

Eine Vergleichsstudie dreier Navigationsmethoden für VR

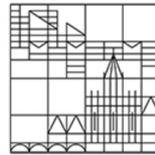
Bachelorarbeit

vorgelegt von

Tobias Böhnemann

an der

Universität
Konstanz



Sektion HCI

Fachbereich Informatik

- 1. Gutachter:** Prof. Dr. Harald Reiterer
- 2. Gutachter:** Dr. Björn Sommer

Konstanz, 2019

Zusammenfassung

In dieser Bachelorarbeit wird Konzipierung, Durchführung und Auswertung einer Studie zu VR-Navigation beschrieben. Zunächst werden Stand der Technik und Forschung präsentiert, dann die Planung der Studie ausgeführt und schließlich die Ergebnisse dargestellt und diskutiert. Verglichen wurden drei Navigationsmethoden, Teleport, Zonenbewegung und Trackpadbewegung, wobei ersterer die Implementation in SteamVR war, während die anderen selbst implementiert wurden. Beide selbst-implementierten Techniken hatten den Ansatz, den Reiseweg bei einer Bewegung anders als Teleport zu zeigen. In der Studie hat sich gezeigt, dass dies einen positiven Effekt auf die Performance in Suchaufgaben haben kann. Gleichzeitig wurde Teleport jedoch als angenehmer zu nutzen bewertet und reduzierte das Risiko von VR-Sickness deutlich gegenüber den anderen Techniken.

This bachelor thesis covers the conception, execution, and evaluation of a study concerning navigation in VR. First the state of the art and research are presented, then the planning and execution of the study are documented. In the study three navigation methods were compared: Teleportation, zone-movement, and trackpad-movement, the former using the SteamVR implementation, the latter two being implemented for this work. Both of those methods attempted to keep up perception of the environment along the travel trajectory unlike the teleportation technique. The study suggests that this does have a positive effect on the performance in search tasks. At the same time it also reinforced how teleportation is rated more comfortable to use while reducing the risk of VR-sickness.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Stand der Technik	1
1.2	Navigation in VR	3
1.2.1	Wayfinding	4
1.2.2	Travel	5
1.2.3	Fazit	6
2	Related Work	7
2.1	Memory in Motion [1]	7
2.2	Walking improves your cognitive map in environments that are large-scale and large in extent) [2]	8
2.3	Comparing the performance of natural, semi-natural, and non-natural locomotion techniques in virtual reality [3]	9
2.4	Das FIFA (Framework for Interaction Fidelity Analysis) [4]	10
2.4.1	Biometrical Symmetry	11
2.4.2	Input Veracity	12
2.4.3	Control Symmetry	12
2.5	Das 'Uncanny Valley' der VR-Interaktion	12
3	Experiment	14
3.1	Forschungsfragen	14
3.2	Setting	16
3.3	Aufgaben	17
3.3.1	Navigation	17
3.3.2	Bewertung	18
3.3.3	Erinnerungstest	18
3.4	Ablauf	19
3.5	Teilnehmer	20
4	Analyse	21
4.1	Natürlichkeit	21
4.1.1	TELEPORT	21
4.1.2	ZONE	21
4.1.3	PAD	21
4.2	VR-Sickness	22
4.3	Performance	22
4.3.1	Zeit	23
4.3.2	Distanz	24

INHALTSVERZEICHNIS

4.4	Räumliches Erinnerungsvermögen	24
4.4.1	Erinnerungstest	26
4.5	Subjektive Bewertung	28
4.5.1	Kognitive Belastung	28
4.5.2	Qualität	29
5	Diskussion	32
5.1	Räumliches Erinnerungsvermögen	32
5.2	Performance	32
5.3	Subjektive Bewertung	33
5.4	VR-Sickness	34
5.5	Limitationen	34
6	Fortführende Arbeit	36
6.1	Setting	36
6.2	Forschungsthemen	36
7	Fazit	37
A	Karten Erinnerungstest	40
B	Umgebungen	42

Abbildungsverzeichnis

1	Der Wayfinding-Entscheidungsprozess [5]	4
2	Taxonomie für Travel-Techniken [5]	5
3	Input-Conditions für die Navigation [1]	7
4	Die Studienumgebung [2]	8
5	Die Virtusphere [3]	9
6	Das Setting der Studie [3]	10
7	Der User-System Loop und die drei Kategorien des FIFA [4] . . .	11
8	Der Zielprozess beim Teleport, hellgrüner Strahl zum Zielen, grüner Rahmen als Indikator des begehbaren Bereichs	14
9	Konzept der Zonen-Bewegung, Ruhezone im Zentrum, Zonen mit Bewegung an den Kanten	15
10	Das Camera-Rig im Unity-Editor mit Visualisierung der Bewe- gungszonen in rot	15
11	Bewegung mit Trackpad-Navigation, visualisierter Berührungs- punkt	16
12	Eine der Studienumgebungen, konstruiert nach den Umgebungen von R. A. Ruddel et al. [2]	17
13	Eine der Karten, auf denen die Objekte eingeordnet werden sollten	19
14	Durchschnittliche Zeit in s für die gesamte Suchaufgabe	23
15	Durchschnittliche in der Navigationsaufgabe zurückgelegte Strecke in m	24
16	Durchschnittliche Abweichung von der idealen Distanz bei der Suche nach den Objekten bei TELEPORT	25
17	Durchschnittliche Abweichung von der idealen Distanz bei der Suche nach den Objekten bei PAD	25
18	Durchschnittliche Abweichung von der idealen Distanz bei der Suche nach den Objekten bei ZONE	26
19	Durchschnittliche Abweichung in Ständen	27
20	Durchschnittlicher raw-Taskload Index	28
21	Vergleich der Bedingungen TELEPORT (blau) und ZONE (rot), UEQ Resultate	29
22	Vergleich der Bedingungen TELEPORT (blau) und PAD (rot), UEQ Resultate	30
23	Vergleich der Bedingungen ZONE (blau) und PAD (rot), UEQ Resultate	31
24	Fragebogen Karte A	40
25	Fragebogen Karte B	40

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

26	Fragebogen Karte C	41
27	Umgebung A	42
28	Umgebung B	42
29	Umgebung C	43

Tabellenverzeichnis

1	VR Systeme im Vergleich, Gear VR stellvertretend für Smartphone-Lösungen allgemein [6] [7] [8] [9]	2
2	VR-Controller Übersicht [6] [7] [8] [9]	2
3	Vergleich der Bedingungen TELEPORT und ZONE, T-Test Resultate	29
4	Vergleich der Bedingungen TELEPORT und PAD, T-Test Resultate	30
5	Vergleich der Bedingungen ZONE und PAD, T-Test Resultate . .	31

1 Einleitung

Virtual Reality (VR) ist ein Feld, das schon seit längerer Zeit erforscht wird, das jedoch in den letzten Jahren an Relevanz gewonnen hat, da die benötigte Technologie sowohl ausgereifter als auch günstiger geworden ist. Dies ermöglicht eine Vielzahl von neuen Anwendungsgebieten. In den meisten Anwendungen müssen sich Nutzer in einer virtuellen Umgebung bewegen. Dies ist in VR mit besonderen Herausforderungen verbunden, besonders wenn die virtuelle Umgebung groß ist. In dieser Arbeit werden zunächst der Stand der Technik und die Grundlagen von VR-Navigation erläutert. Dann wird der Stand der Forschung vorgestellt und eine Studie vorgestellt, die im Rahmen dieser Arbeit konzipiert und durchgeführt wurde.

1.1 Stand der Technik

Seit 2015 haben sich mehrere VR-Systeme etabliert, die in Preis, Ausstattung und Anwendungsgebiet variieren. Man kann zwischen zwei Kategorien unterscheiden: Headsets mit integriertem Videooutput und Halterungen für high-end Smartphones. Letztere werden vor allem für passive Anwendungen wie 360°-Video genutzt. Alle diese Systeme nutzen inertielle Sensoren, um die Ausrichtung des Geräts zu bestimmen. Smartphone-basierte Systeme sind auf diese Ausrichtungsbestimmung beschränkt, neuere Systeme können eine gröbere Positionsbestimmung durch den Abgleich von Kameraaufnahmen der Umgebung durchführen. Vollständige VR-Headsets sind meistens mit zusätzlichen Tracking-Möglichkeiten ausgestattet. Von diesen vollständigen Headsets gibt es aktuell drei Systeme am Markt. Playstation VR von Sony, ein Gerät für die Playstation 4, das neben inertialem Tracking mit der PS-Move-Kamera eine Positionsbestimmung durchführen kann, die allerdings, da es nur eine Kamera gibt und die Tiefenwahrnehmung nur wenn mindestens zwei der optischen Marker sichtbar sind funktioniert. Oculus Rift und HTC Vive sind beides Geräte für den PC und haben beide Lösungen für vollständiges Raumtracking. Alle drei der vollständigen VR-Headsets haben außerdem Motion-Controller, die ebenfalls mit dem Tracking-System arbeiten.

1.1 Stand der Technik

Tabelle 1: VR Systeme im Vergleich, Gear VR stellvertretend für Smartphone-Lösungen allgemein [6] [7] [8] [9]

	System	Input
	Oculus Rift	PC-Hardware, Oculus Touch, Raum-Tracking
	Playstation VR	Playstation-Hardware, PS-Move
	HTC Vive	PC-Hardware, Motion Controller, Raum-Tracking
	Samsung Gear VR	Fernbedingung, Bluetooth Controller

Tabelle 2: VR-Controller Übersicht [6] [7] [8] [9]

	Gerät	Ausstattung	Freiheitsgrade
	HTC Vive Controller	Optisches Tracking, Trigger mit zwei Stufen, digitaler Grip-Button, Trackpad	6 DoF, 2 DoF der Position auf dem Trackpad
	Oculus Touch	Optisches Tracking, Trigger mit zwei Stufen, digitaler Grip-Button, zwei digitale Tasten, Analog-Stick	6 DoF, 2 DoF der Ausrichtung am Analogstick
	Playstation Move	Optisches Tracking, Inertiales Tracking, Trigger mit zwei Stufen, 6 digitale Tasten	6 DoF, jedoch nur in einem relativ kleinen Kegel vor der Sensorenleiste

1.2 Navigation in VR

Für diese Systeme gibt es eine verschiedene Anwendungsfelder. Dominant sind dabei Videospiele, die aus der Übertragung des ursprünglichen Mediums heraus eine hohe Interaktionskomplexität besitzen. Doch auch andere Anwendungen wie Bildungsprogramme und Datenvisualisierung existieren.

Viele dieser Domänen erfordern die Navigation einer virtuellen Umgebung. Dabei ist ein zentrales Problem die so genannte 'VR-Sickness' [10]. Diese ist ein Phänomen, bei dem unter anderem die Dissonanz zwischen visuell wahrgenommener Bewegung und real empfundenen Kräften Übelkeit und Schwindel hervorruft [11]. Um dies zu vermeiden, sollte die körperfremde Bewegung in Anwendungen gering gehalten werden. Dies ist ein wichtiger Faktor bei der Betrachtung von Navigationsmethoden für VR.

1.2 Navigation in VR

Der Navigationsprozess für dreidimensionale Umgebungen, also auch VR, besteht Doug A. Bowman et al. nach aus zwei Komponenten: Wayfinding und Travel [5]. Wayfinding beschreibt dabei den kognitiven Prozess der Informationsverarbeitung und Herleitung von Aktionen mit dem Ziel der Bearbeitung einer Navigationsaufgabe. Travel beschreibt die Interaktion, die mit dem System möglich ist, um eine Bewegung oder allgemeiner Ortsveränderung zu bewirken.

1.2 Navigation in VR

1.2.1 Wayfinding

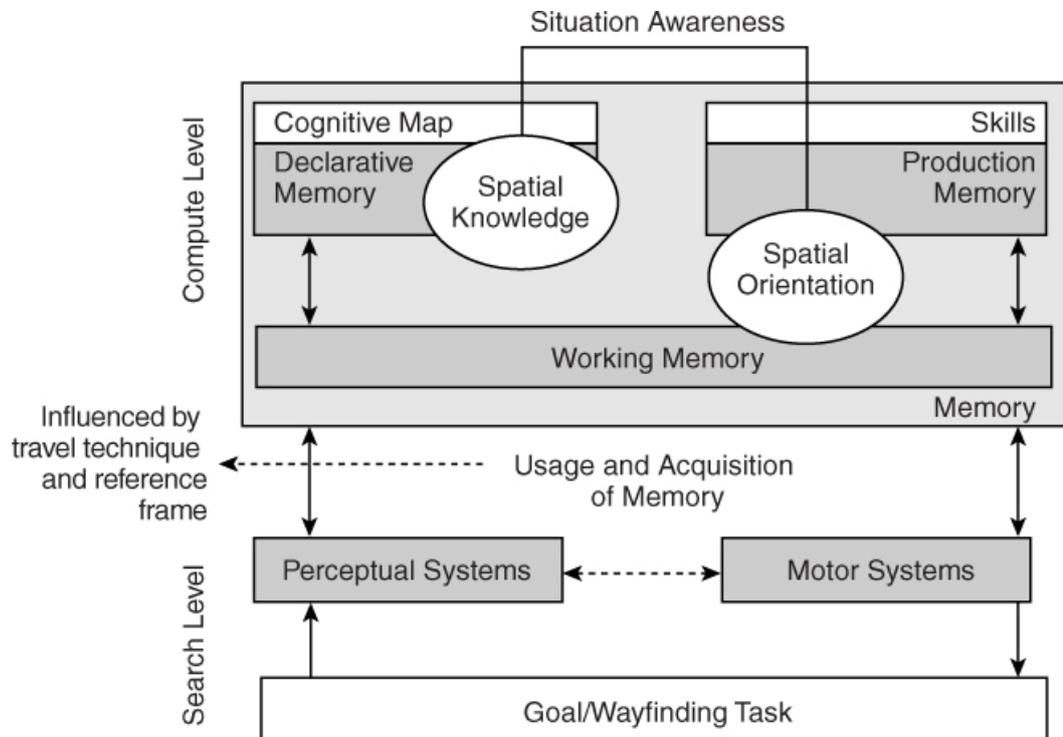


Abbildung 1: Der Wayfinding-Entscheidungsprozess [5]

Der Wayfinding-Prozess findet auf zwei Ebenen statt, der Zielebene und der Verarbeitungsebene. Schnittstellen zwischen diesen Ebenen sind die motorischen Systeme und die Wahrnehmungsorgane. Auf der Zielebene stehen die Navigationsaufgabe und Informationen zu dem Fortschritt bei der Erfüllung dieser. In der Verarbeitungsebene findet sich das Arbeitsgedächtnis. Dieses greift auf ein deklaratives und ein Produktionsgedächtnis zu. Im deklarativen Gedächtnis findet sich gesammeltes Wissen, in Bezug auf Navigation besonders die Repräsentation der navigierten Umgebung, die kognitive Karte. Im Produktionsgedächtnis finden sich die Fähigkeiten des Individuums. Für Navigation ist dabei besonders die Fähigkeit, die Wahrnehmung des Raums in räumliches Wissen zu übertragen. Durch diese wird die kognitive Karte gebildet. Bowman et al. definieren drei Arten von räumlichem Wissen:

- Landmarks sind visuell markante Merkmale der Umgebung, wie bestimmte Objekte oder Texturen. Sie sind die Basis der räumlichen Wahrnehmung
- Routenwissen besteht aus Anweisungen, die den Weg zu einem Ziel be-

1.2 Navigation in VR

schreiben.

