



Fachbereich 3: Mathematik/Informatik

MEGAMAPS
Explorative, umgebungsintegrierte Karten für
Head-Mounted Displays

Masterarbeit

im Studiengang
„Informatik Master of Science“

Eingereicht zum 4. Februar 2019

Name: Ralf Manuel Morawe
Matrikelnummer: 2615732
Studiengang: Informatik
Fachsemester: 4
Erstgutachter: Prof. Dr. Johannes Schöning
Zweitgutachter: Prof. Dr. Gabriel Zachmann

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig angefertigt, nicht anderweitig zu Prüfungszwecken vorgelegt und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel verwendet habe. Sämtliche wissentlich verwendete Textausschnitte, Zitate oder Inhalte anderer Verfasser wurden ausdrücklich als solche gekennzeichnet.

Bremen, den 2. Februar 2019

Ralf Manuel Morawe

Danksagung

Zuerst möchte ich mich bei Prof. Dr. Johannes Schöning für die ausgezeichnete Betreuung dieser Masterarbeit bedanken. Das ausführliche Feedback war sehr hilfreich, hat mir immer neue Impulse gegeben und mich stets zum Weitermachen motiviert. Des Weiteren bedanke ich mich bei Prof. Dr. Gabriel Zachmann, der sich Zeit nimmt, diese Arbeit als Zweitgutachter zu bewerten.

Ein großes Dankeschön geht an alle Tester, die ihre kostbare Zeit für die Nutzerstudie ohne jegliches Entgelt zur Verfügung gestellt haben. Eure Resonanz war essentiell für diese Arbeit und ich genoss den Austausch und die Diskussionen sehr.

Mein Dank gilt auch dem Team der Arbeitsgruppe Human-Computer Interaction. Insbesondere Ankit Kariryaa und Daniel Diethel für die Unterstützung bei der Auswertung der Studie, sowie Gian-Luca Savino für das zwischenzeitliche Testen und Feedback.

Ich möchte mich auch sehr bei Amrei für das Korrekturlesen der Arbeit und die Verbesserungsvorschläge bedanken.

Ein großer Dank gilt meinen Eltern, die mich die letzten Jahre emotional und finanziell unterstützt und mir das Studium ermöglicht haben. Euch verdanke ich eine tolle Zeit an der Universität Bremen und eine großartige Ausbildung.

Zuletzt bedanke ich mich von ganzem Herzen bei meiner Verlobten und besten Freundin Bianca. Du hast unglaubliche Geduld bewiesen, mir immer den Rücken freigehalten und dich während meinen langen Arbeitsstunden liebevoll um unser Kind gekümmert. Ich verdanke dir so viel. Ohne dich wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen.

Zusammenfassung

Diese Masterarbeit widmet sich dem Thema, wie die Erkundung von Gebäuden mithilfe von digital augmentierten Innenraumkarten unterstützt werden kann. Hierfür wird das Konzept der *Megamap* präsentiert. Es handelt sich dabei um eine neuartige Form, dreidimensionale Gebäudekarten mithilfe eines Mixed-Reality Head-Mounted-Displays darzustellen. Die virtuellen Karten werden in die reale Umgebung der Nutzer integriert, sodass diese inmitten der Karte stehen. Über augmentierte Interaktionselemente und durch die Bewegung auf der Karte können die Nutzer ihre Umgebung explorativ erforschen. Um die Realisierbarkeit dieses Konzepts nachzuweisen wurde ein erster Prototyp der Megamap für die HTC Vive implementiert und in einer Nutzerstudie quantitativ und qualitativ getestet. Zwei Varianten der dreidimensionalen Megamap (Fußboden- und Bauchhöhe) wurden einer konventionellen, zweidimensionalen Darstellung von Gebäudekarten gegenübergestellt. Der Prototyp wurde auf seine Eignung zur Suche nach Objekten sowie den Aufbau eines mentalen Modells der Raumordnung getestet. Zu diesem Zweck führten die Probanden eine Suchaufgabe und eine Richtungsschätzung auf unterschiedlichen Gebäudekarten durch. Die Effektivität und Effizienz der jeweiligen Variante wurde anhand der Suchzeit, der Präzision der Schätzung und der Nutzbarkeit gemessen. Es zeigte sich, dass mit der 2D-Darstellung die Suche nach den Objekten 33 % bis 36 % schneller war als mit den Megamaps. Für die Richtungsschätzung ergaben sich keine statisch signifikanten Unterschiede. Dementsprechend schätzten die Probanden die 2D-Darstellung bezüglich der Nutzbarkeit als die präferierte Variante ein. Aus den Ergebnissen und dem Feedback der Probanden wird geschlossen, dass der Prototyp das Konzept der Megamap unzureichend umsetzt und das Potential einer augmentierten, umgebungsintegrierten Gebäudekarte nicht ausschöpft. Für eine zufriedenstellende Implementierung der Megamap ist die weitere Entwicklung, sowohl des Prototyps als auch der Mixed-Reality-Technologie im Allgemeinen, notwendig.

Abstract

This master's thesis presents research about how the exploration of buildings can be supported by the means of digitally augmented indoor maps. Based on previous work and applications, a novel approach to displaying three-dimensional indoor maps via mixed-reality head-mounted-displays is proposed: the *Megamap*. The virtual maps are integrated into the users' surroundings, such that the maps are centred around them. The users can explore their environments by using interactive augmented elements as well as moving physically on the map. To proof the feasibility of the concept, a prototypical implementation of the Megamap was created for the HTC Vive, which was evaluated in a quantitative and qualitative user study. Two variations of the three-dimensional Megamap (floor and stomach height) were tested against a conventional two-dimensional indoor map display. The study's purpose was to find out whether the prototype is suitable for searching objects on the map and for creating a mental representation of the rooms' layout. To this end, the participants were tasked to complete a search and a direction estimation task on varying indoor map layouts. The effectiveness and efficiency of each variation was measured by the search time, precision of the estimation as well as the usability. While the 2D variant was 33 % to 36 % faster for the search task than the Megamaps, there was no statistically significant difference in terms of direction estimation precision between the conditions. For that reason, the usability ratings given by the participants show a clear preference towards the 2D map display. Based on these results and the participants' feedback, it is concluded that the prototype does not exploit the potential of an augmented, environmentally integrated indoor map and misses to appropriately reflect the Megamap concept. A proper implementation of the Megamap requires further development, both of the prototype and mixed-reality technology in general.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
1.1 Motivation und Ziel der Arbeit	1
1.2 Struktur der Arbeit	4
2 Stand der Forschung	5
2.1 Von Realität bis Virtualität	5
2.2 Ansätze zur virtuell unterstützten Navigation	7
2.2.1 Die „World-in-Miniature“	7
2.2.2 Virtuelle umgebungsintegrierte Navigationshelfer	10
2.2.3 „Magische Lupe“ augmentiert physische Karte	12
2.2.4 Projizierte Karteninformationen durch Spatial AR	15
2.3 Navigation und Exploration in digitalen Spielen	17
2.4 Beitrag dieser Masterarbeit	17
3 Konzeption der Megamap-Anwendung	19
3.1 Definition Kartenexploration	19
3.2 Explorationselemente in existierenden Kartenanwendungen	20
3.2.1 Lokalisierungselemente	20
3.2.2 Nähe-Elemente	23
3.2.3 Event-Elemente	25
3.3 Megamap in <i>Tom Clancy's The Division</i>	25
3.4 Das Megamap-Konzept	29
3.4.1 Nutzungsszenario	29
3.4.2 Interaktion durch Explorationselemente	30
3.4.3 Platzierung der Megamap im Raum	32
3.4.4 Beschaffung von Gebäudedaten und Generierung der Karten	33
4 Implementierung	35
4.1 Unity Engine	35
4.2 SteamVR Plugin	36
4.3 Virtuelle Laborumgebung	36
4.4 Das Megamap-GameObject	40
4.5 Erstellung der Indoor-Karten	42
4.6 Interaktion mittels virtuellem Laserpointer	43
5 Nutzerstudie	45
5.1 Aufbau	45
5.2 Konditionen und Aufgaben	45

