-Klienten Prinzips entwickelt, um verschiedene Sichten (Graphical User Interface: GUI) für den Versuchsleiter (Server – passive Rolle), der den Ablauf und die Bedingungen der Aufgaben steuert und die Teilnehmer (Klienten – aktive Rolle), welche die Aufgaben lösen sollen, implementieren zu können. Als Server fungiert ein Notebook, dessen IP statisch in der Netzwerkkonfiguration festgelegt ist.

Server – Klient Kommunikation

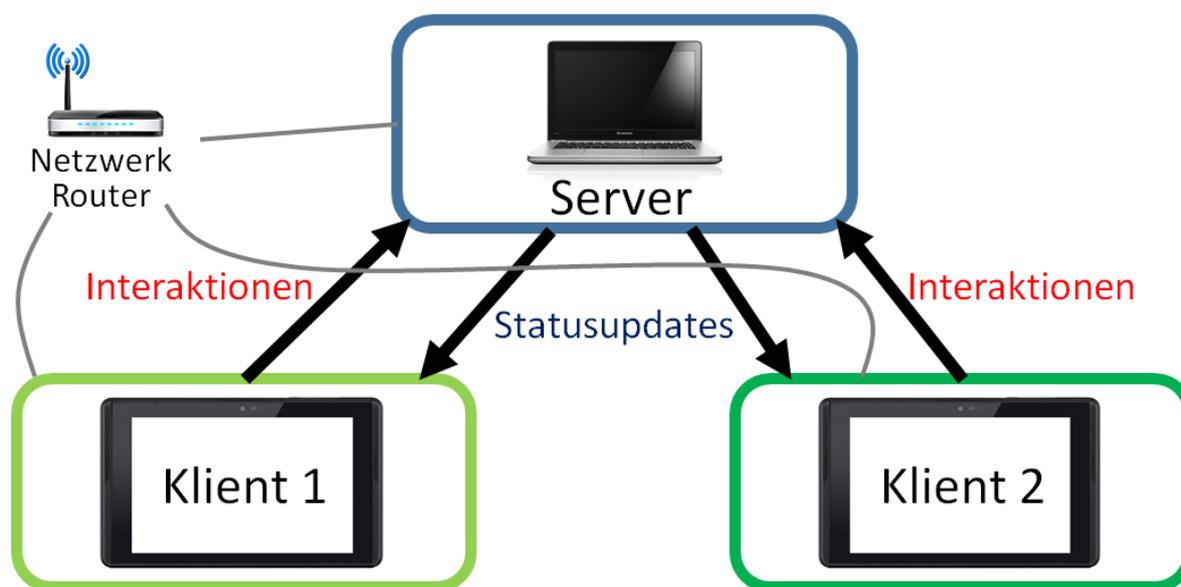


Abbildung 3.4: Server–Klient Kommunikation

Server und Klienten sind über ein kabelloses Netzwerk verbunden. Der Server schickt Statusupdates an registrierte Klienten. Durch Klienten ausgeführte Interaktionen im System werden an den Server gesendet.

Da zwei Versuchsteilnehmer jeweils ein Tablet zur Interaktion mit dem Server erhalten, müssen sich die Tablets anhand der festgelegten IP bei dem Server registrieren. In siehe Abbildung 3.4 wird die Kommunikation zwischen dem Server und den beiden Klienten veranschaulicht.

Der Server erhält Informationen über von den Klienten getätigten Interaktionen, führt entsprechende Änderungen an Daten durch und leitet diese an den anderen Klienten weiter. Zudem sind alle Daten auf dem Server repräsentiert. Dies ist erforderlich, damit die Ausführung des Programms und die Interaktionen auf den Tablets (Klienten) bei Unterbrechungen oder Ausfällen problemlos fortgesetzt werden kann. So kann sich ein Klient zu jedem Zeitpunkt neu mit dem Server verbinden und wird über seinen aktuellen Status informiert, ohne dass der Server neu gestartet werden muss. Dies ermöglicht zu jedem Zeitpunkt eine reibungslose Fortsetzung der Studie bei auftretenden Unterbrechungen.

3.2.3 Bedienoberflächen & Modi

Die Applikation wurde so umgesetzt, dass der Server und die Klienten unterschiedliche Bedienoberflächen haben, da der Versuchsleiter über das GUI des Servers für die Steuerung des Ablaufs verantwortlich ist und damit eine andere Sichtbarkeit auf die Daten benötigt als die Versuchsteilnehmer (Klienten). Die Bedienoberfläche der Teilnehmer ist so aufgebaut, dass er mit den Objekten in der virtuellen Szene interagieren kann. Beide Schnittstellen wurden grafisch realisiert, um eine vereinfachte Bedienung zu ermöglichen.

Das Hauptmenü

Sowohl der Versuchsleiter (Server) als auch die Versuchsteilnehmer (Klienten) sehen beim Start der Applikation das Hauptmenü. Das Hauptmenü, welches in siehe Abbildung 3.5 dargestellt wird, besteht aus vier Elementen: Über den ersten Button 'Start Server' wird der Server gestartet. Diese Option wird auf dem Notebook gewählt, auf dem der Server gestartet werden soll. Da sich die Klienten (Project Tango Tablets) am Server registrieren sollen, gibt es als zweiten Button im Hauptmenü die Funktion 'Join Game'. Ein Klient kann sich jedoch erst am Server anmelden, wenn zuvor der Server gestartet wurde und der Klient im dritten Feld die entsprechende IP des Servers angegeben hat. Beispielsweise ist in siehe Abbildung 3.5 die IP: *192.168.1.128* angegeben. Über den letzten Button 'ADF Menü' gelangt man in ein Untermenü, indem Funktionen für den Im- und Export von *Area Description Files* hinterlegt sind. Ein Area Description File ist eine Datei, welche Informationen enthält, mit der ein Raum 'beschrieben' wird. ADFs können über die Android-Anwendung 'Project Tango Explorer' erstellt und abgespeichert werden, welche im Rahmen des Tango Projekts von Google (2016) veröffentlicht wurde. Diese ADF kann nun im ADF Menü importiert werden, um sie laden und in der Anwendung nutzen zu können. Sie kann darüber hinaus exportiert werden, um sie für beide Tablets verfügbar zu machen. Diese Funktionen wurden implementiert, damit wir beide Tablets in beiden Räumen nutzen können.



Abbildung 3.5: Forschungsprototyp: Hauptmenü.

Im Hauptmenü stehen vier Optionen zur Auswahl: 'Start Server', 'Join Game', IP-Adresse, ADF-Menu.

Server

Die Schnittstelle des Servers wurde so entworfen, dass der Versuchsleiter zu jedem beliebigen Zeitpunkt den Verlauf des Experiments steuern kann. Zudem ist er in der Lage den Bearbeitungsstatus der aktuellen Interaktionsaufgabe zu betrachten. siehe Abbildung 3.6 zeigt die Ansicht und die Schnittstelle des Servers und welche Optionen zum Eingreifen in den Ablauf des Experiments vorhanden sind. Links oben bei der Server-GUI stehen zwei Modi zur Auswahl: Mit dem Button 'Memory' wird das Szenario gestartet, in dem die Klienten nach dem 'Memory-Spiel' Prinzip abwechselnd passende Paare finden müssen. Der Modus 'Reconstruction' startet das Szenario, in dem die Würfel wieder an ihre ursprüngliche Position gesetzt werden müssen. Rechts neben diesen beiden Funktionen sind vier Checkboxen platziert, welche die jeweiligen Bedingungen/Optionen für das Szenario festlegen. Ist 'Training' aktiviert, gelangen die Klienten in einen Trainingsmodus, welches für beide Modi aktiviert ist. Dieser dient dazu, den Versuchsteilnehmern das System nahe zu bringen und sie mit den beiden Interaktionsphasen vertraut zu machen. Die in der siehe Abbildung 3.6 dargestellten virtuellen räumlichen Szene, wird über die Server-Schnittstelle aus der Vogelperspektive angezeigt. Auf diese Weise kann der Versuchsleiter alle Interaktionen und Positionen der Klienten in Echtzeit beobachten. Die Checkboxen 'Koordinaten Set 1' und 'Bilder Set 1' werden benötigt, um die entsprechenden vordefinierten dreidimensionalen Koordinaten und Texturen/Bilder für die 'Memory'-Würfel

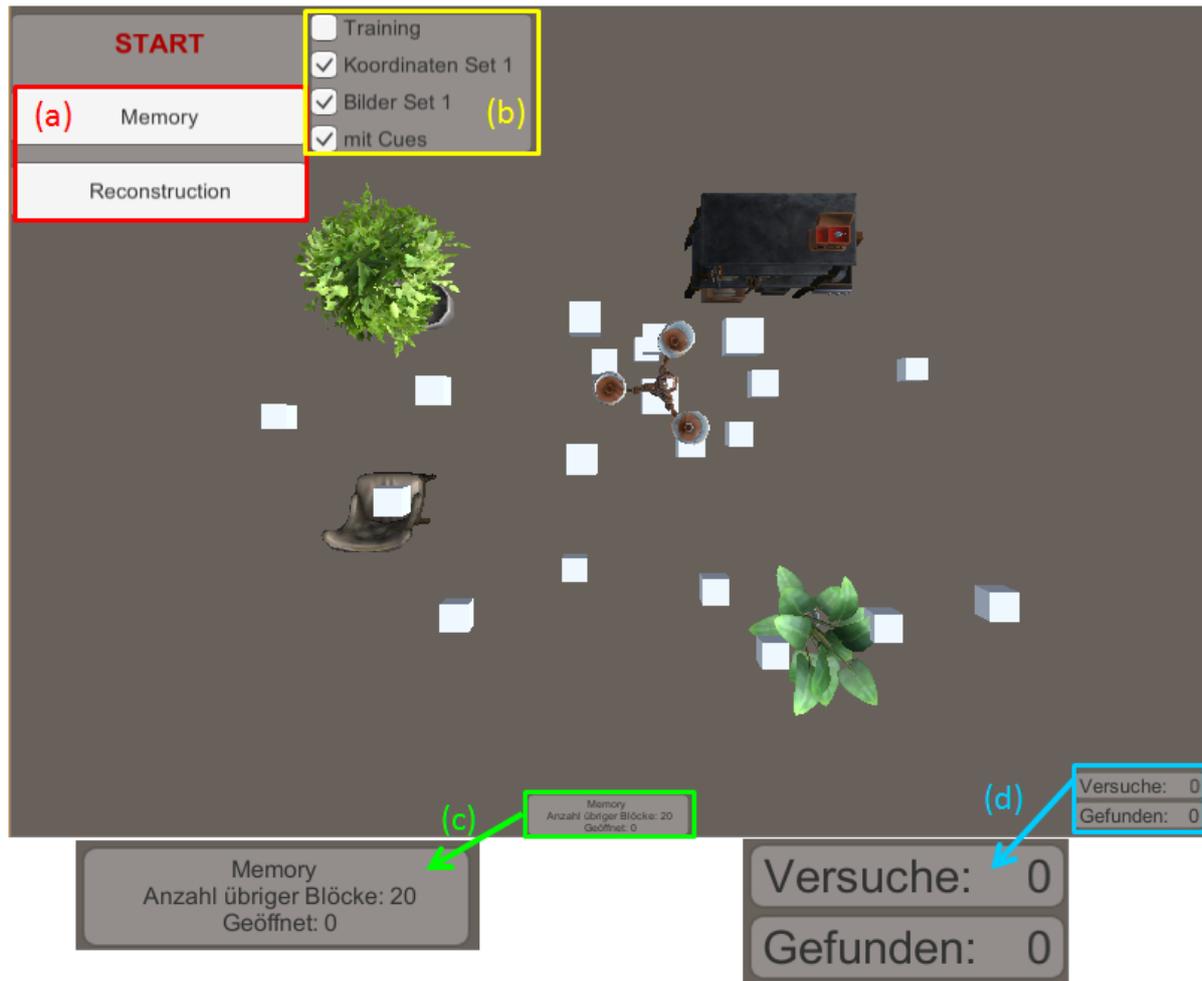


Abbildung 3.6: Server GUI.

Über 'Memory' und 'Reconstruction' (a) kann das entsprechende Szenario gestartet werden. Die Checkboxes 'Training', 'Koordinaten Set 1', 'Bilder Set 1' und 'mit Cues' (b) erlauben es, spezifische Bedingungen für das ausgewählte Szenario festzulegen. Informationsfelder für die Anzahl übriger und geöffneter Würfel (c), sowie gefundener Paare und die dafür benötigten Versuche (d).

zu laden. Die weißen Blöcke in siehe Abbildung 3.6 sind alle verdeckt und hinter jedem Block befindet sich jeweils ein Bild der zu suchenden Bilder-Paare. Außerdem werden in diesem Beispiel alle virtuelle Objekte mit Ansicht von oben angezeigt. Darunter befinden sich zwei Pflanzen, eine Deckenlampe, ein Sessel und ein Regal, die sich an den Wänden des physikalischen bzw. am Rand des virtuellen Raumes befinden und nicht in der Mitte des Raumes platziert sind. Ist der Haken bei der letzten Checkbox 'mit Cues' gesetzt, werden die eben genannten Objekte in der Szene angezeigt, vorausgesetzt der Trainings-Modus ist nicht aktiviert. In Kapitel 4 wird erläutert, warum diese Bedingungen für die Szenarien notwendig sind. Weitere Informationen über den aktuellen Zustand der geöffneten und bereits gefundenen Würfel-Paare geben die Felder am unte-

ren Bildschirmrand an. Das Feld in der Mitte gibt in Echtzeit Auskunft über das aktuelle Szenario ('Memory' oder 'Rekonstruktion') und dessen Zustand. Während der Memory-Phase wird die Anzahl der aktuell geöffneten Würfel (0,1 oder 2) angegeben und wie viele Würfel sich noch in der Szene befinden. Zusätzlich zeigt das Feld rechts unten am Bildschirmrand die aktuelle Anzahl an Versuche und gefundener Würfelpaare an. Dieses wird in der Rekonstruktionsphase ausgeblendet. Das mittlere Feld bleibt eingeblendet und zeigt an, wie viele Blöcke schon abgelegt wurden bzw. noch platziert werden müssen.

Klient – Benutzerschnittstelle

Neben der Server-Schnittstelle haben wir eine separate GUI für die Klienten entworfen. Der Klient hat dabei keine Sicht auf die Szene aus der Vogel- sondern aus der Ich-Perspektive (siehe Abbildung 3.7). Jeder Klient kann über Berührungen auf dem Touch-Display des Tablets Interaktionen durchführen, die anschließend an den Server weitergeleitet werden. Für beide separaten Phasen des Experiments wurde die Benutzerschnittstelle entsprechend angepasst.

Objektidentifizierung/Memory – GUI:

Während der ersten Phase kann der Benutzer einen Würfel bzw. Block (einheitliche Kantenlänge: 15cm) aufdecken, indem er einfach mit dem Finger auf die Stelle des Displays tippt, an der sich der Würfel befindet. In siehe Abbildung 3.7 ist eines der Blöcke aufgedeckt worden, hinter dem sich das Symbol einer 'Schere' befindet. Die anderen Würfel bleiben geschlossen. Analog zum Interface des Servers besitzt auch diese Schnittstelle über verschiedene Informationsfelder. Das blaue Feld in der Mitte am oberen Rand des Displays (siehe Abbildung 3.7 (a)) gibt an, dass der Versuchsteilnehmer, dem 'Du bist dran!' angezeigt wird, an der Reihe ist. Ist der andere Teilnehmer am Zug, wird dies über das gleiche Feld mit dem Text 'Bitte warten!' angezeigt. Dieses Feld wird nur in der Identifikationsphase benötigt, da sich die beiden Klienten im Gegensatz zum Memory-Teil beim Positionieren der Würfel nicht abwechseln müssen. Da dieses Feld angibt, welcher der beiden Interakteure als nächstes einen Block öffnen muss, ist die 'Schere' (siehe Abbildung 3.7 (d)) demnach von dem anderen Versuchsteilnehmer aufgedeckt worden; dieser kann nun keine weiteren Blöcke mehr öffnen, bis sein Partner einen zweiten Würfel geöffnet hat. Durch Tippen auf den entsprechenden Block wird nun der zweite Würfel geöffnet. Diese Interaktionen werden alle an den Server weitergeleitet, welcher nun überprüft, ob ein übereinstimmendes Bilder-Paar gefunden wurde. Nach drei Sekunden Wartezeit werden die beiden Würfel wieder zugedeckt, wenn sie nicht übereinstimmen oder aus der Szene entfernt, wenn das aufgedeckte Bilderpaar zusammenpasst. Auf dem Bildschirm wird, wie es bereits bei der Serverschnittstelle der Fall ist, den Klienten sowohl angezeigt, wie viele Paare bereits gefunden und wie viele Versuche dafür benötigt wurden (siehe Abbildung 3.7 (b)) als auch wie viele Würfel geöffnet und wie viele von denen übrig sind, deren übereinstimmendes Gegenstück noch gefunden werden muss (siehe Abbildung 3.7 (c)).

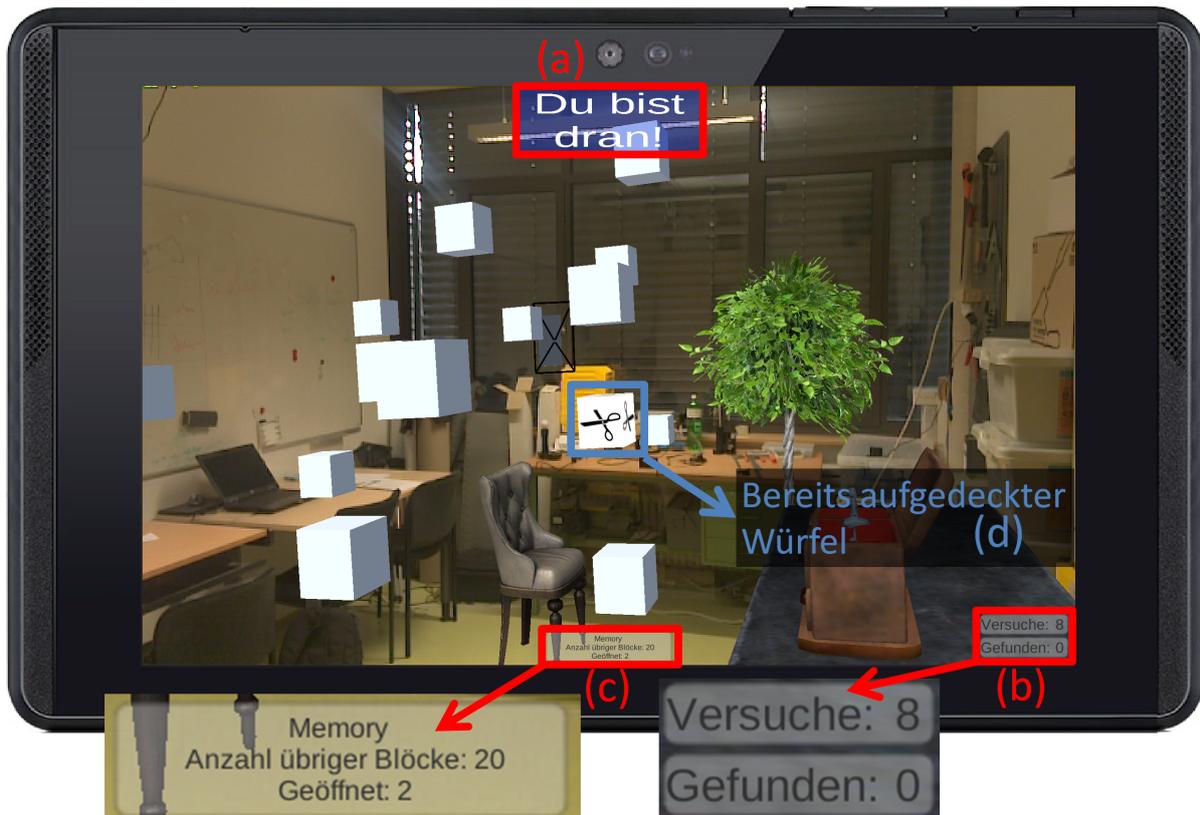


Abbildung 3.7: Benutzerschnittstelle der Memoryphase.

Das blaue Feld (a) gibt an, welcher Klient an der Reihe ist, einen Würfel aufzudecken.

Information über Anzahl der Versuche und bereits gefundener Würfel-Paare (b).

Informationsfeld für die Anzahl geöffneter und noch nicht gelöster Blöcke (c). Bereits aufgedecktes Symbol: 'Schere' (d).

Objektpositionierung/Rekonstruktion – GUI:

Für die Rekonstruktionsphase wurde die Benutzeroberfläche umgestaltet, um eine intuitive Positionierung der Würfel an ihre ursprüngliche Position zu gewährleisten. In diesem Fall gibt es nur noch ein Informationsfeld (siehe Abbildung 3.8 (c)), das sich in der Mitte unten am Bildschirmrand befindet und die Anzahl der bereits positionierten, sowie der noch ausstehenden Würfel angibt.

Das Interface besteht sowohl aus jeweils fünf Buttons zur Platzierung der Würfel am linken und am rechten Bildschirmrand des Displays (siehe Abbildung 3.8 (a)). Da das Interaktionsgerät intuitiv mit beiden Händen gehalten wird, ist dies die sinnvollste und bequemste Position, damit während dem Ablegen eines Blockes die Sicht auf das Display durch Touch-Aktionen der Hand nicht eingeschränkt ist. In Abbildung 3.8 ist der oberste Button für die Positionierung des 'Telefon'-Blocks auf der rechten Seite bereits deaktiviert, was durch den ausgegrauten Zustand des Blocks symbolisiert wird (b), und deutet an, dass dieser Würfel bereits abgelegt wurde. Im Zentrum der Benutzeroberfläche befindet sich ein halbdurchsichtiger Würfel (Würfelplatzierungsschablone – siehe Abbildung 3.8 (d)) mit festgelegtem Abstand (60 cm vor dem Tablet und 5 cm nach unten

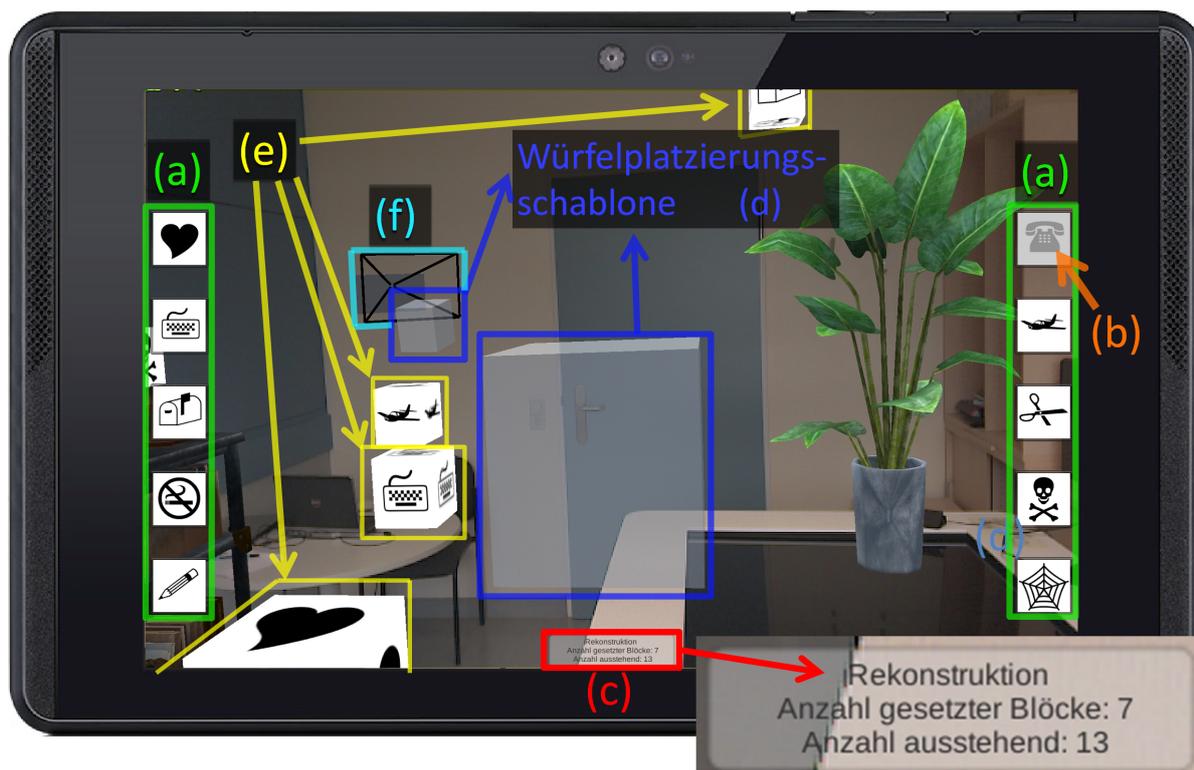


Abbildung 3.8: Benutzerschnittstelle der Rekonstruktionsphase.

Links und rechts am Rand befinden Bedienflächen zur Platzierung des Würfels mit dem entsprechenden Bild (a). Der Würfel 'Telefon' wurde bereits abgelegt und ist deaktiviert (b).