- Kartenwissen ist die abstrakte mentale Darstellung der Umgebung, die Orte und Wege in Relation setzt.

Die Akquisition von Wissen und Möglichkeiten mit dem System zu interagieren werden maßgeblich von der verwendeten Travel-Technik beeinflusst.

1.2.2 Travel

Travel ist die motorische Komponente der Navigation. Um eine Travel-Technik zu beschreiben, kann man sie in drei Komponenten beschreiben: Den Methoden, mit denen Richtung und Geschwindigkeit gewählt werden, und der Art, wie Nutzer-Input verarbeitet wird.

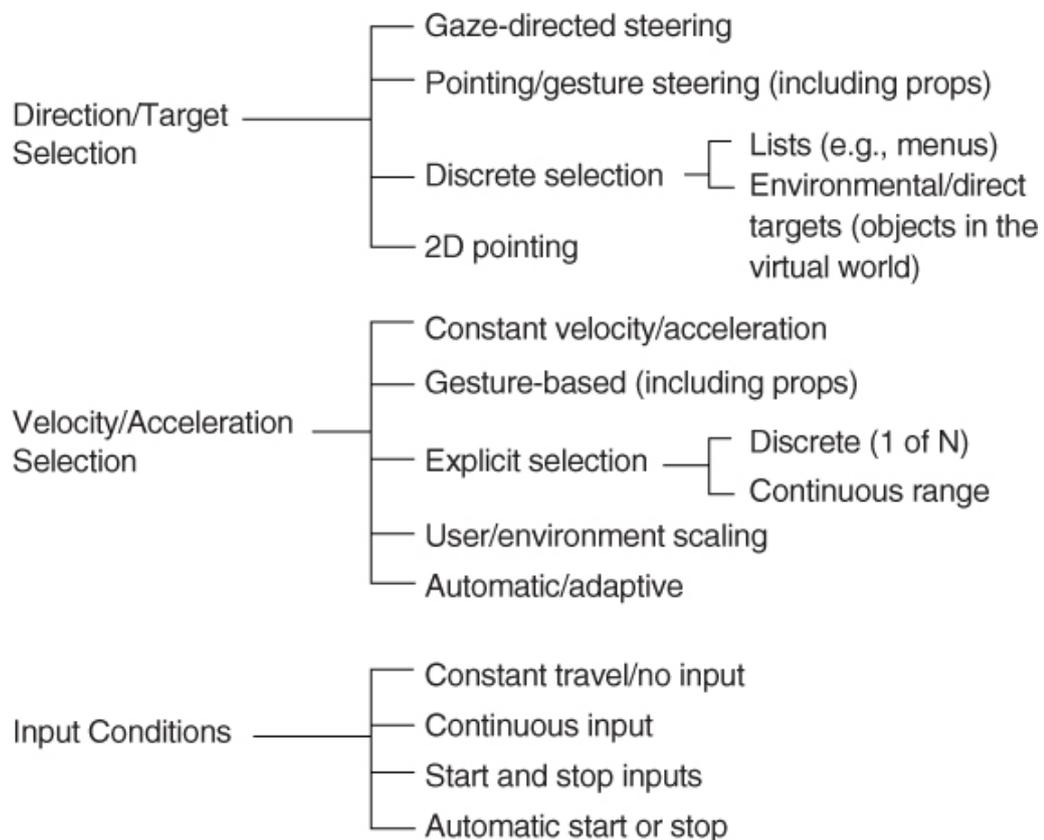


Abbildung 2: Taxonomie für Travel-Techniken [5]

Für VR hat sich eine Navigationsmethode besonders etabliert, die physische Bewegung. Dabei werden die Bewegungen des Nutzers direkt in die virtuelle Umgebung übersetzt, zum Beispiel durch Raumtracking, wie HTC Vive und

1.2 Navigation in VR

Oculus Rift es zur Verfügung stellen. Dadurch, dass die Bewegung vollständig natürlich ist, also keine Dissonanz zwischen visueller und Körperlicher Wahrnehmung auftritt, wird das Problem der 'VR-Sickness' vermieden. In die vorliegende Taxonomie eingeordnet wird beim der Richtungsselektion Pointing verwendet, wobei mit dem natürlichen Fortbewegungsapparat die Richtung bestimmt wird. Die Geschwindigkeit wird explizit aus einem kontinuierlichem Intervall gewählt. Input wird dabei konstant abgefragt. Viele VR-Anwendungen nutzen physische Bewegung als Basis. Dies limitiert allerdings die virtuelle Fläche, die von der Anwendung benutzt werden kann. Um dieses Problem zu umgehen, wird in der Praxis oft physische Bewegung mit einer zusätzlichen Travel-Technik kombiniert. Am häufigsten dazu verwendet wird der Teleport, eine Technik, bei der der Nutzer mit einem Bogen auf einen Punkt auf dem Boden zeigen kann, um sich augenblicklich dorthin zu teleportieren. Diese Methode hat einen Start-Input und beendet die Reise automatisch. Die Geschwindigkeit ist konstant, wobei sie dadurch, dass die Ortsveränderung sofortig ist, als unendlich groß betrachtet werden kann. Die Selektion des Ziels ist diskret, wobei in der Umgebung direkt gewählt wird. Diese Methode hat den Vorteil, dass keine Bewegung visuell wahrgenommen wird und so das Risiko von 'VR-Sickness' gering gehalten wird. Es wird allerdings vermutet [5], dass der sofortige Ortswechsel einen negativen Effekt auf das Orientierungsvermögen des Nutzers hat.

1.2.3 Fazit

Für Navigation in VR ist die Entwicklung einer kognitiven Karte wichtig. Diese wird von der verwendeten Interaktionsmethode beeinflusst. Bei der Analyse von Navigationsmethoden ist daher der Einfluss auf die Fähigkeit, eine kognitive Karte zu bilden neben anderen selbsterklärenden Maßen zu betrachten. Diese sind die Performance, also die Effektivität der Aufgabenerfüllung, und die User Satisfaction, also der Grad, in dem Nutzer das System gerne verwenden. Ersteres erschließt sich daraus, dass idealerweise für eine gegebene Aufgabe die effizienteste Navigationsmethode verwendet wird, letzteres daraus, dass auch eine effektive Methode schwer zu etablieren ist, wenn sie unangenehm ist.

2 Related Work

2.1 Memory in Motion [1]

Die Fähigkeit zu navigieren ist eng mit der Entwicklung einer kognitiven Karte verknüpft. J. Zagermann et al. entwickelten ein robustes Studiendesign, um sowohl Navigationsperformance als auch die Entwicklung der kognitiven Karte der Umgebung zu untersuchen. Angewendet wurde dieses bei der Navigation einer zweidimensionalen Ebene, wobei drei Input-Bedingungen und zwei Bildschirmgrößen verglichen wurden.



Abbildung 3: Input-Conditions für die Navigation [1]

In der Studie wurde eine Kombination von within-subject und between-subject-Design verwendet. Die Input-Bedingungen wurden within-subject verglichen, während die Bildschirmgrößen between-subject getestet wurden.

Die Level des Faktors Bildschirmgröße waren ein kleiner Bildschirm (10.6") und ein großer Bildschirm (55"). Die Input-Bedingungen waren ein Trackpad, Touch-Interaktion und ein Playstation-Move-Controller. In der Studie mussten die Teilnehmer Objekte auf einer Ebene finden. Dabei wurden zurückgelegte Strecke und Zeit erhoben, um die Performance zu bewerten.

Die Aufgabe bestand daraus, von einer Neutralposition aus ein Objekt, das in der Mitte des Displays angezeigt wurde, zu finden und mit dieser Repräsentation des Objekts zu überschneiden. Wenn das Objekt gefunden wurde, wurde das nächste zu findende Objekt angezeigt und die Anzeige an die Neutralposition zurückversetzt.

Um die selben Fragestellungen in VR zu untersuchen, kann dieses Setting transformiert werden. Dazu benötigt ist eine nicht-triviale Navigationsaufgabe und an das Medium angepasster Ablauf.

2.2 Walking improves your cognitive map in environments that are large-scale and large in extent) [2]

2.2 Walking improves your cognitive map in environments that are large-scale and large in extent) [2]

Eine entsprechende Navigationsaufgabe wurde 2011 von R. A. Ruddle et al. verwendet, um den Einfluss physischen Laufens auf den Erwerb räumlichen Wissens in 'large scale'-Umgebungen zu untersuchen. 'Scale' bezeichnet, wie übersichtlich die Umgebung ist. Das Experiment wurde einmal in einer kleinen und einmal in einer großen Umgebung durchgeführt. Diese Bedingung wurde als 'extent' bezeichnet.

Für die Studie wurden zwei Labyrinth konstruiert, die einer Markthalle nachempfunden waren. Sie bestanden aus Ständen und Trennwänden. Die Stände waren dabei quadratische Podeste, die nur von einer Seite aus einzusehen waren. Diese wurden im rechteckigen Raum in einem Raster angeordnet. Zwischen Ständen können Trennwände gezogen werden, die die Sicht einschränkten. Auf den Podesten der Stände wurden verschiedene Objekte verteilt.

Die Aufgabe der Teilnehmer bestand darin, vier spezifische Objekte in dieser Umgebung zu finden. Diese wurden ihnen gleichzeitig angezeigt. Verglichen wurden die folgenden drei Navigationsmethoden:

1. Physisches Laufen in einer getrackten Umgebung (small extent) oder mit omnidirektionalem Laufband (large extent)
2. Physisches Laufen auf einem Laufband mit Rotationsinput aus einem Controller
3. Reiner Controller-Input

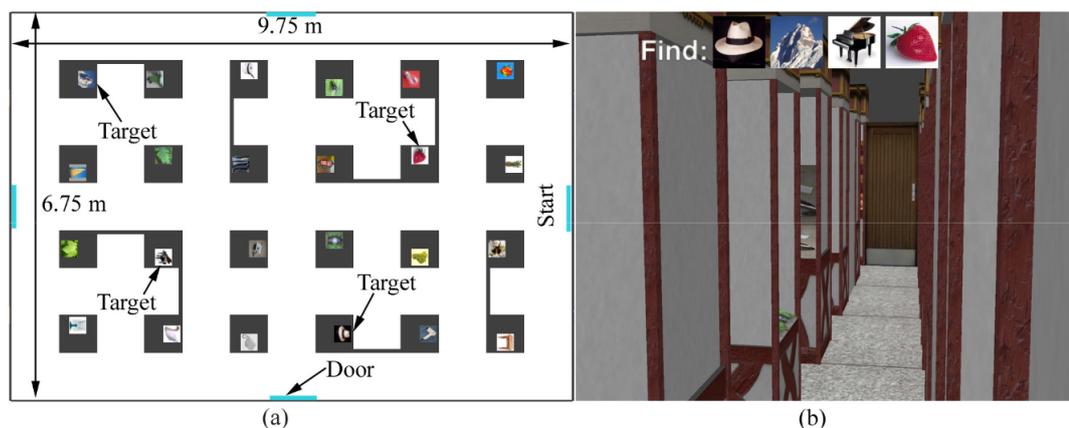


Abbildung 4: Die Studienumgebung [2]

2.3 Comparing the performance of natural, semi-natural, and non-natural locomotion techniques in virtual reality [3]

Erhoben wurde die zurückgelegte Distanz. Eine geringere Distanz wurde als Indikator für eine bessere kognitive Karte interpretiert. Unabhängig von 'extent' des Settings schnitt die Methode des physischen Laufens dabei am besten ab.

2.3 Comparing the performance of natural, semi-natural, and non-natural locomotion techniques in virtual reality [3]

M.Nabiyouni et al. verglichen 2015 drei Input-Methoden für Navigation in VR, wobei diese nach ihrer Natürlichkeit selektiert waren. Da die verschiedenen Input-Methoden zu anderen Navigationsmethoden führen, können diese auch als solche betrachtet werden. Verglichen wurden eine wenig natürliche Methode, reiner Controllerinput, eine natürliche Methode, Tracking, und eine Methode mittlerer Natürlichkeit, die Fortbewegung mit einer Virtuspheere. Die Virtuspheere ist eine auf Rollen gelagerte Kugel, deren Bewegung erfasst und in virtuelle Fortbewegung umgesetzt werden kann.