5.3	Ablauf	48
5.4	Testgruppe	49
5.5	Datenerhebung	50
5.6	Ergebnisse	50
5.6.1	Santa Barbara Sense-of-Direction Skala	50
5.6.2	Effektivität und Effizienz bei Raumsuche	50
5.6.3	Effektivität und Effizient bei Richtungsschätzung	52
5.6.4	Fragebögen zur Nutzungsfreundlichkeit	55
5.7	Diskussion der Ergebnisse	57
5.7.1	Suchaufgabe	57
5.7.2	Richtungsschätzung	59
5.7.3	Room-Guides und Animation	60
5.7.4	Nutzbarkeit	61
5.7.5	Zusammenfassung	61
6	Fazit	63
6.1	Probleme des Megamap-Prototyps	63
6.2	Ausblick	66
	Literatur	67
	Online Referenzen	73
	Anhang A Material für Nutzerstudie	76
	Anhang B Konditionssequenzen für die Nutzerstudie	88
	Anhang C Inhalt der DVD	89

1 Einleitung

Durch den technischen Fortschritt in den letzten Jahren hat sich der Einsatz von *Augmented Reality* (AR) und *Virtual Reality* (VR) in verschiedenen Anwendungsbereichen etabliert [1–4]. Als Nutzerschnittstelle dienen Smartphones, da die Sensoren (Kameras, Gyrosensor etc.) nun ausreichen, um einfache AR-/VR-Inhalte zu präsentieren [5–8]. Neben Smartphones ermöglichen Head-Mounted Displays (HMDs) die Anzeige von *Mixed-Reality-* (MR) und VR-Inhalten. Beispielsweise sind hier die *Microsoft HoloLens* [58] als AR-HMD oder die *Oculus Rift* [59] und *HTC Vive* [60] als VR-HMD zu nennen (siehe Abbildung 1.1).



Abbildung 1.1: Diverse MR- und VR-HMDs. Microsoft HoloLens (Links), HTC Vive (Mitte) und Oculus Rift (Rechts). Quelle: [58, 61, 62]

Bei AR wird die Grenze zwischen dem Reellen und dem Virtuellen aufgehoben, indem virtuelle Inhalte in Echtzeit mit sechs Freiheitsgraden in die reale Welt überlagert werden. Abbildung 1.2 zeigt z. B., wie virtuelle Nutzerschnittstellen in die physische Welt platziert werden und über Berührungen gesteuert werden können. In der Vergangenheit wurde von Forschern AR unter anderem eingesetzt, um räumliche Informationen in der Umgebung von Nutzern anzuzeigen. Beispielsweise wird die Schritt-für-Schritt-Navigation durch AR unterstützt [8–10] und reales Kartenmaterial mit digitalen Inhalten augmentiert [11–13].

1.1 Motivation und Ziel der Arbeit

Das Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung einer neuen Herangehensweise, digitale Karten mithilfe eines MR-HMDs in die reale Welt zu integrieren: die **Megamap**. Als Megamap wird eine Kartendarstellung definiert, bei der ein dreidimensionales Abbild der Umgebung im verkleinerten Maßstab um den Nutzer herum angezeigt wird. Der Nutzer steht inmitten der augmentierten Karte und kann sich auf dieser frei bewegen. Die virtuelle Karte verhält sich somit, als sei sie ein reales Objekt in der Umgebung.

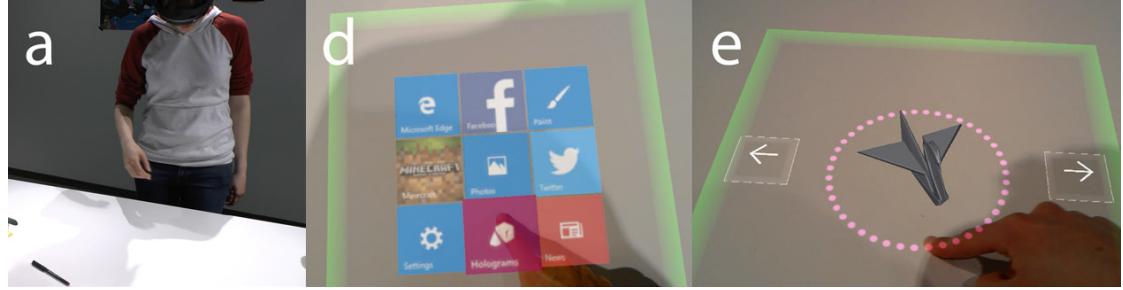


Abbildung 1.2: Virtuelle Nutzeroberflächen werden auf physischen Objekten platziert und mit Berührungsgersten bedient. Quelle: [14]

Die ursprüngliche Idee für die Megamap-Darstellung stammt aus dem Spiel *Tom Clancy's The Division* (TCTD) [63] (siehe Abbildung 1.3). Eine Karte der Umgebung (eine Variante von New York) wird mit relevanten Spielobjekten und Ortsnamen als AR-Interface um den Charakter herum angezeigt. Die Karte erlaubt dem Spieler unter anderem, Wegpunkte festzulegen (Navigation), interessante Punkte in der Umgebung anzuzeigen und zu filtern (Exploration) sowie die Ansicht durch Verschieben und Zoomen der Karte anzupassen. Ebenso werden Missionsziele, andere Charaktere und Events durch Icons in der Karte hervorgehoben. All diese Informationen sind vom aktuellen Kontext des Spiels abhängig. Das heißt, es werden nur Informationen angezeigt die für die aktuelle Situation des Spielers relevant sind.

Eine Darstellung von räumlichen Informationen als Megamap bietet gegenüber existierenden Ansätzen einige Vorteile:

- Durch die Verwendung des HMDs bleiben die Hände der Nutzer frei. Sie können die Karte nutzen und zeitgleich mit beiden Händen mit der Umgebung interagieren.
- Da die Megamap direkt in das Sichtfeld der Nutzer integriert ist, müssen sie die Karte nicht wiederholt mit der Umgebung abgleichen. Dies verbessert die Aufmerksamkeit der Nutzer für ihr Umfeld und reduziert den mentalen Aufwand während der Nutzung [15–17].
- Die Megamap bewegt sich mit den Nutzern mit. Sie kann daher auch während der Fortbewegung genutzt werden.
- Mit der Megamap können sowohl Außen- als auch Innenbereiche (z. B. Gebäude) dargestellt werden.

Im Rahmen dieser Arbeit wird der Prototyp einer Megamap-Anwendung entwickelt. Speziell zielt die Anwendung auf die Nutzung in Innenbereichen wie Gebäude ab, da bisherige MR-HMDs Probleme mit der Verwendung im Freien aufweisen [18, 65].

Da sich außerdem die bisherigen Ansätze mit der Kartennavigation („von A nach B“) beschäftigen, wird in dieser Masterarbeit der Anwendungsfall der Kartenexploration fokussiert. Bei der Kartenexploration geht es um die Erkundung von Umgebungen anhand von kontextbasierten Ortsdaten. Kontextbasierte Ortsdaten sind Daten, die von der aktuellen Situation abhängig sind,



Abbildung 1.3: Die „Megamap“ aus Tom Clancy’s The Division. Symbole zeigen Missionsziele, Gegenstände und wichtige Orte im Spiel. Quelle: [64]

wie z. B. der aktuellen Position des Nutzers („Wo ist das von mir aus nächste Restaurant?“/„Wieviele Spielplätze sind in meiner Nähe?“). Ortsdaten können ebenso von der Zeit abhängen („Welche Supermärkte in der Gegend sind geöffnet?“). Übertragen auf die Innenbereichsnutzung stehen mit der Megamap verschiedene explorative Funktionen bereit, beispielsweise das Suchen nach den Büros von Personen oder den Standorten von öffentlichen Druckern. Nutzer können sich mit der Megamap einen detaillierten Überblick über das Gebäude verschaffen, in dem sie sich befinden.

Als Zielplattform dient das Vive-HMD. HMDs haben gegenüber Smartphones einige technische Vorteile. Positionen und Orientierungen der Nutzer sind über Tracking präziser möglich. MR-HMDs wie die HoloLens oder die *Magic Leap One* [66, siehe Abbildung 1.4] verwenden Infrarotkameras, um Strukturen der Umgebung virtuell in Echzeit zu rekonstruieren. Die reale Umgebung bleibt dank des durchsichtigen Glases weiterhin sichtbar. Zudem können die Hände für Gesteninteraktionen oder Controller verwendet werden anstatt das Display halten zu müssen.

Zu Beginn der Arbeit war das Ziel die Implementierung der Megamap für das Magic Leap One HMD. Da dieses aber erst im späteren Verlauf der Arbeit als Entwicklervorschau verfügbar war, wurde stattdessen die Implementierung für das Vive-HMD in VR umgesetzt. Die „reale“ Umgebung des Nutzers wird dabei mit einer virtuellen Nachbildung simuliert. So lässt sich das grundlegende Megamap-Konzept in zukünftigen Arbeiten auf ein MR-HMD übertragen.