Informationsfenster zur Anzahl bereits abgelegter und noch ausstehender Würfel (c). Würfelplatzierungsschablonen (d) der Teilnehmer. Bereits im Raum positionierte Blöcke (e). Avatar mit zugehörigem Sichtfenster und Sichtrichtung (f).

gesetzt, um die Sicht zu verbessern) im direkten Sichtfeld jedes Klienten, der beim Ablegen der Würfel als Hilfestellung zur Einschätzung der Position dient. Die Position der Würfelplatzierungsschablone wird bezüglich der Bewegungen des Tablets aktualisiert und zeigt an, wo ein Würfel platziert wird, sobald einer der aktivierten Bilder-Buttons (siehe Abbildung 3.8 (a)) berührt wird. In dieser Abbildung ist links oben die Position vom Tablet Interaktionspartners, der sich im anderen Raum befindet, anhand der Verwendung eines geeigneten Tablet-Avatars veranschaulicht. Zusätzlich werden Sichtbereich und -richtung des Partners anhand der schwarzen Pyramide, welche mit der oberen Spitze im rechten Winkel zur Kamera des Tablets gerichtet ist, angedeutet, um Auskunft darüber zu erhalten, in welche Richtung der andere Versuchsteilnehmer gerade blickt (siehe Abbildung 3.8 (f)). Vor dieser 'Sichtpyramide' befindet sich die Würfelplatzierungsschablone des anderen Klienten (siehe Abbildung 3.8 (d)). Jeder Klient kann eigene abgelegte Blöcke zu jedem Zeitpunkt wieder aufnehmen, um deren Position zu korrigieren, indem er einen Block, wie bereits in der 'Memory'-Phase beschrieben, auf dem Display berührt. Der Button mit dem entsprechenden Bild wird anschließend wieder aktiviert, sobald der Würfel entfernt wurde.

Sind alle zehn Blöcke platziert, wird die Würfelplatzierungsschablone ausgeblendet und ein Feld mit der grünen Aufschrift 'Level beenden!' eingeblendet (siehe Abbildung 3.9), über das jeder Klient bestätigen kann, dass er alle Würfel abgelegt hat und keine Intention hat, diese neu zu platzieren. Nach Bestätigung kann kein Block mehr zurückgesetzt werden. Jedoch kann der Klient nach seiner Bestätigung wieder in den vorigen zurückkehren, indem er auf den Button mit der roten Aufschrift 'Zurück!' drückt, der erst nach Bestätigung an der gleichen Displayposition angezeigt wird. Haben beide Klienten alle ihre Blöcke positioniert und die Bestätigung durchgeführt, wird die Rekonstruktionsphase beendet. Nach Beenden einer Memory- oder Rekonstruktionsphase erhalten beide Klienten eine Benachrichtigung mit dem Text: 'Level geschafft!' (siehe Abbildung 3.10).



Abbildung 3.9: Rekonstruktionsphase beenden.

Alle zehn Würfel wurden abgelegt und das Bestätigungsfeld 'Level beenden!' ist eingeblendet.



Abbildung 3.10: Bestätigung nach Beenden einer der beiden Phasen.

3.2.4 Module

Die Anwendung wurde während der Implementation in fünf verschiedene Module aufgeteilt, um eine semantische Trennung der Funktionalitäten zu gewährleisten (siehe Abbildung 3.11). Jedes Modul ist für einen Teil der Anwendung notwendig und wird im Folgenden näher erläutert.

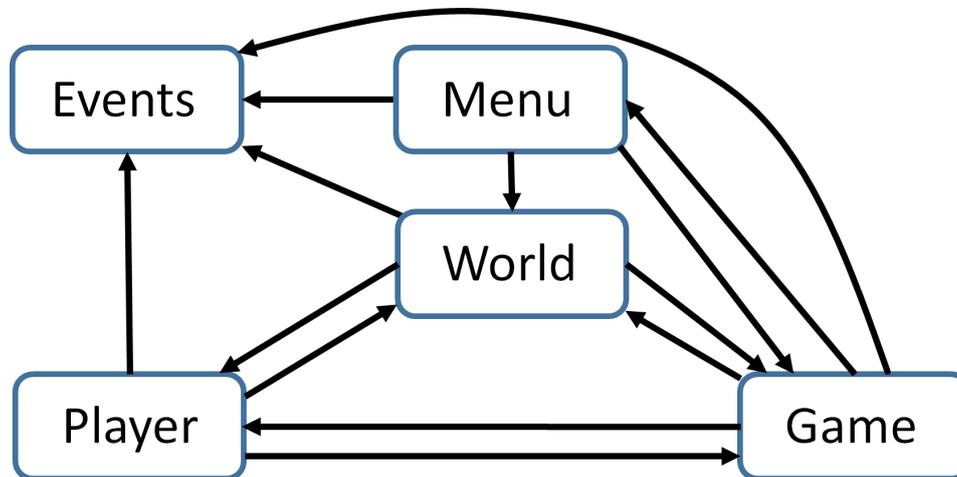


Abbildung 3.11: Module und ihre Abhängigkeiten.

Events

Das Modul **Events** wird benötigt, um alle Interaktionen der Klienten an das *Logging Script*, das sich im Modul **World** befindet, weiterzuleiten. Dies ist erforderlich, damit alle Informationen zur späteren Studienauswertung gesammelt werden können. Zu den Events, die dieses Modul berücksichtigt, gehören das Öffnen von Würfeln in der 'Memory'-Phase und das 'Ablegen', bzw. potenziell erneute 'Aufnehmen' von bereits platzierten Würfeln sowie unerlaubte Zugriffe auf Blöcke, die von dem jeweils anderen Klienten abgelegt wurden. Dabei werden alle Informationen bezüglich der Positionen und Eigenschaften des betroffenen Würfels sowie die des Klienten und dessen Ausrichtung des Tablets (Rotation).

Menu

Im Modul **Menu** sind alle erforderlichen Funktionalitäten der Buttons implementiert, die im Menü und in den Untermenüs vorhanden sind und die nötigen Funktionen zum Wechseln zwischen den einzelnen Untermenüs, die in Kapitel 3.2.3 bereits näher erklärt wurden. Dazu gehören die Funktionen für das Auswählen, der Ex- und Import von ADFs, das Starten und Laden der Experimentphasen als auch alle Steuerelemente der Bedienoberfläche des Servers.

World

Um alle Netzwerkvoraussetzungen zu erfüllen, sind die dafür erforderlichen Einstellungen und Variablen im Netzwerkmanager des **World**-Moduls definiert. Hier werden außerdem Funktionen aufgerufen, um Standard-Einstellungen für beide Klienten zu laden. Eine weiterer wichtiger Aspekt dieses Moduls ist die Kapselung aller Schreiboperationen für das Loggen aller Informationen, die vom Modul **Events** weitergeleitet werden.

Game

Alle Objekte, die sich in der virtuellen Szene befinden, müssen auf dem Server erstellt werden, bevor sie über das Netzwerk an die Klienten mitgeteilt werden können. Dazu gehören sowohl die Würfel mit den Bildern, die für beide Interaktionsphasen benötigt werden, als auch die virtuellen räumlichen Objekte, die für die Studie erforderlich sind. Zusätzlich beinhaltet dieses Modul Funktionen, welche die Informationsfelder bezüglich des aktuellen Zustands der Blöcke im virtuellen Raum aktualisiert. Weitere Funktionen enthalten die Information über die zu ladenden Bildersets und um welchen Klienten es sich jeweils handelt. Das Modul **Game** liefert schließlich alle Kontrollstrukturen, in welcher Phase sich die Klienten momentan befinden und blockiert alle Interaktionsmöglichkeiten (Pause) sobald ein Klient nicht mit dem Server verbunden ist, um fehlerhafte Interaktionen zu vermeiden.

Player

Das letzte Modul **Player** stellt die Funktionen zu Verfügung, die benötigt werden um alle Klient-relevanten Informationen an den Server zu schicken. Diese beinhalten die aktuelle Position und Rotation des jeweiligen Tablets und entsprechend die Verschiebung der Sicht auf die virtuelle Szene für den jeweiligen Klienten. Weitere wichtige Bestandteile sind die Bildstabilisierung für die Live-Aufnahmen der Tablet-Kamera in Kombination mit den virtuellen Objekten, um ein 'Zittern' der virtuellen Objekte zu vermeiden, da der Positionssensor des Tablets sensibler ist als die Kamera. Um alle Dienste des Projekt Tango Tablets zu initialisieren und auch um auf die Kamera zugreifen zu können, werden in diesem Modul alle Berechtigungen angefordert, um die Anwendung problemlos ausführen zu können. Außerdem beinhaltet das Modul auch alle Methoden die bei Interaktionen des Klienten auf der Benutzeroberfläche durch Berührungen ausgeführt werden. Dazu gehören unter anderem das 'Aufdecken' von Würfelpaaren oder das Zurücksetzen von bereits abgelegten Blöcken in der Rekonstruktionsphase.

3.2.5 TeamSpeak 3 – Kommunikation

Um den Versuchsteilnehmern die Möglichkeit zu geben, miteinander zu kommunizieren, führen wir parallel die TeamSpeak 3 - Androidanwendung (TeamSpeak, 2015) aus. Dazu dient das Notebook als Server, auf dem sich beide Klienten zunächst registrieren müssen.

Wir haben diese Anwendung ausgewählt, da sie zuverlässig ausgeführt wird und durch verständliche Sprachqualität den Klienten eine gute Basis zur Kommunikation bietet. Außerdem haben wir zur Studienauswertung TeamSpeak 3 genutzt um die Kommunikation zwischen den Versuchsteilnehmern aufzuzeichnen. Das Klient-Server Prinzip von TeamSpeak lässt sich aufgrund vorausgehender Ausführungen gut auf unser Konzept übertragen, sodass die Klienten über das WLAN-Netzwerk miteinander kommunizieren können.

3.2.6 Bildstabilisierungsalgorithmus

Während der Implementationsphase wurden unerwünschte 'Zitter'-Effekte bei der Darstellung virtueller Objekte im Raum bezüglich der übertragenen Videoinformationen von der Kamera des Tango Tablets festgestellt. Diese wurden durch Bewegungen des in der Hand gehaltenen Gerätes über die Positions- und Rotationssensoren verursacht. Um diese unerwünschten Effekte zu beseitigen, haben wir einen Algorithmus (siehe Anhang A) implementiert, welcher sukzessive Informationsdaten der Sensoren speichert, um diese im nächsten Schritt interpolieren zu können. Dazu wurde unter anderem die Lerp-Methode der Unity Entwicklungsumgebung (Unity3d, 2016a; Unity3d, 2016b) verwendet. Zunächst werden die Differenzen sukzessiver Sensordaten für die Position und Rotation berechnet, die vom Tablet gesendet werden. Befinden sich diese Differenzen innerhalb eines Schwellenwertbereichs, wird anhand dieser Differenz eine quadratische Änderung der Interpolationszeit festgelegt. Dabei gilt: Je kleiner die Differenz, desto niedriger ist das Ergebnis der Interpolationsratenberechnung und entsprechend langsamer wird die Position und Rotation der Kamera auf die virtuelle Szene angepasst. Für die Position handelt es sich hier um dreidimensionale Vektoren, für die eine solche quadratische Annäherung berechnet wird (Zeile 21), sobald die Differenz aufeinanderfolgender Sensordaten weniger als 8cm beträgt (Zeile 20). In diesem Fall kann davon ausgegangen werden, dass der Klient sich kaum bewegt und entsprechend sollen virtuelle Objekte stabiler im Raum platziert sein. Für die Rotation gilt das gleiche Verfahren (Zeile 29), wobei sich es hier um einen Schwellenwertbereich von 12 Grad im Bogenmaß (Zeile 25) handelt. Befinden sich aufeinanderfolgende Sensordatendifferenzen nicht im angegebenen Schwellenwertbereich (Zeilen 17-19; 25-57), wird lineare Interpolation anstatt dieser quadratischen Annäherung verwendet, um eine ungewollte Verzögerung bzw. zu langsame Verschiebung der Kameraposition und -ausrichtung zu vermeiden. Besonders effektiv und hilfreich hat sich diese Implementierung für unser Szenario erwiesen, da der Klient das Tablet nun frei beweglich in der Hand halten kann. Dies hat den positiven Effekt, dass die Kameraposition mit einer sehr niedrigen Rate interpoliert wird und der Benutzer frei von ruckartigen Bewegungen eine ungestörte und klare Sicht auf die virtuelle Szene hat. Bevor diese Methode eingeführt wurde, musste immer ein 'Zittern' in Kauf genommen werden, da es nicht möglich ist, das Tablet bewegungslos an der gleichen Position und Rotation zu halten. Diese minimalen Differenzen führten zu schnellen Bewegungen der Kamera, welche ablenkende Effekte auf der Benutzeroberfläche hervorriefen.

Kapitel 4

Empirische Studie

Um herauszufinden, ob das Hinzufügen solcher visueller, virtueller und räumlicher Hinweise einen positiven Einfluss auf das Lösen einer Interaktionsaufgabe hat, wurde ein kontrolliertes Laborexperiment durchgeführt, welches in diesem Abschnitt detailliert erklärt wird. Es handelt sich hierbei um eine Folge-Studie des von Müller et al. (2015) durchgeführten Experiments. Dabei soll untersucht werden, welche Auswirkungen die virtuellen Hinweise auf das Kommunikationsverhalten, User Task Load und User Experience bei der Identifizierung und Positionierung von virtuellen haben. Das Design der Benutzerstudie und deren Durchführung erfolgte gemeinsam mit Matthias Kraus, dessen Forschungsinhalt speziell die Identifikation virtueller Objekt umfasst (Objektidentifizierungsaufgabe). Inhalt dieser Forschungsarbeit ist im Kontrast dazu die Untersuchung der Positionierung virtueller Objekte in der geteilten Mixed Reality Umgebung (Objektpositionierungsaufgabe).

Ausgehend von der Ergebnissen der Studie von Müller et al. (2015) besteht die Hypothese für unsere Forschungsfrage darin, dass zusätzliche Referenzobjekte im virtuellen Raum das Lösen von Interaktionsaufgaben vereinfachen. Darüber hinaus verbessern sie die Zusammenarbeit in der Gruppe, selbst wenn sich die Teilnehmer nicht im gleichen realen Raum, sondern in unterschiedlichen physikalischen Umgebungen und dennoch im gleichen virtuellen Raum befinden.

4.1 Studiendesign

Das Design der Studie orientiert sich trotz einiger erforderlicher Anpassungen am Experiment von Müller et al. (2015). Der wesentliche Unterschied besteht jedoch darin, dass sich die Teilnehmer während der Bearbeitung der Interaktionsaufgaben in unterschiedlichen physischen Räumen aufhalten.

4.1.1 Variablen & Operationalisierung

Unabhängige Variable

Bei dem Entwurf der Studie wurde eine einzige unabhängige Variable zur Operationalisierung verwendet. Es handelt sich dabei um die Bedingung, dass zusätzliche virtuelle Objekte ein- oder ausgeblendet sind (Bedingung in Abbildung 3.2: Virtuelle Objekte sind eingeblendet). Bei den virtuellen Objekten handelt es sich um Einrichtungsgegenstände, die von den Teilnehmern während der Aufgabebearbeitung als visuelle Referenzobjekte genutzt werden können, sobald sie eingeblendet wurden. In Abbildung 4.1 werden diese insgesamt fünf verschiedene Objekte dargestellt: ein Sessel, zwei Zimmerpflanzen, eine Deckenleuchte und ein mit Büchern gefülltes Regal (Store, 2016).



Abbildung 4.1: Unabhängige Variable: Virtuelle Einrichtungsgegenstände.

Die Objekte dienen als räumliche Referenzobjekte zum Orientierung im virtuellen Raum.

Abhängig davon wurden vier unterschiedliche Bereiche betrachtet (siehe Abbildung 4.2), anhand derer die Kooperation der Teilnehmergruppen während der Aufgabebearbeitung untersucht werden kann.

Abhängige Variablen

Um eine gründliche Studienuntersuchung durchzuführen und alle abhängigen Variablen zu adressieren wurden diverse Arten von Daten aufgezeichnet. Die einzige unabhängige Variable war die Bedingung, dass virtuelle Objekte (Einrichtungsgegenstände) ein- oder ausgeblendet sind (e.g. Bedingung in Abbildung 3.2: Virtuelle Objekte sind eingeblendet). Abhängig davon wurden vier unterschiedliche Bereiche betrachtet (siehe Abbildung 4.2), anhand derer die Kooperation der Teilnehmergruppen sorgfältig untersucht werden kann.

Kommunikationsverhalten:

Um die Kommunikation während der beiden Phasen analysieren zu können, wurden simultane Video- und Audioaufzeichnungen des gesamten Ablaufs gemacht. Dabei wurde in jedem Raum eine Kamera aufgestellt, welche die gesamte physische Umgebung im Sichtfeld hatte, um Gesten der Teilnehmer anhand des Videomaterials zu identifizieren und diese mit der Audiokommunikation abgleichen zu können.

User Task Load:

Um den User Task Load (Benutzerbelastung) der Teilnehmer während der Interaktionsaufgaben festzustellen, wurden dementsprechende Daten anhand des standardisierten NASA TLX - Fragebogens (Hart, 2006), nach Abschluss jeder Interaktionsaufgabe, erhoben. In der Studie von Müller et al. (2015) wurde dieser Fragebogen ebenfalls verwendet und bietet damit die Möglichkeit, die Resultate der beider Studien zu vergleichen.

Telepräsenz – Wahrnehmung:

Um herauszufinden, wie stark die Präsenz des Kooperationspartners im eigenen physischen Raum subjektiv wahrgenommen wurde, haben wir im Anschluss zum NASA TLX

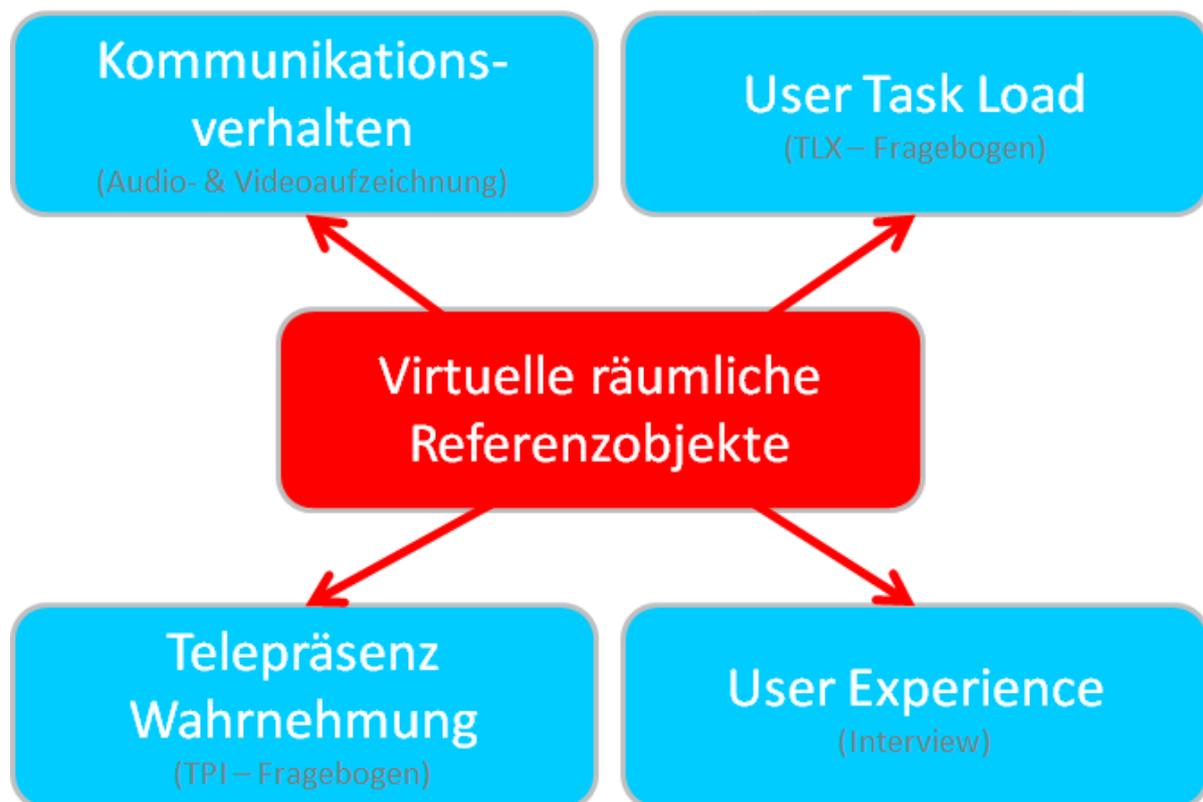


Abbildung 4.2: Studienvariablen.

Unabhängige Variable (rot) und abhängige Variablen (blau). Die Art der Datenerhebung ist in Klammern angegeben.

- Fragebogen zusätzlich eine modifizierte Version des Temple-Presence-Inventory (TPI) Fragebogens (Lombard et al., 2009) ausfüllen lassen, bei dem zwei zusätzliche Fragen zur genaueren Untersuchung der Koordination hinzugefügt wurden, bevor der nächste Aufgabenabschnitt gestartet wurde. Der TPI Fragebogen wurde den Teilnehmern auf Englisch vorgestellt, um die Aussagekraft der aufgenommenen Daten durch unpassende Übersetzungen nicht zu verfälschen und sie in der Auswertung mit berücksichtigen zu können. Die ersten beiden Fragen, die im Anhang D angegeben werden, stammen nicht aus dem TPI Fragebogen und wurden hinzugefügt, um zusätzliche Ergebnisse zur gegenseitigen Telepräsenz zu erhalten.

User Experience:

Um die subjektiv wahrgenommenen Erlebnisse während der Bearbeitung der gestellten Interaktionsaufgaben zu ermitteln wurde nach dem letzten Aufgabenteil ein Interview mit beiden Versuchsteilnehmern durchgeführt, um qualitative Daten zu erheben. Das Interview liefert Informationen, ob die virtuellen Einrichtungsgegenstände (unabhängige Variable) die Bewältigung der Aufgaben vereinfacht haben, indem eine subjektive Beurteilung der Wichtigkeit virtueller Referenzobjekte bei der Identifikation und Positionierung von virtuellen Objekten festgehalten wurden.

4.1.2 Reale Umgebung

Da zur Durchführung der Studie zwei getrennte Räume verwendet wurden, werden diese separat beschrieben. Die physische Größe beider Versuchsumgebungen war $5.5 \times 3 \times 2.4\text{m}$ in dessen Bereich sich der Versuchsteilnehmer frei bewegen konnte (siehe Abbildung 4.3). Die Türen waren leicht versetzt und die Fenster in beiden Räumen an der gleichen Stelle positioniert und konnten als gemeinsame Kommunikationsgrundlage dienen.

Weitere Voraussetzungen waren Tische, welche die gleiche Höhe besaßen, da die Position virtueller Objekte für beide Räume identisch sein musste, um den Interakteuren eine vollständige virtuelle Raumüberlagerung zu ermöglichen. Dazu wurden bestimmte Bereiche im Raum freigehalten, um virtuelle Objekte auf dem Boden platzieren zu können. Die Platzierung aller physischen Gegenstände war für alle Studiendurchgänge in beiden Räumen jeweils identisch.

Raum 1:

Im ersten Raum waren sehr viele verschiedene Alltagsgegenstände überall im Raum verteilt (siehe Abbildung 4.3a). Direkt vor der Fensterreihe war mittig eine Werkbank positioniert. Weitere markante physische Objekte waren eine Wandschrankzeile, Bodenventilatoren, ein verkehrt herum abgestelltes Touch-Display und drei weitere, an der linken Wandseite nebeneinander angeordneten Tische. Das Zentrum des Raumes war frei zugänglich eingerichtet, damit die Teilnehmer während der zu lösenden Aufgabe kaum auf Kollisionen mit physischen Objekten achten mussten.



(a) Raum 1.

(b) Raum 2.

Abbildung 4.3: Physische Umgebungen der beiden Räume.

Raum 2:

Der zweite Raum war simpler und mit weniger realen Objekten eingerichtet (siehe Abbildung 4.3b). In der Mitte des Raumes stand ein großer (Interaktions-)Tisch, auf dem eine virtuelle Tischpflanze platziert wurde. Zudem enthielt der Raum zwei Wandschränke und einen Mülleimer. Zuletzt wurde ein runder Tisch direkt neben die Tür gestellt, an dem die Teilnehmer die Fragebögen ausfüllen konnten.

4.1.3 Virtuelle Umgebung

Wie bereits angedeutet enthielt der virtuelle Raum für beide Teilnehmer die gleichen Objekte, die auch an der identischen Position im dreidimensionalen Koordinatensystem der virtuellen Realität als auch des physischen Raumes positioniert wurden. Dabei wurde der virtuelle Raum so gestaltet, dass er mit den realen Räumen überlagert werden konnte, da diese die gleichen Abmessungen hatten. Die Anordnung der virtuellen Einrichtungsgegenstände wird in Abbildung 4.4a aus der Vogelperspektive angezeigt. Anhand des 'See-Through' des Tablets wird in den Abbildungen 4.4b und 4.4c die jeweilige Ansicht aus der entsprechenden Position auf die den virtuellen Raum dargestellt. Es ist anzumerken, dass alle Objekte am Rand des Raumes angeordnet sind und damit einen Bezugsrahmen bieten, welche den Raum eingrenzen. Die Positionen der Referenzobjekte wurden so gewählt, um zu vermeiden, dass die Versuchsteilnehmer durch die Gegenstände 'hindurch' gehen müssen, um sich im Raum zu bewegen und damit ein stärkeren Eindruck der räumlichen Existenz der Objekte zu erzeugen. Müller et al. (2015) verwendeten die gleichen Objekte für den in ihrer Studie genutzten virtuellen Raum. Jedoch haben wir ein Objekt (Verkaufsautomat) entfernt und stattdessen die Deckenlampe hinzugefügt. Die beiden Zimmerpflanzen, der Sessel und das Regal wurden in beiden Studien verwendet.