Abbildung 5: Die Virtuspheere [3]

In der Studie mussten die Teilnehmer Linien ablaufen, wobei die benötigte Zeit, Abweichung von der Linie und subjektive Bewertung der Technik erfasst wurden. Dabei musste zuerst eine Übungsaufgabe absolviert werden, bei der einer geraden Linie gefolgt werden musste. Dann wurde mit der gelernten Technik in einer anderen Umgebung eine Linie mit einer rechtwinkligen Abbiegung abgelaufen, wobei Daten aufgenommen wurden. Dieser Ablauf sicherte eine grundlegende Kompetenz der Teilnehmer mit den Techniken.

2.4 Das FIFA (Framework for Interaction Fidelity Analysis) [4]

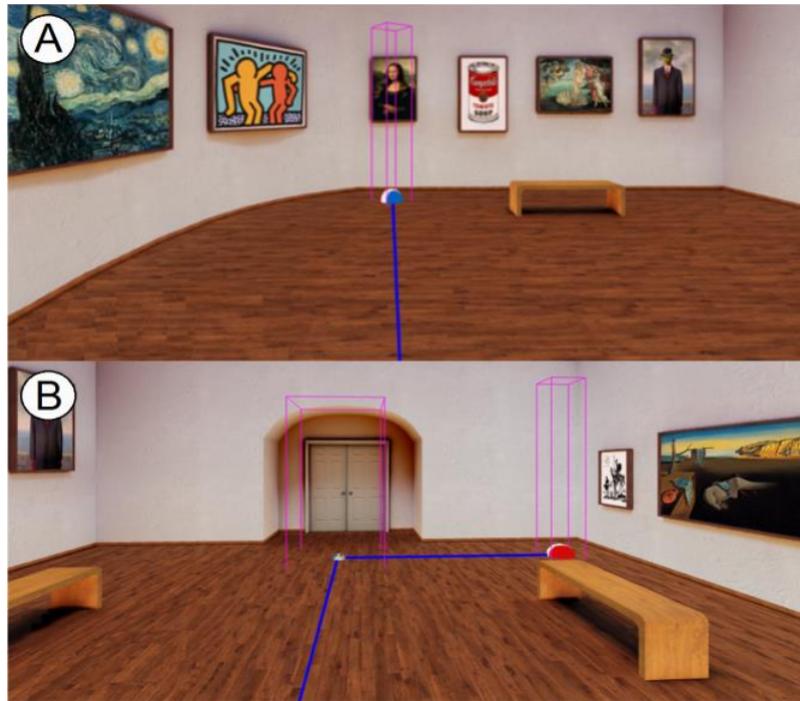


Abbildung 6: Das Setting der Studie [3]

Entgegen der intuitiven Annahme, dass mehr Natürlichkeit zu einer besseren Performance führt, schnitt in der Studie die Virtusphere am schwächsten ab. Tracking als natürlichste Technik zeigte allerdings wie erwartet die besten Ergebnisse. Dies zeigt, dass die Natürlichkeit einer Technik ein komplexes Attribut ist, dessen Verständnis einen großen Beitrag zur Verbesserung von VR-Anwendungen liefern kann.

2.4 Das FIFA (Framework for Interaction Fidelity Analysis) [4]

Die Natürlichkeit einer Navigationstechnik ist ein wichtiger Aspekt bei ihrer Analyse. R. P. Mc Mahan entwickelte 2011 das FIFA, mit dem dieser Aspekt präzise beschrieben und eingeordnet werden kann, wobei dieses für Interaktionsmethoden allgemein entwickelt wurde. Es wurde 2016 zu der Form weiterentwickelt [4], die hier vorgestellt wird. Das FIFA bewertet eine Interaktionstechnik in drei Kategorien: Biometrical Symmetry, Input Veracity und Control Symmetry. Diese Kategorien beziehen sich auf verschiedene Teile des User-System-Loops. Dieser ist ein Modell davon, wie Nutzer und System interagieren. Der Nutzer plant eine Aktion und handelt entsprechend. Dazu nutzt er Input-Geräte,

2.4 Das FIFA (Framework for Interaction Fidelity Analysis) [4]

die seine Handlungen an den Computer durch eine Transferfunktion übermitteln. Der Computer verarbeitet diese Eingabe und erstellt Feedback, das gerendert und über die verwendeten Output-Geräte an den Nutzer gegeben wird, der auf der Basis der Effekte seiner Aktion weitere Interaktionen beginnen kann.

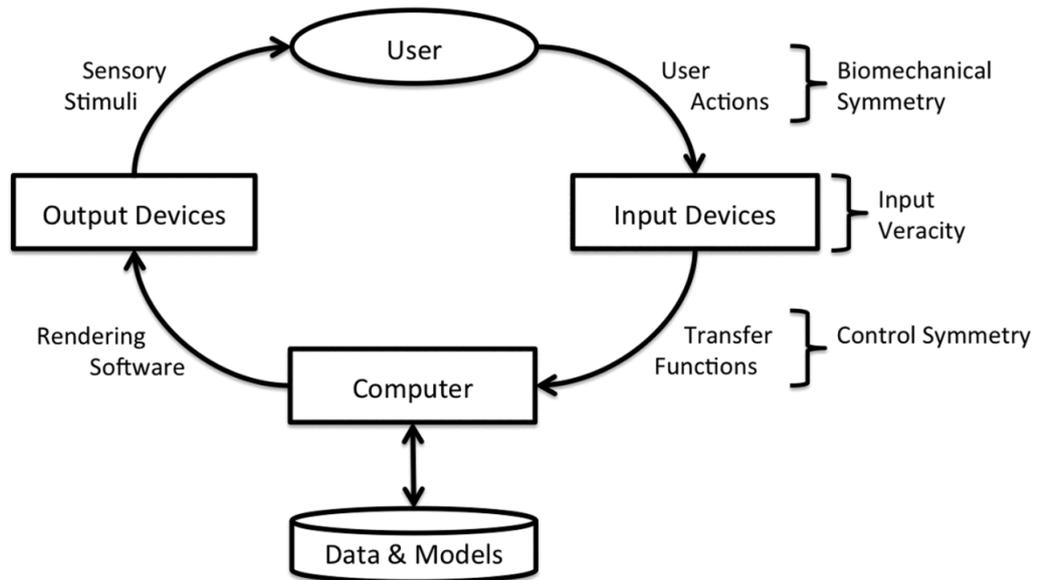


Abbildung 7: Der User-System Loop und die drei Kategorien des FIFA [4]

Im Folgenden werden diese Kategorien und ihre Bewertungskriterien näher betrachtet.

2.4.1 Biometrical Symmetry

Interaktionen in VR haben meistens Äquivalente in der realen Welt. Die Komponente Biometrical Symmetry beschreibt den Grad der Genauigkeit, mit der eine Interaktion in VR die Körperbewegung des Äquivalents in der Realität repliziert. Dabei werden drei Faktoren betrachtet: Der Grad der Genauigkeit, mit der die selben Körperteile wie bei der äquivalenten realen Interaktion in der virtuellen Interaktion verwendet werden. Dieser ist beispielsweise bei der Fortbewegung zu Fuß niedrig, wenn dazu ein Joystick mit der Hand benutzt wird, und hoch, wenn der Bewegungsapparat des Nutzers involviert wird. Dann den Grad der Genauigkeit, mit der die reale Bewegung der Interaktion repliziert wird. Dieser ist zum Beispiel beim Greifen eines Objektes niedrig, wenn die durch einen Tastendruck geschieht, und hoch, wenn dazu die Hand geschlossen werden muss. Der dritte Faktor ist der Grad der Genauigkeit, mit der die

2.5 Das 'Uncanny Valley' der VR-Interaktion

Kräfte, die in der realen Interaktion ausgeübt werden, repliziert werden. Bei einer reinen Gesten-Interaktion ist dieser niedrig, wenn zum Beispiel das Werfen eines Balls nur als Geste vollführt wird, und hoch, wenn tatsächlich reale Kräfte angewendet werden, beispielsweise bei der Fortbewegung durch getracktes reales Laufen, bei dem die Entsprechende Bewegung in die virtuelle Umgebung übertragen wird.

2.4.2 Input Veracity

In der Kategorie Input Veracity werden die Input-Geräte in Bezug auf ihre Genauigkeit beschrieben. Betrachtet werden dabei Präzision, die so hoch wie möglich, und Delay, das so gering wie möglich sein soll für eine hohe Input Veracity.

2.4.3 Control Symmetry

Control Symmetry beschreibt den Grad der Genauigkeit, mit der der Kontrollprozess der Interaktion in VR dem der äquivalenten realen Interaktion entspricht. Der Kontrollprozess bezeichnet dabei die Übertragung von Interaktionen des Nutzers auf Reaktionen des Systems. Diese kann als Transferfunktion aufgefasst werden, wobei bei dem realen Äquivalent der Interaktion dies meist die Identitätsfunktion ist. Eine Technik geringer Control Symmetry ist Raycasting, da hier die die Manipulation des Objekts, mit dem interagiert wird, räumlich verschoben ist. Eine Technik hoher Control Symmetry ist die direkte Rotation eines Objekts, die an die getrackte Bewegung der Hand gebunden ist.

2.5 Das 'Uncanny Valley' der VR-Interaktion

2016 führten R. P. McMahan et al. eine Meta-Analyse von Studien zu Interaktion in VR [4] durch, wobei sie untersuchten, wie sich die Natürlichkeit einer Technik, eingeschätzt mit dem FIFA, auf das Abschneiden verschiedener Interaktionstechniken auswirkte. Die dabei analysierten Ergebnisse entsprachen den bereits von M. Nabiyouni et al. beobachteten Mustern [3], bei denen Techniken mittlerer Natürlichkeit schlechter als sowohl weniger als auch stärker natürliche Techniken abschnitten. Die Prävalenz dieses Musters führte sie dazu, die Theorie eines 'Uncanny Valleys' der VR-Interaktion zu formen. 'Uncanny Valley' ist ein Begriff, der in der animatronischen Robotik und Computeranimation verwendet wird, um ein Wahrnehmungsphänomen zu beschreiben, bei dem die Nachbildung eines Menschen Betrachtern besser gefällt, je natürlicher und echter sie aussieht, allerdings ab einer gewissen Stufe, bevor sie von der Realität

2.5 Das 'Uncanny Valley' der VR-Interaktion

nicht mehr zu unterscheiden ist, als unangenehm anzusehen und gruselig wahrgenommen wird. In einer Visualisierung von Realismus und Bewertung erscheint dieses Phänomen als Knick, der ihm seinen Namen gibt.

McMahan et al. zogen Parallelen zwischen diesem Phänomen und den Ergebnissen der Studien, die sie betrachteten, da auch bei VR-Interaktion zwar eine große Natürlichkeit zu besser Performance und Bewertung führt, geringe Natürlichkeit aber bessere Ergebnisse bringt als mittelgroße. Diese Erkenntnisse zeigen, dass Natürlichkeit keine Eigenschaft ist, die für eine Interaktionsmethode um ihrer selbst Willen verfolgt werden sollte, sondern auch negative Effekte haben kann.

3 Experiment

3.1 Forschungsfragen

Die folgenden Fragen wurden definiert:

1. Hat der Unterschied der Navigationsmethode einen Einfluss auf die Performance beim Navigieren?
2. Hat der Unterschied der Navigationsmethode einen Einfluss auf die Entwicklung des räumlichen Gedächtnis?
3. Hat der Unterschied der Navigationsmethode einen Einfluss auf die User-Experience?

Für die Navigationsmethode wurden drei Bedingungen definiert:

- TELEPORT für die Methode des Teleports. Bei dieser Methode kann der Nutzer sich frei in dem getrackten Bereich bewegen, aber auch die Position sofortig durch einen Teleport verändern. Benutzt wurde dazu die Implementation im Steam-VR-Paket für Unity, bei der der Nutzer per Tastendruck einen Bogen vom Controller ausstrahlt, an dessen Endpunkt er beim Loslassen versetzt wird. Während des Zielprozesses wird ein Rechteck um den Endpunkt angezeigt, dessen Grenzen denen des begehbaren Bereichs entsprechen, damit der Nutzer einschätzen kann, welche Fläche durch einen Teleport erschlossen wird.

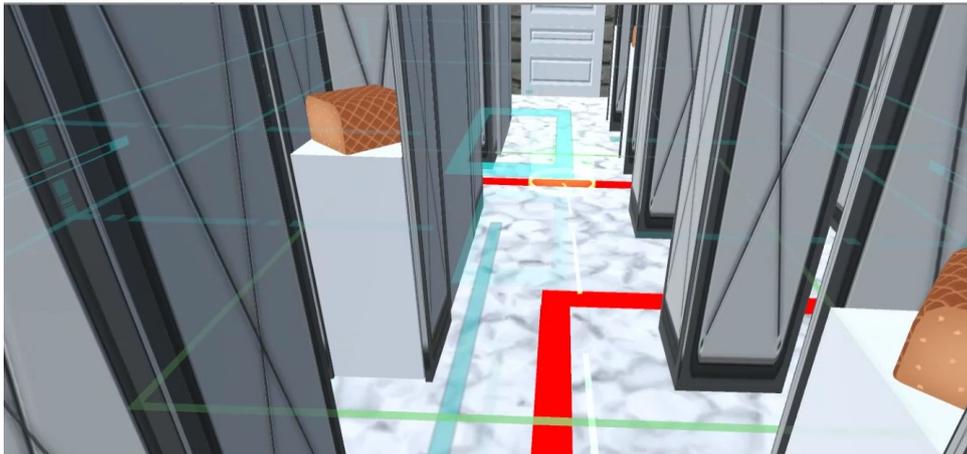


Abbildung 8: Der Zielprozess beim Teleport, hellgrüner Strahl zum Zielen, grüner Rahmen als Indikator des begehbaren Bereichs

3.1 Forschungsfragen

- ZONE für eine Navigationsmethode, bei der der Nutzer den getrackten Bereich begehen kann und bei der an den Kanten dessen Zonen eingeblendet sind, in denen der Nutzer in die Richtung der Kante bewegt wird.