Da die Idee für die Megamap einem Videospiel entspringt ist nicht unmittelbar klar, ob sich das Konzept auf die Nutzung in der realen Welt übertragen lässt. Insbesondere, weil die Megamap aus TCTDs Dritte-Person-Perspektive in die Erste-Person-Perspektive überführt wird.



Abbildung 1.4: Das Magic Leap One MR-HMD. Quelle: [67]

Die Eignung der Megamap für die Kartenexploration wird daher am entwickelten Prototyp in einer Nutzerstudie überprüft. Einerseits werden die subjektiven Eindrücke der Probanden von der Nutzung der Megamap festgehalten. Andererseits wird ihre Effektivität und Effizienz mit einer herkömmlichen 2D-Darstellung einer Indoor-Karte verglichen.

1.2 Struktur der Arbeit

Die restliche Arbeit ist in die folgenden Abschnitte unterteilt:

Im nächsten Kapitel wird der Stand der Forschung und Technik zur Darstellung von dreidimensionalen Karten beleuchtet. Die Unterschiede zum Konzept dieser Arbeit sowie deren Beitrag zum Thema werden ebenso herausgearbeitet. Kapitel 3 geht detailliert auf die Konzeptionierung der 3D-Megamap ein. Es wird vor allem beschrieben, welche Interaktionen für die Kartenexploration wichtig sind und wie diese in der Megamap-Anwendung umgesetzt werden sollen. Danach wird in Kapitel 4 die Implementierung des konkreten Prototyps beschrieben. Kapitel 5 präsentiert die Durchführung der Nutzerevaluation der Anwendung sowie deren Ergebnisse. Schließlich werden in Kapitel 6 offene Fragen und Probleme dieser Arbeit genannt, welche für zukünftige Arbeiten von Interesse sind.

2 Stand der Forschung

2.1 Von Realität bis Virtualität

Um die folgenden Forschungsbeiträge thematisch einordnen zu können, müssen vorab die Besonderheiten von AR/VR-Anwendungen zu herkömmlichen Computerprogrammen und mobilen Applikationen geklärt werden.

Milgram und Kishino [19] stellen das Konzept eines Kontinuums zwischen Realität und Virtualität vor (siehe Abbildung 2.1). Anwendungen und Technologien lassen sich dabei in dieses Kontinuum einordnen. Es werden die Kategorien Augmented Reality, Augmented Virtuality und Virtual Reality unterschieden.

Nach Azuma [20] besitzen *Augmented Reality* Systeme die folgenden Eigenschaften:

- Reale und virtuelle Inhalte werden kombiniert. Hierfür wird die reale Umgebung mit virtuellen Objekten überlagert.
- Der Nutzer kann in Echtzeit mit den Systemen interagieren. Spezialeffekte in Filmen sind z. B. *keine AR*.
- Die Inhalte werden dreidimensional mit der Umgebung registriert. Demnach ist z. B. ein fixes, zweidimensionales *Heads-Up-Display* (HUD) in einer realen Umgebung *keine AR*, selbst wenn es interaktiv ist.

AR lässt sich weiter in die Kategorien *Spatial AR* und *See-Through AR* einteilen. Bei *Spatial AR* werden digitale Informationen direkt in die Umgebung des Nutzers projiziert, z. B. mit einem Projektor auf einen Tisch. Beim *See-Through AR* hingegen werden Displays genutzt, die entweder ein Live-Video der Umgebung zeigen oder aber transparent und damit durchsichtig sind. Dies können *See-Through HMDs* wie die HoloLens sein, aber auch Smartphones in



Abbildung 2.1: Das Realität-Virtualität-Kontinuum nach Milgram und Kishino [19]. Je nach Anwendung wird die Realität mehr und mehr mit virtuellen Objekten überlagert, bis schließlich nur noch eine virtuelle Umgebung dargestellt wird.

einer entsprechenden HMD-Halterung, bei denen die Rückseitenkamera für ein Live-Bild der Umgebung genutzt wird. Hier werden die virtuellen Informationen direkt auf dem Display überlagert [21].

Bei der *Augmented Virtuality* (AV) werden umgekehrt reale Informationen in eine virtuelle Umgebung eingebettet. Als Beispiel erwähnt Schröder [18] die Wetterkarte im Fernsehen, bei der eine *virtuelle* Karte *reale* Wetterinformationen darstellt und um einen *realen* Moderator erweitert wird.

Virtual Reality ist die Bezeichnung für Anwendungen, die in komplett virtuellen Umgebungen stattfinden. Um VR von herkömmlichen Computersimulationen abzugrenzen nennt Zachmann [21] die intuitive Echtzeit-Interaktion als ein wichtiges Kriterium. Dabei können Nutzer mit der virtuellen Umgebung über Eingabegeräte wie z. B. Controller mit sechs Freiheitsgraden (6DOF) oder haptischen Eingabegeräten interagieren. Ein weiteres wichtiges Kriterium ist die Immersion. Diese ergibt sich aus der Summe der vom System stimulierten und gleichzeitig abgeschirmten Sinne. Aus diesem Grund werden bei VR-Anwendungen häufig HMDs eingesetzt, da diese gleichzeitig den Sehsinn vor der Außenwelt abschirmen und mit virtuellen Bildern stimulieren können. Aber auch halb-immersive Displays wie eine *Cave*, eine *Powerwall* oder ein Volumendisplay sind möglich [22].

Milgram und Kishino [19] nennen ebenfalls den Begriff der *Mixed Reality* (MR). Dieser wird in der Literatur als Oberbegriff sowohl für AR als auch AV verwendet. Der Begriff hebt die Kombination von realen und virtuellen Inhalten hervor.

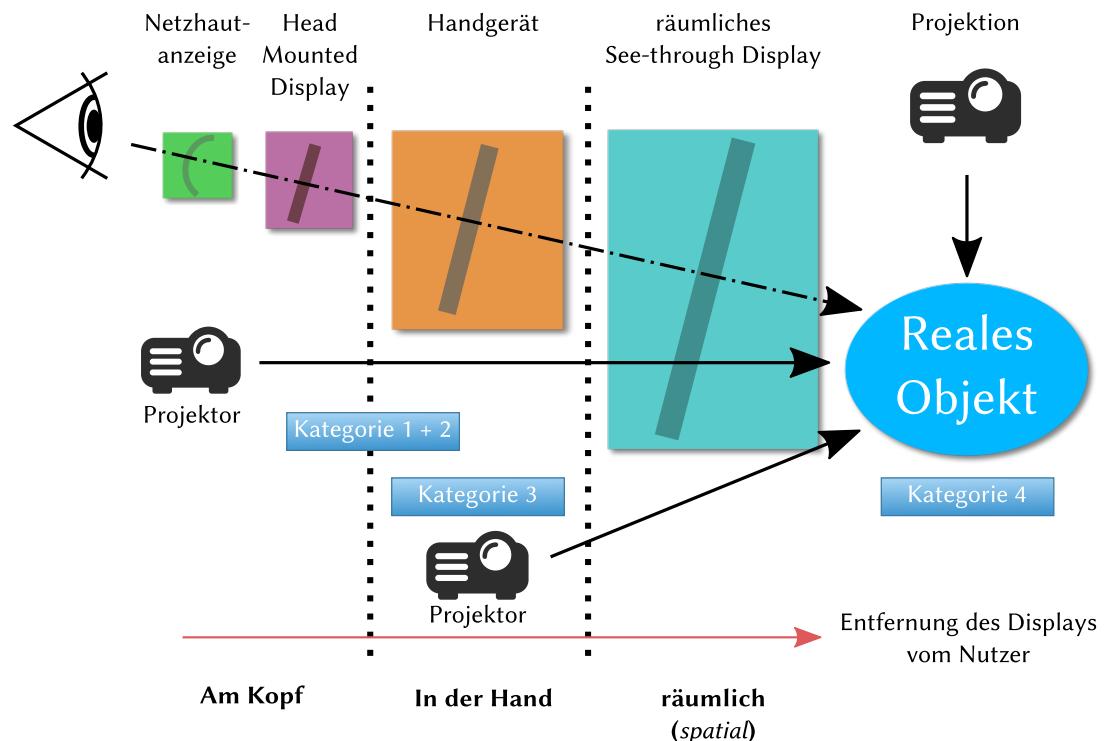


Abbildung 2.2: Übersicht der Hardware zur Bilderzeugung für AR-Displays.
Quelle: [23]; Übersetzt und bearbeitet durch Verfasser.