(a) Ansicht auf den gemeinsamen virtuellen Raum aus der Vogelperspektive.



(b) Virtuelle Umgebung in Raum 1.



(c) Virtuelle Umgebung in Raum 2.

Abbildung 4.4: Gemeinsam verwendete virtuelle Umgebung.

Ansicht auf die virtuelle Umgebung von oben und aus Perspektive der beiden Tablets (Display-Ansicht: 'See-Through') in den beiden unterschiedlichen Räumen während der Objektidentifizierungsphase (Memory).

4.1.4 Interaktionsaufgabe

Jeder an der Studie teilnehmende Zweiergruppe wurden zwei unterschiedliche Teilaufgaben gestellt, die durch interaktive Zusammenarbeit und Berücksichtigung gegenseitiger Hilfestellung, gelöst werden sollte. Die Interaktionsaufgabe besteht aus einer Objektidentifizierungsaufgabe (Memory Phase) und eine Objektpositionierungsaufgabe (Rekonstruktionsphase). Der exakte Ablauf der einzelnen Teilaufgaben ist bereits in den Abschnitten 3.1.1 und 3.1.2 angegeben.

Da die physischen Räume im Vergleich zur Studie von Müller et al. ($4 \times 4 \times 2\text{m}$) etwas schmaler waren und mehr physische Objekte im Raum enthielten, wurde die Kantenlänge der Würfel von 25cm auf 15cm reduziert, um einen besseren Überblick über die Szene zu ermöglichen und um somit weniger Überlappungen der Würfel im 'See-Through' (MR Sichtfeld der Teilnehmer) zu gewährleisten.

Objektidentifizierungsaufgabe

Insgesamt waren pro Memory-Teil zehn Würfelpaare (20 Würfel) zu finden. Die beiden Würfel hatten paarweise jeweils die gleichen Symbole (Wingdings – grafischer Zeichensatz; siehe Abbildung 4.5) als Texturen hinterlegt. Geöffnete Würfel-Paare, die nicht zusammenpassen wurden wieder verschlossen und übereinstimmende Memory-Paare aus der Szene entfernt bis alle Paare gefunden und damit die Aufgabe beendet wurde. Das Finden war so gestaltet, dass die Teilnehmer kooperativ arbeiten sollten und deshalb immer abwechselnd einen Block öffnen mussten, sodass jeder Teilnehmer einen der beiden Würfel aufgedeckt hat. Dies hatte die Konsequenz, dass die Teilnehmer das räumliche Erinnerungsvermögen ihres Interaktionspartners nutzen und sich dementsprechend austauschen konnten. In Abbildung 4.4 wird die jeweilige Ansicht beider Teilnehmer über das Display des Tablets während der Objektidentifizierungsphase angezeigt.

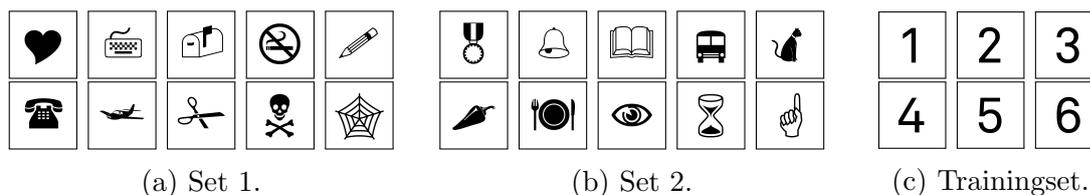


Abbildung 4.5: Würfelsymbole.

In der Studie verwendete Symbolzusammenstellungen (a), (b). Reduziertes Symbol-Set für die Trainingsphase (c). Die Grafiken stammen aus dem Wingdings Zeichensatz.

Objektpositionierungsaufgabe

Im Anschluss zur Objektidentifizierungsphase mussten die Teilnehmer eine Objektpositionierungsaufgabe bewältigen. Die Aufgabe bestand darin die aufgedeckten Würfel aus der vorherigen Identifikationsphase wieder an ihre ursprüngliche Position zu setzen (gleiche Symbole). Jeder Teilnehmer musste dabei jeweils einen Würfel jedes Paares im Raum platzieren, um die Kommunikation zu fördern. Ein wesentlicher Unterschied zum ersten Aufgabenteil bestand darin, dass die Würfel nicht abwechselnd abgelegt werden mussten, sodass jeder Teilnehmer unabhängig vom Kooperationspartner die Freiheit hatte, alle Blöcke, deren Positionen noch in Erinnerung geblieben sind nacheinander zu platzieren. Dieser Aufgabenteil wurde beendet, sobald alle Würfel abgelegt waren und die Teilnehmer mit ihrem Ergebnis zufrieden waren und das Ende der Phase bestätigten. In Abbildung 4.6 wird die räumliche Szene aus Sicht der beiden Teilnehmer dargestellt.



(a) Displayansicht in Raum 1.

(b) Displayansicht in Raum 2.

Abbildung 4.6: Objektpositionierungsphase: 'See-Through'-Ansicht der beiden Teilnehmer.

4.1.5 Ablauf der Studie

Zu Beginn wurde die jeweilige Zweiergruppe begrüßt und die Teilnehmer unterschrieben eine Einverständniserklärung und füllten einen demografischen Fragebogen aus. Im Anschluss dazu wurde anhand eines Textes (siehe Anhang B) eine Einführung in das System und den Prototypen gegeben, welcher während der Studie zu Verwendung kam. Um ein praktisches Verständnis für das System zu bekommen, wurde vor Beginn der eigentlichen Studienaufgabe ein Training für die Objektidentifizierung und Objektpositionierung absolviert (ca. 5 Minuten). Dieses Training diente dazu, dass sich die Versuchsteilnehmer an das System gewöhnen und das Konzept nachvollziehen konnten, um vorläufige Fragen zu beantworten und anschließend einen reibungslosen Studiendurchgang zu ermöglichen. Während der Trainingsphase wurden jedoch statt der zehn Symbolpaare, die später zu lösen waren, nur sechs Paare mit separaten Zahl-Symbolen verwendet, damit die Teilnehmer keinen Vorteil aufgrund des Trainings haben. Nach Beenden der Memory- und Rekonstruktionsphase im Training startete die Gruppe mit der ersten Objektidentifizierungsaufgabe (Memory, ca. 10 Minuten) mit ihrer jeweils zugewiesenen Bedingung (mit/oder ohne virtuelle Objekte). Nachfolgend wurden zunächst der NASA TLX (siehe Anhang C) und dann der TPI Fragebogen (siehe Anhang D) zum Ausfüllen ausgehändigt. Im zweiten Durchlauf wurde die Aufgabe zur Objektpositionierung (Rekonstruktionsphase, ca. 10 Minuten) gestellt. Auch für diesen Teil wurden erneut die beiden Fragebögen NASA TLX und TPI ausgefüllt. Diese zwei Durchläufe wurden mit der jeweiligen anderen Bedingung wiederholt. Wenn vorher die virtuellen Einrichtungsgegenstände eingeblendet waren, wurde bei der Wiederholung diese nun ausgeblendet, ansonsten genau umgekehrt. Insgesamt wurden also vier Aufgaben-Durchgänge mit jeweils zwei auszufüllenden Fragebögen durchgeführt. Abschließend wurde ein Interview durchgeführt, um die Erfahrungen der Versuchsteilnehmer aus den Aufgabenteilen aufzunehmen. Ein kompletter Studiendurchgang dauerte etwa 60 Minuten und die Teilnehmer wurden für ihren Zeitaufwand kompensiert (siehe Tabelle 4.1).

Studienverlauf einer Teilnehmergruppe			
1	Begrüßung		
2	Einverständnis- erklärung	6	Objektidentifizierung
3	Demografischer Fragebogen	7	TLX
4	Einführung	8	TPI
5	Trainingsphase	9	Objektpositionierung
		10	TLX
		11	TPI
		Zweite Hälfte	
		12	Objektidentifizierung
		13	TLX
		14	TPI
		15	Objektpositionierung
		16	TLX
		17	TPI
		18	Interview
		19	Kompensation

Tabelle 4.1: Chronologischer Ablauf einer Studiendurchführung einer Teilnehmergruppe.

In jedem der beiden Räume hat sich während des gesamten Interaktionsverlaufs ein Versuchsleiter aufgehalten, um bei Problemen eingreifen zu können und falls erforderlich dem Teilnehmer Hilfestellung geben zu können.

Da wir die virtuellen Objekte als einzige unabhängige Variable untersuchen und gleichzeitig semantische Assoziationen während der Studie vermeiden wollten (z.B.: „*Das Buch liegt auf dem Regal*“ oder „*Die Katze sitzt auf dem Sessel*“), um unverzerrte Ergebnisse zu erhalten, mussten entsprechende Anpassungen durchgeführt werden, damit in den letzten beiden Aufgabenteilen (in der Wiederholung) Erinnerungen an die erste Hälfte keinen Vorteil verschaffen können. Demnach haben wir sowohl zwei verschiedene Bilder/Texturen Sets als auch zwei unterschiedliche Koordinatensets für die virtuellen

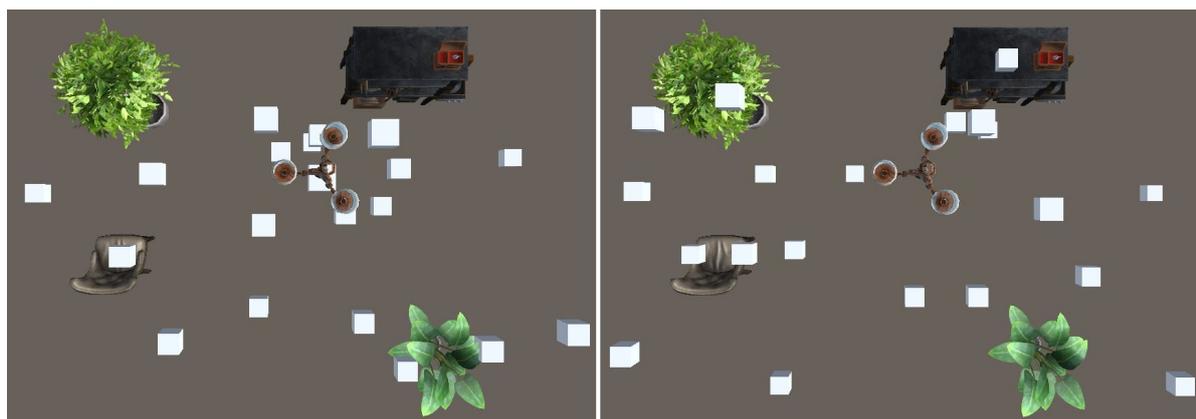


Abbildung 4.7: Unterschiedliche Würfelpositionen – Koordinatensets.

Virtuelle Objekte sind eingeblendet. Links: Würfel-Koordinaten Set 1. Rechts: Veränderte Positionen der Blöcke im 2. Koordinaten Set.

Würfel verwendet. Da in jedem Aufgabenteil zehn Bilderpaare zu identifizieren bzw. positionieren sind, benötigen wir also insgesamt zwei verschiedene Bilderzusammenstellungen mit jeweils zehn paarweise verschiedenen Bildern (siehe Abbildung 4.5).

Analog dazu wurden für jedes Bilderset zwanzig paarweise verschiedene Koordinaten zufällig generiert und angepasst, um direkte semantische Hilfestellungen zu vermeiden und um Überschneidungen mit virtuellen und physischen Objekten zu unterbinden (siehe Abbildung 4.7).

In Tabelle 4.2 ist die jeweilige Bedingungsauswahl für die einzelnen Gruppen dargestellt. Dabei bedeutet eine '0' in den Spalten 'Koordinaten' und 'Bilder', dass das erste Set verwendet wurde und bei einer '1' das zweite. Ab der 9. Gruppe wiederholt sich die Bedingungsreihenfolge, da insgesamt 8 Kombinationen für drei binäre permutierte Bedingungen möglich sind. Die Aufteilung in Hälften ist vereinfacht dargestellt und meint, dass aufeinanderfolgende Identifizierungs- und Positionierungsphasen jeweils unter den gleichen Bedingungen durchgeführt wurden.

Studienablaufplan						
Gruppe	Erste Hälfte			Zweite Hälfte		
	Virt. Obj.	Koordinaten	Bilder	Virt. Obj.	Koordinaten	Bilder
1	Ja	1	0	Nein	0	1
2	Ja	1	1	Nein	0	0
3	Ja	0	1	Nein	1	0
4	Ja	0	0	Nein	1	1
5	Nein	0	0	Ja	1	1
6	Nein	0	1	Ja	1	0
7	Nein	1	1	Ja	0	0
8	Nein	1	0	Ja	0	1
9	Ja	1	0	Nein	0	1
10	Ja	1	1	Nein	0	0
11	Ja	0	1	Nein	1	0
12	Ja	0	0	Nein	1	1
13	Nein	0	0	Ja	1	1
14	Nein	0	1	Ja	1	0
15	Nein	1	1	Ja	0	0
16	Nein	1	0	Ja	0	1

Tabelle 4.2: Gesamter Studienverlauf mit entsprechender Bedingungsreihenfolge.

Ein Studiendurchgang besteht aus zwei Abschnitten. Es gibt zwei verschiedene Koordinaten- und Bildersets. In der zweiten Hälfte werden alle Bedingungen invertiert. Es werden alle Kombinationen permutiert.

4.2 Studiendurchführung

Gemeinsam mit Matthias Kraus wurde im Zeitraum vom 11. bis 20. Januar 2016 die Studie durchgeführt, um die Daten zu erheben, welche zur Analyse unserer beiden Forschungsbereiche erforderlich waren. Dabei wurden pro Studiendurchlauf die Zusammenarbeit jeweils einer Zweiergruppe beobachtet und aufgezeichnet. Insgesamt haben 19 Gruppen an der Studie teilgenommen. Am 11. Januar wurde ein Testdurchlauf durchgeführt, welcher ergab, dass notwendige Änderungen am Forschungsprototypen erforderlich waren. Daher konnten die gewonnenen Daten dieses Durchlaufs nicht genutzt werden. Aufgrund fehlenden Video- bzw. Audiomaterials der 9. und 13. Teilnehmergruppe, wurden die entsprechenden Studien-Durchgänge mit den passenden Bedingungsreihenfolgen (Koordinaten, virtuelle Objekte – unabhängige Variable) am 20. Januar wiederholt, um die auszuwertenden Daten zu vervollständigen.

Studienteilnehmer

Um die Studie durchführen zu können, haben wir 38 VersuchsteilnehmerInnen geworben, die jeweils in Zweiergruppen am Experiment teilgenommen haben. Die 3 Teilnehmergruppen (6 Personen), deren Daten wir nicht verwenden können, werden an dieser Stelle nicht berücksichtigt. Unter den verbleibenden 32 Teilnehmern waren 12 männliche und 20 weibliche Personen im Alter von 19-26 Jahren ($M\ 23, SD\ 2$). 29 Teilnehmer waren Studenten und 3 berufstätig. 10 Versuchsteilnehmer teilten mit, dass sie regelmäßig ein Tablet benutzen (im Durchschnitt seit 2.3 Jahren) und vier Personen gaben an, bereits Erfahrungen mit Mixed Reality Anwendungen gemacht zu haben. Lediglich zwei der Teilnehmer kannten den Raum bereits, indem sie sich während der Bearbeitung der Interaktionsaufgabe aufhielten.

4.3 Auswertung & Ergebnisse

Um die Ergebnisse der Studie zur Beantwortung der Forschungsfrage festzustellen, haben wir die erhobenen Daten ausgewertet, um anschließend in der Ergebnisdiskussion die Forschungsfrage beantworten zu können, ob zusätzliche virtuelle Objekte im MRE die Bearbeitung von Objektpositionierungsaufgaben erleichtern, wenn sich die zusammenarbeitenden Personen in unterschiedlichen Räumen befinden.

Es wurden nicht-parametrische statistische Methoden auf quantitative Daten angewendet, wenn die zu untersuchenden Daten keine Normalverteilung aufwiesen. Um die Ergebnisse überschaubarer zu machen, dient der Index (Subskript) M ('Mit') (e.g. $SD_M = 2.4$), für Ergebnisse bei welchen virtuelle Objekte eingeblendet waren; der Index O ('Ohne') (e.g. $SD_O = 5.1$) wird verwendet, wenn bei den Ergebnissen keine zusätzlichen virtuellen Objekte eingeblendet waren.

4.3.1 Kommunikationsverhalten

Datenvorverarbeitung

Zur Sichtung der Video- (Action-Kamera mit Weitwinkelobjektiv) und Audioaufzeichnungen (TeamSpeak – Mikrofonaufnahme über die Interaktionsgeräte), mussten zunächst alle Dateien der Studiendurchgänge synchronisiert werden. Die Untersuchung des Kommunikation bezüglich der verwendeten Referenzen war ein wichtiger Bestandteil unserer Studie. Daher wurde vor Auswertung des Materials gemeinsam mit Matthias Kraus eine exakte Klassifizierung der einzelnen Referenztypen festgelegt (siehe Anhang F – *Auswertungsvorlage*), welche eine Zusammenfassung verschiedenen Referenzen zulässt.

Definition des Kodierschemas: Referenztypen

Die Klassifizierung wurde in drei Bereiche von Referenzarten aufgeteilt: Absolute, Relative und Deiktische Referenzen (siehe Abbildung 4.8). Innerhalb dieser Klassen wurden weitere Charakteristika unterschieden: virtuelle und reale Bezugnahmen innerhalb der absoluten/relativen Gruppen. Weiterhin wurden relative und deiktische Gesten separat gezählt. Räumliche Hinweise wurden absolut, relativ und deiktisch berücksichtigt, da die Teilnehmer diese entsprechende Referenzen angaben.

- **Absolut:** Referenzklasse für exakte Positionsangaben, die keine Information über die Position der Teilnehmer oder in Bezug zu deren Sichtrichtung benötigt (siehe Abbildung 4.8 gelbe Klasse).
Beispielaussagen: bei/beim/auf + absolute Unterkategorie.
- **Relativ:** Zu dieser Bezugsart wurden alle Hinweise gezählt, die von der Position eines Objektes oder des Teilnehmers abhängt.
Beispielaussagen: weiter vorne o. hinten, neben/über/rechts/links/in Richtung/ + relative Unterkategorie (siehe Abbildung 4.8 orangefarbene Klasse).

Jede der Unterklassen lässt sich separat zusammenfassen und mit den anderen vergleichen. Für reale und virtuelle Unterklassen kann ebenfalls eine Vereinigung gemacht werden, um diese miteinander vergleichen zu können.

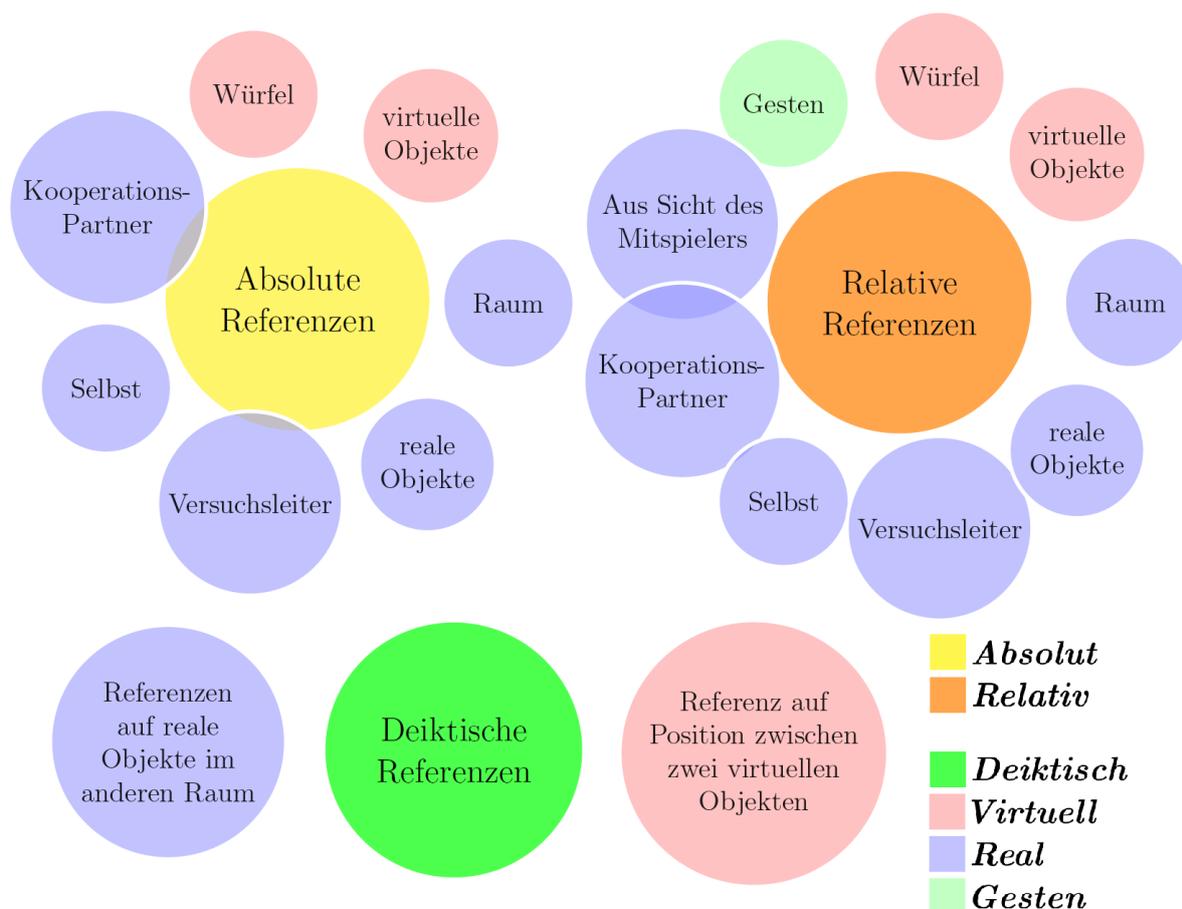


Abbildung 4.8: Referenztypen.

*Klassifizierung und Aufteilung der Referenzarten in zwei Hauptbereiche:
Absolut und **Relativ**.*

Sonderfälle:

- **Gesten:** Da sich die Teilnehmer in einem räumlich getrennten Szenario befanden, war die einzige Möglichkeit Gesten durch Bewegungen des Tablets, welche ausschließlich **virtuell** in der geteilten Mixed Reality Umgebung vom anderen Teilnehmer festgestellt werden konnten. Selten kam vor, dass ein Teilnehmer mit dem Arm in eine Richtung zeigte, da der andere nicht in der Lage war, diese Bewegung überhaupt wahrzunehmen (anderer physischer Raum).
- **Versuchsleiter:** Da die Versuchsleiter sich nur zu Unterstützungszwecken im Raum aufhielten, hatten sie keine virtuelle Repräsentation in der MRE. Daher werden Hinweise dieses Typs bei den realen Referenzen berücksichtigt.

- **Deiktisch:** Jeder Hinweis, der nicht eindeutig den absoluten oder relativen Referenzen zugeordnet werden konnte, wurde durch diese Klasse repräsentiert. Unklare Referenzen gehören weder zum realen noch virtuellen Bereich, da nicht eindeutig festgestellt werden kann, wie der Teilnehmer die kommunizierte Referenz meint. *Beispielaussagen:* hier/da/dort (+ deiktische Unterkategorie).
- **Mitspieler:** Da die Teilnehmer ausschließlich Informationen über die virtuelle Position des Tablets im MRE erhielten, zählen relative sowie absolute Bezugnahmen zu den *virtuellen Referenzen*.
- **Referenz auf Position zwischen zwei virtuellen Objekten oder Würfeln:** Diese virtuelle Referenz benötigt zwei Objekte, weshalb diese Klasse weder in den relativen noch absoluten Bereich gezählt wird.

Diese flexible Kategorisierung der Referenztypen ermöglicht es verschiedene Bereiche miteinander zu vergleichen. Die Festlegung der Oberklassen kam dadurch zustande, da es leichter war festzustellen, ob die untersuchte Referenzaussage relativ, absolut oder deiktisch ist.

Vorbereitung & Verlauf der Untersuchung

Die Auswertung des Materials wurde in zwei Teile halbiert, sodass Matthias Kraus und ich jeweils acht Studiendurchgänge zu analysieren hatten. Zusätzlich wurden zufällig drei aus den acht Durchgängen der jeweils anderen Hälfte ausgewählt und untersucht, um eine Prüfsumme zu erstellen um Abweichungen der Analysen festzustellen und falls notwendig erneute Zählungen durchzuführen. Die Quantifizierung aller Referenzen wurde manuell durchgeführt (siehe Abbildung 4.9). Aus diesem Grund wurde vor der Analyse unter Verwendung der klar strukturierten Klassifizierung ein Testaufzählung durchgeführt, um

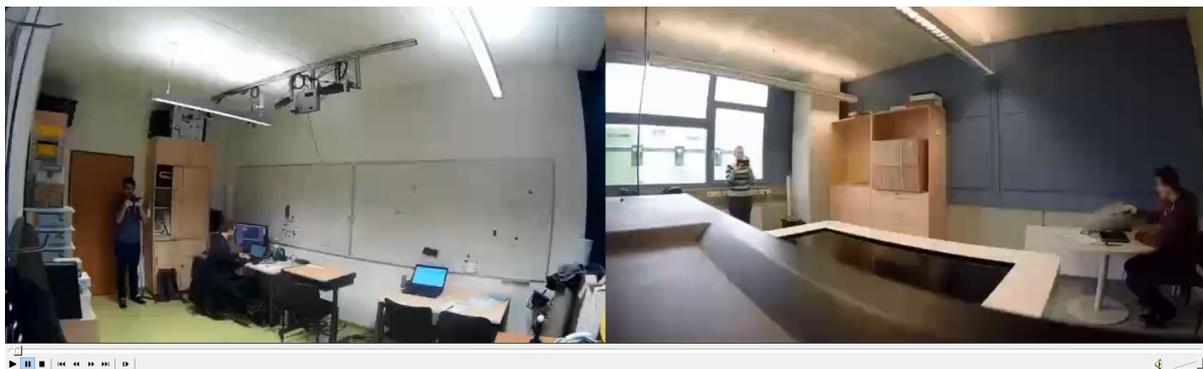


Abbildung 4.9: Audio- und Videoanalyse.