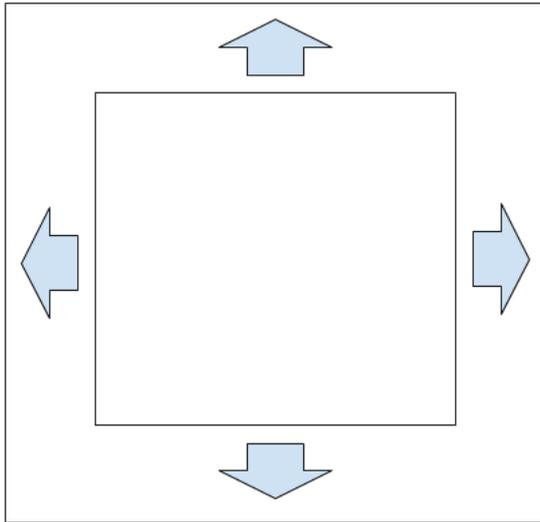


Abbildung 9: Konzept der Zonen-Bewegung, Ruhezone im Zentrum, Zonen mit Bewegung an den Kanten

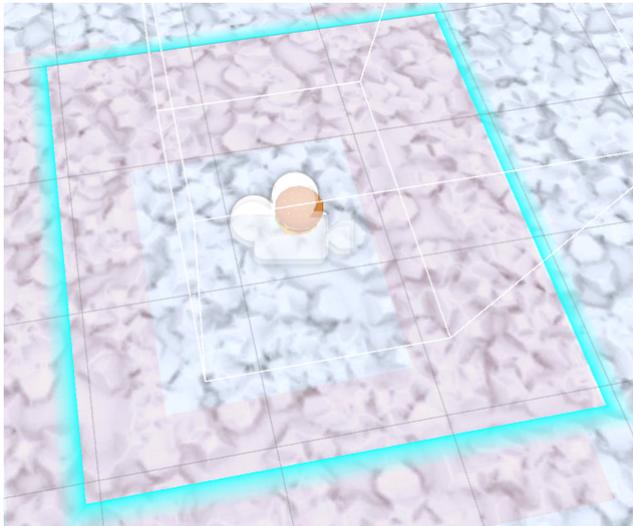


Abbildung 10: Das Camera-Rig im Unity-Editor mit Visualisierung der Bewegungszonen in rot

3.2 Setting

- PAD für eine Methode, bei der der Nutzer frei im getrackten Bereich laufen und zusätzlich seine Position durch das Berühren eines Trackpads verschieben kann. Das verwendete Trackpad des HTC-Vive-Controllers ist rund. Eine Berührung an der oberen Kante bewegt den Nutzer nach vorne, eine Berührung am unteren Ende nach hinten und dementsprechend nach links und rechts. Als Referenz dafür, was vorne ist, wird die Kante genutzt, zu der der Nutzer hinschaut. Um das 'Midas' Touch'-Problem zu vermeiden, wird diese Ausrichtung bei Initiation einer Berührung festgesetzt. Dadurch kann der Nutzer sowohl sich problemlos während einer Bewegung umsehen und sich darauf verlassen, immer in die erwartete Richtung zu gehen wenn, eine Bewegung gestartet wird.



Abbildung 11: Bewegung mit Trackpad-Navigation, visualisierter Berührungspunkt

3.2 Setting

Die Studie wurde im Media-Room des Fachbereichs HCI der Universität Konstanz durchgeführt. Genutzt wurde eine HTC Vive Pro, deren Trackingbereich auf eine Fläche von 3x3m konfiguriert wurde, und ein Paar Vive-Controller. Das Kabel der Vive wurde an der Decke über der Mitte des Raumes befestigt, um eventuelle Stolpergefahr als Störfaktor zu reduzieren. Das VR-Headset wurde nach jedem Teilnehmer desinfiziert um die Verbreitung von Augeninfektionen auszuschließen. Abseits des Trackingbereichs stand ein Tisch mit Sitzgelegenheit zur Bearbeitung von Fragebögen bereit.

3.3 Aufgaben

3.3 Aufgaben

3.3.1 Navigation

Um zu testen, wie sich die Navigationsmethoden auf das Navigationsvermögen auswirkt, mussten die Teilnehmer Suchaufgaben bearbeiten. Bei diesen wurden die Teilnehmer in Labyrinth versetzt, in denen sie Objekte lokalisieren mussten. Es wurden drei verschiedene Umgebungen verwendet, damit jeder Teilnehmer eine einzigartige Kombination von Navigationsmethoden und Umgebungen hatte. Die Umgebungen waren der Studie [2] von Roy A. Ruddel et al. nachempfunden und bestanden aus einer Kombination von Ständen, die in einem Raster angeordnet und nur von einer Seite einsehbar waren, und Trennwänden. Die Labyrinth waren mit verschiedenen Objekten gefüllt, wovon vier gesucht werden mussten. Als Objekte wurden dreidimensionale Modelle von Lebensmitteln in einem Cartoon-Stil verwendet. Die zu suchenden Objekte waren für die Umgebungen verschieden und hatten vergleichbare Distanzen zur Startposition. Diese waren für das erste Objekt $3.5m$, das zweite $9m$, das dritte $10.5m$ und das letzte $7.5m$, die gereist werden mussten, um das Objekt sehen und berühren zu können.

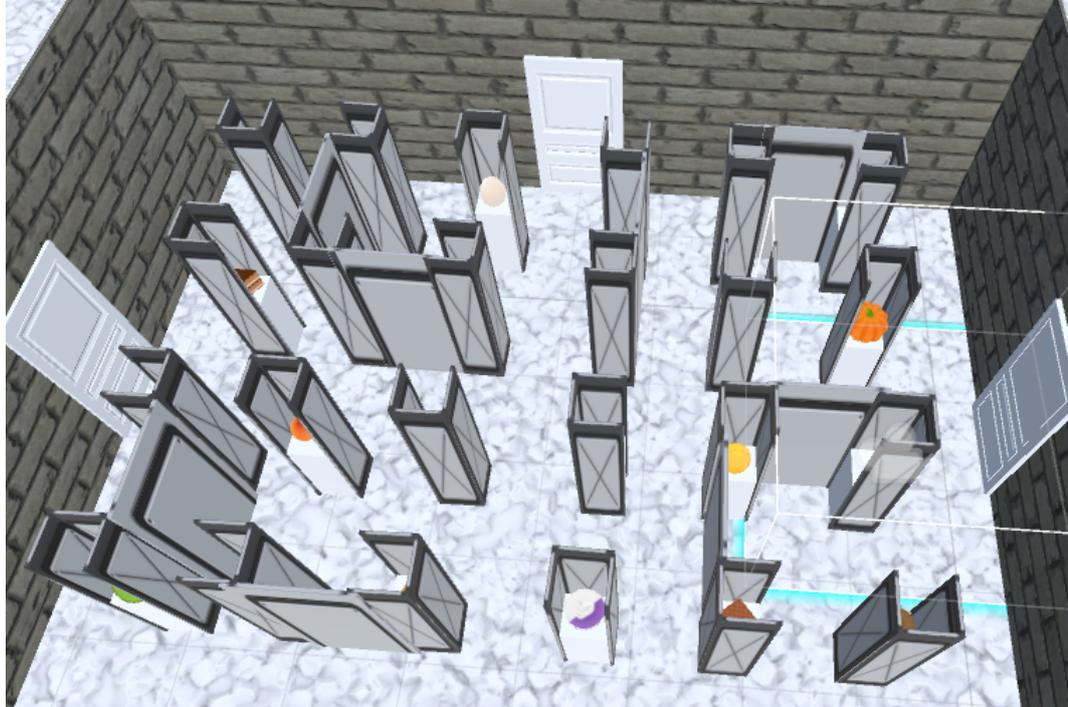


Abbildung 12: Eine der Studienumgebungen, konstruiert nach den Umgebungen von R. A. Ruddel et al. [2]

3.3 Aufgaben

Für die Aufgabe mussten die Teilnehmer nacheinander die vier Objekte im Labyrinth lokalisieren, wobei immer nur ein Objekt zur Zeit gesucht wurde. Das aktuell zu findende Objekt wurde immer an dem linken Controller angezeigt. Um ein Objekt als gefunden zu registrieren, musste es mit diesem berührt werden. Danach wurde im Zentrum des Trackingbereiches, also des realen Raumes, eine Säule eingeblendet, in die die Teilnehmer gehen mussten um an die Startposition zurückversetzt zu werden. Auf diese Weise wurde die Suche immer von der selben Position aus begonnen.

Dabei wurden Zeit und gereiste Distanz gemessen und ein Profil der Raumnutzung erstellt. Ein Maß für das räumliche Erinnerungsvermögen ist die Abweichung von einer idealen Strecke für eine Navigationsaufgabe. Um dies zu bestimmen, wurde für die einzelnen Objekte die bei der Suche gereisten Strecke mit dieser idealen Distanz verglichen.

3.3.2 Bewertung

Kognitive Belastung

Zur Bewertung der kognitiven Belastung bei der Aufgabenerfüllung wurde die Kurzfassung des NASA-TLX-Fragebogens [12] verwendet. Diese verzichtet auf eine Gewichtung der Kategorien, liefert aber dennoch valide Ergebnisse.

Qualitative Bewertung

Nach der Bewertung der kognitiven Belastung wurde eine User-Experience-Questionnaire [13] ausgefüllt, um die Qualität der Erfahrung zu Bewerten. Teilnehmer wurden dabei angewiesen, sich dabei auf die Methode der Navigation zu beziehen.

3.3.3 Erinnerungstest

Nach der Bearbeitung der beiden Fragebögen erhielten die Teilnehmer eine Karte der Umgebung (siehe Abbildung 13) des vorangegangenen Durchgangs der Navigationsaufgabe und vier Marker mit Abbildungen der Objekte, die gefunden werden sollten. Damit wurden sie angewiesen, die Objekte so genau wie möglich einzuordnen. Erhoben wurde dabei die Abweichung von der tatsächlichen Position, wobei diese in der Zahl der verfehlten Stände festgehalten wurde.

3.4 Ablauf

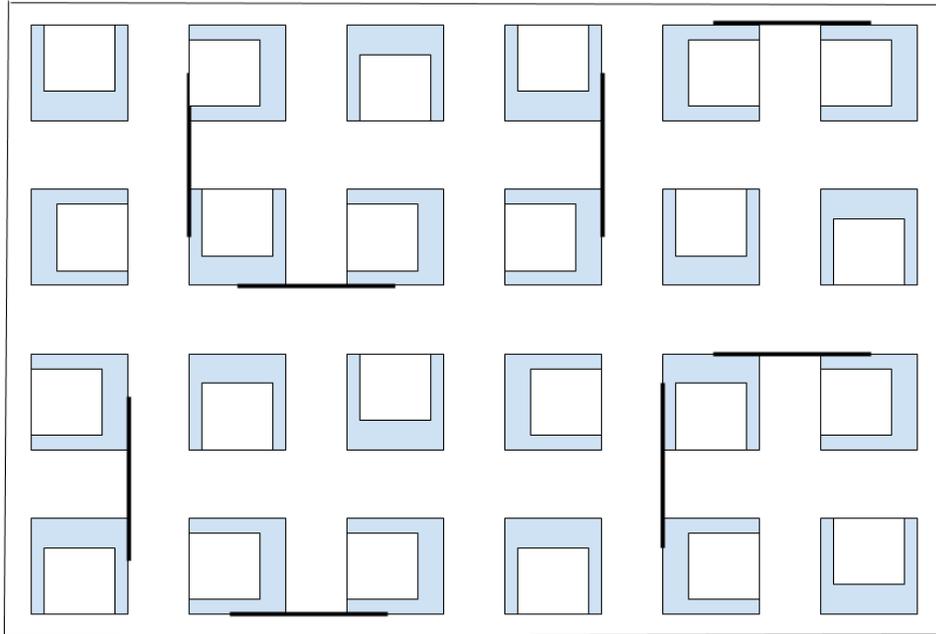


Abbildung 13: Eine der Karten, auf denen die Objekte eingeordnet werden sollten

3.4 Ablauf

Jeder Teilnehmer durchlief in der Studie drei Durchgänge, einen für jede Bedingung, wobei für jeden Durchgang in der Navigationsaufgabe eine andere Umgebung verwendet wurde. Diese Durchgänge hatten den folgenden Ablauf:

1. Navigationsaufgabe
2. NASA TLX
3. UEQ
4. Erinnerungstest

Sowohl NASA TLX als auch UEQ sollen so bald wie möglich nach der Interaktion mit dem zu evaluierendem System ausgefüllt werden. Daher wurde der NASA TLX in der verkürzten ungewichteten Version verwendet und vor dem längeren UEQ bearbeitet. Dieser Ablauf hatte außerdem den Vorteil, zwischen Navigationsaufgabe und Erinnerungstest eine Ablenkung bereitzustellen.

3.5 Teilnehmer

Vor diesem Ablauf erhielten die Teilnehmer eine Einverständniserklärung, die sie lesen und unterzeichnen mussten, um an der Studie teilzunehmen. Danach folgte ein demographischer Fragebogen, der auch vorherige Erfahrung mit VR erhob.