Eine Übersicht der Hardware, die AR-Anwendungen ermöglicht, ist in Abbildung 2.2 gegeben. Im Wesentlichen wird zwischen Netzhautdisplays, HMDs, Handgeräten, räumlichen See-Through-Displays sowie direkter Projektion auf reale Objekte unterschieden. Beispiele für den Einsatz dieser Hardware auf den speziellen Anwendungsfällen der Navigation werden im folgenden Abschnitt genannt.

2.2 Ansätze zur virtuell unterstützten Navigation

Im Rahmen dieser Arbeit wurde in der Literatur zur AR-/VR-unterstützten Navigation recherchiert. Die untersuchten Forschungsbeiträge lassen sich in vier Kategorien einteilen. Die Einordnung der Kategorien im Gesamtbild der AR ist in Abbildung 2.2 zu sehen. Teilweise sind die Kategorien hardwareübergreifend, da für unterschiedliche Geräte ähnliche Ansätze vorgestellt werden. Die vier Kategorien sind in den folgenden Abschnitten mit Beispielen versehen und die jeweiligen Vor- und Nachteile werden zusammengefasst.

2.2.1 Die „World-in-Miniature“

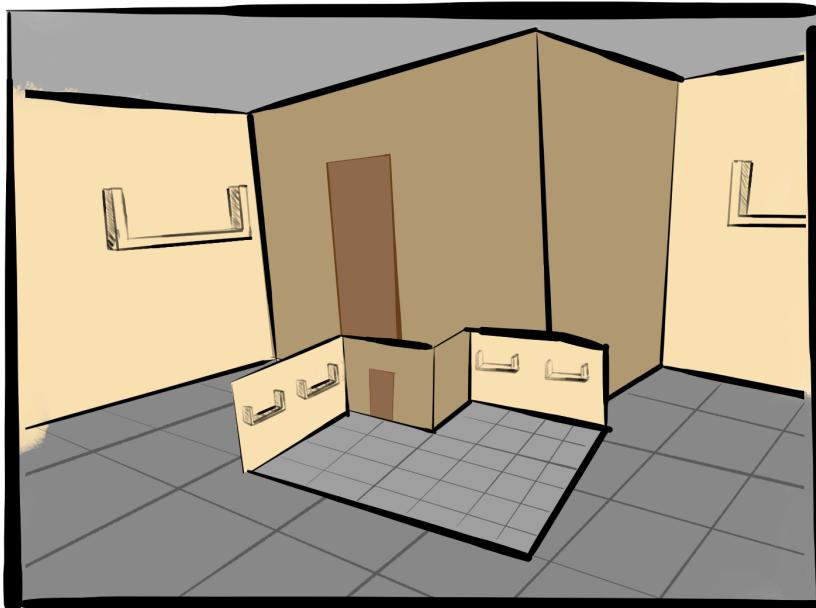


Abbildung 2.3: Kategorie 1 – Eine „World-in-Miniature“ wird in der Umgebung angezeigt. (Nach Stoakley u. a. [24])

Die erste Kategorie umfasst Arbeiten, welche die *World-in-Miniature*-Metapher (WIM) umsetzen. Dabei wird die nähere Umgebung miniaturisiert dargestellt und häufig als eigenständiges Objekt vom Nutzer in der Hand gehalten (siehe Abbildung 2.3). Je nach Anwendung ergeben sich hieraus unterschiedliche Interaktionsmöglichkeiten [24]. WIM wird z. B. eingesetzt, um die Bewegung und Interaktion in weitläufigen virtuellen Umgebungen zu vereinfachen [25, 26]. Da

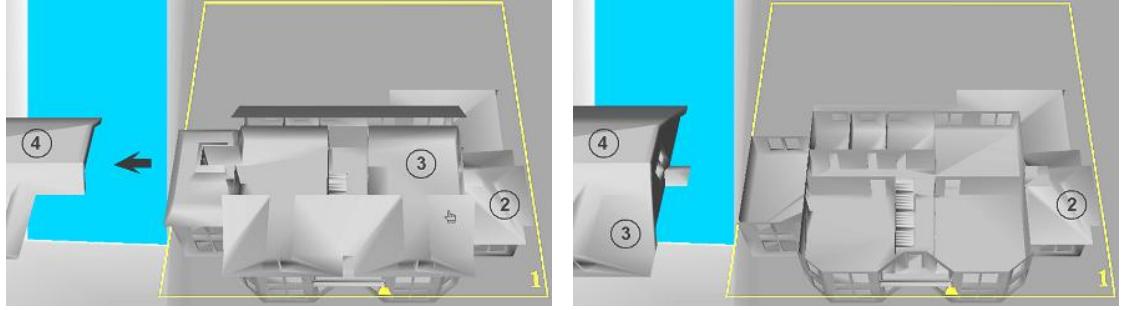


Abbildung 2.4: In der „Examine View“ der BreakAway-Karte können Stockwerke zur Seite geschoben werden, um den Blick auf darunterliegende Stockwerke zu ermöglichen. Quelle: [27]

in VR die Umgebung bereits virtuell existiert, ist eine verkleinerte Variante als WIM einfach umzusetzen.

Chittaro u. a. [27] nutzen das Konzept von WIM für mehrstöckige Gebäude als eine *BreakAway*-Karte (siehe Abbildung 2.4). Hier können einzelne Stockwerke zur Seite geschoben und ausgebendet werden, um so auf Stockwerke blicken zu können, auf denen sich der Nutzer selbst gar nicht befindet. In einer späteren Arbeit untersuchen Chittaro und Venkataraman [28] 2D- und 3D-Karten als Navigationshilfe für mehrstöckige Gebäude (siehe Abbildung 2.5). Dabei laufen die Nutzer eine Route zwischen zwei Punkten in einem virtuellen Gebäude ab. Die Autoren stellen fest, dass für die reine Navigation zwischen zwei Punkten eine 2D-Karte effektiver ist. Allerdings baut sich die räumliche Vorstellung der Objekte im Gebäude in beiden Darstellungen gleichermaßen auf.

H. Li und Giudice [29] untersuchen ebenfalls die Auswirkungen von 2D- und 3D-Darstellungen bei der Navigation mehrstöckiger Gebäude. Satt einer detaillierten Karte wird hier nur eine strukturelle Karte (Flur und Treppen) gezeigt. Im Fall der 3D-Karte rotiert die Ansicht automatisch, wenn sich die Nutzer bewegen. Das Ergebnis der Autoren ist, dass sich beide Darstellungen gleichermaßen zum Aufbau eines räumlichen Verständnisses des Gebäudes eignen.

Vallance und Calder [30] schlagen zudem eine Krümmung der WIM-Umgebung vor, um so eine Verdeckung durch Wände und andere Objekte zu minimieren.

Außerhalb der VR sind WIM-Anwendungen ebenfalls möglich. Mulloni u. a. [8, 31] präsentieren eine See-Through-AR-Anwendung kombiniert aus AR-Hinweisen und WIM. Während Nutzer durch ein Gebäude navigieren werden AR-Pfeile sowie Navigationsanweisungen in Form von „Aktivitäten“ auf einem Smartphone angezeigt (Abbildung 2.6b, e). Sobald zuvor platzierte Poster an Infopunkten im Gebäude erreicht und gescannt werden, wechselt die Ansicht zu einer WIM-Darstellung der Etage mit der hervorgehobenen Route zum Zielort (Abbildung 2.6a, c, d). Die WIM-Übersicht hilft Nutzern, Orientierungspunkte („Landmarks“) in der Umgebung wiederzuerkennen, was zu weniger Fehlern bei der Navigation führt.