In einer Datei zusammengeführtes Video- und Audiomaterial zur Untersuchung der Teilnehmerkommunikation während der Aufgabenbearbeitung anhand des definierten Kodierschemas. Linke Bildhälfte: Videoaufzeichnung von Raum 1. Rechte Bildhälfte: Videoaufzeichnung von Raum 2.

Missverständnissen vorzubeugen und gemeinsam klare Definitionen der einzelnen Referenzarten zu ermitteln.

Die Auswertungsvorlage (siehe Anhang F) wurde so konzipiert, dass für jedes der vier Aufgabenteile und der beiden Räume die Referenzen separat analysiert wurden, um die Ergebnisse bezüglich der unabhängigen Variablen zu vergleichen. Im Fokus dieser Arbeit liegt die Rekonstruktionsaufgabe und Matthias Kraus Forschungsbereich enthielt die Untersuchung der Identifikationsphase, daher wurden die Daten bezüglich der Räume und Aufgabenteile separat erhoben, um beide Forschungsinhalte adressieren zu können. Die räumliche Unterscheidung wurde vorgenommen, um festzustellen, ob es Abweichungen innerhalb realer und virtueller Referenzen gab, da Raum 2 (siehe Abbildung 4.3b) wesentlich weniger reale Objekte enthielt und deshalb spärlicher eingerichtet war als Raum 1 (siehe Abbildung 4.3a).

Die Auswertungsvorlage enthielt drei weitere Sektionen:

- *Lösungsstrategie*: Hier konnten Anmerkungen der gewählten Strategie zur Bearbeitung des entsprechenden Aufgabenteils gemacht werden.
- *Selbstgespräch*: Selten kam vor, dass Teilnehmer mit sich selbst gesprochen haben, wenn der andere Teilnehmer nicht reagiert hat. Dies wurde in diesem Abschnitt protokolliert.
- *Sonstige Anmerkungen*: Kategorie zum Sammeln von Informationen, die in keine der festgelegten Klassifizierungen passten. (z.B. physische Gesten, die nicht vom anderen Teilnehmer wahrgenommen werden können).

Abschließend wurden die Ergebnisse der Auswertung statistischen Methoden unterzogen (SPSS) um Tendenzen bei den verwendeten Referenzquantifizierungen festzustellen. Es wurden insgesamt 19 Referenzklassen (siehe Abbildung 4.8) quantifiziert und ausgewertet.

Ergebnisse

Die Verteilung der Referenzen wird nachfolgend für jeden Aufgabenteil mithilfe von Diagrammen zur Veranschaulichung separat angegeben. Die Angabe im Diagramm erfolgt in Prozent anstatt mit Absolutwerten, um einen besseren Vergleich und Überblick zu gewährleisten.

Objektidentifizierung / Memory:

Ein Gesamtüberblick über die Verteilung der genannten Referenzen während der Bearbeitung in der Objektidentifizierungsphase wird in Abbildung 4.10 dargestellt. Dabei ist eine Unterscheidung in drei Referenz-Gruppierungen maßgebend: *Absolut*, *Relativ* und *Uneindeutig*. Das Diagramm zeigt die Verteilung aller Referenzen auf die 19 Unterkategorien, der im Vornherein zur Klassifizierung fest gelegt wurden.

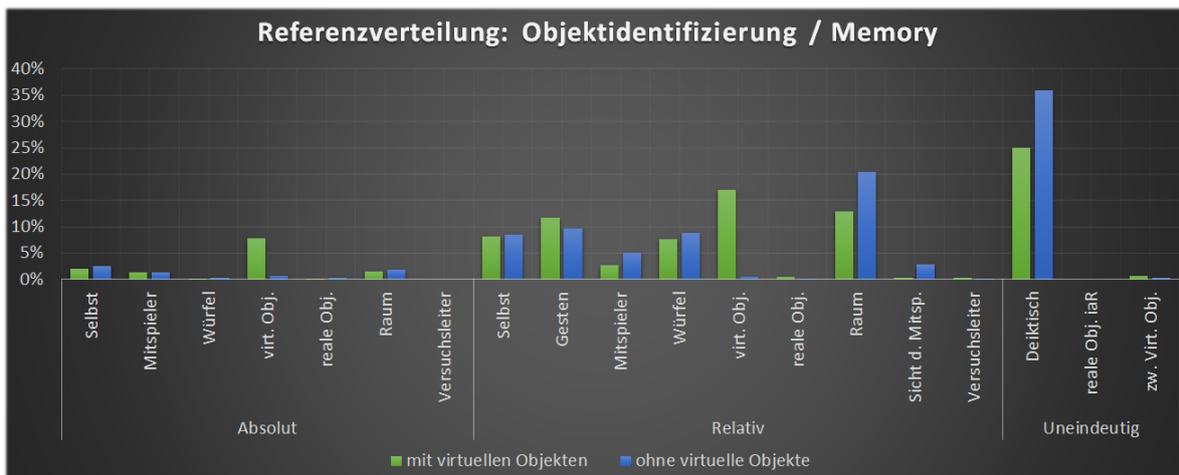


Abbildung 4.10: Objektidentifizierung: Prozentuale Verteilung der räumlichen Referenzen.

Aufteilung nach Oberklassen (Absolut, Relativ, Deiktisch/Uneindeutig).

Während der Objektidentifizierungsphase wurden insgesamt 862 (Absolut: 118, Relativ: 528, Deiktisch: 216) Referenzen identifiziert, wenn virtuelle Objekte präsent waren, jedoch nur 781 (Absolut: 60, Relativ: 440, Deiktisch: 281), als diese ausgeblendet wurden. Die häufigsten Referenzen kommen für beide Aufgabenstellungen in der Klasse 'Deiktisch' vor, da in erster Linie uneindeutige Aussagen gemacht wurden. Jedoch ist ein klarer Unterschied zu erkennen: Waren virtuelle Objekte im Raum vorhanden, dann reduzierten sich die Anzahl deiktischer Referenzen von 281 auf 216. Zudem konnten die Teilnehmer auf virtuelle Objekte Bezug nehmen, wenn diese vorhanden waren (67 Referenzen). In der Kategorie 'Absolut' wurden hauptsächlich auf die Teilnehmer selbst und deren virtuelle Tablet Repräsentation verwiesen, sowie auf virtuelle Objekte (sofern vorhanden). Da die Reihenfolge der Bedingungen während der Studie permutierte, kam es jedoch auch vor, dass virtuelle Objekte aus der Erinnerung heraus referenziert wurden, selbst wenn diese zum Zeitpunkt der Verwendung nicht mehr eingeblendet waren (5 Referenzen). Jedoch wurden bei keiner Memory-Bearbeitung Referenzen auf reale Objekte im anderen Raum ('Uneindeutig – reale Obj. iaR') und lediglich 9 (mit und ohne VO) auf physischen Objekte im eigenen Raum identifiziert. Daher enthält die Kategorie 'Uneindeutig' primär deiktische Referenzen, da auch nur selten Verweise zwischen virtuelle Objekte genannt

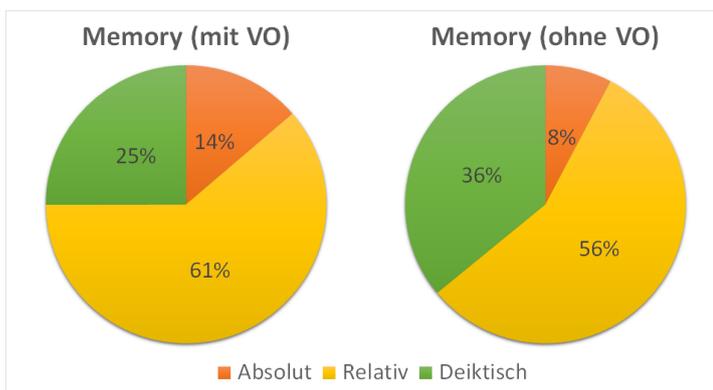


Abbildung 4.11: Prozentuale Referenzverteilung bei Objektidentifizierung.

wurden. Vorrangig wurden *relative* Referenzen genutzt: 440 (56% ohne VO) bzw. 528 (61% mit VO). Die Häufigkeit der *deiktischen* Referenzen reduzierte sich mit virtuellen Objekten um 11% und teilte sich beinahe gleichmäßig (5-6%) auf relative und absolute Referenzen auf (siehe Abbildung 4.11).

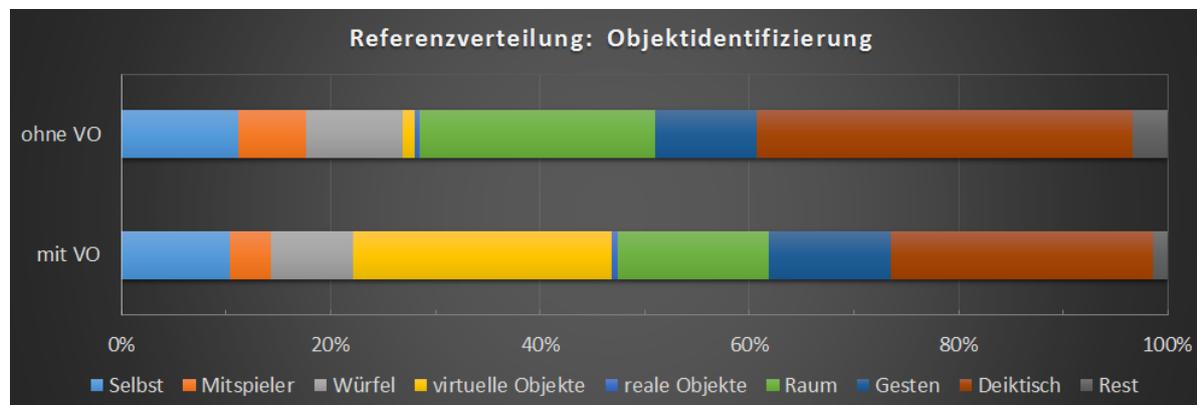


Abbildung 4.12: Objektidentifizierung – Prozentuale Referenzverteilung.

Aggregation der Unterkategorien – Zusammenfassung absoluter und relativer Referenzen.

Die relativen und absoluten räumlichen Hinweise lassen sich anhand ihrer Unterklassen zusammenfassen (siehe Abbildung 4.12): Über 20% aller Referenzen bezogen sich auf virtuelle Objekte, sobald diese eingeblendet wurden. Außerdem reduziert sich die prozentuale Anteil der Referenzen in jeder Kategorie (außer Gesten) und verteilt sich auf die *relative* Klasse. Bei der Verwendung von relativen und absoluten Referenzen *virtueller Objekte* konnte anhand des Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests ein signifikanter Unterschied festgestellt werden:

Referenzen auf virtuelle Objekte:

- **Absolut** – $M_M = 4.2$, $SD_M = 3.1$, $M_O = 0.3$, $SD_O = 1.2$, $p = 0.001$.
- **Relativ** – $M_M = 9.1$, $SD_M = 8.1$, $M_O = 0.2$, $SD_O = 0.7$, $p = 0.001$.

Weitere signifikante Unterschiede gibt es in den Referenz-Kategorien '*Mitspieler – relativ*' ($M_M = 1.4$, $SD_M = 2$, $M_O = 2.5$, $SD_O = 1.9$, $p = 0.026$) und '*Sicht des Mitspielers*' ($M_M = 0.1$, $SD_M = 0.2$, $M_O = 1.4$, $SD_O = 2$, $p = 0.019$).

Objektpositionierung / Rekonstruktion

Die Ergebnisse der zweiten Aufgabenstellung (Rekonstruktion) sind den Quantitäten aus dem Teil der Objektidentifizierung sehr ähnlich. Da die Position der Würfel zum Platzieren während der Positionierungsaufgabe wichtiger ist und dementsprechend das Lösen der Aufgabestellung im Durchschnitt etwa 1.5 Minuten länger dauerte, konnten auch mehr Referenzen als in der Identifizierungsphase festgestellt werden.

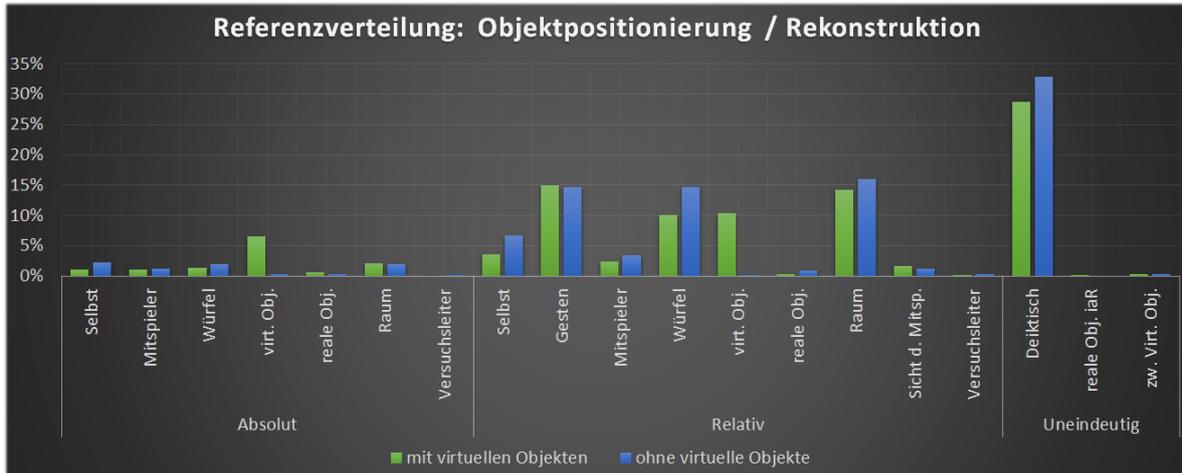


Abbildung 4.13: Objektpositionierung: Prozentuale Verteilung der räumlichen Referenzen.

Aufteilung nach Oberklassen (Absolut, Relativ, Deiktisch/Uneindeutig).

Analog Überblick-Darstellung des Memory, gibt Abbildung 4.13 die prozentuale Verteilung räumlicher Referenzbezüge an, welche die Teilnehmer genutzt haben. Die Gesamtanzahl aller Referenzen erhöht sich um 287 auf 1049, wenn virtuelle Objekte vorhanden waren. Waren diese nicht präsent, konnten sogar 1112 festgestellt werden. Im Vergleich zum Memory wurden unabhängig von der Präsenz virtueller Objekte mehr Gesten (+5%) ausgeführt und ein stärkerer Bezug (sowohl *relativ* (+3%) als auch *absolut* (+2%) auf die zu platzierenden Würfel (inkl. Schablone) genommen. Die Anzahl deiktischer Referenzen beläuft sich auf 365_O (33%) und verringerte sich auf 301_M (29%) sowie die Zahl absoluter Referenzen von 141_O (13%) auf 98_M (9%; siehe Abbildung 4.14). Im Gegensatz zur Identifikation steigerte sich jedoch die Anzahl relativer Referenzen von 607_M auf

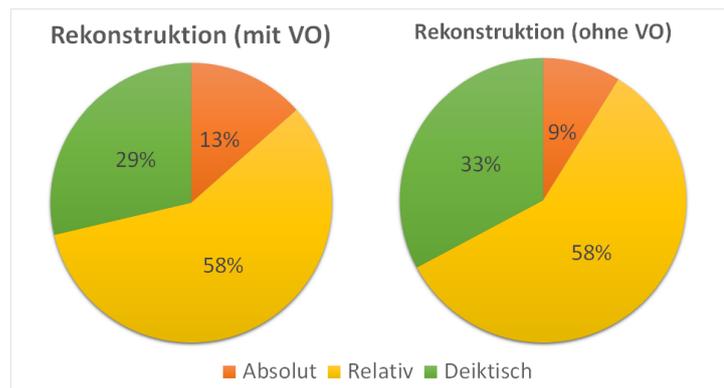


Abbildung 4.14: Prozentuale Referenzverteilung bei Objektpositionierung.

649_O. Dies ist auf den Anstieg der Gesten und Referenzen auf die Würfel zurückzuführen, die zur Richtungsangabe für den Kooperationspartner notwendig waren. Es gab zudem Referenzen, die nur bei der Rekonstruktionsaufgabe gebraucht wurden: Referenzen auf den *Versuchsleiter (absolut)* (2_O) und auf reale Objekte im *anderen Raum* (2_M). Signifikante Unterschiede sind in bei folgenden Unterkategorien zu verzeichnen:

- **'Selbst':**

'absolut': $M_M = 0.7$, $SD_M = 0.6$, $M_O = 1.6$, $SD_O = 2.1$, $p = 0.041$.

'relativ': $M_M = 2.3$, $SD_M = 2.0$, $M_O = 4.7$, $SD_O = 3.1$, $p = 0.003$.

- **'Würfel':**

'relativ': $M_M = 6.6$, $SD_M = 4.0$, $M_O = 10.2$, $SD_O = 7.9$, $p = 0.038$.

- **'virtuelle Objekte':**

'absolut': $M_M = 4.3$, $SD_M = 2.5$, $M_O = 0.25$, $SD_O = 1.0$, $p = 0.001$.

'relativ': $M_M = 6.8$, $SD_M = 3.7$, $M_O = 0.19$, $SD_O = 0.54$, $p = 0.000$.

Alle dieser fünf Kategorien haben gemeinsam, dass die Anzahl der Referenzen sich reduziert, sobald virtuelle Objekte eingeblendet wurden, da diese bei der Auswahl von den Teilnehmern priorisiert wurden, um den Kooperationspartner Anweisungen zu geben. Ein gemischte Verteilung relativen und absoluten relativen Referenzen wird in Abbildung 4.15 dargestellt. Wie schon in der Memory-Phase, werden auch hier prozentual alle Klassen reduziert und die Referenzklasse *'virtuelle Objekt: absolut & relativ'* gewinnt an Bedeutung (+17%). Die virtuellen Objekte werden demnach stark berücksichtigt und gegenüber anderer Referenzarten bevorzugt.

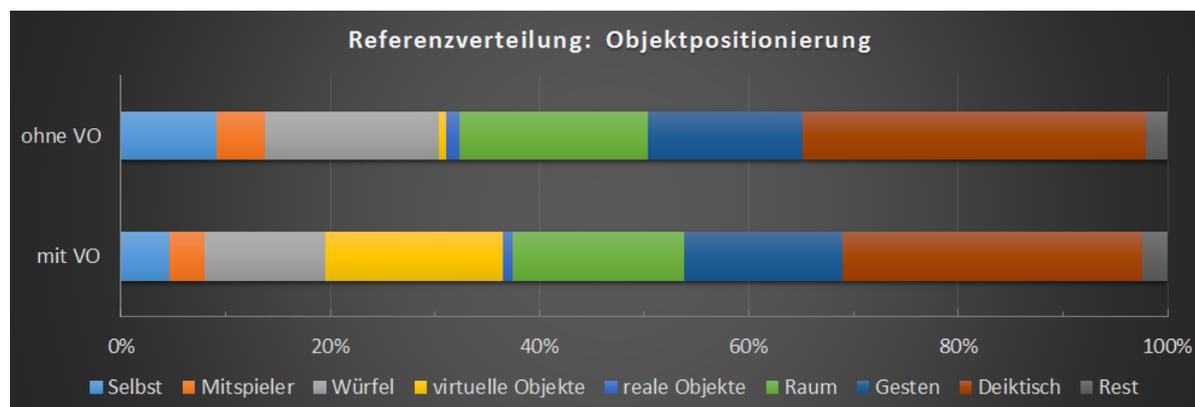


Abbildung 4.15: Objektpositionierung – Prozentuale Referenzverteilung.

Aggregation der Unterkategorien – Zusammenfassung absoluter und relativer Referenzen.

Memory & Rekonstruktion Zusammenfassung

Verknüpft man das Kommunikationsverhalten der Teilnehmer aus beiden Aufgabenteilen, dann sind 59% relative und nur 14% absolute räumliche Referenz Aussagen, wenn die virtuellen Einrichtungsgegenstände eingeblendet waren (siehe Abbildung 4.16). Die restlichen 27% bestehen aus deiktischen Hinweisen. Wird die Bedingung nun verändert und die virtuellen Objekte aus dem Szenario entfernt, dann ändert sich das Ergebnis maßgebend: Sowohl die absoluten (-6%) und relativen (-2%) prozentualen Referenzwerte reduzieren sich und es findet eine Verschiebung in den deiktischen Bereich (27% → 35%) statt.

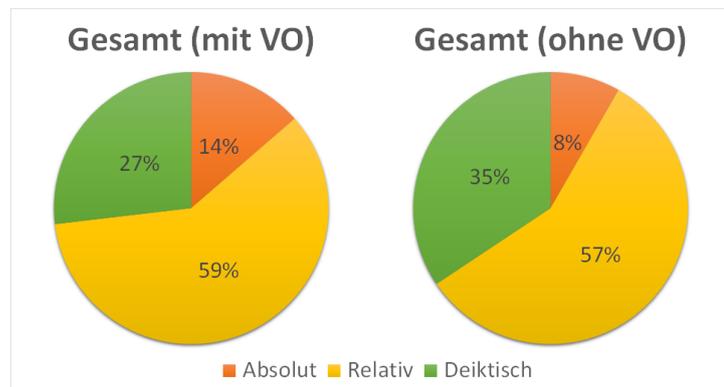


Abbildung 4.16: Gesamte prozentuale Referenzverteilung.

4.3.2 User Task Load – NASA TLX

Die Benutzeranforderung der Aufgaben wurde anhand des TLX Fragebogens in sechs verschiedenen Kategorien gemessen: *Geistige*, *Körperliche* und *Zeitliche Anforderung*, sowie *Leistung*, *Anstrengung* und *Frustration*. Die durchschnittlichen Werte aller Studiendurchläufe sind für die jeweilige Aufgabenstellungen mit/ohne virtueller Objekte in Abbildung 4.17 veranschaulicht: Ein hoher Wert bedeutet, dass die Anforderung höher war als bei niedrigeren Werten. In der Kategorie *Leistung* bedeutet ein hoher Wert je-

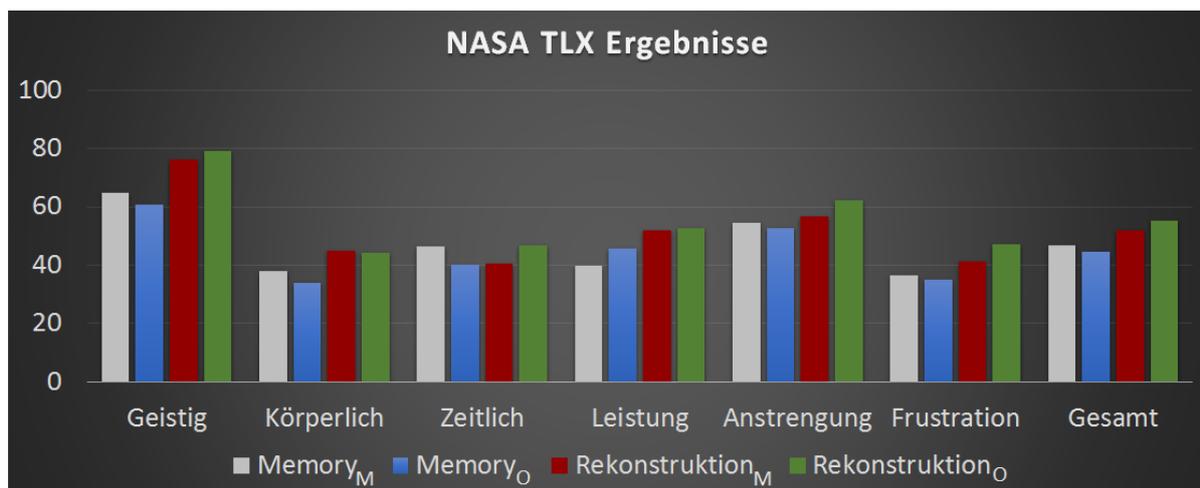


Abbildung 4.17: NASA TLX Fragebogen Ergebnisse: Aufgabenteile separat dargestellt.

doch, dass der Benutzer eine höhere Anforderung hatte und demnach eine, subjektiv betrachtet, schlechtere Leistung erbringen konnte. Demnach deuten niedrige Werte in dieser Kategorie ebenfalls auf eine bessere Leistung hin. Anhand des Diagramms sind die jeweiligen Unterschiede deutlich zu erkennen und es ist zusätzlich die Gesamtanforderung (ganz rechts) angegeben, um einen Gesamtvergleich zu ermöglichen. Anhand des Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests (WVRT) konnte zudem ein signifikanter Unterschied der zeitlichen Anforderung bei der Objektpositionierungsaufgabe (Rekonstruktion) festgestellt werden. Waren die virtuellen Objekte ausgeblendet, so wurde die benötigte Zeit von den Teilnehmern zum Lösen der Aufgabe subjektiv höher wahrgenommen, als wenn diese im Raum vorhanden waren: $M_M = 40.6$, $SD_M = 19.9$, $M_O = 46.9$, $SD_O = 22.46$, $p = 0.048$. Die durchschnittliche Gesamtbelastung ist im Memory-Teil höher eingestuft, wenn virtuelle Objekte zur Verfügung gestellt wurden. Bei der Rekonstruktionsphase verhielt es sich auf umgekehrte Weise. In den Kategorien '*zeitliche Anforderung*' und '*Gesamtanforderung*' konnten aufgrund normalverteilter Daten der t-Test angewendet werden, der allerdings keine bedeutenden Signifikanzen aufwies. Bei den Daten der Objektidentifizierungsphase waren die Daten aus den Kategorien '*Leistung*', '*Anstrengung*', '*Frustration*' und '*Gesamt*' normalverteilt. Bis auf die Kategorie '*Anstrengung*' waren jedoch auch hier keine Signifikanzen vorhanden. In der Kategorie '*Anstrengung*' konnte ein signifikanter Unterschied festgestellt werden: Waren die virtuellen Objekte während der Aufgabebearbeitung präsent, dann wurde die subjektiv erfahrene Anstrengung der Teilnehmer geringer angegeben ($M_M = 56.7$, $SD_M = 19.3$, $M_O = 62.2$, $SD_O = 20.9$, $p = 0.047$).