3.5 Teilnehmer

Die Studie wurde mit 20 Teilnehmern durchgeführt, die zwischen 19 und 33 Jahre alt waren mit einem durchschnittlichen Alter von 25 Jahren. 13 Teilnehmer waren weiblich. Rekrutiert wurde unter den Studenten der Universität Konstanz, ausgeschlossen wurden Brillenträger, um Probleme mit dem Sitz der VR-Brille zu vermeiden. Sieben Studenten kamen aus dem Fachbereich Psychologie, die anderen aus diversen anderen Studiengängen. Keiner der Teilnehmer war regelmäßiger VR-Nutzer, was als Person, die schon mehr als fünf mal VR-Systeme verwendet hat, definiert war. Alle Teilnehmer mussten eine Einverständniserklärung unterzeichnen, in der sie über ihre Rechte und das Risiko von Übelkeit aufgeklärt wurden. Fünf Teilnehmerinnen mussten wegen Übelkeit die Studie abbrechen, zwei davon bevor sie mehr als eine Bedingung abgeschlossen hatten.

4 Analyse

4.1 Natürlichkeit

Um die Daten besser einordnen zu können, werden im Folgenden die untersuchten Navigationsmethoden nach dem FIFA [4] klassifiziert.

4.1.1 TELEPORT

In der Bedingung TELEPORT ist die Biometrical Symmetry gering. Beim Laufen werden die Beine genutzt, die Navigationstechnik des Teleportierens erfordert die Nutzung von Arm und Hand. Der Bewegungslauf von drücken der Taste, Zielen und Loslassen ist grundsätzlich vom Laufen verschieden und involviert keine Kräfte. Durch die Nutzung der HTC Vive-Hardware in dieser Studie ist die Input Veracity hoch. Da die Prozesse sehr unterschiedlich sind, ist die Control Symmetry gering. Da die Teleportationstechnik in zwei der Kategorien sehr gering bewertet wird, handelt es sich bei ihr um eine nicht natürliche Technik.

4.1.2 ZONE

In der Bedingung ZONE ist die Biometrical Symmetry durchschnittlich, da zwar die Beine für die Interaktion genutzt werden, diese aber nur bei der Initiation der Bewegung bewegt werden müssen. Bei der Initiation der Bewegung wird dabei der natürliche Bewegungsablauf des Laufens mit allen involvierten Kräften repliziert. Danach steht der Nutzer still da, ohne dass Kräfte auf ihn wirken. Durch die Nutzung der HTC Vive ist die Input Veracity hoch, allerdings leicht eingeschränkt durch die nicht exakte Passform der verwendeten Unity-Collider. Die Control Symmetry ist durchschnittlich. Um in eine Richtung zu reisen, muss in diese Richtung gelaufen werden, wie in der Realität. Wenn eine Bewegung initiiert ist, muss nicht mehr gelaufen werden, ansonsten ist der Prozess noch immer der einer realen Bewegung gleich. Die Terminierung der Bewegung weicht jedoch deutlich von der Realität ab, hier müssen Schritte zurück durchgeführt werden um die Bewegungszone wieder zu verlassen, anstatt augenblicklich anzuhalten. Dem FIFA nach handelt es sich bei der in der Bedingung ZONE verwendeten Navigationstechnik also um eine mittelmäßig natürliche Technik.

4.1.3 PAD

In der Bedingung PAD ist die Biometrical Symmetry so wie bei TELEPORT gering. Die Input Veracity ist durch die Nutzung der HTC Vive hoch, da die Controller ein präzises Trackpad haben. Die Control Symmetry ist mittelstark.

4.2 VR-Sickness

Initiation und Terminierung der Bewegung sind wie beim natürlichen Laufen augenblicklich und auch die Reisezeit ist ähnlich. Allerdings ist durch die Beschränkung auf vier Hauptrichtungen die Möglichkeit der kleinschrittigen Richtungskorrektur deutlich geringer. In der Bewertung der Natürlichkeit liegt die Bedingung PAD zwischen TELEPORT und ZONE, ist also eine wenig natürliche Technik.

4.2 VR-Sickness

Von 19 Teilnehmern äußerten sieben Unwohlsein. Vier davon in der Bedingung ZONE, drei in der Bedingung PAD. Fünf davon erlebten akute Übelkeit und mussten die Teilnahme an der Studie abbrechen. Davon konnte eine Teilnehmerin nach der PAD-Bedingung nicht fortfahren, die eine sehr starke Reaktion zeigte. Einer andere Teilnehmerin musste direkt nach der ZONE-Bedingung abbrechen. Die anderen 3 Teilnehmerinnen traten noch weitere Bedingungen an, brachen diese jedoch ab.

4.3 Performance

Bei der Auswertung von Performance-Maßen wurden unvollständige Datensets ausgeschlossen, um eine ANOVA mit Messwiederholungen durchführen zu können. Damit fielen die fünf Teilnehmerinnen, die abbrechen mussten heraus, so wie eine weitere, bei der die Datenaufnahme einer Bedingung fehlschlug. Also blieben für die Analyse der Performance 14 Teilnehmer, von denen acht weiblich waren.

4.3 Performance

4.3.1 Zeit

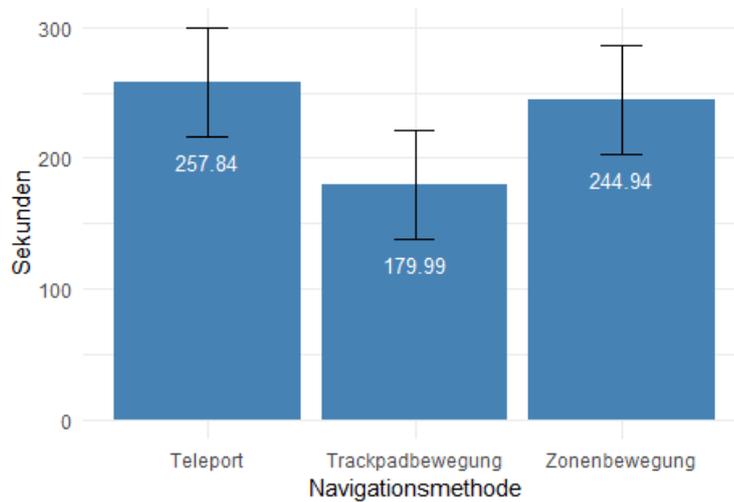


Abbildung 14: Durchschnittliche Zeit in s für die gesamte Suchaufgabe

Eine within-subject-ANOVA wurde durchgeführt, um den Einfluss der Navigationsmethode auf die benötigte Zeit bei der Aufgabenerfüllung zu untersuchen. Wenn die Annahmen der Sphärität verletzt wurden, wurde eine Greenhouse-Geisser-Korrektur durchgeführt. Es konnte kein signifikanter Unterschied in der Zeit zwischen den Bedingungen festgestellt werden [$F(2, 26) = 1.88, p = 0.17$]. Es waren also in keiner Bedingung die Teilnehmer signifikant schneller oder langsamer.

4.4 Räumliches Erinnerungsvermögen

4.3.2 Distanz

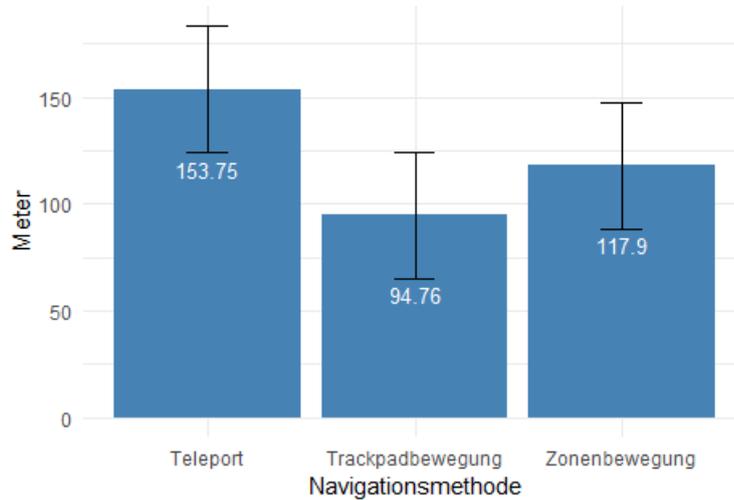


Abbildung 15: Durchschnittliche in der Navigationsaufgabe zurückgelegte Strecke in m

Auch für die benötigte Distanz wurde eine within-subject-ANOVA durchgeführt, um den Einfluss der Navigationsmethode auf diese zu untersuchen. Wenn die Annahmen der Sphärizität verletzt wurden, wurde eine Greenhouse-Geisser-Korrektur durchgeführt. Zwischen den Bedingungen konnte ein signifikanter Unterschied festgestellt werden [$F(2, 26) = 4.22, p = 0.03$]. Es wurde demnach in mindestens einer Bedingung bei der Erfüllung der Navigationsaufgabe eine signifikant andere Distanz zurückgelegt. Um festzustellen, welche Bedingungen abweichen, wurden post-hoc paarweise T-Tests durchgeführt. Dabei zeigten sich nach Bonferroni-Korrektur jedoch keine signifikanten Unterschiede, zwischen TELEPORT und PAD kann der Unterschied allerdings als marginal signifikant betrachtet werden [$t(13) = 2.45, p = 0.029$]. Dies zeigte sich nicht zwischen TELEPORT und ZONE [$t(13) = 1.59, p = 0.13$] und auch nicht zwischen ZONE und PAD [$t(13) = 1.77, p = 0.1$]. Es zeigte sich also ein Trend, nach dem die Teilnehmer mit TELEPORT und PAD unterschiedlich lange Strecken zurücklegten, wobei in PAD eine geringere Strecke zurückgelegt wurde.

4.4 Räumliches Erinnerungsvermögen

Für die Auswertung der Abweichung von der Idealdistanz wurden unvollständige Datensätze ausgeschlossen, um eine ANOVA durchführen zu können. Damit fielen die fünf Teilnehmerinnen, die abbrechen mussten heraus, so wie eine wei-

4.4 Räumliches Erinnerungsvermögen

tere, bei der die Datenaufnahme einer Bedingung fehlschlug. Also blieben für die Analyse der Abweichung von der Idealdistanz 14 Teilnehmer, von denen acht weiblich waren.

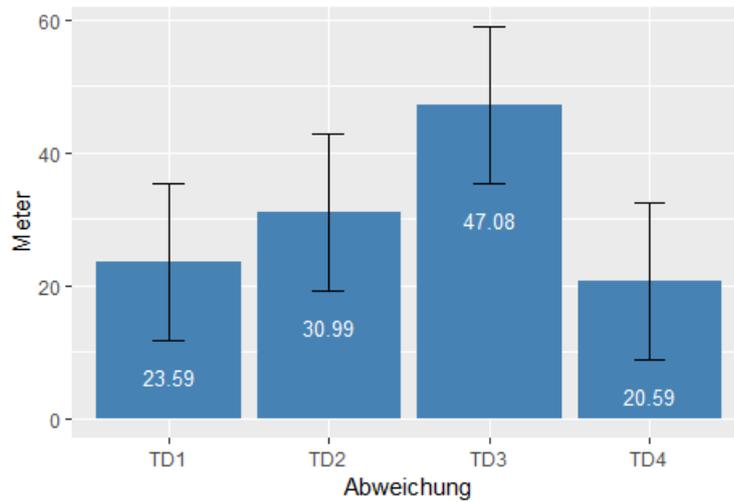


Abbildung 16: Durchschnittliche Abweichung von der idealen Distanz bei der Suche nach den Objekten bei TELEPORT

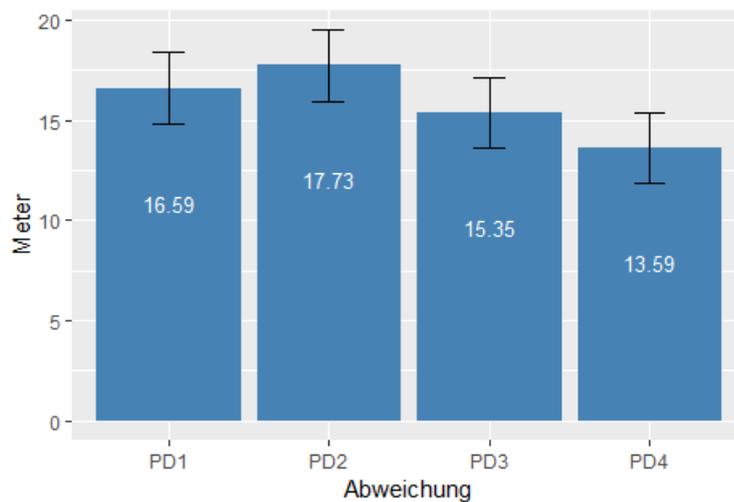


Abbildung 17: Durchschnittliche Abweichung von der idealen Distanz bei der Suche nach den Objekten bei PAD

4.4 Räumliches Erinnerungsvermögen

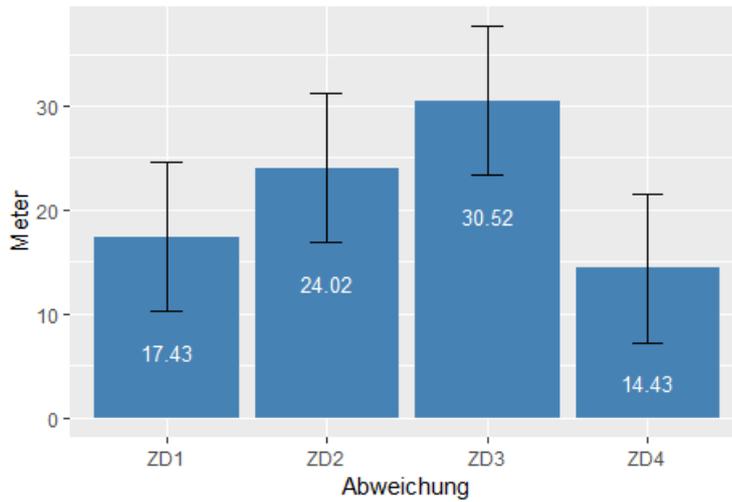


Abbildung 18: Durchschnittliche Abweichung von der idealen Distanz bei der Suche nach den Objekten bei ZONE

Zur Auswertung dieser Daten wurden für die einzelnen Objekte within-subject-ANOVAs durchgeführt, wobei eine Greenhouse-Geisser-Korrektur durchgeführt wurde, wenn die Annahmen der Spharizität verletzt wurden. Für keines der Objekte konnte ein signifikanter Unterschied zwischen den Bedingungen festgestellt werden $[F(2, 26) = 0.62, p = 0.55]$, $[F(2, 26) = 0.73, p = 0.49]$, $[F(2, 26) = 2.01, p = 0.15]$, $[F(2, 26) = 0.62, p = 0.55]$.