Nach Stoakley u. a. [24] ergeben sich die meisten Vorteile der WIM aus der Tatsache, dass sie sich rotieren und skalieren lässt. So können Nutzer die Umgebungen aus mehreren Blickwinkeln betrachten und Verdeckungen durch Wände umgehen. Ein weiterer Vorteil ist die 3D-Struktur einer WIM. Durch die dreidimensionale Darstellung von markanten Strukturen der

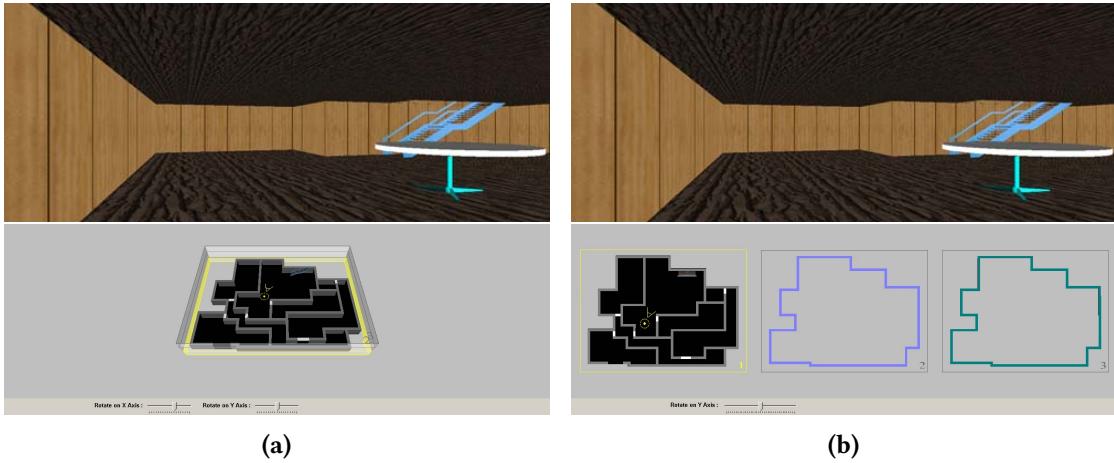


Abbildung 2.5: Navigation eines virtuellen Gebäudes. Eine (a) 3D-Karte oder eine (b) 2D-Karte unterstützen die Navigation. Quelle: [28]

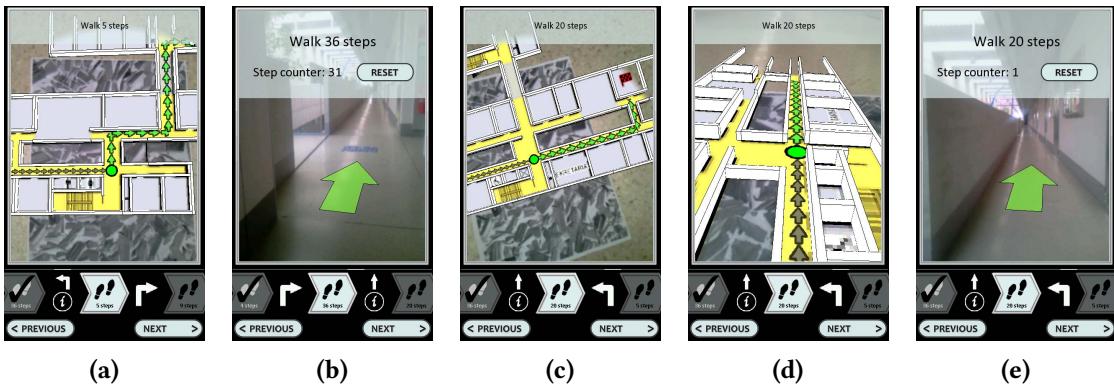


Abbildung 2.6: AR-Anwendung für Indoor-Navigation basierend auf WIM. An den Lokalisierungspunkten wird die Indoor-Karte als WIM angezeigt und mit der Position/Rotation der Umgebung registriert. Quelle: [32]

Umgebung (z. B. die Wände in einem Gebäude) können Nutzer die entsprechenden Strukturen in der Umgebung schneller wiederfinden. Dadurch fällt Nutzern die Selbstorientierung in der Umgebung leichter [8].

Der größte Nachteil der WIM-Methode ist, dass vorab ein dreidimensionales Modell als WIM erstellt werden muss. Während bei den anderen Kategorien lediglich virtuelle Objekte auf die reale Welt überlagert werden, muss für eine WIM ein virtuelles Abbild der Umgebung geschaffen werden. Im Gegensatz zur VR kann bei AR-Anwendungen die (reale) Umgebung nicht herunterskaliert werden und muss ausmodelliert werden (wie es z. B. bei Mulloni u. a. [8] der Fall ist). Dies bringt Schwierigkeiten mit sich. Zum einen stellen Mulloni u. a. fest, dass es einen Kompromiss zwischen dem Modellierungsaufwand für das Erstellen der WIM und dem Realismus der Strukturen, die vom Nutzer wiedererkannt werden sollen, geben muss [8]. Elvezio u. a. entdeckten, dass auch die Wahl der Skalierung einer WIM nicht trivial ist. Wenn die WIM ein zu großes Modell darstellt (z. B. eine ganze Stadt), passt sie nicht in das Sichtfeld des Nutzers und ein Teil des Modells wird abgeschnitten. Falls die WIM zu klein ist wird wiederum die Erkennbarkeit von Details sowie die Interaktion mit einzelnen Objekten auf der WIM erschwert [26]. Stoakley u. a. führt schließlich an, dass Irritationen bei Nutzern entstehen können, wenn die Beleuchtung des Modells nicht mit der der Umgebung übereinstimmt [24].

2.2.2 Virtuelle umgebungsintegrierte Navigationshelfer

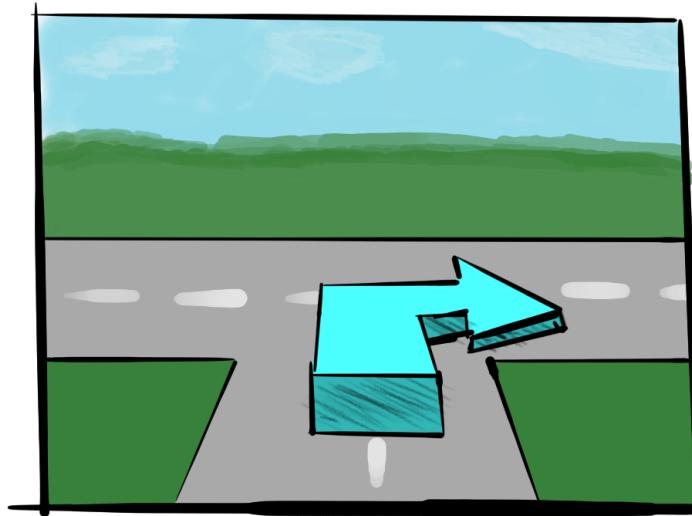


Abbildung 2.7: Kategorie 2 – Virtuelle Navigationshelfer (z. B. Pfeile) werden in die reale Welt verankert.

Die zweite Kategorie bilden Ansätze, bei denen virtuelle Objekte als Navigationshelfer mit sechs Freiheitsgraden in die Umgebung integriert werden. Dies wird schematisch in Abbildung 2.7 dargestellt. Für diese Kategorie ist der Einsatz von See-Through Displays charakteri-



Abbildung 2.8: Dem HMD-Nutzer wird in seiner Umgebung ein virtueller Pfad sowie Informationen zu den Gebäuden angezeigt. Quelle: [9]

sierend. Es lassen sich Arbeiten sowohl mit MR-HMDs als auch Handgeräte wie Smartphones als Nutzerschnittstelle finden.

Bereits Höllerer u. a. [9] stellen ein AR-System vor, bei dem zwei Nutzer kooperieren können (siehe Abbildung 2.8). Der eine Nutzer bewegt sich zu Fuß mit einem HMD und einem Tablet-Computer in der Außenwelt. Über das HMD können ihm augmentierte Informationen zur Umgebung und sogar ganze virtuelle Gebäude dargestellt werden, die mit der Umgebung registriert sind. Der andere Nutzer kann entweder über ein Desktop-Interface oder eine AR-Darstellung der Karte Routen und Informationen in der Umgebung platzieren. Damit stellt diese Arbeit eine frühe Implementierung für ein HMD dar, die sowohl Navigations- als auch Explorationsaufgaben unterstützt.

Reitmair und Schmalstieg [33] erweitern diesen Ansatz um ein *Extensible Markup Language* Datenmodell (XML-Datenmodell) zur Speicherung von Gebäudegeometrie, -informationen und Wegpunkten. Nutzer können dadurch Informationen zu einzelnen Gebäudeabschnitten erhalten. Weiterhin wird für die virtuellen Pfade durch die geometrischen Modelle die Verdeckung durch Gebäude korrekt berechnet. Das bedeutet, dass für Nutzer Pfade nicht sichtbar sind, wenn diese hinter Gebäuden entlang verlaufen (siehe Abbildung 2.9).