4.3.3 Telepräsenz – Temple Presence Inventory

Der Temple-Presence-Inventory Fragebogen wurde verwendet, um festzustellen, wie stark die Teilnehmer während der Aufgabebearbeitung die Präsenz des Teampartners in der gemeinsamen '*Mixed Reality Umgebung*' wahrgenommen haben (Lombard et al., 2009). Die ersten beiden Fragen (***Koordination und Kommunikation***) stammen nicht aus dem eigentlichen TPI Fragebogen und wurden hinzugefügt, um anwendungsspezifische Ergebnisse zu erhalten. Insgesamt wurden anhand des Fragebogens 16 Einschätzungen abgefragt, um die Wahrnehmung verschiedener Aspekte zu untersuchen. Anhand dieser Daten wurden der Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test (WVRT) und t-Test durchgeführt, um signifikante Unterschiede festzustellen. Nachfolgend werden die einzelnen Bereiche skizziert dargestellt und anschließend eine tabellarische Gegenüberstellung der Kategorien gegeben, um Unterschiede während der Aufgabenstellungen der gegenseitigen Wahrnehmung bezüglich der Einblendung virtueller Objekte festzustellen (siehe Anhang D. Alle Fragen unterlagen einer Skala mit den Werten von 1, wenn die Ausprägung/Wahrnehmung sehr gering stattfand, bis 7, wenn eine starke Ausprägung vorlag.

- ***Koordination***: Möglichkeiten zum Koordinieren der Aktionen.
- ***Kommunikation***: Kommunikationsmöglichkeiten räumlicher Information.
- ***Wahrnehmung***: Gegenseitige Sinneswahrnehmung (Sehen, Hören).

- **Interaktion:** Ausprägung: Gefühl der wechselseitigen Interaktion mit dem Partner, die gehört / gesehen werden konnte.
- **Nachvollziehbarkeit:** Nachvollziehbarkeit der Bewegungen und örtliche Präsenz des wahrgenommenen Partners.
- **Anwesenheit:** Positionswahrnehmung: Gefühl der gegenseitigen Anwesenheit am gleichen Ort.
- **Gesprächswahrnehmung:** Häufigkeit der Wahrnehmung, dass die gegenseitige Kommunikation als Ansprache verstanden wird.
- **Augenkontakt:** Häufigkeit der (gewünschten) Kontaktaufnahme mit dem Teilnehmer, falls über Sehen/Hören wahrgenommen.
- **Interaktionskontrolle:** Wahrgenommene Ausprägung der Interaktionskontrolle über das verwendete Interaktionsmedium (Project Tango Tablet).

Die restlichen sieben Fragen enthielten jeweils zwei gegensätzliche Begriffe, bei denen eine Tendenz angegeben werden sollte und daher keine nähere Definition erfordern. Diese werden in Abbildung 4.18 skizziert dargestellt. Es handelt sich bei allen Begriffen um Adjektive, die einen Bereich der subjektiven Wahrnehmung beinhalten.

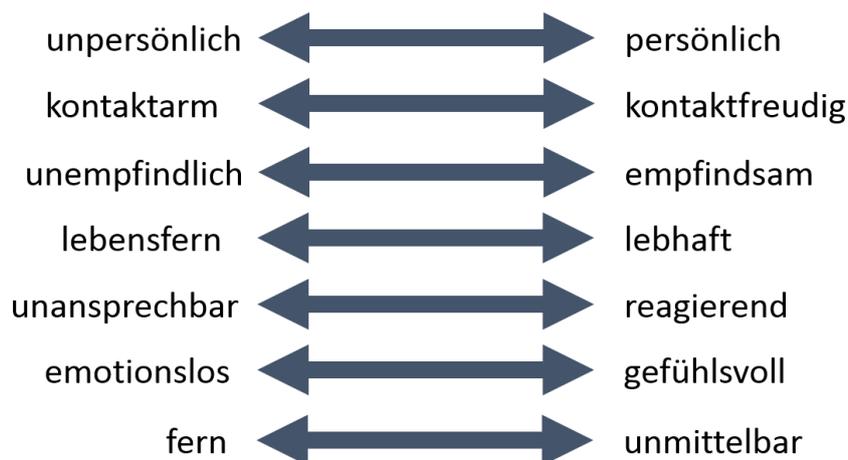


Abbildung 4.18: Wahrnehmungseinschätzung: TPI Fragebogen - letzte 7 Fragen.

Vergleich anhand der unabhängigen Variablen: virtuelle Objekte. Es werden für jede Kategorie die durchschnittlichen Werte angegeben.

In Abbildung 4.19 ist ein Verlauf der Ergebnisse aus dem Fragebogen dargestellt, die anhand der festgelegten Klassen festgestellt werden konnten. Das Diagramm enthält beide Aufgabenteile (Memory und Rekonstruktion), um die Ergebnisse anhand der Präsenz virtueller Objekte aufgabenweise getrennt zu vergleichen. Obwohl die Fragen mit Werten im Bereich von 1 bis 7 beantwortet werden konnten, liegen die Mittelwerte nur im mittleren Wertebereich (3-6).

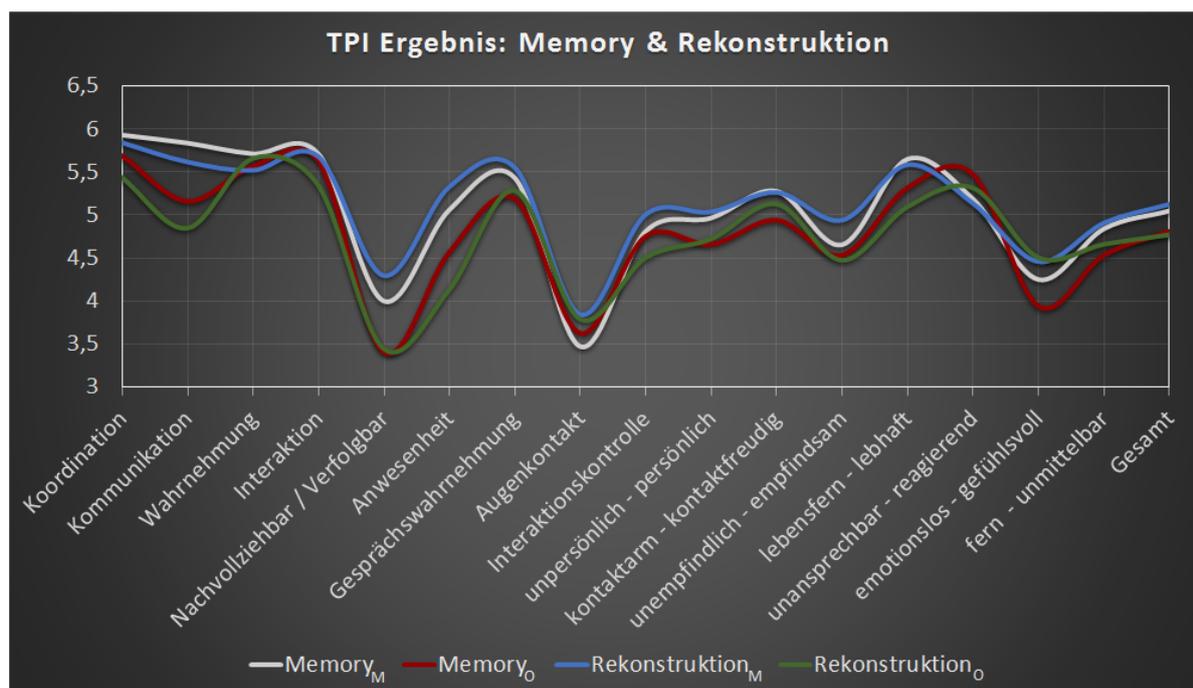


Abbildung 4.19: TPI Ergebnisse: Durchschnittswerte.

Vergleich anhand der unabhängigen Variablen: virtuelle Objekte. Es werden für jede Kategorie die durchschnittlichen Werte angegeben.

Alle Kurven haben einen in etwa gleichförmigen Verlauf und man kann verschiedene Abweichungen erkennen. Die weiße (Objektidentifizierung) und blaue (Objektpositionierung) Kurve deuten an, dass die wahrgenommene Präsenz des anderen Teilnehmers allgemein besser ausfällt, wenn virtuelle Objekte vorhanden sind. In der Kategorie 'Nachvollziehbar / Verfolgbar' ist der Wert für beide Aufgabenstellungen um über 0.5 besser, wenn die Bedingung, dass virtuelle Objekte vorhanden waren, erfüllt ist. Diese Kategorie enthält neben 'Augenkontakt' außerdem die niedrigsten Werte, welche andeuten, dass die Teilnehmer es schwer einschätzten, dem Mitspieler bei Bewegungen und Aktionen zuzuschauen und dessen Aktivitäten nachzuvollziehen. Es konnte anhand des Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests ein signifikanter Unterschied für beide Aufgabenteile bezüglich der Kategorie '**Nachvollziehbarkeit**' festgestellt werden:

- **Memory:** $M_M = 4.0$, $SD_M = 1.7$, $M_O = 3.4$, $SD_O = 1.7$, $p = 0.035$
- **Rekonstruktion:** $M_M = 4.2$, $SD_M = 1.9$, $M_O = 3.4$, $SD_O = 1.7$, $p = 0.021$

Die Teilnehmer gaben außerdem an, dass kaum Augenkontakt möglich war, was darauf zurückzuführen ist, dass die Versuchspartner sich gegenseitig nur anhand einer virtuellen Repräsentation des Tablets 'sehen' konnten. Ebenfalls im vergleichsweise unteren Bereich befindet sich zudem der Mittelwert zur Kategorie 'emotionlos - gefühlsvoll'. Ein zweiter signifikanter Unterschied für beide Aufgaben konnte in der Kategorie '**Kommunikation**' festgestellt werden:

- **Memory:** $M_M = 5.8$, $SD_M = 0.9$, $M_O = 5.1$, $SD_O = 1.6$, $p = 0.025$
- **Rekonstruktion:** $M_M = 5.7$, $SD_M = 1.0$, $M_O = 4.8$, $SD_O = 1.5$, $p = 0.003$

Für die Objektidentifizierungsaufgabe konnten bezüglich der Bedingung, ob virtuelle Objekte einblendet wurden, keine weiteren *signifikanten* Unterschiede mehr festgestellt werden.

Unabhängig von den bereits genannten signifikanten Unterschieden in beiden Teilaufgaben wurden bei der **Objektpositionierungsaufgabe** noch folgende weitere Signifikanzen anhand des WVRT-Tests gefunden:

- **'Anwesenheit':**
 $M_M = 5.3$, $SD_M = 1.2$, $M_O = 4.1$, $SD_O = 1.8$, $p = 0.001$.
- **'Interaktionskontrolle':**
 $M_M = 5.0$, $SD_M = 0.9$, $M_O = 4.5$, $SD_O = 1.3$, $p = 0.023$.
- **'unpersönlich – persönlich':**
 $M_M = 5.0$, $SD_M = 1.5$, $M_O = 4.7$, $SD_O = 1.3$, $p = 0.012$.
- **'unempfindlich – empfindsam':**
 $M_M = 4.9$, $SD_M = 1.0$, $M_O = 4.4$, $SD_O = 1.2$, $p = 0.037$.
- **'lebensfern – lebhaft':**
 $M_M = 5.6$, $SD_M = 1.0$, $M_O = 5.0$, $SD_O = 1.2$, $p = 0.009$.

In jeder dieser Kategorien spielt das Vorhandensein virtueller Referenzobjekte eine wesentliche Rolle für eine bessere Präsenz-Wahrnehmung in der 'Mixed Reality Umgebung'. Die höchste Signifikanz liefert die Kategorie *'Anwesenheit'* ($p = 0.001$) und gibt an, dass sich die Personen während dem Positionieren der Würfel leichter lokalisieren konnten, wenn die virtuellen Objekte eingeblendet waren. Unter der gleichen Bedingung wurde die Rekonstruktionsaufgabe von den Versuchsteilnehmern zudem *signifikant* 'persönlicher', 'empfindsamer/sensitiver' und 'lebhafter' wahrgenommen (subjektiv).

Insgesamt deuten die Ergebnisse der TPI-Auswertung daraufhin, dass besonders für die Objektpositionierung im virtuellen Raum virtuelle Referenz-Objekte eine entscheidende Rolle bei der Wahrnehmung der eigenen und gegenseitigen Präsenz spielen. Interaktionen werden kontrollierter wahrgenommen und das Szenario wirkt insgesamt lebhafter und sinnempfindlicher.

4.3.4 Interview

Das abschließende Interview wurde mit beiden Teilnehmern gleichzeitig durchgeführt, um qualitative Ergebnisse des subjektiv wahrgenommenen Unterschieds bezüglich der unabhängigen Variablen bei der Bearbeitung der zwei verschiedenen Interaktionsaufgaben zu erhalten. Die Struktur des Interviews (siehe Anhang E) war so aufgebaut, dass die

Teilnehmer persönliche Präferenzen angeben konnten. Dazu gehörte, welche Bedingung (virtuelle Objekte ein-/ausgeblendet) bevorzugt wurde oder wie wichtig die physische Umgebung für die Personen war. Jeder der beiden Teilnehmer war aufgefordert, eigene Angaben zu machen, da sie sich während der Aufgabenbearbeitung in unterschiedlichen Räumen aufhielten und damit unterschiedliche Eindrücke haben könnten. Zudem wurde jede Teilnehmergruppe befragt, ob es einen Unterschied bei der Bearbeitung der verschiedenen Aufgabenteile in Bezug auf die Einblendung virtueller Objekte gab. Teil der Befragung war zudem, an welche virtuellen oder physischen Objekte, die sie zur Aufgabenbearbeitung besonders wahrgenommen und daher wichtig zur räumlichen Zuordnung waren, sich die Gruppenpartner erinnern konnten. Am Ende des Interviews hatten die Teilnehmer die Möglichkeit, anzugeben, welche Features/Funktionen (ihrer Meinung nach) die gegenseitige Abstimmung zusätzlich verbessert hätte. Da jede Teilnehmergruppe unterschiedliche Lösungsstrategien hatten, wurde auch die Umgebung unterschiedlich wahrgenommen, was sich auch im Ergebnis des Interviews widerspiegelt.

Ohne Ausnahme wurde von allen Teilnehmern angegeben, dass sie es bevorzugten, wenn die virtuellen Einrichtungsgegenstände bei der Aufgabenbearbeitung im Raum präsent waren, da sie das Erinnern an die Positionen der Würfel vereinfacht hätten. Vierzehn Teilnehmergruppen gaben an, die virtuellen Objekte als Orientierungsbasis genutzt zu haben, da der Bezug zu den Würfeln leichter herzustellen war, als zu realen Objekten, da sich diese in beiden Räumen deutlich unterschieden. Die virtuellen Objekte waren aufgrund ihres illustrativen Charakters leicht von der physischen Umgebung zu unterscheiden und konnten von den Kooperationspartnern als gemeinsame Grundlage zu Navigation verwendet werden.

Mehrere Personen gaben an, dass es im Szenario, bei dem die virtuellen Objekte eingeblendet waren, leichter war, sich die Positionen der Würfel zu merken, um diese in der zweiten Phase an der richtigen Stelle zu platzieren. Bevor eine ausführliche Befragung zur physischen Umgebung durchgeführt wurde, wurden die Teilnehmer gebeten (jeweils für sich) einen Wert auf der Skala von 1 (unwichtig) bis 10 (sehr wichtig) anzugeben, wie bedeutend für sie die reale Umgebung zur Bearbeitung beider Aufgabenteile gewesen war. 28% gab an, dass der reale Raum für sie unwichtig gewesen ist (Skala: 1-3). 22% benannten ihn für sehr wichtig (Skala: 8-10). die restlichen 50% gaben im Mittelfeld eine Tendenz zu eher wichtig an (Skala: 4-7). In Abbildung 4.20 werden die absoluten Nennungen inklusive Raumaufteilung dargestellt ($M_{M\&O} = 5.4$, $SD_{M\&O} = 2.6$, $Md_{M\&O} = 5.5$). Im Durchschnitt wurde der reale Raum von den Teilnehmern aus Raum 2 etwas wichtiger dargestellt ($M = 5.69$) im Vergleich zu den Teilnehmern aus Raum 1 ($M = 5.06$).

Auf die anschließende Frage, wie wichtig die reale Umgebung zur Lösung der Aufgabenstellung war, wurden verschiedene Antworten gegeben: Im Allgemeinen wurde die reale Umgebung als *unwichtig* eingeschätzt, da sie sich in den Räumen stark voneinander unterschieden haben. „Ich habe die reale Umgebung komplett ausgeblendet!“ und „Ich hätte auch in einem leeren Raum stehen können!“ sind ein paar der Antworten, deren Inhalt die subjektiv empfundene Unwichtigkeit der realen Umgebung darlegt. Ein Teilnehmer teilte mit, dass die physische Umgebung ihn abgelenkt hätte, da er versucht habe, anhand ihrer den Partner zu navigieren, um anschließend festzustellen, dass dieser

seine Referenzen nicht nachvollziehen könne.

Jedoch wurde auch kommuniziert, dass die reale Umgebung eine hilfreiche Stütze zur grundsätzlichen (unterbewussten) Orientierung darstelle. Das lag vor allem daran, dass die Tiefeneinschätzung der virtuellen Szene schwerer war, als die reale Umgebung und die Teilnehmer von ihrem Standpunkt aus, welcher einen Ankerpunkt in der realen Umgebung darstellt, die Schritte zur Position der Würfel gezählt haben, um eine exakte Erinnerung zu ermöglichen. Ein Teilnehmer meinte außerdem, dass die reale Umgebung dahingehend wichtig sei, dass sie räumliche Grenzen angibt: „In einer Sporthalle ohne Wände“ wäre dies wesentlich schwerer gewesen. Weitere Angaben enthielten Informationen, dass die reale Umgebung keinen „Schwankungen“ unterliegt. Die Bewegungssensoren der Tablets sind durch die Schnelligkeit des Routers und die Hardware eingeschränkt und hätten trotz Korrekturen hin und wieder leichte Verschiebungen verursacht.

Die Frage, ob die physische Umgebung in einer der beiden Aufgabenteile wichtiger gewesen sei, wiesen 56.2% darauf hin, dass für die Positionierung der Würfel die reale Umgebung eine wichtigere Rolle gespielt hätte, da das Memory auch gelöst werden könne, in dem man sich fast durchgehend an der gleichen Position aufhält. Weniger Teilnehmer merkten an, dass sie die reale Umgebung für beide Aufgaben gleich stark gebraucht hätten, da sie bereits beim Bearbeiten der ersten Phase, in Voraussicht auf die Platzierung, versucht haben, sich die Position genau zu merken. Dazu sei die physische Umgebung durchaus relevant gewesen. Nur wenige Meinungen enthielten die Aussage, dass die reale Umgebung für den ersten Teil vollständig vernachlässigbar gewesen sei, da die relative Position zu den geöffneten Paaren immer zur eigenen Position ausreichend nachvollziehbar gewesen sei.

Ein weiterer Teil der Befragung war die Feststellung zur Lösung der Aufgaben besonders genutzter Objekte (real und virtuell). Drei Teilnehmer, die sich im ersten Raum be-

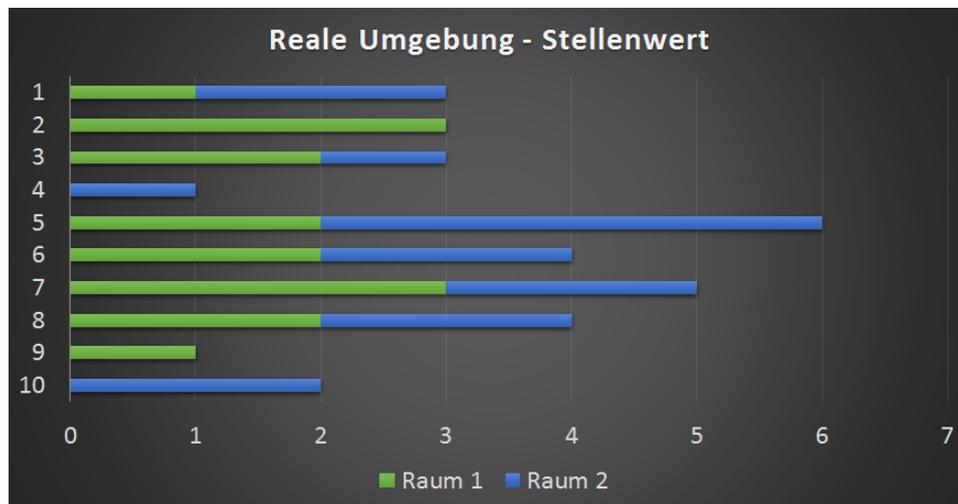


Abbildung 4.20: Wichtigkeit der realen/physischen Umgebung.

Stellenwert des realen Raumes während der Aufgabenbearbeitung für die Teilnehmer – räumliche Aufteilung. Skala: 1 (unwichtig) bis 10 (wichtig).

fanden, erklärten, dass sie das physische Regal und den im Raum enthaltenen Tisch/Werkbank genutzt haben. Jeweils ein Teilnehmer nutzte die realen Deckenlampen, ein anderer die Tür und ein weiterer die Wände des Raumes, um Distanzen besser abzuschätzen. Ein Teilnehmer nutzte den Versuchsleiter in Raum 1 zur Referenzierung. Der Boden enthielt zudem einige Markierungen, welche einmal erwähnt wurden, um die Position genauer im realen Raum abzuschätzen.

Besonders auffallend im zweiten Raum war der große Tisch, der im Zentrum des Raumes platziert war, da es häufig zu Kollisionen und einer Barriere im virtuellen Raum geführt hat (10 Nennungen). Weitere wichtige physische Objekte, die den Teilnehmern aus Raum 2 in Erinnerung blieben, waren die Heizung (1 N.), der Versuchsleiter (1), die Lampe (2), sowie die Tür und die Fenster (jeweils 1).

Neben den realen Objekten wurden insgesamt fünf virtuelle Objekte eingeblendet. 17 Teilnehmer gaben an, dass sie die Pflanzen als besonders wichtig empfunden haben, weil sie sich aufgrund ihres unnatürlichen und auffälligen Charakters von der realen Umgebung abhoben und sich häufig in der Nähe von den Würfeln befanden (19%). Lediglich 12% erklärten, dass sie die virtuellen Objekte aufgrund ihrer gleichmäßigen Verteilung den virtuellen Raum 'aufspannen' und daher eine Aufteilung der Würfel ermöglichten. Das Regal (50%) und die Deckenlampe (31%) wurden ebenfalls erwähnt. 44% der Befragten meinten, dass sie alle virtuellen Objekte verwendet hätten. Da sich die Lampe an der Decke befand und die Teilnehmer eine begrenzte Sicht auf die Szene, kam es vor, dass einige Teilnehmer diese nicht entdeckten und zwei Teilnehmer gaben an, dass der virtuelle Kronleuchter für sie überhaupt keine Rolle gespielt hätte. Der Sessel wurde ebenfalls als weniger wichtig betrachtet (25%). Im Allgemeinen wurden die virtuellen Objekte genutzt, die sich auf Augenhöhe befanden bzw. im Sichtfeld des 'See-Through' schneller zu entdecken waren.

Die Objekte, zu denen sich gute semantische Bezüge überlegen ließen, wurden von allen Gruppen präferiert. Solche semantische Bezüge sind beispielsweise: „Das Flugzeug fliegt unter dem Kronleuchter“ (virtuell) oder „Über dem Tisch ist ein Buch“ (real).