4.4.1 Erinnerungstest

Für die Auswertung des Erinnerungstests wurden unvollständige Datensätze ausgeschlossen, um eine ANOVA durchführen zu können. Es wurden also die 5 Teilnehmerinnen, die wegen Übelkeit abbrechen mussten, ausgeschlossen. Damit blieben 15 Teilnehmer, von denen 9 weiblich waren.

4.4 Räumliches Erinnerungsvermögen

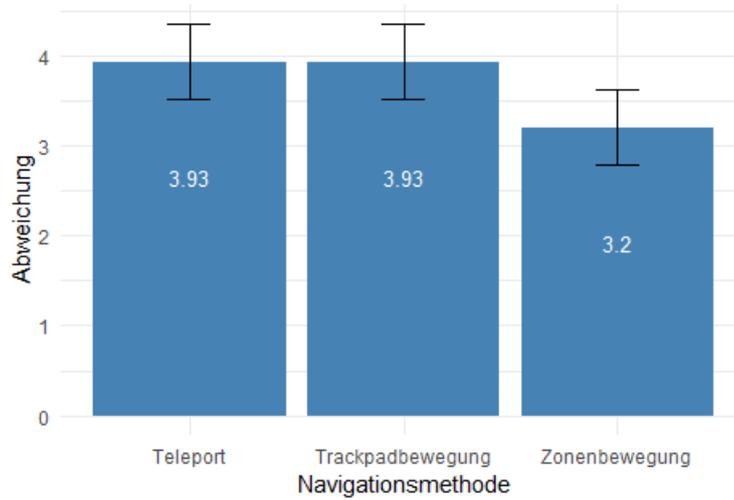


Abbildung 19: Durchschnittliche Abweichung in Stunden

Zur Auswertung der Daten des Erinnerungstests wurde eine within-subject-ANOVA durchgeführt. Wenn die Annahmen der Sphärität verletzt wurden, wurde eine Greenhouse-Geisser-Korrektur durchgeführt. Zwischen den Bedingungen konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden [$F(2, 28) = 0.6, p = 0.55$]. Die Teilnehmer konnten also unabhängig von der Navigationsmethode die Positionen der Gegenstände aus der Navigationsaufgabe gleich gut erinnern.

4.5 Subjektive Bewertung

4.5 Subjektive Bewertung

4.5.1 Kognitive Belastung

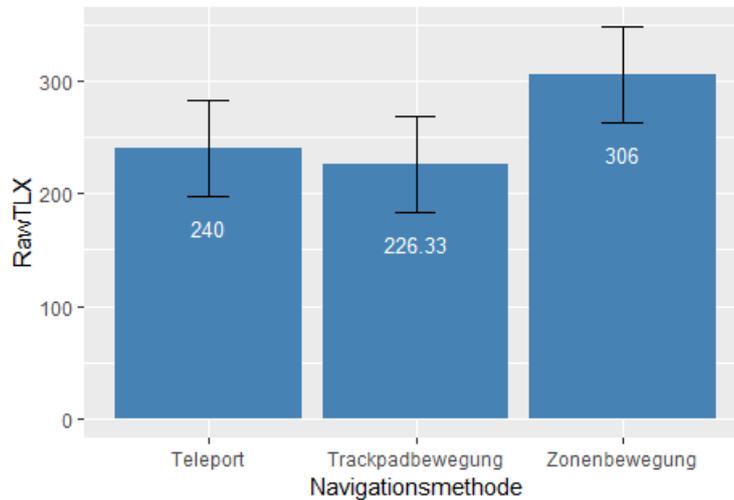


Abbildung 20: Durchschnittlicher raw-Taskload Index

Für die Auswertung des NASA TLX wurden alle vollständigen Datensätze benutzt, also 15, mit 9 weiblichen Teilnehmern. Mit diesen wurde eine within-subject-ANOVA durchgeführt, um den Einfluss der Navigationsmethode auf den ungewichteten Taskload-Index zu untersuchen. Wenn die Annahmen der Sphärität verletzt wurden, wurde eine Greenhouse-Geisser-Korrektur durchgeführt. Zwischen den Bedingungen konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden [$F(2, 28) = 2.68, p = 0.09$]. Demnach kann nicht gesagt werden, dass die Navigationsmethode einen signifikanten Einfluss auf die kognitive Belastung hatte. Das Ergebnis kann allerdings, da $p < 0.1$ ist, als marginal signifikant angesehen werden. Dies kann ein Hinweis darauf sein, dass doch ein Einflussverhältnis existiert. Daher wurden post-hoc paarweise t-Tests durchgeführt: Der Unterschied zwischen TELEPORT und ZONE war nicht signifikant [$t(14) = -1.87, p = 0.08$], so wie der zwischen TELEPORT und PAD [$t(14) = 0.32, p = 0.75$]. Der Unterschied zwischen ZONE und PAD war nach Bonferroni-Korrektur nicht signifikant [$t(14) = 2.47, p = 0.03$]. Es kann trotzdem vermutet werden, dass es einen Unterschied zwischen TELEPORT und PAD in der kognitiven Belastung gibt.

4.5 Subjektive Bewertung

4.5.2 Qualität

Für die Auswertung des UEQ wurde das paarweise Vergleichstool benutzt, in das Daten von allen Teilnehmern eingegeben wurden, die mindestens 2 Fragebögen vollständig bearbeitet hatten. Es wurden also Daten von 18 Teilnehmern ausgewertet, von denen 10 weiblich waren. Das Auswertungs-Tool führt paarweise für jede der Skalen des UEQ T-Tests durch. Das Alpha-Level war auf 0.05 festgelegt.

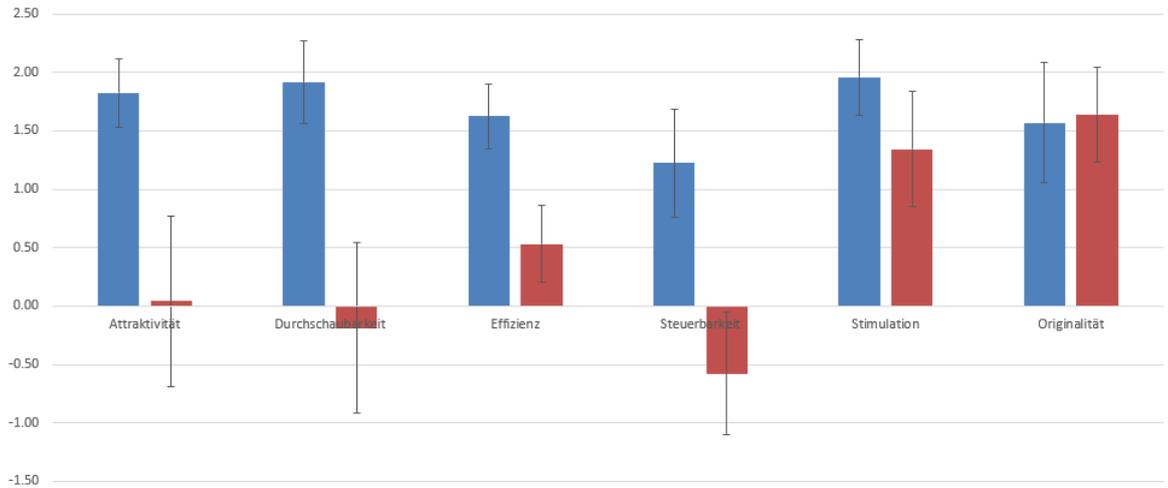


Abbildung 21: Vergleich der Bedingungen TELEPORT (blau) und ZONE (rot), UEQ Resultate

Tabelle 3: Vergleich der Bedingungen TELEPORT und ZONE, T-Test Resultate

UEQ-Skala	p
Attraktivität	0.0002
Durchschaubarkeit	0.0000
Effizienz	0.0000
Steuerbarkeit	0.0000
Stimulation	0.0506
Originalität	0.8325

Die Unterschiede in der Bewertung von TELEPORT und ZONE sind in den Skalen Attraktivität, Durchschaubarkeit, Effizienz und Steuerbarkeit Signifikant. In der Skala Stimulation sind sie es nicht, allerdings ist p nur 0.0006 höher als das Alpha-Level, weshalb auch hier ein Effekt vermutet werden kann. Die Unterschiede in der Skala Originalität sind nicht signifikant.

4.5 Subjektive Bewertung

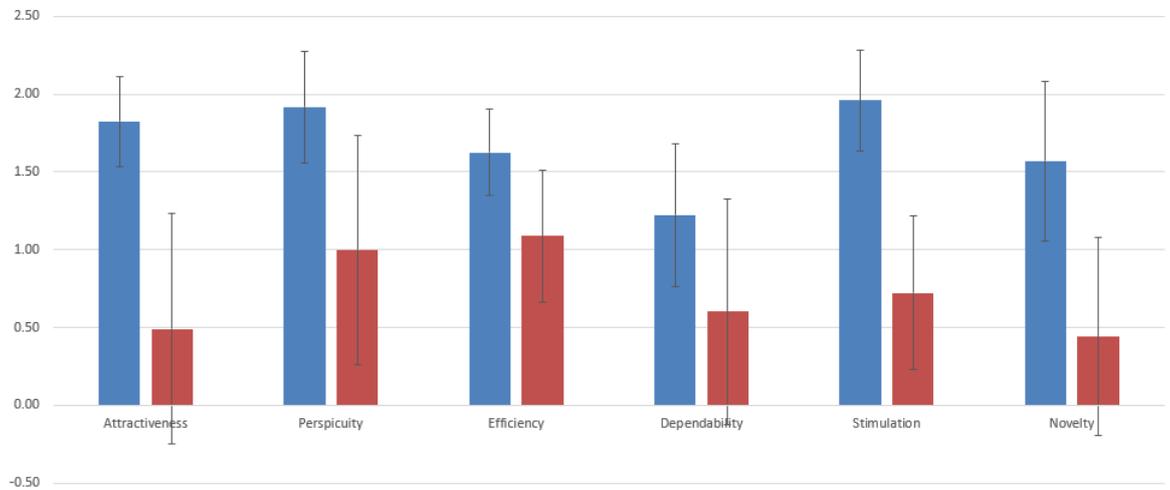


Abbildung 22: Vergleich der Bedingungen TELEPORT (blau) und PAD (rot), UEQ Resultate

Tabelle 4: Vergleich der Bedingungen TELEPORT und PAD, T-Test Resultate

UEQ-Skala	p
Attraktivität	0.0035
Durchschaubarkeit	0.0382
Effizienz	0.0482
Steuerbarkeit	0.1695
Stimulation	0.0003
Originalität	0.0109

Zwischen TELEPORT und PAD sind die Unterschiede auf den Skalen Attraktivität, Durchschaubarkeit, Effizienz, Stimulation und Originalität signifikant. Der Unterschied auf der Skala Steuerbarkeit ist es nicht.

4.5 Subjektive Bewertung

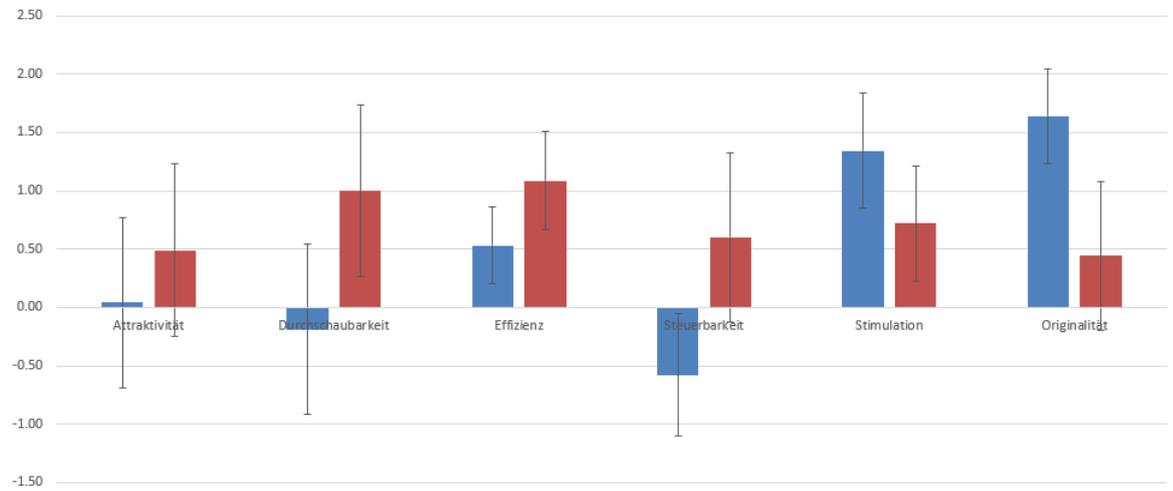


Abbildung 23: Vergleich der Bedingungen ZONE (blau) und PAD (rot), UEQ Resultate

Tabelle 5: Vergleich der Bedingungen ZONE und PAD, T-Test Resultate

UEQ-Skala	p
Attraktivität	0.4036
Durchschaubarkeit	0.0315
Effizienz	0.0516
Steuerbarkeit	0.0151
Stimulation	0.0894
Originalität	0.0044

Zwischen ZONE und PAD sind die Unterschiede auf den Skalen Durchschaubarkeit, Steuerbarkeit und Originalität signifikant. Keine Signifikanz erreichten die Unterschiede auf den Skalen Attraktivität, Effizienz und Stimulation.