Ein weiterer, wichtiger Gegenstand der Forschung ist die virtuell unterstützte Navigation beim Autofahren. Hier ist die korrekte Navigation wichtig und Fehler können im Ernstfall fatale Folgen haben [34]. Ein häufig eingesetztes Mittel zur Verbesserung der Navigation ist die virtuelle Hervorhebung der Straßenführung. Narzt u. a. [16] präsentieren ein allgemeines Framework zur Darstellung einer virtuellen Route. Das Framework kann sowohl für Fahrzeug- als auch Fußgängernavigation und auf verschiedenen Endgeräten eingesetzt werden. Für den Einsatz im Auto schlagen die Autoren die Windschutzscheibe als Display vor. Damit wäre das AR-Display in der natürlichen Umgebung des Nutzers integriert.

Bark u. a. [15] erweitern diesen Ansatz. Sie ersetzen in einem zuvor aufgenommenen Video den statischen, virtuell eingefügten Pfad durch eine Reihe animierter Papierflieger, die entlang der geplanten Route fliegen. Kim und Dey [17] präsentieren eine 2.5D-Karte mithilfe eines Fahrsimulators. Von der Oberseite der Windschutzscheibe bewegt sich eine 2D-Karte ins Sichtfeld, die sich nach und nach dreidimensional mit der Straße verbindet. Bei beiden Ansätzen wiesen die Autoren beim Vergleich mit einem herkömmlichen *top-down* GPS-System nach, dass die Probanden dem Straßenverlauf durch die AR-Unterstützung besser folgen konnten und weniger

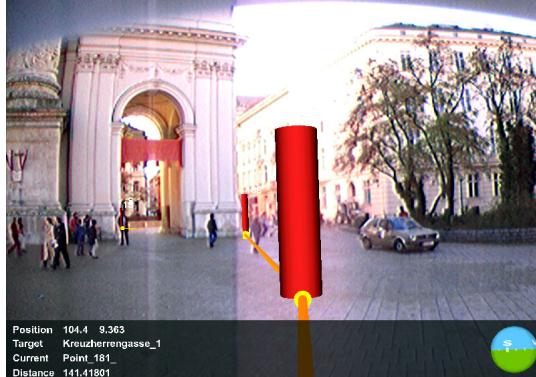


Abbildung 2.9: Virtueller Pfad hebt die Route zum ausgewählten Zielobjekt hervor und wird durch Gebäude verdeckt. Quelle: [33]

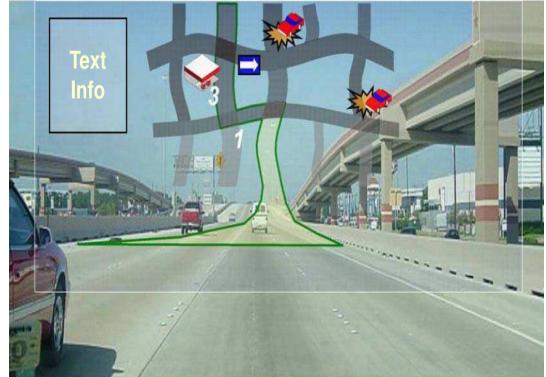


Abbildung 2.10: Konzept einer AR-2.5D-Karte: 2D-Karte schiebt sich vom oberen Bildschirmrand hinunter und „verschmilzt“ mit Straßenführung. Quelle: [17]

Fehler bei der Navigation machten.

Ein Vorteil dieser Herangehensweisen ist, dass die Hände durch die Verwendung eines MR-HMDs oder eines Windschutzscheibendisplays frei bleiben. Den Nutzern ist es somit möglich, Controller oder Fahrzeuge zu bedienen, Gestensteuerungen durchzuführen oder direkt mit der Umgebung zu interagieren.

Außerdem bleibt die Umgebung durch das See-Through-Display weiterhin sichtbar. So wird der Fokus der Nutzer nicht von der Umgebung auf das Ausgabegerät gelenkt. Dies ist vor allem für mobile Szenarios von Vorteil, bei denen längere Strecken zurückgelegt werden und eine höhere Anzahl an Gefahrenstellen (Verkehr, schwierige Straßenführung, etc.) zu erwarten ist.

Eine Herausforderung (und damit auch ein Nachteil) dieser Variante ist die erforderliche Präzision zur Positionierung der Navigationshelper. Die Präzision von Satellitensystemen wie dem *Global Positioning System* (GPS) reicht nicht aus, um virtuelle Objekte ohne Abweichung im Bereich von mehreren Metern zu platzieren. Dies führt in der Folge zu mehr Navigationsfehlern [35, 36]. Als Alternative kann die 3D-Rekonstruktionsfunktion eines MR-HMDs wie der HoloLens genutzt werden, um eine dreidimensionale Punktwolke der Szene zu erhalten und so den Navigationshelper in einem lokalen Referenzrahmen zu platzieren. Schröder [18] weist allerdings darauf hin, dass die HoloLens bei normalem Tageslicht kaum bis gar nicht zu gebrauchen ist, da die dargestellten Bilder nicht erkennbar sind und die Sensoren die 3D-Struktur nicht korrekt analysieren. Ähnliches stellt Strange [65] für die Magic Leap fest. Dies schränkt die Möglichkeiten ein, virtuelle Navigationshelper mit aktuell verfügbarer MR-Technologie in die Umgebung zu integrieren.

2.2.3 „Magische Lupe“ augmentiert physische Karte

Ähnlich wie im vorigen Abschnitt beschrieben wird in der dritten Kategorie die Realität um digitale Informationen durch See-Through-AR erweitert. Jedoch werden die virtuellen Informationen in diesem Fall im Kontext *einzelner physischer Objekte* angezeigt. Die Skizze in Abbildung 2.11

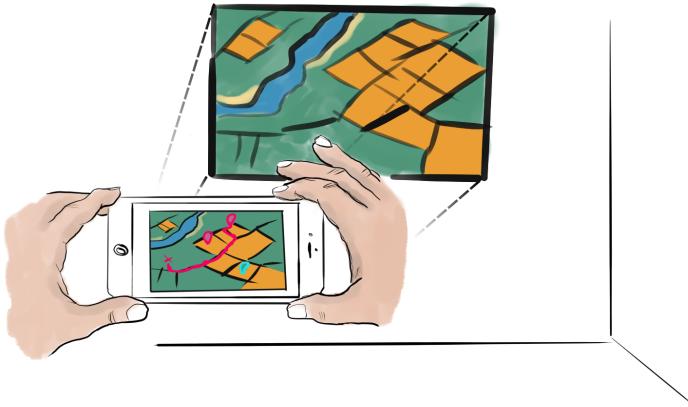


Abbildung 2.11: Kategorie 3: Physische Karten werden durch virtuelle Inhalte (hier Magenta und Türkis) angereichert.

stellt das Prinzip dar. Arbeiten, die dieser Kategorie zugeordnet werden, bedienen sich Bildausgabegeräten (Displays), die gleichzeitig über Kamer 技术 verfügen. Sie setzen damit die „Magische Lupe“-Metapher (*Magic Lens*) um, bei der das Handgerät (z. B. ein Smartphone) wie eine Lupe über einem physischen Objekt entlanggeführt wird, um so neue Informationen anzuzeigen. Die virtuellen Informationen befinden sich effektiv auf einer transparenten Ebene vor dem Objekt und werden durch das Display des Handgeräts sichtbar gemacht [37]. Mit den Kameras und entsprechenden Bildverarbeitungsverfahren können einzelne physische Objekte getrackt werden. Zur Unterstützung dieser Verfahren werden oft spezielle Markierungen verwendet, die sich von der Umgebung abheben und besser verfolgt werden können.

Ein Vertreter dieser Kategorie ist die Arbeit von Rohs u. a. [11]. Die Autoren implementieren auf einem Kamerahandy die virtuelle Anzeige von Parkplatz-Kosten vor dem Hintergrund einer physischen Karte (siehe Abbildung 2.12). Sie stellen fest, dass Nutzer mit der Magischen Lupe die gesuchten Parkplätze schneller finden, umso niedriger die Dichte der anzuzeigenden Informationen ist. Bei einer hohen Dichte sind die zu suchenden Informationen bereits auf dem Display zu sehen, weswegen ein Fokussieren der physischen Karte keinen Mehrwert bringt.

Die gleiche Technik verwenden auch Morrison u. a. [12]. Hier wird die Augmentierung einer Papierkarte für ein ortsbzogenes Spiel eingesetzt (siehe Abbildung 2.13). Während eine Gruppe die Magische AR-Lupe verwendet, nutzt die andere Gruppe herkömmliche 2D-Kartennavigation. Die Autoren entdeckten, dass durch die Interaktion mit der Magischen Lupe kollaborative Elemente der Gruppen gefördert werden. Dazu gehören Kommunikation, Diskussion und Rollentausch.