Zum Abschluss des Interviews hatten die Teilnehmer die Möglichkeit anzugeben, welche weiteren Funktionen ihnen gefehlt hätten oder es ihnen leichter gemacht hätte, die Aufgaben zu bearbeiten. Dabei wurde erwähnt, dass ein Raster, welches den virtuellen Raum in verschiedene Bereiche aufteilt, eine leichtere Zuordnung und Positionierung, sowie Einschätzung der Entfernung erleichtert hätte. Angemerkt wurde ebenfalls, dass sich die Teilnehmer zeitweise im virtuellen Raum 'verloren' und sie daher eine Funktion zum gegenseitigen 'Wiederfinden' im System vermisst hätten. Einige Teilnehmer wünschten sich eine Funktion, die es ihnen ermöglicht, die Ansicht ihres Partners auf die Szene zu betrachten, um daran Richtungsangaben besser erklären und navigieren zu können.

Insgesamt kommt aus dem Interview, dass die Teilnehmer es bevorzugten und es subjektiv einfacher war, die Aufgaben zu bewältigen, wenn die virtuellen Einrichtungsgegenstände im Raum standen, da diese als Hilfestellung zur gegenseitigen Navigation und Orientierung im Raum herangezogen werden konnten.

4.3.5 Sonstige

Interaktions- und Positionsprotokollierung:

Die auf dem Server automatisch mitgeschnittenen Informationen der Interaktionsabläufe, Gesamtbearbeitungsdauer, zurückgelegten Gesamtdistanzen, benötigte Versuche und Positionsabweichungen der Würfel wurden analysiert, um Unterschiede festzustellen, wenn virtuelle Objekte ein- oder ausgeblendet sind. Zur Veranschaulichung der Positionsdaten wurden außerdem HeatMap-Diagramme erstellt, um aufzuzeigen, an welcher Position im Raum sich die Teilnehmer während der Aufgabenbearbeitung vorrangig aufgehalten haben.

Bearbeitungsdauer der Aufgaben

Anhand der objektiv erhobenen Daten, konnten berechnet werden, wie viel Zeit die Teilnehmer für eine Aufgabe benötigt haben. Dabei wurde in der Identifikationsaufgabe die Zeit ab Öffnung des ersten Würfels bis zum Finden des letzten Memory-Paares gemessen, um ein einheitliches Maß auf alle Gruppen anwenden und die jeweiligen Bedingungen vergleichen zu können. Unabhängig von der Lösungsstrategie waren vor Aufdecken des ersten Würfels keine Informationen zu den hinterlegte Symbolen bekannt, sodass dieser gewählte Start-Zeitpunkt einen passendes Maß zur Festlegung der Bearbeitungsdauer darstellt. Im Gegenteil dazu wurde die benötigte Zeit des zweiten Aufgabenteils direkt ab Start der Aufgabe gemessen, da die Teilnehmer unterschiedlich lange gebraucht haben, um sich die Positionen der Würfel wieder ins Gedächtnis zu rufen und sich auf eine Lösungsstrategie zu einigen. Die Dauer wurde bis zu dem Zeitpunkt gemessen, an dem beide Teilnehmer das Bestätigungsfeld zum Beenden der Platzierungsaufgabe betätigt haben. Bei der Auswertung mussten Pausenzeiten von der Gesamtdauer abgezogen werden, da bei einigen Durchgängen Netzwerkprobleme auftraten, die eine Neuverbindung des Klienten erforderten oder ungeplante Verzögerungen verursacht haben. Die mittlere Dauer war bei dem Rekonstruktionsteil größer als beim Memory. Es konnte bezüglich der virtuellen Objekte (Bedingung) kein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Die Teilnehmergruppen haben für den Memory-Teil durchschnittlich ~ 6.2 Minuten und

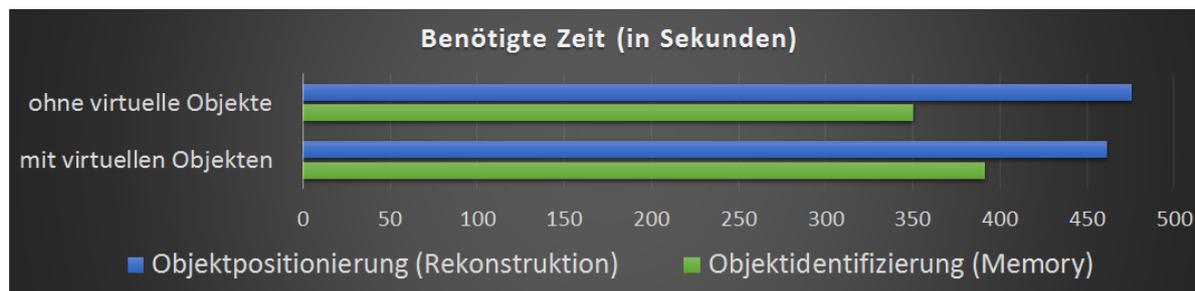


Abbildung 4.21: Durchschnittliche Bearbeitungsdauer.

Durchschnittlich benötigte Zeit für die Bearbeitung des Memory/Rekonstruktion, als die virtuellen Objekte ein- oder ausgeblendet waren.

für die Positionierung der Würfel ~ 7.8 Minuten benötigt (siehe Abbildung 4.21 – Memory: $M_M = 391.3s$, $SD_M = 135.1s$, $M_O = 350.5s$, $SD_O = 125.8s$; Rekonstruktion: $M_M = 461.31s$, $SD_M = 154.1s$, $M_O = 475.4s$, $SD_O = 135s$). Maximale und minimale Bearbeitungszeiten sind in Abbildung 4.22 angegeben.

	Zeit Minimum	Zeit Maximum	Gesamtdistanz Minimum	Gesamtdistanz Maximum
Objektidentifizierung (Memory)	3:09 min (ohne VO)	12:57 min (mit VO)	18.78m (mit VO)	124.08m (ohne VO)
Objektpositionierung (Rekonstruktion)	4:34 min (mit VO)	12:27 min (mit VO)	42.49m (mit VO)	115 (ohne VO)

Abbildung 4.22: Extremwerte für die Bearbeitungszeit und Gesamtdistanz.

Angabe der Bedingung in Klammern: VO – virtuelle Objekte.

Zurückgelegte Distanz

Die aufgezeichneten Positionskoordinaten der Tablets ermöglichten die Berechnung der zurückgelegten Gesamtdistanz. Aufgrund der Pausen und zeitweiliger Verlust der Positionszuordnung mussten ebenfalls Anpassungen vorgenommen werden. Dabei wurde ein Schwellenwert eingeführt, anhand dessen alle (euklidischen) Distanzen aufeinanderfolgender Koordinaten, deren Beträge größer waren, nicht berücksichtigt wurden. Die Positionsdifferenzen unter dem Schwellenwert wurden aufsummiert, um die Gesamtdistanz pro Teilnehmer und Aufgabenteil zu erhalten. Diese Approximation erlaubt es, ungewollte 'Distanz-Sprünge' bei der Distanzberechnung zu entfernen. Es wurden nur Koordinaten berücksichtigt, wenn die Position bezüglich des virtuellen Raums korrekt erkannt wurde (ADF-Positionstracking).

Die Gesamtdistanz, welche die Teilnehmer durchschnittlich bei der Aufgabenbearbeitung zurückgelegt haben, wird in Metern angegeben. Analog zur Bearbeitungsdauer ist der durchschnittliche Wert der durchschnittlich zurückgelegten Strecke in der Rekonstruktionsphase wiederum wesentlich höher im Vergleich zum Memory-Aufgabenteil (siehe Abbildung 4.23):

- **Memory:** $M_M = 93.8m$, $SD_M = 47.3m$, $M_O = 88.0971m$, $SD_O = 52.7m$
- **Rekonstruktion:** $M_M = 140.1m$, $SD_M = 44.2m$, $M_O = 136.6m$, $SD_O = 45.8m$

Zusätzlich wird in Abbildung 4.23 die durchschnittlich zurückgelegte Strecke für jeden Raum separat angegeben.

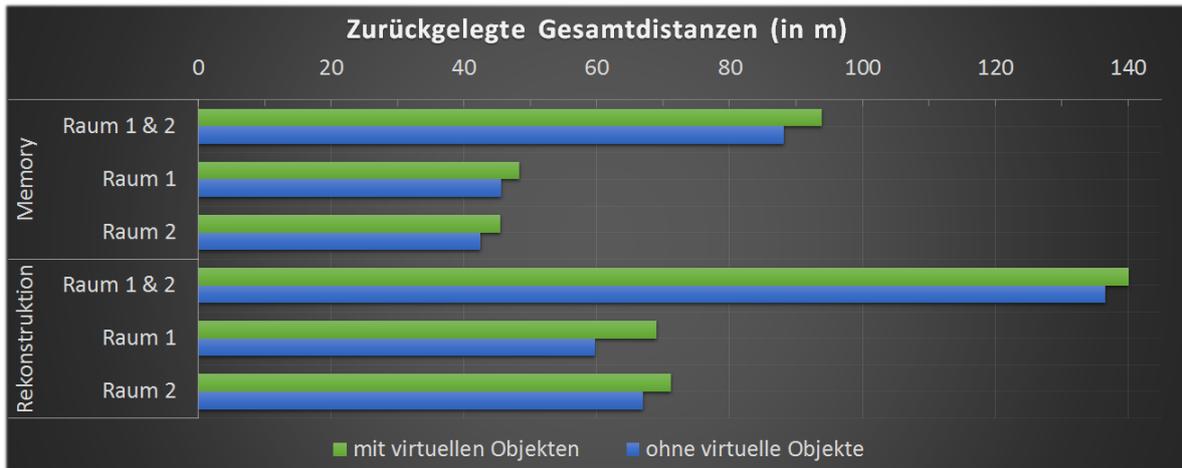


Abbildung 4.23: Durchschnittliche Gesamtdistanzen.

Mittlere zurückgelegte Gesamtdistanz während der Aufgabenteile. Es wird zwischen Einblendung/Ausblendung virtueller Objekte unterschieden. Zunächst ist die Gesamtdistanz beider Räume kombiniert und anschließend getrennt angegeben.

Aufgabenauswertung

- **Objektidentifizierung:** Zur Punktestandermittlung am Ende jedes Memory-Teils wurden die Anzahl der benötigten Versuche zum Finden aller Symbol-Paare gezählt und mit der jeweiligen Bedingung verglichen. Je weniger Versuche benötigt wurden, desto besser wurde die Aufgabe gelöst.

Die Teilnehmer haben durchschnittlich weniger Versuche zum Finden aller Paare in der Memory-Phase benötigt, wenn zusätzliche virtuelle Einrichtungsgegenstände vorhanden waren (siehe Abbildung 4.24): $M_M = 18.3$, $SD_M = 2.5$, $M_O = 19.6$, $SD_O = 3.8$. Die Rekord steht bei 14_O Versuchen zum Finden aller Würfelpaare. Im schlechtesten Durchgang wurden 27_O Versuche benötigt, bis die Teilnehmergruppe alle Paare gefunden hat.

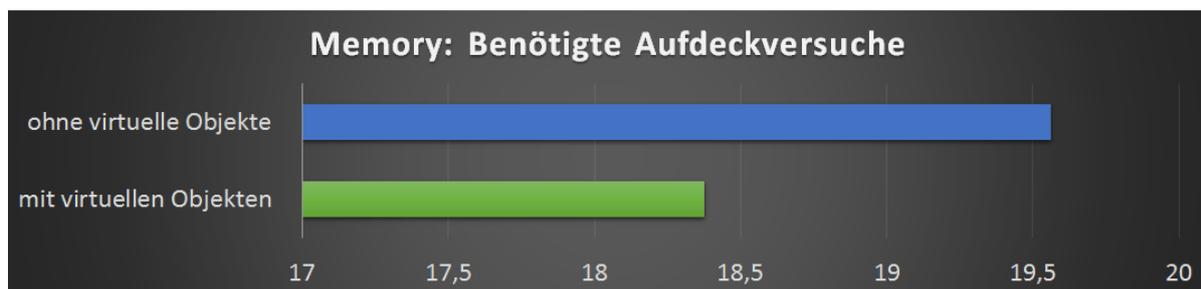


Abbildung 4.24: Memory: Benötigte Versuche.

Durchschnittliche Anzahl bei der Objektidentifizierung: Sind virtuelle Objekte eingeblendet, wurden weniger Versuche benötigt als im ausgeblendeten Zustand.

- **Objektpositionierung:** Um festzustellen, wie gut das Ergebnis der platzierten Würfel ausfiel, wurden die Abweichungen (euklidische Distanz) der Positionen der platzierten Würfel am Ende der Rekonstruktionsaufgabe zu der ursprünglichen Position berechnet. Da nicht eindeutig feststellbar ist, wie die beiden Würfel von den Teilnehmern zu den ursprünglichen Positionen zugeordnet wurden, betrachten wir zwei Möglichkeiten zur Distanzberechnung, um eine Auswertung der Platzierung zu erhalten:

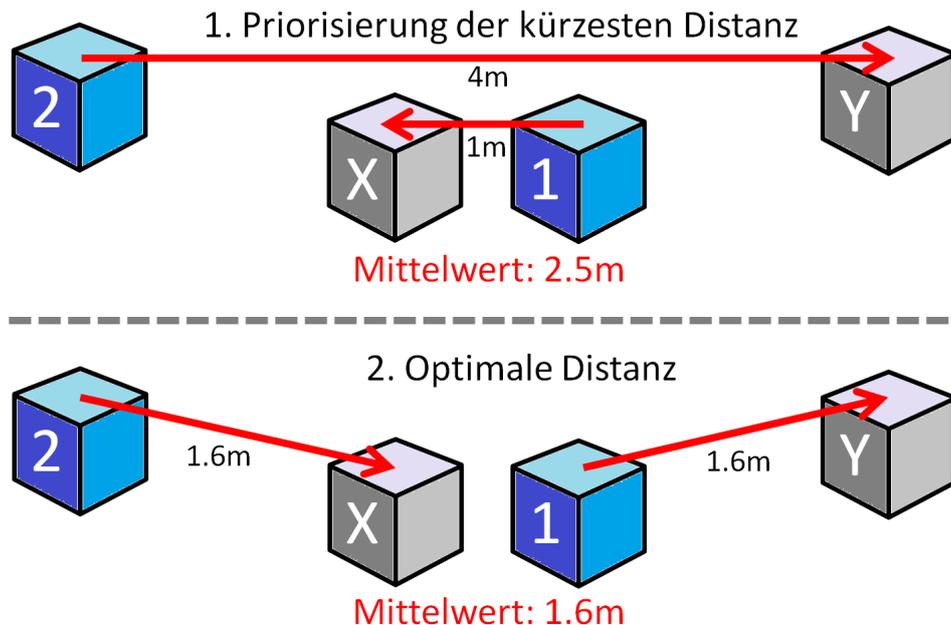


Abbildung 4.25: Prioritätsdistanz und Optimale Distanz.

Mögliche Distanzberechnungen und Zuordnung der abgelegten Würfel (1 und 2, blau) zu den ursprünglichen Würfelpositionen (X und Y, grau): 1. Priorisierung der kürzeren Distanz liefert schlechteren Mittelwert (2.5 m) als die Optimale Distanz (2., Mittelwert: 1.6 m).

1. **Priorität der kürzeren Distanz:** Von jedem Würfelpaar werden die Entfernungen zu den ursprünglichen Positionen berechnet und die *kürzeste Distanz* wurde bevorzugt, sodass der jeweils andere Würfel der übrigen Position zugeordnet wurde. Der Endwert wurde aus dem Mittel der beiden Distanzen bestimmt.
2. **Optimale Distanz:** Da die Priorisierung der kürzeren Entfernung nicht immer das bessere Ergebnis liefert, wurde zusätzlich die *Optimale Distanz* betrachtet. Dabei wurden beide möglichen Zuordnungskombinationen zu den ursprünglichen Positionen verglichen und das Ergebnis mit der durchschnittlich kürzeren Distanz ausgewählt.

In Abbildung 4.25 wird eine mögliche Zuordnung dargestellt: Der Mittelwert der Würfeldistanzen, wenn die *kürzere Distanz bevorzugt* wird, beträgt hier 2.5 m.

Wird die *optimale Distanz* betrachtet, jedoch nur 1.6 m. Daher fällt das Ergebnis in diesem Fall besser aus, wenn die *Optimale Distanz* betrachtet wird.



Abbildung 4.26: Würfel – Distanzberechnung: Identisches Ergebnis.

Die Wahl der Distanzberechnung kann das gleiche Ergebnis liefern.

In diesem Fall ist der Mittelwert bei Optimaler Distanz oder Prioritätsdistanz identisch.

Es ist jedoch auch möglich, dass beide Zuordnungsmethoden das gleiche Ergebnis liefern (siehe Abbildung 4.26). In diesem Fall ist die Wahl der Methode irrelevant. Es ist nicht möglich, dass die Berechnung anhand der *Optimalen Distanz* schlechtere Mittelwerte als Ergebnis liefert, als die Bevorzugung der kürzesten Distanz. Zur Auswertung haben wir die Optimale Distanz-Methode ausgewählt, um die Ergebnisse zu vergleichen, weil die Gruppen häufig nicht in der Lage waren, die Tiefe des virtuellen Raumes einzuschätzen und sich deshalb oft bei der Platzierung der Objekte verschätzten. Der erste Aufgabenteil (Memory) erforderte im Gegensatz zur Objektpositionierung kein 'Herumlaufen' im Raum, sodass sich die Personen meistens an einer Stelle im Raum aufhielten und anschließend nicht mehr in der Lage waren, die genaue Position der Objekte zu rekonstruieren. Zudem ist die Optimale Distanz eine bessere Annäherung für die beabsichtigte Positionierung, da anderenfalls die Würfelpaare falsch zugeordnet worden wären.

Wie gut die Teilnehmer beim Rekonstruieren der ursprünglichen Würfelpositionen des entsprechenden Memory abschnitts, konnte anhand der Genauigkeit der abgelegten Würfel über die Summe der Distanzdifferenzen (Optimale Distanz in Meter) bestimmt werden (siehe Abbildung 4.27): $M_M = 26.5m$, $SD_M = 3.7m$, $M_O = 25.4m$, $SD_O = 5.1m$. Das beste Ergebnis wurde mit $d_O=15m$ erzielt und das schlechteste mit $d_O=34m$.

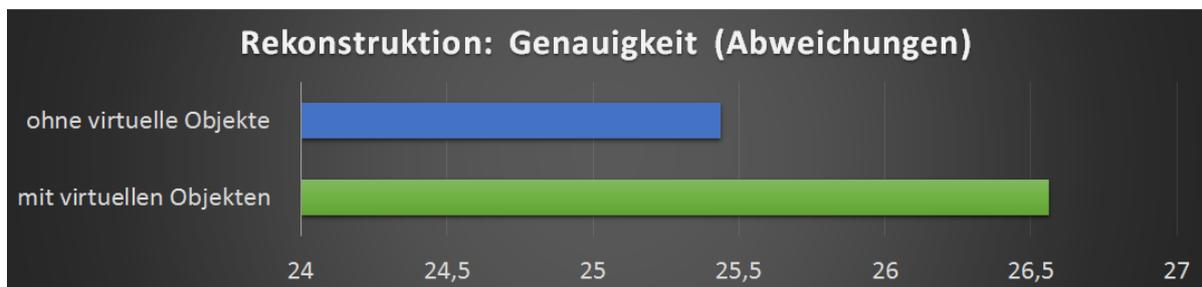


Abbildung 4.27: Auswertung der Objektpositionierungsaufgabe
Durchschnittliche Genauigkeitsabweichungen der positionierten Würfel.

HeatMaps: Bewegungsmuster

Die vom Server automatisch protokollierten Positionskoordinaten der Tablets ermöglichen es, Visualisierungen der Tablet-Bewegungen der Teilnehmer (HeatMaps) zu erstellen (siehe Abbildung 4.28). Anhand der exakten Koordinaten kann berechnet werden, wie lange sich die Teilnehmer an einem Punkt im jeweiligen Raum aufhielten, indem die Häufigkeiten der Positionen gezählt werden. In Abbildung 4.28 sind die Bewegungsmuster für alle Teilnehmergruppen aus der Vogelperspektive dargestellt und sind für die verschiedenen Aufgabenteile und reale Räume separat angegeben. Die Farben in der Darstellung geben an, wie lange sich eine Person an einer Position aufgehalten hat. In den blauen Bereichen haben sich die Teilnehmer selten aufgehalten, während die rot gefärbte Stellen darauf hinweisen, dass sich die Personen an dieser Position im Raum lange während der Aufgabenbearbeitung aufgehalten haben. Die verschiedenen HeatMaps wurden erzeugt, indem der Bereich, zu dem die Häufigkeiten der Koordinaten zugeordnet werden, unterschiedlich groß gewählt wurde (Detailgenauigkeit). Daher nimmt die Anzahl der roten Bereiche zu und die der blauen bezüglich der Detailgenauigkeitsstufen von 1 bis 3 ab, da der Parameter für die Bereichsgröße (Häufigkeitsanalyse) zur Erstellung der Visualisierungen von 1 bis 3 vergrößert wurde und demnach bei größeren Werten mehrere Bereiche zusammengefasst werden.

Lösungsstrategien

Zum Lösen der Interaktionsaufgaben hatten die Gruppen verschiedene Strategien, welche durch die HeatMap-Visualisierung veranschaulicht werden. Die am meisten genutzte Strategie bestand darin, dass die Teilnehmer sich an die gleiche Position stellten, um den selben Blickwinkel auf die Szene zu haben und sich damit gegenseitig besser Navigieren zu können. Auf diese Weise konnte eine gemeinsame Orientierungsbasis festgelegt werden, da relative Richtungsangaben für beide Teilnehmer eindeutig verstanden werden konnten. Dies lässt sich folgendermaßen an den HeatMaps der Objektidentifizierungsaufgabe erkennen: In beiden Räumen sind in etwa die gleichen Bereiche mit ähnlichen Positionshäufigkeiten zu erkennen.

In erster Linie wurde dafür die Position an der Tür (real) verwendet, da diese in beiden Räumen an der gleichen Stelle war und daher auch dann zur Orientierung genutzt werden konnte, wenn die virtuellen Objekte ausgeblendet waren (siehe Abbildung 4.28). Eine seltenere Strategie war, dass sich die Interaktionspartner gegenüber am Rand des Raumes (oben und unten im Diagramm) positionieren, um gemeinsam einen größeren Überblick über die virtuelle Szene zu bekommen. Da sich diese Positionen mit denen der zuerst genannten überschneiden, sind hier die gleichen Bereiche eingefärbt.

Grundsätzlich versuchten die Teilnehmer sich möglichst nicht im Zentrum des Raumes aufzuhalten, da sie hier keine gute Übersicht über die Würfelpositionen erhielten. Die zentralen gefärbten Bereiche der registrierten Positionen bei der Objektidentifizierung lassen sich einerseits darauf zurückführen, dass viele Gruppen im zweiten Durchgang schon in der Memory-Phase zu den virtuellen Würfeln hin gelaufen sind, um eine bessere räumliche Einschätzung der Positionen zu erhalten. Andererseits bewegten sich die Versuchsteilnehmer mehrmals im Raum hin und her, um für sich die beste Position mit gutem Blick auf die Szene zu bekommen.

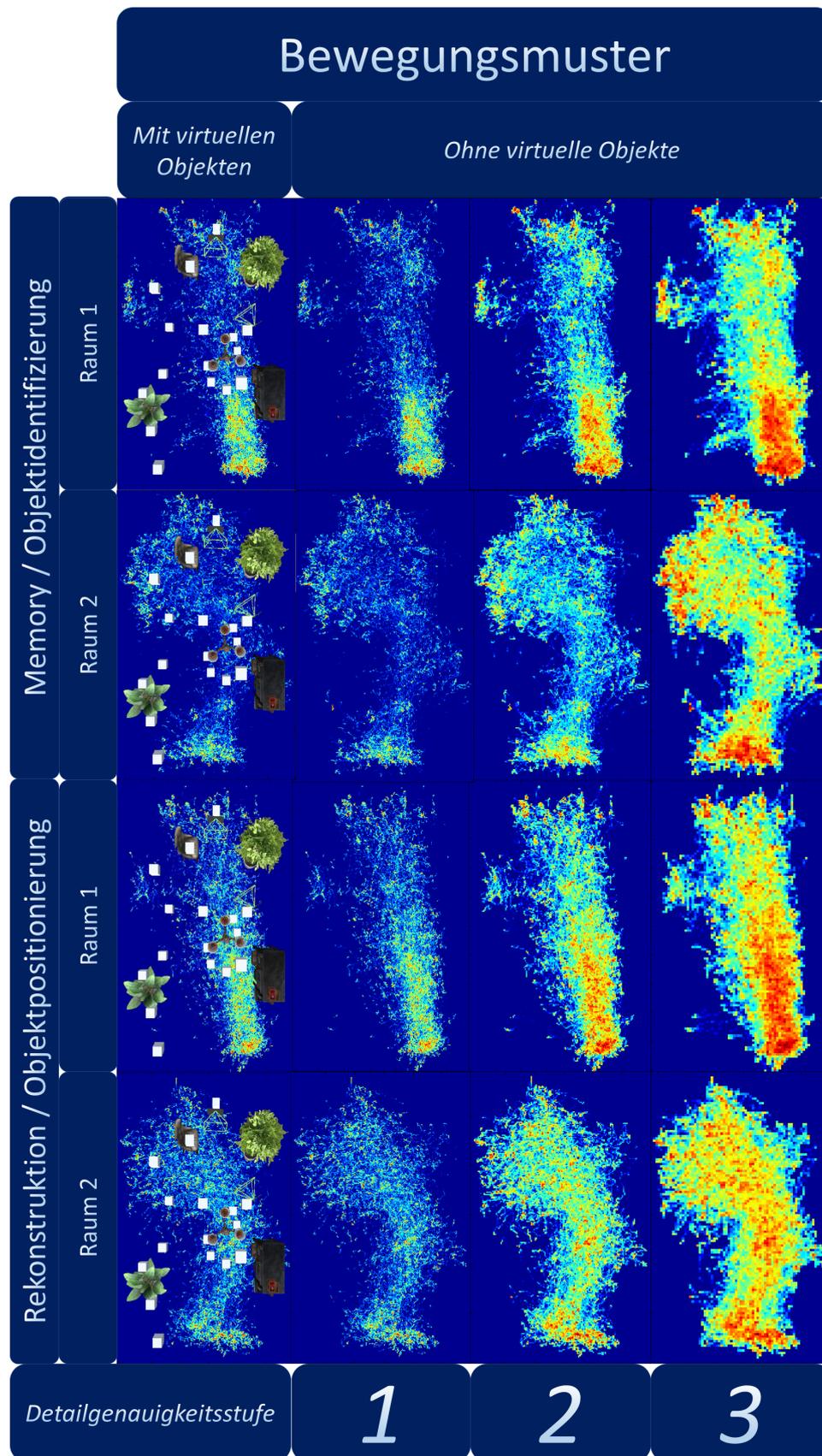


Abbildung 4.28: HeatMap-Visualisierung der Tablet-Positionen.