5 Diskussion

In der vorliegenden Studie wurden drei Navigationsmethoden verglichen. Betrachtet wurden dabei der Einfluss, den die Unterschiede zwischen den Methoden auf die Navigationsfähigkeit in Bezug auf Performance und räumlichen Erinnerungsvermögen und die qualitative Bewertung durch die Teilnehmer. Im Folgenden werden die Ergebnisse der Studie diskutiert.

5.1 Räumliches Erinnerungsvermögen

Im Erinnerungstest konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Bedingungen gefunden werden. Auch rein deskriptiv haben die Ergebnisse nur eine geringe Aussagekraft, da die Differenzierungen minimal sind. Es gibt allerdings andere Indikatoren, dass die Bedingungen einen Einfluss auf das räumliche Erinnerungsvermögen haben. Einer dieser Indikatoren ist die Länge der Laufwege in den einzelnen Objekt-Suchen [1]. Dabei konnten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Bedingungen feststellen, allerdings zeigen die Daten einen interessanten Unterschied: Beim dritten Objekt, welches am weitesten entfernt ist, war in den Bedingungen TELEPORT und ZONE die Abweichung von der idealen Distanz am größten, während in in der Bedingung PAD die Abweichung nach dem zweiten Objekt stetig abnimmt. Auch allgemein ist in PAD die Abweichung am geringsten. Bei der Betrachtung der gesamt gereisten Distanz wurde in PAD eine signifikant kleinere Distanz als in TELEPORT zurückgelegt. Es kann vermutet werden, dass PAD einen positiven Einfluss auf die Entwicklung der kognitiven Karte hat. Dies ist konsistent mit der Aussage, dass Teleportation die Wahrnehmung unterbricht und daher Navigation erschwert [5]. Weshalb dieser Effekt nicht bei der Zonenbewegung auftritt ist nicht eindeutig, hängt allerdings potentiell mit der höheren kognitiven Belastung zusammen, die später erläutert wird.

5.2 Performance

Die Aufgaben wurden mit der Trackpadbewegung am schnellsten erledigt, mit der Teleportationstechnik waren die Teilnehmer am langsamsten. Keiner der Unterschiede ist allerdings signifikant. Interessanterweise geht dies einher mit dem signifikanten Unterschied zwischen TELEPORT und PAD bei der Distanz. Dies kann bedeuten, dass Trackpadbewegung effektiver als Teleportation ist. Ein Faktor dabei ist die Vertrautheit, die die Teilnehmer mit Konzepten der Trackpadbewegung potentiell hatten, da diese eine Simulation eines Joysticks ist. Diese ist bei der Teleportationstechnik nicht gegeben, da keiner der Teilneh-

5.3 Subjektive Bewertung

mer regelmäßig VR-Systeme genutzt hat. Vertrautheit erleichtert das Erlernen und die Nutzung neuer Interaktionstechniken [14]. Andererseits bedeutet dies auch, dass mit der Teleportationstechnik signifikant mehr Strecke in nicht signifikant größerer Zeit zurückgelegt werden kann.

5.3 Subjektive Bewertung

Die mentale Belastung bei der Aufgabenbewertung wurde im NASA TLX nicht signifikant unterschiedlich bewertet. Es zeigte sich allerdings ein klarer Trend dazu, dass in der Bedingung ZONE eine höhere Belastung als in der Bedingung PAD empfunden wurde. Dies kann wieder mit der höheren Vertrautheit der Trackpadbewegung erklärt werden, die, da bekannte Konzepte angewendet werden, eine kleinere Belastung erzeugt. Dem gegenüber steht die mittelstark natürliche Technik der Zonenbewegung, die verschiedene Schwächen hat, die durch die UEQ-Bewertungen deutlich werden.

Im UEQ schnitt die Zonenbewegung deutlich schwächer ab als die anderen beiden Techniken. Teleport wurde auf allen Skalen bis auf Stimulation und Originalität signifikant besser bewertet. Die Bewertung auf diesen beiden Skalen kann darauf zurückgeführt werden, dass beide Techniken und VR allgemein für die Teilnehmer neuartig waren. Besonders deutlich ist die negative Bewertung auf der Skala Steuerbarkeit. Auch im Vergleich mit der Trackpadbewegung schneidet die Zonenbewegung in den Skalen Steuerbarkeit und Durchschaubarkeit signifikant schlechter ab. Eine mögliche Erklärung dafür sind die Faktoren, die die Natürlichkeit der Zonenbewegung begrenzen. Die Terminierung einer Bewegung geschieht nicht augenblicklich wie bei der Natürlichen Bewegung. Dies erschwert die Steuerbarkeit, da eine Bewegung nicht spontan beendet werden und es so zu Overshooting kommen kann. Auch ist dadurch, dass die Detektion der Überschneidung mit einer Zone nicht exakt mit dem Körper übereinstimmen kann, die Vorhersehbarkeit eingeschränkt, was die Durchschaubarkeit beeinflussen kann. Die Trackpadbewegung schnitt auf der Skala Originalität signifikant schlechter als sowohl Teleportation als auch Zonenbewegung. Dies bedeutet zwar, dass die Technik als weniger interessant empfunden wurde, kann aber auch implizieren, dass die vertrauten Elemente der Technik als solche wahrgenommen wurden. Damit konsistent ist die Bewertung der Steuerbarkeit, die im Vergleich zur Zonenbewegung signifikant besser und im Vergleich zum Teleport nicht signifikant schlechter ist. Der Teleport schnitt bei der UEQ-Bewertung klar am besten ab. Bis auf die Skalen Originalität und Stimulation im Vergleich mit Zonenbewegung und Steuerbarkeit im Vergleich mit Trackpadbewegung schneidet die Technik überall signifikant besser ab. Dies kann damit erklärt werden, dass

5.4 VR-Sickness

es sich um eine sehr präzise Technik handelt, die außerdem durch das Wegfallen von Laufwegen sich schneller anfühlt. Die gute Bewertung auf der Skala Effizienz steht dabei interessanterweise der Tatsache gegenüber, dass Teleport die langsamste Technik war, die Empfindung der Schnelligkeit übertrifft hier also die tatsächliche Performance. Auch drückt sich hier möglicherweise unbewusstes VR-Sickness-Empfinden aus, durch das auch Teilnehmer, die keine Symptome äußerten, die Techniken mit körperfremder Bewegung als weniger angenehm empfanden.

5.4 VR-Sickness

Von 20 Teilnehmern äußerten fünf Personen Symptome [11], die mit 'VR-Sickness' assoziiert sind. Dies ist, wie erwartet werden musste, ein nicht vernachlässigbarer Teil der Stichprobe. Die meisten Untersuchungen von VR sind mit diesem Problem konfrontiert, vereinzelt sind bis zu 80% der Teilnehmer betroffen [15]. Da Resistenz zu 'VR-Sickness' in einem gewissen Maß trainiert werden kann [15], können Methoden wie die Trackpadbewegung dennoch eine limitierte praktische Relevanz als optionale Methoden oder für spezifische Anwendungen haben.

5.5 Limitationen

Die Stichprobe der Studie ist eher klein. Dies reduziert die statistische Kraft der Studie und erlaubt weniger tiefgehende Betrachtungen. Zum Beispiel können Geschlechtereffekte, die für Navigation existieren [16], nicht aussagekräftig analysiert werden. Dadurch, dass das Geschlechterverhältnis annähernd ausgeglichen ist, kann allerdings davon ausgegangen werden, dass der Einfluss auf die Ergebnisse gering ist. Auch ist es denkbar, dass untersuchte Effekte nicht erkannt wurden. Außerdem wurde davon ausgegangen, dass die verschiedenen erhobenen Daten voneinander unabhängig sind, um die Aussagekraft nicht durch weitere Korrekturen für mehrfaches Testen reduzieren zu müssen. Im Erinnerungstest konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Bedingungen gefunden werden. Die Aussagekraft dieses Ergebnisses ist gering, da in der Aufgabe wenig Raum für Differenzierung gegeben war. Anders als bei Zagermann et al. [1] wurden in dieser Studie nur Objekte abgefragt, die auch Gegenstand der Suchaufgabe waren. Damit werden einerseits nur Objekte abgefragt, die besonders wahrgenommen wurden und nicht nur als Landmarks fungierten, und andererseits weniger Raum für Fehler gegeben. Die Gesamtheit der Objekte abzufragen geht zwar mit einer etwas größeren Belastung der Teilnehmer einher, verspricht allerdings deutlich klarere Ergebnisse. Ein weiteres Problem durch die Wahl

5.5 Limitationen

der Objekte sind mögliche Interferenzeffekte, da auf allen Karten die selben Objekte verwendet wurden. Negative Interferenz ist ein Prozess, bei dem gelerntes semantisches Wissen den Erwerb neuen, ähnlichen Wissens erschwert [17]. Dies kann in der vorliegenden Studie den Effekt gehabt haben, dass dadurch, dass bereits Positionen für viele der Objekte gemerkt waren, die in den folgenden Aufgaben dann das Lernen der neuen Positionen erschwerten. Bei der Durchführung der Studie wurde deutlich, dass durch die Aufhängung des Kabels zwar die Stolpergefahr vermieden wurde, das Kabel allerdings trotzdem ein Störfaktor blieb. Kabellose Hardware ausreichender Qualität stand bei in dem Zeitraum der Studiendurchführung noch nicht zur Verfügung, ist aber in naher Zukunft eine Option, um diese Limitation vollständig zu entfernen.

6 Fortführende Arbeit

Der triangulierte Ansatz der Studie erlaubte trotz einiger Limitationen eine vielschichtige Analyse der verwendeten Navigationsmethoden. In nachfolgender Forschung kann das verwendete Setting daher zu höherer Aussagekraft und für unterschiedliche Fragestellungen weiterentwickelt werden.

6.1 Setting

Die Limitationen des Settings können adressiert werden. So sollte in dem Erinnerungstest um mehr Raum für Differenzierung zu schaffen die Gesamtheit der Objekte in der Umgebung abgefragt werden, wie dies von J. Zagermann et al. getan wurde [1]. Auch sollte eine größere Zahl von Teilnehmern aufgenommen werden, damit auch kleinere Effekte erfasst werden können. Um eventuelle Interferenzeffekte auszuschließen, sollte es keine Überschneidung zwischen den Objekten der verschiedenen Umgebungen geben. Kabellose Technik ist für das verwendete VR-Headset ideal, da Störungen und unnötige Bewegungen vermieden werden.

6.2 Forschungsthemen

Aus den Ergebnissen der Studie leiten sich verschiedene mögliche nachfolgende Fragestellungen her. Eine mögliche Forschungsrichtung wäre die tiefere Untersuchung der Teleportationstechnik. Diese ist eine in der Praxis weit verbreitete Technik, die wegen ihres großen Vorteils, 'VR-Sickness' zu vermeiden, bei der Entwicklung von VR-Anwendungen auch in der Zukunft eine wichtige Rolle spielen wird. Sie hat allerdings negative Effekte auf die Orientierungsfähigkeit [5], auf die auch die Ergebnisse der vorliegenden Studie hinweisen. Die Entwicklung von Möglichkeiten, diese Effekte zu reduzieren, ist daher von hoher Relevanz. Denkbar wäre es zum Beispiel, den Effekt einer Limitation der maximalen Teleportdistanz zu untersuchen, mit der Hypothese, dass eine verkürzte Maximaldistanz zu einer besseren Wahrnehmung der Umgebung und damit einer besseren Entwicklung der kognitiven Karte führt. Dazu würden die selben Fragestellungen wie in der vorliegenden Studie mit dem weiterentwickelten Setting untersucht werden, mit drei Bedingungen für eine kurze, eine mittlere und eine lange Distanz.

Ein weiteres Thema ist die Untersuchung anderer, praxisnäherer Navigationsmethoden wie der Input mit omnidirektionalen Treadmills. Auch dabei würde das weiterentwickelte Setting verwendet werden, um die entsprechende Methoden mit Referenzmethoden, vor allem Teleport, zu vergleichen.

7 Fazit

Bei der Betrachtung des Einflusses der Navigationsmethoden auf die Entwicklung räumlichen Wissens zeigten sich interessante Unterschiede zwischen den Bedingungen. Diese lassen darauf schließen, dass Teleport tatsächlich einen negativen Einfluss auf die Navigationsfähigkeit hat, wie dies von Bowman et al. ausgesagt wurde [5]. Dabei zeigte sich jedoch nur in der gereisten Distanz ein stärkerer Trend, nach dem diese bei der Trackpadbewegung geringer war als beim Teleport. Dieser Trend setzt sich bei der Performance fort. Auch hier weisen die Ergebnisse darauf hin, dass Teleport die schwächere Technik ist, allerdings können keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Dem gegenüber müssen die Ergebnisse der qualitativen Bewertung gestellt werden, bei denen Teleport klar stärker ist. Hier zeigte sich, dass die Zonenbewegung als Technik mittlerer Natürlichkeit große Probleme in der Nutzbarkeit hatte, was zu den Untersuchungen von Mc Mahan et al. [4] passt. Eine höhere Natürlichkeit hat hier nicht zu einer besseren Performance geführt. Der Unterschied zwischen Trackpadbewegung und Teleport kann zum Teil mit eventuellen 'VR-Sickness'-Effekten erklärt werden, aber auch mit einer besseren Nutzbarkeit. Die Kategorien, in denen die Trackpadbewegung gut abschnitt, weisen auf ein wichtiges Konzept hin, die Vertrautheit [14]. Diese ist als ein Aspekt, der die Nutzung von Interaktionstechniken erleichtert, für VR nicht weniger relevant als für andere Anwendungsgebiete. Die Betrachtung von 'VR-Sickness' war zwar kein zentrales Element der Studie, bringt jedoch wichtige Erkenntnisse. Es hat sich bestätigt, dass deren Auftreten eine starke Beschränkung für VR-Anwendungen ist. Daher ist für generelle Nutzung Teleport von den hier untersuchten die einzige anwendbare Technik. Für spezifische Anwendungen, die beispielsweise nur für eine resistente Nutzergruppe konzipiert sind, können jedoch andere Techniken eigene Vorteile bieten.