Auch Wiehr u. a. [38] setzen die Magische AR-Lupe als kollaboratives Werkzeug ein (siehe Abbildung 2.14). Mehrere Nutzer können mit Smartphones topologische Papierkarten als 3D-Landschaft darstellen lassen und gemeinsam Routen durch die Landschaft planen.

Zu dieser Kategorie gehört auch der Ansatz von Moore und Regenbrecht [39]. Die Autoren nutzen eine Webcam sowie einen physischen Würfel mit Markern, um digitale Karten auf



Abbildung 2.12: Eine physische Karte wird mittels eines Kamerahandys um Preise für Parkplätze angereichert. Quelle: [11]



Abbildung 2.13: Mit „MapLens“ wird eine Papierkarte virtuell erweitert. Über das rote Quadrat lassen sich augmentedierte Icons (rote Punkte) auswählen. Quelle: [12]

die Würfelseiten zu überlagern. Durch Rotation des Würfels kann ein angrenzender Kartenschnitt angezeigt werden. Der Würfel wird zu einer taktilen Nutzerschnittstelle für diese AR-Kartenanwendung.



Abbildung 2.14: Mit ARTopos wird eine topologische Papierkarte augmentiert, um kollaborativ Routen zu planen. Quelle: [38]

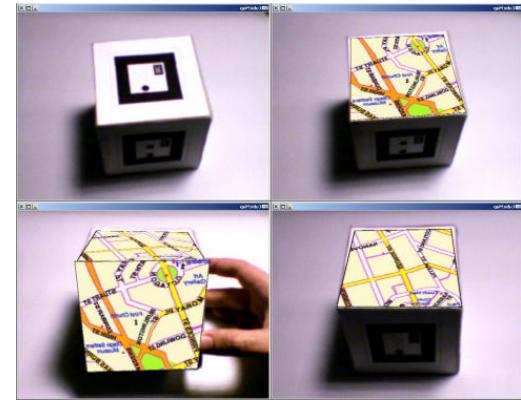


Abbildung 2.15: Ein Würfel wird über Marker und Webcam augmentiert. Das Rotieren des Würfels ändert den Kartenausschnitt. Quelle: [39]

Ein Vorteil dieser Ansätze ist, dass keine MR-HMDs benötigt werden, um die virtuellen Inhalte in der Szene zu platzieren. Für die Verfahren werden herkömmliche Farbkameras und Displays eingesetzt, was die technischen Anforderungen gegenüber der vorigen Kategorie reduziert. Smartphones kombinieren Computer-Hardware, Bildschirm, Eingabetechnologie und Kameras, sodass sie sich für den Einsatz als Magische Lupe eignen. Durch Mobilfunk und Wi-Fi können auch mobile Szenarios umgesetzt werden [23].

Beim Ansatz der Magischen Lupe sind allerdings die Hände durch das Handgerät belegt,

was eine zeitgleiche Interaktion mit der Umgebung unmöglich macht. Im Fall von Moore und Regenbrecht [39] wird ein stationäres Setup präsentiert. Hier sind die Hände frei, aber der Anwendungsbereich ist auf das Sichtfeld der eingesetzten Webcam beschränkt.

2.2.4 Projizierte Karteninformationen durch Spatial AR

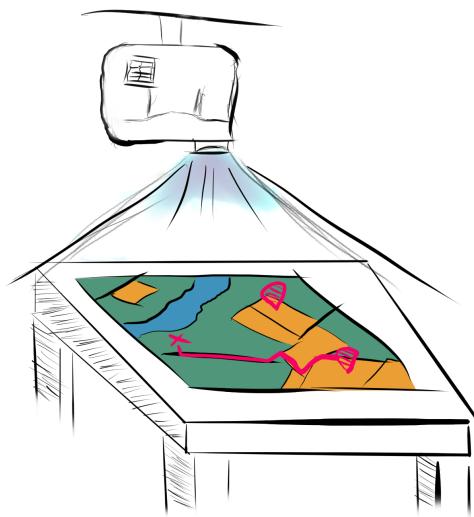


Abbildung 2.16: Kategorie 4: Mit Projektoren werden digitale Inhalte (hier Magenta) auf reale Objekte und Oberflächen projiziert.

Die letzte Kategorie umfasst Spatial AR Arbeiten, die projizierende Technologien nutzen, um digitale Navigationsinformationen direkt auf physischen Oberflächen anzuzeigen.

Dazu zählt der Ansatz von Reitmayr u. a. [13], bei dem eine reale Papierkarte durch einen Projektor augmentiert wird. Abbildung 2.17 zeigt die Funktionsweise. Ein projizierter Helikopter kann mit einem realen *Personal Digital Assistant* (PDA) bewegt werden. Der PDA zeigt währenddessen ein Interface zur Kontrolle des Helikopters. Der Helikopter dient als Cursor für kontextbasierte Informationen. Sobald der Nutzer einen Rahmen auf die Karte legt, wird ein Bild der aktuellen Kartenposition aus Sicht des Helikopters auf ihn projiziert. Zudem kann der Zustand der Karte durch die Projektion dynamisch verändert werden (in diesem Fall werden Gezeiten von Gewässern simuliert). Die Arbeit verdeutlicht, dass mit AR nicht nur ortsbezogene sondern auch zeitbezogene Daten auf einer Karte dargestellt werden können. Dies erlaubt eine Exploration in der zeitlichen Dimension einer Karte.

Roo u. a. [40] präsentieren einen augmentierten Zen-Garten (siehe Abbildung 2.18). Sie projizieren die Übersichtskarte einer Insel auf einen Sandkasten. Die Form des Insel ändert sich abhängig von der Anhäufung des Sands. Die unterschiedlichen Regionen (Wasser, steiles oder flaches Gelände, Wald) werden durch verschiedene Farben des projizierten Lichts hervorgehoben. Über einen physischen Avatar kann der Nutzer eine dreidimensionale Variante der Insel über-

ein VR-HMD betreten. Dieser Ansatz verdeutlicht, dass Spatial-AR genutzt werden kann, um in einer rein virtuellen Umgebung zu navigieren.



Abbildung 2.17: Eine reale Papierkarte wird durch einen Projektor mit virtuellen Inhalten angereichert. Quelle: [13]



Abbildung 2.18: Ein physischer Avatar erlaubt dem Nutzer, seine Position in der dazugehörigen virtuellen Umgebung zu ändern. Quelle: [40]

Bei dieser Methode sind die Hände frei, was den Nutzern die Interaktion mit der Umgebung erlaubt. Die Umgebung *selbst* dient als Display, weshalb diese Herangehensweise taktiles Feedback für die Nutzer ermöglicht, wenn diese mit Objekten in der Umgebung interagieren. Da keine separate Displaytechnologie verwendet wird, ist das natürliche Blickfeld (*Field-of-View*, FOV) der Nutzer nicht eingeschränkt. Ein begrenztes FOV würde die Immersion verringern, was hier nicht der Fall ist [1, 23].

Ein Nachteil dieser Methode ist, dass herkömmliche Projektoren nur eine Ebene fokussieren können. Sobald virtuelle Inhalte auf nicht-flache Oberflächen projiziert werden, kann es zu Unschärfe-Effekten kommen [23]. Ein weiteres Problem ist die Verdeckung durch dynamische Objekte. Wie in Abbildung 2.18 zu sehen ist werden die virtuellen Inhalte auf die Arme und Hände projiziert, sobald sich diese über dem Sandkasten befinden. Außerdem können die Karten nicht nach Belieben gezoomt werden. Zum Beispiel kann die Größe der Karte aus Abbildung 2.17 während der Nutzung nicht angepasst werden, wodurch sich der Detailgrad der zugrundeliegenden Karte nicht ändern lässt.

2.3 Navigation und Exploration in digitalen Spielen

In den vorigen Abschnitten wurde ein Überblick über Forschungsansätze gegeben, die sich mit der virtuell unterstützten Navigation auseinandergesetzt haben. Es lassen sich aber auch in anderen Anwendungsbereichen Methoden finden, mit denen die Orientierung und Navigation augmentiert werden.