Aufteilung in die separaten Aufgabenteile und Räume. In der linken Spalte werden die Positionen der virtuellen Objekte im Raum angedeutet.

4.4 Diskussion

Die Ergebnisse der Studienauswertung sind häufig nicht eindeutig und lassen viele Interpretationsmöglichkeiten, die Ergebnisse aus den vier untersuchten Bereichen zu beurteilen, zu. Nachfolgend werden aussagekräftige gewonnene Resultate genauer betrachtet und mögliche Erklärungen wenn für unerwartete Ergebnisse angegeben.

Kommunikationsverhalten

Die Analyse des Kommunikationsverhaltens ergab, dass zum Bearbeiten der Objektpositionierungsaufgabe die zusätzlichen virtuellen Objekte häufig verwendet wurden, um die Würfel an die richtige Stelle zu positionieren. Es wurden mit der Bedingung, dass virtuelle Objekte vorhanden waren, weniger deiktische Referenzangaben gemacht. Ein weiterer signifikanter Unterschied bestand darin, dass die virtuellen Würfel wesentlich häufiger zur Orientierung verwendet wurden, wenn die virtuellen Objekte nicht eingeblendet waren. Da es sich bei den Würfeln ebenfalls um virtuelle Objekte handelt, die beide Teilnehmer an der gleichen Stelle im Raum betrachten können, deutet dies darauf hin, dass noch mehr virtuelle Objekte im Raum möglicherweise eine bessere Kommunikationsbasis bilden können. Erklären lässt sich diese Beobachtung daran, dass eine gemeinsame Orientierungsbasis schwerer festzulegen ist, da sich die Personen in verschiedenen Räumen aufhalten. Die Art der Referenzen ist vom virtuellen und realen Raum abhängig, wie Chastine et al. (2007) andeuten: In kollaborativen Umgebungen ist die Aussagekraft der Referenzen sehr wichtig. Da die Teilnehmer in unserem Versuchsaufbau nicht von der physischen Gegenwart profitieren konnten, war die virtuelle Präsenz besonders hilfreich, um Navigieren zu können. Die verwendeten Referenzklassen wurden anhand der genutzten Referenzarten der Teilnehmer erstellt und sind vom visuellen Kontext abhängig. Fussell et al. (2000) erläutern die Effekte von *Shared Visual Context* auf die Zusammenarbeit von Zweiergruppen: Befinden sich die Personen im gleichen Raum, dann kann die gleiche Aufgabe leichter bewältigt werden als wenn diese über eine Audio-/Videoverbindung miteinander kommunizieren. Da unser Szenario auf räumlich getrennter Basis aufgebaut ist, geht dieser reale *Shared Visual Context* verloren und beschränkt sich auf die virtuelle Umgebung, die ausschließlich aus virtuellen Würfeln, dem Avatar des Kooperationspartners und Einrichtungsgegenstände besteht. Werden letztere eingeblendet, wird die gegenseitige Navigation im virtuellen Raum vereinfacht, da die Koordination durch den nun verbesserten geteilten visuellen Kontext positiv beeinflusst wird. Unterstützt wird dies zudem durch einen signifikanten Unterschied in der Verwendung von *'Selbst'*-Referenzen während der Positionierungsphase.

Die einfachste Möglichkeit dem Kooperationspartner eine Richtung anzugeben, wenn die virtuellen Objekte nicht präsent sind, kann durch visuelle Gesten gemacht werden. Da sich die Teilnehmer anhand eines Avatars unabhängig von der genutzten Bedingung (mit/ohne virtuelle Objekte) gegenseitig sehen konnten und die Blickrichtung ebenfalls identifiziert werden konnte, liegt es nahe, dass sich die Teilnehmer gegenseitig mithilfe ihrer Avatare navigierten. Gergle et al. (2004) heben die Bedeutung von einem geteilten visuellen Raum hervor, da auf diese Weise Aktionen oder Gesten als nonverbale Sprache

einen wichtigen Einfluss auf die gegenseitige Kommunikation haben. Die Repräsentation des Partners im virtuellen Raum befähigte die Teilnehmer in eine Richtung zu 'zeigen': Sowohl die absoluten als auch relativen Referenzen auf die eigene Position ('Selbst'-Referenz) nehmen signifikant zu, sobald keine visuellen Referenzobjekte zu Verfügung gestellt sind. Auch in der Objektidentifizierungsphase hat die Einblendung virtueller Objekte einen starken Einfluss auf die Art der Kommunikation, da diese oft zum Erklären von Richtungsangaben genutzt wurden.

User Task Load

Diese Verschiebung verwendeter Referenzen in der Kommunikation deutet auf einen reduzierten User Task Load bei der Aufgabenbearbeitung hin. Jedoch ergaben die Ergebnisse der Task Load Fragebögen nur einen signifikanten Unterschied des subjektiv erfahrenen Zeitaufwands. Damit haben die virtuellen eingeblendete Objekte einen positiven Einfluss auf das Positionieren von virtuellen Objekten in Mixed Reality Umgebungen.

Ansonsten ließen sich keine weiteren Unterschiede feststellen. Der Grund dafür könnte sein, dass die zu lösende Aufgabe zu einfach gestellt war ('*Flooring Effect*') und die Einblendung der virtuellen Objekte nicht relevant für den Task Load sind, beziehungsweise zu wenig Objekte zur Verfügung gestellt wurden. Es könnte sein, dass die Ergebnisse des Task Loads eine stärkere Ausprägung hätten, wenn die virtuelle Umgebung wesentlich mehr Objekte enthielte, welche die Orientierung verbessern könnten. Möglich ist auch, dass die Teilnehmer die Positionen der Würfel nicht mehr nachvollziehen konnten und sie diese deshalb willkürlich im Raum verteilten, ohne Wert auf die Exaktheit der gewählten Positionen zu legen.

Telepräsenz Wahrnehmung

Ein positiven Effekt hatten die virtuellen Objekte auf das subjektive Empfinden zur Kommunikation von räumlicher Information. Die Teilnehmer gaben im modifizierten Fragebogen an, dass sie räumliche Informationen und Hinweise bei beiden Aufgaben leichter kommunizieren konnten, wenn die virtuellen Einrichtungsobjekte als Orientierungsbasis verwendbar waren. Dies lässt sich darauf zurückführen, dass die virtuelle Umgebung eine gemeinsame Grundlage lieferte, die von beiden Teilnehmern zur Navigation verwendet werden konnten. Anhand der Kategorie '*Nachvollziehbarkeit*' konnte festgestellt werden, dass sich die Teilnehmer gemeinsam zu verschiedenen Positionen bewegten und sie wahrnehmen konnten, dass ihr Teampartner diese Bewegungen nachvollziehen und ebenfalls durchführen konnte. Auf diese Weise war eine verbesserte gegenseitige Wahrnehmung der Präsenz zu erkennen, die auf Nutzung einer gemeinsamen virtuellen Umgebung zurückzuführen ist.

Für die Rekonstruktion der Würfelpositionen in der zweiten Phase lieferte der *Temple-Presence-Inventory* Fragebogen einen signifikante positiven Einfluss der virtuellen Referenzobjekte auf die Wahrnehmung der Telepräsenz: Die Kontrolle über die Interaktion mit der anderen Person mithilfe des Tablets als Interaktionsmedium und die Wahrnehmung, dass sich die Gruppenpartner gemeinsam am gleichen Ort befinden wurde höher

eingeschätzt. Die Präsenz der virtuellen Objekte sorgte zudem für eine persönlichere und empfindlichere Wahrnehmung des Interaktionsablaufs beim Positionieren der Würfel und gestalteten die virtuelle Umgebung lebhafter, da die Objekte eine bessere Integration in die reale Umgebung unterstützten und damit eine hilfreiche Grundlage für das räumliche Erinnerungsvermögen boten.

User Experience – Interview

Die virtuelle Umgebung für die Bearbeitung der beiden Aufgaben wurde im Interview von den Teilnehmern als hilfreich eingeschätzt, da sie eine gute gemeinsame Grundlage zur gegenseitigen Orientierung biete und die Tiefe des Raumes leichter nachvollziehbar sei. Diese Einschätzung unterstützt die gewonnenen Ergebnisse aus den Fragebögen und gibt an, dass sich die Teilnehmer die Positionen der Würfel leichter merken konnten, um sie in der Positionierungsphase an der richtigen Stelle platzieren zu können. Aus dem Interview ging weiterhin hervor, dass die physikalische Umgebung nicht mehr beachtet wurde, da die zusätzlichen Objekte von beiden Teilnehmern genutzt werden konnten, welche sich deutlich von der realen Umgebung abhoben, da diese nicht fotorealistisch dargestellt wurden, im Raum schwebten (keine Gravitation im virtuellen Raum) und damit nicht physikalische Eigenschaften hatten. Hier stellt sich die Frage, ob die reale Umgebung wichtiger eingeschätzt worden wäre, wenn die virtuellen Objekte realistischer dargestellt gewesen wären, was bereits Müller et al. (2015) in der Auswertung ihrer Studie bemerkt haben.

Zu berücksichtigen ist die unterbewusste Wahrnehmung der realen Umgebung zur impliziten Einordnung der Würfelpositionen, die nicht aus der Kommunikation hervorgeht, da das räumliche Erinnerungsvermögen vorrangig zur persönlichen Einschätzung der Positionen eingesetzt wird, was durch die lebhaftere und stärkere Empfindung der Umgebung mit virtuellen Objekten unterstützt wird.

Einige Teilnehmer erklärten, dass weitere virtuelle Gegenstände die Orientierung im Raum zusätzlich vereinfacht hätten, da die Nähe der Objekten zu den Würfeln ihnen ermöglichte, sich anhand der Symbole, semantische Zusammenhänge zu den Objekten herzustellen. Mehrere Gruppen deuteten an, dass sie versuchten, anhand der Bilderpaare Merksprüche zu erfinden, um sich anschließend wieder an die ursprünglichen Positionen erinnern zu können. In Verbindung damit wurde genannt, dass sie den Raum gedanklich in ein Raster (oben, mittig, unten) aufteilten, um sich die grobe Verteilung der Symbole leichter merken zu können.

Sonstige

Bei der Analyse der objektiven protokollierten Positionsdaten identifizierten wir anhand der Zeitstempel und des Interaktionsverlaufs, dass die Teilnehmer zur Bearbeitung der Positionierungsaufgabe durchschnittlich 1.2 Minuten länger benötigten. Dies lässt sich darauf zurückführen, dass sie sich im Raum zu den Würfelpositionen bewegen mussten,

um sie richtig ablegen zu können, da sie die relative Distanz der Würfelschablone vor sich nicht verändern konnten. Die durchschnittlich zurückgelegte Gesamtdistanz unterstützt diesen Zeitunterschied, da sie in der Rekonstruktionsphase ebenfalls wesentlich höher (ca. 40 Meter Unterschied) ist. Im Gegensatz dazu, konnten die Würfel beim Identifizieren der Paare von beliebiger Position aus geöffnet werden, sodass sich die Teilnehmer nicht bewegen mussten, um die Würfel zu öffnen. Gleichzeitig wurde festgestellt, dass sich die Teilnehmer in der Identifizierungsphase mehr Zeit genommen haben, um die Aufgaben zu bearbeiten, wenn sie die virtuellen Objekte zur Orientierung nutzen konnten. Da die Teilnehmer im Interview die virtuellen Objekte als Orientierungshilfe beschrieben, lässt sich dieser Zeitunterschied dadurch erklären, dass sich die Gruppen die Positionen der Würfel genauer untersuchten, da diese anhand der Referenzobjekte besser einzuordnen war, als allein mit der realen Umgebung und damit auch mehr Zeit erforderte. In der Positionierungsphase war es genau umgekehrt: Wurden die Objekte ausgeblendet, arbeiteten die Teilnehmer länger an der Positionierung der Würfel, als wenn diese vorhanden waren. Dies kann dadurch erklärt werden, dass sich die Personen anhand der Referenzobjekte länger überlegten, um mithilfe der virtuellen Objekte ein besseres Ergebnis zu erzielen.

Die Endauswertung der Rekonstruktionsphase ergab keine Ergebnisse, die die Hypothese unterstützen: Die Abweichungen der abgelegten Würfel zu ihren ursprünglichen Positionen waren durchschnittlich schlechter, als die virtuellen Objekte eingebildet waren. Die Teilnehmer ordneten häufig die Würfel den Objekten zu, ohne sich die genaue relative Position zu merken. Um Abhilfe zu schaffen, zählten sie die Schritte von ihrem Beobachtungspunkt aus zu den Würfeln. Dies könnte erklären, weshalb die Abweichungen durchschnittlich etwa um einen Meter besser ist, als sie die virtuellen Objekte nicht verwenden konnten, da die Selbstsicherheit bei der Platzierung abnahm und so genauer auf die Position geachtet wurde, jedoch muss dies in zukünftigen Studien genauer untersucht werden.

Die HeatMap-Diagramme der Teilnehmer-Positionen im Raum während der Aufgaben ergeben, dass sich die Studienteilnehmer im unteren rechten Bereich, wo sich in beiden Räumen die Tür befand, die meiste Zeit aufhielten. Weiterhin kann man feststellen, dass sich in der Objektpositionierungsphase die Positionshäufigkeiten gleichmäßiger verteilen, als in der Objektidentifizierungsphase. Der Grund dafür ist, dass sich die Teilnehmer zum Lösen der Memoryaufgabe nicht im Raum bewegen *mussten*. Zum Positionieren musste man sich jedoch an die Positionen begeben, an die ein Würfel gesetzt werden sollte. Da die Teilnehmer in der Rekonstruktionsphase mehr Zeit benötigten, enthalten die Diagramme in der unteren Hälfte in Abbildung 4.28 mehr Koordinaten als in der oberen Hälfte. Deshalb gibt es auch mehr Bereiche, die nicht blau eingefärbt sind. Betrachtet man die Räume separat, dann kann man zudem erkennen, dass bei beiden Aufgabenteilen die gleichen Bereiche eingefärbt sind, was darauf zurückzuführen ist, dass sich die physikalischen Begebenheiten der Räume bei den beiden Aufgaben nicht unterschieden. Die räumlichen Unterschiede lassen sich auf die reale Umgebung der Räume zurückführen: In Raum 2 befand sich links unten ein großer Tisch, weswegen an dieser Position wenige Häufigkeiten registriert wurden. Da einige Würfel auf diesem Tisch po-

sitioniert werden mussten, sind im Diagramm für die Objektpositionierung in Raum 2 mehr Koordinaten registriert worden als in der Identifizierungsphase. Der blaue Bereich auf der linken Seite der Diagramme für Raum 1 lässt sich dadurch erklären, dass hier bis auf einen kleinen Bereich mehrere Tische im Raum standen. Diese freie Stelle wurde von den Teilnehmern genutzt, um sich einen Überblick über die virtuelle Szene zu verschaffen. Deswegen sind in diesem Bereich ebenfalls mehrere Tabletpositionen registriert worden. In der Memoryphase sind vorrangig drei Bereiche zu erkennen, an denen sich die Teilnehmer zur Bearbeitung der Aufgabe aufhielten. Der Grund dafür ist, dass Paare aufgedeckt werden mussten und an diesen Positionen die beste Sicht auf die virtuelle Szene bestand, da der gesamte Raum leichter zu überblicken war, wenn man sich am Rand des Raumes befand.

Ergebnisvergleich zu früherer Studie

Die Ergebnisse lassen sich mit der vorhergehende Studie von Müller et al. (2015) vergleichen, bei welcher der Einfluss virtueller Objekte auf die Zusammenarbeit beim Identifizieren und Positionieren von virtuellen Objekten untersucht wurde. Im Unterschied zur räumlichen Trennung unserer durchgeführten Studie, befanden sich die Teilnehmer im gleichen Raum und konnten von der gegenseitigen physischen Präsenz profitieren. Bei der Positionierungsaufgabe konnte festgestellt werden, dass die Teilnehmer in beiden Studien weniger deiktische Referenzen zum Navigieren verwendeten, wenn virtuelle Objekte präsent waren. Müller et al. konnten keine signifikanten Unterschiede des User Task Loads erkennen. Im Gegensatz dazu liefert die Auswertung des NASA TLX Fragebogens in unserer Folgestudie bei der Objektpositionierungsaufgabe einen signifikanten Unterschied bezüglich des wahrgenommenen *Zeitaufwands*: die Einblendung virtueller Objekte hat einen positiven Effekt auf die subjektiv wahrgenommene Zeitanforderung. Andererseits konnte in unseren Ergebnissen der Identifizierungsphase nur ein signifikanter Unterschied bezüglich der wahrgenommenen *Anstrengung* festgestellt werden, wohingegen Müller et al. sowohl im gesamten *User Task Load*, subjektiv wahrgenommene *Zeitanforderung* und *Leistung* signifikante Unterschiede registrierten.

4.5 Implikationen

Aus den gewonnenen Studienergebnissen lässt sich ableiten, dass die Art der gemeinsamen Umgebung einen starken Einfluss auf die Bearbeitung von Aufgaben hat, bei denen Objekte identifiziert und anschließend positioniert werden müssen. Virtuelle Objekte liefern eine gemeinsame Grundlage zur Orientierung und Navigation. Der Einsatz von virtuellen Referenzobjekten hilft außerdem zusammenarbeitenden Personen, die sich an unterschiedlichen Orten aufhalten, bei der Bearbeitung ihrer Aufgaben und unterstützt deren Kooperation. Aus den Ergebnissen der Studie kommt zudem hervor, dass die Teilnehmer häufig physikalische Referenzen des Bezugsrahmens verwendeten: Die Tür und die Fenster befanden sich relativ zur virtuellen Umgebung auf der gleichen Seite. Dies impliziert, dass die Übereinstimmung der räumlichen Dimensionen den Teilnehmern half sich zu orientieren und dass in 'Mixed Reality' Umgebungen die physikalische Komponente neben der virtuellen ebenfalls eine entscheidende Rolle zum Navigieren spielt.

Aufgrund der starken Unterschiede in der Beschaffenheit und Einrichtung der beiden realen Räume, waren die Teilnehmer häufig verwirrt, da auf Objekte referenziert wurde, die der Teampartner nicht sehen konnte. Dies deutet darauf hin, dass eine effektivere Aufgabebearbeitung möglich gewesen wäre, wenn die physikalische Umgebung identisch wäre, selbst wenn es sich um unterschiedliche reale Räume handelt. Diese Beobachtungen weisen darauf hin, dass die reale Umgebung in 'Mixed Reality' Szenarien besonders wichtig ist und die virtuelle Umgebung (Dimension, Beschaffenheit, Einrichtung) darauf angepasst werden sollte, um eine bessere Integration zu ermöglichen. Zu beachten ist außerdem, dass sich virtuelle Objekte nicht mit realen überschneiden sollten. Dies würde dazu führen, dass die VR Umgebung nicht mehr als Erweiterung der realen wahrgenommen kann, da die MR Umgebung nicht mehr natürlich wirkt.

Aus dem Interview ging hervor, dass reale Objekte (Tisch, Werkbank) auf das Erinnerungsvermögen der Würfelpositionen im eigenen Raum einen positiven Einfluss hatten. Daher ist die Anwesenheit markanter physikalischer Objekte in Umgebungen gemischter Realitäten von Bedeutung, um das unterbewusste räumliche Erinnerungsvermögen zu verbessern, selbst wenn diese nur der Person helfen können, die sich im Raum befindet.

4.6 Einschränkungen

Während des Konzeptaufbaus des Prototypen für die Studie mussten die realen Räume derart strukturiert werden, dass eine nahtlose Vermischung mit dem virtuellen Raum ermöglicht werden konnte. Relevant war daher, dass an den Stellen, an denen in beiden Räumen virtuelle Objekte positioniert wurden, entsprechende Voraussetzungen erfüllt sein mussten. Um eine virtuelle Pflanze auf einen realen Tisch zu stellen, musste in beiden Räumen an der gleichen Stelle ein Objekt vorhanden sein, auf dem dieses virtuelle Objekt platziert werden konnte. Gleichzeitig mussten die Bereiche frei gehalten werden, an denen das virtuelle Regal oder der Sessel platziert wurden. In einem der beiden rea-

len Räume befand sich ein großer Touch-Tisch (reales Objekt) im Zentrum des Raumes. Wenn sich der entsprechende Teilnehmer so positionierte, dass sich ein virtuelles Objekt hinter diesem Tisch befand, entstand der visuelle Eindruck, das virtuelle Objekt schwebe vor dem Tisch, da es angezeigt wird, obwohl es normalerweise nicht sichtbar wäre. Die Entfernung des Tisches hätte zum Ausschluss solcher Artefakte geführt und damit zu einer besseren Integration der virtuellen Umgebung in die reale. Kiyokawa, Billinghurst et al. (2003) heben die Wichtigkeit der Umgebungsüberdeckung hervor, da um ein barrierefreies Eintauchen des Benutzers in die gemischte Umgebung signifikant die Wahrnehmung der Kopräsenz sowie das gegenseitige Verständnis der geteilten Interaktionsumgebung beeinflusst (Bowman et al., 2008)

Aufgrund der geringen Größe des Displays der verwendeten Project Tango Tablets (Google, 2016) konnten die Teilnehmer während der Aufgabenbearbeitung nur einen kleinen Teil der virtuellen Szene betrachten, sodass Würfel, die sich weiter oben im Raum befanden, häufig übersehen wurden. Im Interview wurde angemerkt, dass Schwierigkeiten auftraten, die restlichen virtuellen Objekte (Würfel) in der virtuellen Umgebung zu entdecken. Die Informationsfelder der Applikation deuteten jedoch an, dass noch nicht alle Paare gefunden wurden. Daher mussten die Teilnehmer am Ende der Identifizierungsaufgabe die übrig gebliebenen Würfel suchen. Die geringe Display-Größe erschwerte zudem den Teilnehmern einen Gesamtüberblick über die virtuelle Szene zu bekommen, da an keiner Position im Raum alle virtuellen Objekte im Display angezeigt werden konnten. Bedingt war dies durch die gleichmäßige Verteilung der Würfel im Raum, weswegen sich zu identifizierende Objekte auch an den Rändern des realen Raumes befanden. Die HeatMaps der Positionskordinaten deuten an, dass sich die Teilnehmer vorrangig an den Rändern aufhielten. Dies erklärt, dass versucht wurde, einen möglichst guten Überblick über die Umgebung zu erhalten. Da sich einige Zweiergruppen absichtlich an der gleichen Stelle in der virtuellen Umgebung zur Bearbeitung der Identifizierungsaufgabe positionierten (Lösungsstrategie), um einfacher kommunizieren zu können, wurden Würfel, die sich exakt an dieser Position befanden, leicht übersehen. Diese konnten erst entdeckt werden, nachdem die Teilnehmer im Raum herumliefen, um die übrig gebliebenen Paare zu entdecken.

Die Teilnehmer gaben außerdem im Interview an, dass die Sensoren des Tablets zeitweise leichten Verzögerungen unterlagen, sodass die virtuellen Objekte, die auf dem Boden standen, ungewollte Schwebefeffekte aufwiesen. Aus diesem Grund wurde die Integration der virtuellen Umgebung in die physische verschlechtert, da die registrierten Positionen leichten Veränderungen unterlagen. Da die Durchführung der Studie bei verschiedenen Lichtverhältnissen (morgens, abends) erfolgte, traten hin und wieder trotz detaillierter Erstellung des ADF nicht gewünschte Verschiebungen der virtuellen Szene in Relation zur physischen Umgebung auf. Dies kann vermieden werden, wenn in zukünftigen Studien physische Räume mit durchgehend identischen Lichtverhältnissen (z.B. keine Fenster) genutzt werden, um diese mit der virtuellen Umgebung zu vermischen.

Weitere Einschränkungen in der Datenerhebung ist die Art der gewählten Fragebögen. Die Kategorie *'Leistung'* aus dem Fragebogen zur Untersuchung des User Task Loads wurde von mehreren Teilnehmern missverstanden, da in den anderen Kategorien ho-

he Werte für eine starke Ausprägung der entsprechenden Anforderung stehen. Daher wurde von mehreren Teilnehmern eine höhere Leistung mit einem höheren Wert in der entsprechenden Kategorie assoziiert, obwohl ein hoher Wert auf eine subjektiv schlecht empfundene Leistung hindeutet.