Die vorliegende Studie hat demonstriert, wie Teleport in der Entwicklung von VR-Anwendungen zwar eine unentbehrliche Technik ist, die Exploration von Alternativen wegen einiger Schwächen allerdings ein wichtiger Beitrag zum Feld ist. Die Entwicklung von Techniken, die sowohl die Entwicklung der kognitiven Karte unterstützen als auch 'VR-Sickness' vermeiden ist eine besondere Herausforderung.

Literatur

- [1] J. Zagermann, U. Pfeil, D. Fink, P. von Bauer, and H. Reiterer, “Memory in motion: The influence of gesture- and touch-based input modalities on spatial memory,” in *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI ’17, (New York, NY, USA), pp. 1899–1910, ACM, 2017.
- [2] R. A. Ruddle, E. Volkova, and H. H. Bühlhoff, “Walking improves your cognitive map in environments that are large-scale and large in extent,” *ACM Trans. Comput.-Hum. Interact.*, vol. 18, pp. 10:1–10:20, July 2011.
- [3] M. Nabyouni, A. Saktheeswaran, D. A. Bowman, and A. Karanth, “Comparing the performance of natural, semi-natural, and non-natural locomotion techniques in virtual reality,” in *2015 IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI)*, pp. 3–10, March 2015.
- [4] R. P. McMahan, C. Lai, and S. K. Pal, “Interaction fidelity: The uncanny valley of virtual reality interactions,” in *Virtual, Augmented and Mixed Reality* (S. Lackey and R. Shumaker, eds.), (Cham), pp. 59–70, Springer International Publishing, 2016.
- [5] D. A. Bowman, E. Kruijff, J. J. LaViola, and I. Poupyrev, *3D User Interfaces: Theory and Practice*. Redwood City, CA, USA: Addison Wesley Longman Publishing Co., Inc., 2004.
- [6] Valve, “Htc vive storepage,” 2016.
- [7] Oculus, “Oculus rift storepage,” 2016.
- [8] Sony, “Playstationvr storepage,” 2016.
- [9] Samsung, “Gearvr storepage,” 2015.
- [10] N. Tanaka and H. Takagi, “Virtual reality environment design of managing both presence and virtual reality sickness,” *Journal of physiological anthropology and applied human science*, vol. 23, no. 6, pp. 313–317, 2004.
- [11] J. J. LaViola Jr, “A discussion of cybersickness in virtual environments,” *ACM SIGCHI Bulletin*, vol. 32, no. 1, pp. 47–56, 2000.
- [12] S. G. Hart, “Nasa-task load index (nasa-tlx); 20 years later,” *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, vol. 50, no. 9, pp. 904–908, 2006.

LITERATUR

- [13] B. Laugwitz, M. Schrepp, and T. Held, “Konstruktion eines fragebogens zur messung der user experience von softwareprodukten,” in *Mensch und Computer 2006: Mensch und Computer im Strukturwandel* (A. M. Heinecke and H. Paul, eds.), (München), pp. 125–134, Oldenbourg Verlag, 2006.
- [14] P. Turner and G. de Walle, “Familiarity as a basis of universal design,” *Journal of Gerontechnology*, vol. 5, no. 3, pp. 150–159, 2006.
- [15] S. Davis, K. Nesbitt, and E. Nalivaiko, “A systematic review of cybersickness,” in *Proceedings of the 2014 Conference on Interactive Entertainment*, pp. 1–9, ACM, 2014.
- [16] J. T. Sneider, D. A. Hamilton, J. E. Cohen-Gilbert, D. J. Crowley, I. M. Rosso, and M. M. Silveri, “Sex differences in spatial navigation and perception in human adolescents and emerging adults,” *Behavioural processes*, vol. 111, pp. 42–50, 2015.
- [17] T. Schmidt, “Langzeitgedächtnis: Abruf und vergessen,”

A Karten Erinnerungstest

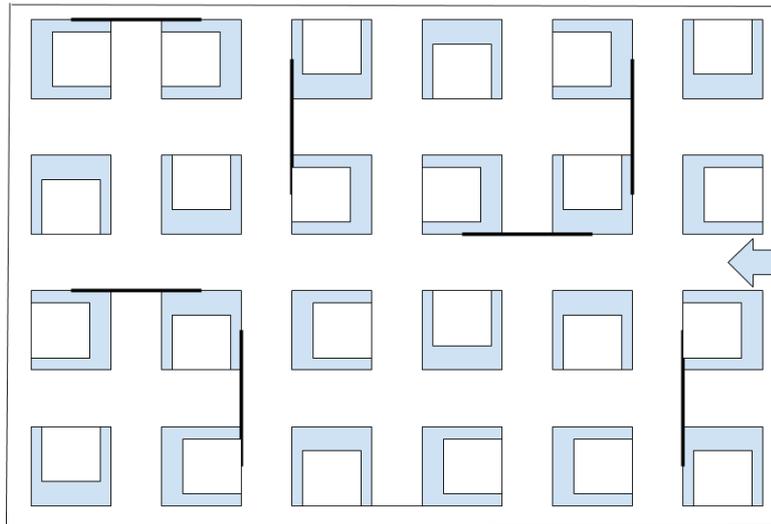


Abbildung 24: Fragebogen Karte A

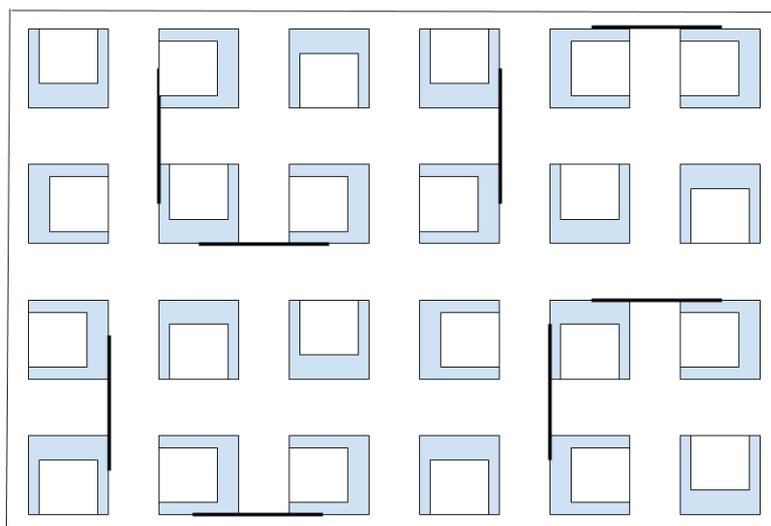


Abbildung 25: Fragebogen Karte B

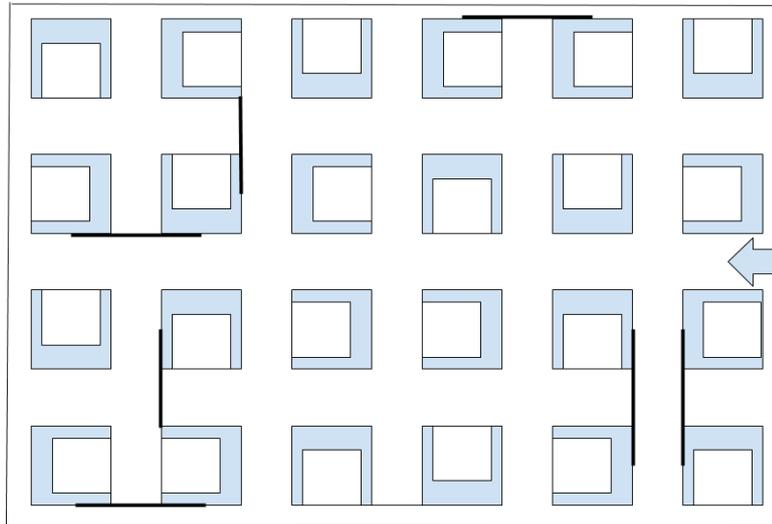


Abbildung 26: Fragebogen Karte C

B Umgebungen

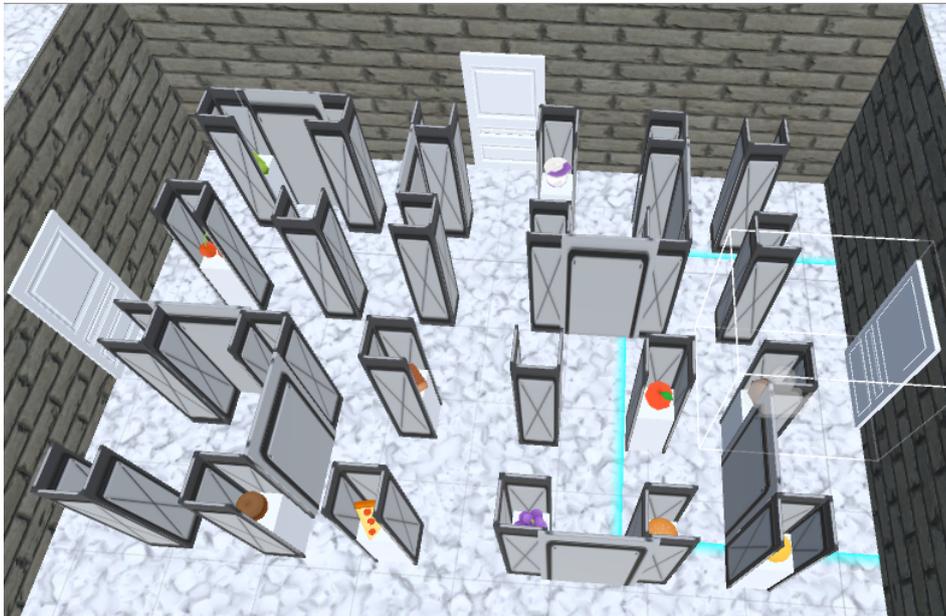


Abbildung 27: Umgebung A

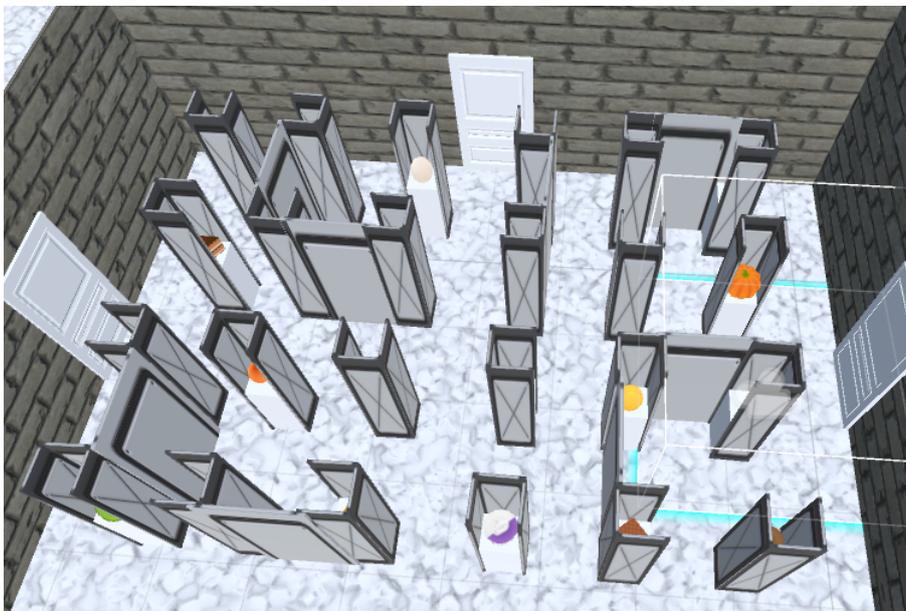


Abbildung 28: Umgebung B

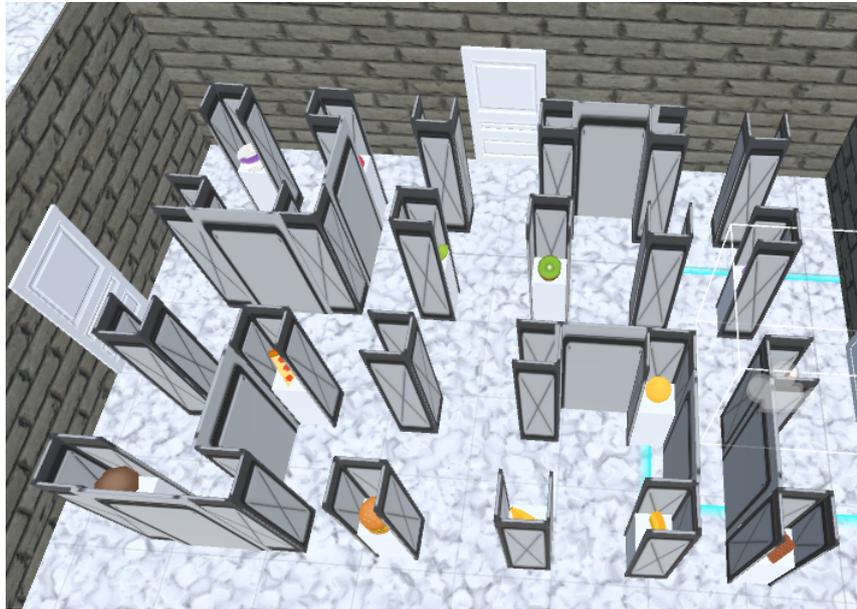


Abbildung 29: Umgebung C