Zur Erhebung unserer Daten wurde die Studie nur mit 16 Zweiergruppen durchgeführt. Daher lassen sich Schlussfolgerungen aus den Ergebnissen höchstens auf Personen aus dem entsprechenden demografischen Bereich zurückführen. Um aussagekräftigere Ergebnisse zu erhalten, müsste die Studie mit wesentlich mehr Gruppen durchgeführt werden, was im Rahmen dieser Bachelor-Arbeit nicht möglich war.

4.7 Future Work

Die Auswertung des Interviews lässt erkennen, dass die Einrichtung der physischen Umgebung das räumliche Erinnerungsvermögen beeinflusst. Um die Auswirkung der realen Umgebung auf das Kommunikationsverhalten zu untersuchen, könnte in zukünftigen Studien die physische Umgebung als unabhängige Variable betrachtet werden: Im ersten Durchgang wird der Raum mit sehr vielen Objekten ausgestattet und anschließend vollständig geleert. Anhand dieses Studienaufbaus könnte festgestellt werden, ob viele Objekte in der physischen Umgebung einen positiven Effekt auf die Zusammenarbeit in der Gruppe, die Kommunikation und die Orientierung haben. Wie bereits (Müller et al., 2015) angemerkt hat, ist das Studiendesign mit den Aufgaben zur Identifikation und Positionierung gut geeignet, um den Einfluss verschiedener Bedingungen auf die Kooperation zu analysieren. In dieser Studie wurden die Dimension der Räume fast identisch gewählt. In zukünftigen Untersuchungen könnte sich eine Person in einem Raum befinden, der ähnlichen Dimensionen unterliegt, wie die Räume, die in dieser Studie verwendet wurden, während der Kooperationspartner sich dagegen in einer leeren großen Halle befindet. Auf diese Weise können die Auswirkungen der unterschiedlichen Dimensionen und Einrichtung der physischen Räume auf die Kooperation analysiert werden.

Da das Display des in dieser Studie verwendeten Project Tango Tablets (Google, 2016) ein geringe Größe aufweist, wie bereits in der Diskussion angemerkt wurde, könnte dieses durch ein HMD, wie z.B. der HoloLens (Microsoft, 2016), ersetzt werden. Auf diese Weise kann dem Benutzer eine bessere Integration der virtuellen Umgebung in die reale dargestellt werden. Zusätzlich kann der Avatar des Kooperationspartners so umgesetzt werden, dass physische Gesten der Hände ebenfalls in die virtuelle Umgebung übertragen werden. Durch die Verwendung eines Hologramms des gesamten Körpers (anstatt nur des Tablets, wie es in dieser Studie der Fall ist) entsteht ein natürlicheres Interaktionsverhalten. Die Teilnehmer könnten die Kopräsenz des Teampartners besser nachvollziehen. Die Einblendung eines solchen Avatars dürfte zusätzlich die Wahrnehmung der Telepräsenz stark verbessern und damit die Barrieren der räumlichen Trennung reduzieren. Kiyokawa, Ohno et al. (2002) erläutern der Vorteil optischer 'See-Through' HMDs: Das Konzept des Video 'See-Through', wie es in dieser Studie anhand der Tablets umgesetzt wurde, hat den Nachteil, dass die intrinsische Qualität der realen Umgebung von der ver-

wendeten Kamera abhängig ist und Verzögerungen auf dem Display auftreten können. Außerdem hat das optische Modell den Vorteil, dass es eine bessere Überblendung der virtuellen mit der physischen Umgebung ermöglicht.

Ein anderer Aspekt der verwendeten Objekte ist die Art des 'intrinsischen Koordinatensystems' der verwendeten Referenzobjekte: Levinson (2003) erklärt, dass Objekte ein intrinsisches Koordinatensystem haben können. So kann auf Positionen 'vor oder hinter' des virtuellen Sessels, der für unsere virtuelle Umgebung eingesetzt wurde, *absolut* referenziert werden, während die virtuellen Pflanzen keine in sich definierte absolute Referenzen auf die Position 'vor der Pflanze' besitzen und nur absolute Referenzen zulassen, die auf Positionen 'über' oder 'unter' der Pflanze verweisen. Dabei spielt die Position des Beobachters in Relation zum zu referenzierenden Objekt der Szene eine entscheidende Rolle, wenn relative Referenzen bezüglich der Objekte kommuniziert werden. Auf diese Weise könnte weiter untersucht werden, inwiefern sich die Verwendung von Objekten, welche aufgrund ihres intrinsischen Koordinatensystems, verbesserte absolute Referenzen ermöglichen, sich auf das Kommunikationsverhalten bei der kollaborativen Identifizierung oder Positionierung von virtuellen Objekten auswirkt.

Im Interview erklären alle Teilnehmer, dass die Zusammenarbeit leichter war, als die virtuellen Objekte eingeblendet waren. Diese wurden in unserem Konzept eher abstrakt dargestellt und könnten in zukünftigen Forschungsarbeiten realistischer gerendert werden, sodass eine verbesserte Integration der virtuellen Objekte in die reale Umgebung erreicht werden kann. Auf diese Weise könnten die Objekte so dargestellt werden, dass der Beobachter diese nicht mehr von realen Objekten unterscheiden kann und ein tiefes 'Eintauchen' in die gemischte Umgebung ermöglicht wird. In einer derart konzipierten Umgebung kann untersucht werden, ob die Wahrnehmung der Telepräsenz mehrerer Kooperationspartner durch fotorealistisch dargestellte Objekte positiv beeinflusst werden kann. In weiteren Untersuchungen könnte die Anzahl der virtuellen Objekte maßgeblich erhöht und die Art der Objekte (abstrakt, fotorealistisch, surreal) variiert werden, um festzustellen, inwiefern sich diese Änderungen auf die Zusammenarbeit auswirken. So kann die physikalische Umgebung wesentlich spärlicher eingerichtet und durch virtuelle Objekte ersetzt werden.

Kapitel 5

Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurde das Design und die Durchführung einer Studie vorgestellt, sowie das Konzept des dafür erforderlichen Forschungsprototyps, welcher spezifisch für die Studie implementiert wurde. Anhand der Studienergebnisse wurde vorrangig untersucht, inwiefern zusätzliche virtuelle Objekte in Mixed Reality Umgebungen einen Einfluss auf die kooperative Bearbeitung von Objektpositionierungsaufgaben haben. Die Versuchsteilnehmer konnten zudem auch beim Identifizieren virtueller Objekte von zusätzlich eingeblendeten künstlichen Objekten, die zum Referenzieren verwendet werden konnten, profitieren. Im Zentrum in dieser Arbeit liegt dabei die Untersuchung der Aufgabe, in der virtuelle Objekte kooperativ im Raum positioniert werden.

Die Idee für unser Konzept, stammt von einer Studie, die von Müller et al. (2015) durchgeführt wurde. In dieser wurde gezeigt, dass virtuelle Referenzobjekte sich positiv auf die Kooperation bei der Bearbeitung von Identifizierungs- und Positionierungsaufgaben in Mixed Reality Umgebungen auswirken. Die Kooperationspartner befanden sich dabei im gleichen realen Raum. Im Gegensatz dazu befanden sich die Versuchsteilnehmer in unserem Studienaufbau während der Bearbeitung der Aufgaben in unterschiedlichen realen Räumen. Die Analyse der erhobenen Studienergebnisse zeigt auf, dass zusätzliche virtuelle Referenzobjekte in räumlich getrennten Mixed Reality Umgebungen die wahrgenommene Telepräsenz des Teampartners in dem geteilten virtuellen Kontext signifikant verbessert und die Umgebung gemischter Realitäten lebhafter und persönlicher empfunden wird. Die Evaluation ergab außerdem einen signifikanten positiven Effekt hinsichtlich der subjektiv, individuell empfundenen Kontrolle über Interaktionen der Teampartner. Anhand der quantitativen Untersuchung des Kommunikationsverhaltens konnte festgestellt werden, dass weniger deiktische Referenzen zur Navigation kommuniziert wurden, da die virtuellen Objekte eine gemeinsame Orientierungsgrundlage im Raum bilden, wohingegen sich die reale Umgebung unterscheidet.

Die Resultate zeigen, dass virtuelle Referenzobjekte in Mixed Reality Umgebungen eingesetzt werden sollten, die zur Bearbeitung von interaktiven Positionierungsaufgaben virtueller Objekte genutzt werden. Sie vereinfachen die Orientierung, da sie einen geteilten visuellen Kontext und damit eine gemeinsame Basis zur Kommunikation von Navigationshinweisen zu Verfügung stellen und haben einen positiven Effekt auf die subjektive Wahrnehmung des 'Eintauchens' in die MRE.

Literatur

- Milgram, P. & Kishino, F. (1994). A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems*, 77(12), 1321–1329.
- Google. (2016). Google Project Tango. <https://www.google.com/atap/project-tango/>. (zuletzt aufgerufen am 03.02.2016).
- Microsoft. (2016). Microsoft HoloLens. <https://www.microsoft.com/microsoft-hololens/en-us/commercial>. (zuletzt aufgerufen am 25.02.2016).
- Müller, J., Rädle, R. & Reiterer, H. (2015). Virtual Objects as Spatial Cues in Collaborative Mixed Reality Environments: How They Shape Communication Behavior and User Task Load. In *To appear in proceedings of the 34th annual acm conference on human factors in computing systems (chi'16)* (Bd. 38, S. 1845–1850). ACM.
- Wilson, P. (1991). *Computer supported cooperative work:: An introduction*. Springer Science & Business Media.
- Billinghurst, M., Clark, A. & Lee, G. (2015). A Survey of Augmented Reality. *Foundations and Trends in Human-Computer Interaction*, 8(2-3), 73–272.
- Billinghurst, M. & Kato, H. (1999). Collaborative mixed reality. In *Proc. int'l symp. mixed reality* (S. 261–284).
- Azuma, R. T. (1997). A survey of augmented reality. *Presence: Teleoperators and virtual environments*, 6(4), 355–385.
- Edwards, E. K., Rolland, J. P. & Keller, K. P. (1993). Video see-through design for merging of real and virtual environments. In *Virtual reality annual international symposium, 1993., 1993 ieee* (S. 223–233). IEEE.
- Piekarski, W. & Thomas, B. H. (2003). An object-oriented software architecture for 3d mixed reality applications. In *Mixed and augmented reality, 2003. proceedings. the second ieee and acm international symposium on* (S. 247–256). IEEE.
- Stahl, G. (2006). Group Cognition: Computer Support for Building Collaborative Knowledge (Acting with Technology).
- Greif, I. (1988). Overview. *Computer-Supported Cooperative Work: A Book of Readings. San Mateo, Calif.: Morgan Kaufmann Publishers*, 5–12.
- Grudin, J. & Poltrock, S. E. (1997). Computer-supported cooperative work and groupware. *Advances in computers*, 45, 269–320.
- Wagner, D., Pintaric, T., Ledermann, F. & Schmalstieg, D. (2005). *Towards massively multi-user augmented reality on handheld devices*. Springer.

- Benford, S., Greenhalgh, C., Reynard, G., Brown, C. & Koleva, B. (1998). Understanding and constructing shared spaces with mixed-reality boundaries. *ACM Transactions on computer-human interaction (TOCHI)*, 5(3), 185–223.
- Benford, S., Bowers, J., Fahlen, L. E., Mariani, J. & Rodden, T. (1994). Supporting cooperative work in virtual environments. *The Computer Journal*, 37(8), 653–668.
- Zurita, G. & Nussbaum, M. (2004). Computer supported collaborative learning using wirelessly interconnected handheld computers. *Computers & education*, 42(3), 289–314.
- Ouramdane-Djerrah, N., Otmane, S. & Mallem, M. (2007). A new model of collaborative 3d interaction in shared virtual environment. In *Human-computer interaction. interaction platforms and techniques* (S. 663–672). Springer.
- Benford, S., Greenhalgh, C., Rodden, T. & Pycock, J. (2001). Collaborative virtual environments. *Communications of the ACM*, 44(7), 79–85.
- Snowdon, D., Churchill, E. F. & Munro, A. J. (2001). Collaborative virtual environments: Digital spaces and places for CSCW: An introduction. In *Collaborative virtual environments* (S. 3–17). Springer.
- Unity3d. (2015). Unity3d – Gaming Engine. https://developers.google.com/project-tango/hardware/tablet#technical_specifications. (zuletzt aufgerufen am 11.02.2016).
- Google. (2015). Project Tango Tablet - Development Kit User Guide. https://developers.google.com/project-tango/hardware/tablet#technical_specifications. (zuletzt aufgerufen am 10.02.2016).
- TeamSpeak. (2015). TeamSpeak 3 Client/Server. <http://www.teamspeak.de/>. (zuletzt aufgerufen am 15.02.2016).
- Unity3d. (2016a). Unity: Lerp functionality for Quaternion. <http://docs.unity3d.com/ScriptReference/Quaternion.Lerp.html>. (zuletzt aufgerufen am 16.02.2016).
- Unity3d. (2016b). Unity: Lerp functionality for Vector3. <http://docs.unity3d.com/ScriptReference/Vector3.Lerp.html>. (zuletzt aufgerufen am 16.02.2016).
- Store, U. A. (2016). Unity 3D Asset Store. <https://assetstore.unity3d.com/>. (zuletzt aufgerufen am 30.03.2016).
- Hart, S. G. (2006). NASA-task load index (NASA-TLX); 20 years later. In *Proceedings of the human factors and ergonomics society annual meeting* (Bd. 50, 9, S. 904–908). Sage Publications.
- Lombard, M., Ditton, T. & Weinstein, L. (2009). Measuring presence: the temple presence inventory. In *Proceedings of the 12th annual international workshop on presence* (S. 1–15).
- Chastine, J. W., Nagel, K., Zhu, Y. & Yearsovich, L. (2007). Understanding the design space of referencing in collaborative augmented reality environments. In *Proceedings of graphics interface 2007* (S. 207–214). ACM.
- Fussell, S. R., Kraut, R. E. & Siegel, J. (2000). Coordination of communication: effects of shared visual context on collaborative work. In *Proceedings of the 2000 acm conference on computer supported cooperative work* (S. 21–30). ACM.

-
- Gergle, D., Kraut, R. E. & Fussell, S. R. (2004). Action as language in a shared visual space. In *Proceedings of the 2004 acm conference on computer supported cooperative work* (S. 487–496). ACM.
- Kiyokawa, K., Billinghamurst, M., Campbell, B. & Woods, E. (2003). An occlusion-capable optical see-through head mount display for supporting co-located collaboration. In *Proceedings of the 2nd ieee/acm international symposium on mixed and augmented reality* (S. 133). IEEE Computer Society.
- Bowman, D. A., Coquillart, S., Froehlich, B., Hirose, M., Kitamura, Y., Kiyokawa, K. & Stuerzlinger, W. (2008). 3d user interfaces: new directions and perspectives. *IEEE computer graphics and applications*, (6), 20–36.
- Kiyokawa, K., Ohno, H. & Kurata, Y. (2002). Occlusive optical see-through displays in a collaborative setup. In *Acm siggraph 2002 conference abstracts and applications* (S. 74–74). ACM.
- Levinson, S. C. (2003). *Space in language and cognition: Explorations in cognitive diversity*. Cambridge University Press.

Anhangsverzeichnis

A Bildstabilisierungsalgorithmus	92
B Studien Einführung	94
C NASA Task Load Index – TLX	97
D Temple Presence Inventory – TPI	98
E Ablauf des Interviews	100
F Auswertungsvorlage	103
G Digitale Kopie der Bachelorarbeit	105

Anhang A

Bildstabilisierungsalgorithmus

Der folgende Algorithmus ermöglicht quadratische Interpolation von Vektoren und Quaternionen sukzessiver Sensordaten des Tango Tablets.

```
1 /// Interpolation durch quadratische Approximation von
    Positions- und Rotationsdaten.
2 /// Erlaubt besser Glaettung der Anzeige als lineare
    Interpolation.
3 private void LerpPlayerPose() {
4     // Lade aktuelle Position und Rotation des Tablets
5     Vector3 curPos = m_tangoPosition[CurrentFrameOfTango];
6     Quaternion curRot = m_tangoRotation[CurrentFrameOfTango];
7
8     // Berechne die Differenz zu vorigen Positions- und
        Rotationsinformationen
9     float dist = Vector3.Distance(curPos, prevPosition);
10    float angle = Quaternion.Angle(curRot, prevRotation);
11
12    // Festlegung des Grundwertes zur quadratischen
        Interpolation.
13    float basicLerpRate = 8;
14
15    // Distanzinformationen werden in Meter angegeben.
16    // Abhaengig von vorigen Positionsinformationen wird
        lineares bzw. quadratische Interpolation bzgl. eines
        Schwellenwertes durchgefuehrt
17    if (dist > 0.08f) {
18        transform.position = Vector3.Lerp(prevPosition,
            m_tangoPosition[CurrentFrameOfTango], Time.deltaTime
            * (lerpRate + basicLerpRate));
19        prevPosition = Vector3.Lerp(prevPosition,
            m_tangoPosition[CurrentFrameOfTango], Time.deltaTime
```

```
        * lerpRate * (lerpRate + basicLerpRate));
20 } else if (dist <= 0.08f) {
21     float posLerpRate = Time.deltaTime * (lerpRate *
        Mathf.Pow(dist / 0.08f, 2) + basicLerpRate);
22     transform.position = Vector3.Lerp(prevPosition,
        m_tangoPosition[CurrentFrameOfTango], posLerpRate);
23     prevPosition = Vector3.Lerp(prevPosition,
        m_tangoPosition[CurrentFrameOfTango], posLerpRate);
24 }
25 if (angle > 12) {
26     transform.rotation = Quaternion.Lerp(prevRotation,
        m_tangoRotation[CurrentFrameOfTango], Time.deltaTime
        * (lerpRate + basicLerpRate));
27     prevRotation = Quaternion.Lerp(prevRotation,
        m_tangoRotation[CurrentFrameOfTango], Time.deltaTime
        * (lerpRate + basicLerpRate));
28 } else if (angle <= 12) {
29     float angleLerpRate = Time.deltaTime * (lerpRate *
        Mathf.Pow(angle / 12, 2) + basicLerpRate);
30     transform.rotation = Quaternion.Lerp(prevRotation,
        m_tangoRotation[CurrentFrameOfTango], angleLerpRate);
31     prevRotation = Quaternion.Lerp(prevRotation,
        m_tangoRotation[CurrentFrameOfTango], angleLerpRate);
32 }
33 }
```

Anhang B

Studien Einführung

Einführung in das System

Zum Ablauf:

0. Training Memory & Reconstruction (wird nicht für die Auswertung verwendet)
1. Memory (~10min)
2. Rekonstruktion (~10min)
3. Memory (~10min)
4. Rekonstruktion (~10min)

Nach jeder Runde werden zwei kurze Fragebögen beantwortet.
Am Ende wird ein Interview mit beiden Teilnehmern durchgeführt.

Memory:

In der Szene befinden sich mehrere Blockpaare. Ihre Aufgabe ist es mit ihrem Partner gemeinsam die Paare des Memorys zu finden.

In der Mitte oben befindet sich ein blaues Informationsfeld, das Ihnen angibt, ob Sie oder ihr Partner gerade an der Reihe ist, den nächsten Block zu öffnen.

Sie können einen Block öffnen, indem Sie mit dem Finger den Block auf dem Touch-Display berühren. Wenn zwei Blöcke geöffnet sind, werden diese nach 3 Sekunden automatisch wieder geschlossen, wenn Sie nicht zusammenpassen. Anderenfalls werden Sie aus der Szene entfernt und Sie können sich an die restlichen Blockpaare wagen.

Rekonstruktion:

In diesem Teil müssen Sie versuchen die Blöcke aus dem vorhergehenden Memory-Teil an ihre ursprüngliche Position zu setzen. Versuchen Sie sich also im Memory Teil zu merken, wo sich die Blöcke befinden. Vor Ihnen befindet sich ein Block, den Sie vor sich tragen. Sobald Sie sich bewegen, wird dieser ebenfalls bewegt. Sie können die entsprechenden Blöcke setzen, indem Sie auf den entsprechenden Button an den Rändern (links und rechts jeweils 5) klicken. Sie können ihre eigenen gesetzte Blöcke jederzeit löschen und neu setzen, indem Sie den Block auf dem

Bildschirm berühren. Damit wird der entsprechende Block auf den Knöpfen wieder aktiviert und Sie können diesen erneut setzen. Sobald Sie alle 10 Blöcke gesetzt haben, werden Sie ein Feld sehen auf dem „Level beenden!“ steht. Sobald Sie und Ihr Partner darauf geklickt haben, wird dieser Teil beendet. Sollten Sie noch Korrekturen vornehmen wollen, können Sie jederzeit, solange Ihr Partner noch im Spiel ist, über „Zurück“ wieder ins Spiel zurückkehren.

Info: Sobald Ihnen ein Fehler auffällt oder Sie Fragen haben, teilen Sie das bitte Ihrem Versuchsleiter mit. Zu Beginn wird ein Training für beide Aufgabenteile durchgeführt, um Sie in das System einzuführen. Ziel des Trainings ist, dass Sie das System verstanden haben, um die eigentliche Studie starten zu können.

Anhang C

NASA Task Load Index – TLX

Fragebogen

Klicken Sie in jeder Skale auf den Punkt, der Ihre Erfahrung im Hinblick auf die Aufgabe am besten verdeutlicht.

Geistige Anforderung

Wie viel geistige Anforderung war bei der Informationsaufnahme und bei der Informationsverarbeitung erforderlich (z.B. Denken, Entscheiden, Rechnen, Erinnern, Hinsehen, Suchen ...)? War die Aufgabe leicht oder anspruchsvoll, einfach oder komplex, erfordert sie hohe Genauigkeit oder ist sie fehlertolerant?

Körperliche Anforderung

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?

Zeitliche Anforderung

Wie viel Zeitdruck empfanden Sie hinsichtlich der Häufigkeit oder dem Takt mit dem die Aufgaben oder Aufgabenelemente auftraten? War die Aufgabe langsam und geruhsam oder schnell und hektisch?

Leistung

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?

Anstrengung

Wie hart mussten Sie arbeiten, um Ihren Grad an Aufgabenerfüllung zu erreichen?

Frustration

Wie unsicher, entmutigt, irritiert, gestresst und verärgert (versus sicher, bestätigt, zufrieden, entspannt und zufrieden mit sich selbst) fühlten Sie sich während der Aufgabe?

Continue >>

Anhang E

Ablauf des Interviews

Welche Bedingung wurde bevorzugt
(PZ923)

- mit virtuellen Objekten
- ohne virtuelle Objekten

Welche Bedingung wurde bevorzugt
(PZ907)

- mit virtuellen Objekten
- ohne virtuelle Objekten

Warum wurde diese Bedingung bevorzugt (und nicht die andere?)

Gilt das für beide aufgabenteile? (Memory/Positionierung gleichermaßen?) Warum (nicht)?

Wie wichtig war die reale Umgebung für Sie (PZ923)

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

min max

Wie wichtig war die reale Umgebung für Sie (PZ907)

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

min max

Wie wichtig war die reale Umgebung für Sie?
Warum?

Wie wichtig war die reale Umgebung für Sie

Gilt dies für beide Aufgabenteile (Suche, Positionierung) gleichermaßen? Warum (nicht)?

Wie wichtig war die reale Umgebung für Sie

Gab es eine Bedingung (mit Objekte/ohne Objekte) in der dies mehr oder weniger zutraf?

Wurden während den Aufgaben bestimmte Objekte (physische oder virtuelle) besonders wahrgenommen und genutzt?**Wenn Ja**

welche Objekte genau? Warum diese?

Wenn Ja

In welchem Aufgabenteil?

Was hätte euch geholfen, euch noch besser abzustimmen? Aktionen?

Frage nach den Powerfeatures

Sonstige Anmerkungen

Anhang F

Auswertungsvorlage

		GRUPPE _____							
Durchlauf		1		2		3		4	
Zimmer		PZ907	PZ923	PZ907	PZ923	PZ907	PZ923	PZ907	PZ923
G	Cues								
	Koordinaten								
	Bilder								
	Selbst (neben, über, rechts von, ... MIR)								
R	Gesten (Visuelle Hinweise / Zeigen (Virtuell mit Box / Frustum))								
	Mitspieler (neben, über, rechts von, ... DIR)								
	Boxen (links von, über, neben, vor, ..., der BOX)								
	virt. Objekte (links von, über, neben, vor, ... dem virt OBJEKT)								
	reale Objekte (links von, über, neben, vor, ... dem realen OBJEKT)								
	Räumlich (weiter Richtung Tür, vorne (Bezug Fenster))								
	Relative Referenz zu Objekt aus Sicht des anderen Mitspielers								
	Relative Referenz auf Versuchsleiter								
	Selbst (bei MIR)								
	Mitspieler (bei DIR)								
A	Boxen (bei, ..., der BOX)								
	virt. Objekte (bei, ... dem virt. OBJEKT)								
	reale Objekte (bei, ... dem realen OBJEKT)								
	Räumlich (beim Fenster, bei der Tür)								
	Absolute Referenz auf Versuchsleiter								
S	Deiktische Referenz (hier, da)								
	Referenzen auf Reale Objekte im ANDEREN Raum								
	Referenz auf Position Zwischen Zwei Boxen/Virtuellen Objekten								
	Lösungsstrategie								
	Selbstgespräch								
Sonstige Anmerkungen									

Anhang G

Digitale Kopie der Bachelorarbeit