Die Navigation und Exploration nehmen auch in digitalen Spielen eine wichtige Rolle ein. Moura und Bartram [41] und Moura und El-Nasr [42] untersuchen den Zusammenhang zwischen eingesetzten Navigationshelfern, Design der Level, sowie Spielmechaniken zur Unterstützung der Navigation. Daraus leiten die Autoren eine Klassifikation von Navigationshelfern ab. Sie präsentieren eine Liste von Design-Richtlinien, welche die Vor- und Nachteile der jeweiligen Helfer erläutern und als Hilfestellung für Entwicklung von neuen Spielen dienen.

Darauf aufbauend untersucht Lodts [43], ob diese Helfer auch in der realen Welt anwendbar sind. Dazu wurden unterschiedliche Helfer, wie sie aus Spielen bekannt sind, für das *Google Glass* implementiert. In einem Test, aufgeteilt in die Aufgabenbereiche Navigation, Orientierung, Exploration und Annotation, wurde ermittelt welche der Helfer den Nutzern bei der jeweiligen Aufgabe hilfreich sind. Es zeigt sich, dass Helfer, die in der Umgebung eingebettet sind (z. B. AR-Pfeile oder -Text, farbliche Hervorhebungen von Objekten) effektiver sind als statische Anzeigen auf einem HUD. Dies spricht für den Ansatz dieser Arbeit, eine Karte in die Umgebung des Nutzers zu integrieren.

2.4 Beitrag dieser Masterarbeit

Diese Arbeit hebt sich in zwei Aspekten vom bisherigen Stand der Forschung ab.

Zum einen wird eine Kartenanwendung speziell für ein VR-HMD entwickelt. Dadurch kann die Karte direkt in die (virtuelle) Umgebung des Nutzer eingebettet werden. Die Verwendung des Stereodisplays im HMD erweitert die Tiefenwahrnehmung der Nutzer, was für die Betrachtung der komplexen Innenstrukturen von Gebäuden hilfreich ist [44]. Die Implementierung für ein VR-HMD kann als Sprungbrett für zukünftige Arbeiten betrachtet werden, die das gleiche Konzept für MR-HMDs umsetzen könnten. Die Karte würde dann in die *reale* Umgebung des Nutzers integriert werden.

Zum anderen wird der Anwendungsfall der Indoor-Kartenexploration näher beleuchtet. Wie zu sehen ist setzen sich die bisherigen Ansätze im Bezug auf Indoor-Orte meistens nur mit der reinen Navigation oder Lokalisierung auseinander. Diese Arbeit konzentriert sich hingegen auf die *Kartenexploration*. Zu diesem Zweck wird analysiert, wie bereits existierende Kartenanwendungen die Erkundung der Umgebung vereinfachen. Die Analyse beschränkt sich nicht auf Indoor-Anwendungen, sondern bezieht auch Outdoor-Anwendungen (z. B. Google Maps) oder gar digitale Spiele mit ein. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse werden auf den Anwendungsfall der Indoor-Karten übertragen.

3 Konzeption der Megamap-Anwendung

In diesem Kapitel wird das Konzept der Megamap erläutert. Zunächst wird der Begriff der Kartenexploration definiert. Als Inspiration für das Konzept werden danach die Elemente aus existierenden Kartenanwendungen analysiert, welche die Exploration von Umgebungen ermöglichen. Diese Elemente werden kategorisiert, zusammengefasst und schließlich als Grundlage für das Megamap-Konzept verwendet.

3.1 Definition Kartenexploration

Bereits Reichenbacher [45] beschreibt Konzepte zur mobilen Nutzung von digitalen Kartensystemen. Er gibt eine Übersicht verschiedener *User Tasks*, die in mobilen Umgebungen ausgeführt werden können (siehe Tabelle 3.1). Einer dieser User Tasks ist die **Navigation**, welche in digitalen Kartensystemen durch Wegbeschreibungen umgesetzt wird. Die Nutzer bekommen Pfade zwischen zwei Punkten angezeigt, die den schnellsten oder den kürzesten Weg zum Ziel anschaulich machen. Zusätzlich können wegweisende Textinformationen die Navigation erleichtern.

Tabelle 3.1: Geoinformationsaufgaben in einer mobilen Umgebung. Quelle: [45]

Tasks	Subtasks	Examples
Locators	Own position	xy coordinates, place name
	Objects	Attributes of an object
	Other persons position	Who is this?
Proximity	Objects	Next object with certain attributes
	Persons	Known people in the area?
Navigation	Routing	Way descriptions
Events	What happens at a place	Obstacles (e.g. traffic jam)?

Neben der Navigation nennt Reichenbacher drei weitere Kategorien von User Tasks:

- **Lokalisierungs-Tasks (Locators)** sind Anwendungsfälle, bei denen die Nutzer Positionen von spezifischen Orten abfragen und dazu Informationen über die Attribute des Orts erhalten.
- **Nähe-Tasks (Proximity)** sind Anwendungsfälle, bei denen die Nutzer anhand vorgegebener Attribute nach zutreffenden Orten suchen. So kann z. B. die Umgebung nach den nächstgelegenen Geschäften oder Freizeitbeschäftigungen durchsucht werden.

- Bei **Events** geht es um die Abfrage von Informationen der Umgebung mit zeitlichem Bezug. Beispielsweise fällt die Suche nach geöffneten Geschäften oder die Anzeige von Echtzeitverkehrsinformationen in diese Kategorie.

Die abgefragten Informationen sind abhängig von *mindestens* einem Kontext, zum Beispiel der aktuellen Position der Nutzers. Es können aber auch mehrere Kontexte gleichzeitig mit einbezogen werden (Beispiel: „Alle Geschäfte in der Nähe, die zurzeit geöffnet sind“ → Zweck-, Positions- und Zeitkontext). Dies steht im Kontrast zur Navigation, für welche immer ein Endpunkt im Kontext zu *mindestens* einem Startpunkt stehen muss (weitere Kontexte wären z. B. Zwischenstopps, das genutzte Fortbewegungsmittel oder das aktuelle Verkehrsaufkommen). Da die Nutzer eine Umgebung durch Abfragen der Umgebungsinformationen „entdecken“, wird **Kartenexploration** als Oberbegriff für die oben beschriebenen Lokalisierungs-, Nähe- und Event-Tasks betrachtet.

3.2 Explorationselemente in existierenden Kartenanwendungen

Kartenanwendungen setzen unterschiedliche Elemente ein, um die digitale Kartenexploration zu ermöglichen. Bevor das Konzept für die Megamap formuliert wird, werden die Darstellungselemente und Interaktionsmöglichkeiten zur Kartenexploration in bereits existierenden Anwendungen gesammelt und kategorisiert. Die Idee ist, diejenigen Elemente für das Megamap-Konzept zu übernehmen, die den Nutzern bereits aus den anderen Anwendungen bekannt sind. So sollen die Nutzer die Bedienung der Megamap schneller verstehen und lernen können. Die gesammelten Elemente und Interaktionsmöglichkeiten werden jeweils den User Tasks aus Abschnitt 3.1 zugeordnet. Demnach ergeben sich drei Kategorien von Explorationselementen: **Lokalisierungselemente**, **Nähe-Elemente** und **Event-Elemente**.

Als Beispiele für existierende Kartenanwendungen wurden die Web-Varianten von *Google Maps*[68], *Bing Maps* [69] und *HERE WeGo* [70] untersucht. Alle drei Webseiten bieten neben der Routen-Planung auch Funktionen zur Erkundung von Umgebungen an. Tabelle 3.2 zeigt eine Übersicht der analysierten Explorationselemente. Die einzelnen Elemente werden in den folgenden Abschnitten mit Beispielen näher erläutert.

3.2.1 Lokalisierungselemente

Lokalisierungselemente sind solche, die wichtige oder interessante Orte auf der Karte markieren oder Eigenschaften von spezifischen Orten preisgeben. Die Untersuchung der Beispieldaten ergab sechs Arten von Lokalisierungselementen:

Der *Positionsmarker* ist ein grafisches Element auf der Karte, der die aktuelle Position der Nutzer (und unter Umständen auch die Blickrichtung) repräsentiert. Ein Beispiel findet sich in Abbildung 3.1. Die Standortdienste des jeweiligen Endgeräts werden benutzt, um den Marker auf der Karte zu platzieren. Der Positionsmarker erlaubt es, die eigene Position in der Umgebung zu bestimmen.

Labels sind Textelemente, welche die Namen von Straßen, Flüssen, Gebäuden etc. auf der Karte zeigen (siehe Abbildung 3.2). Nutzer können Kartenlabels mit Schildern und Wegweisern in der Umgebung abgleichen, was die Orientierung erleichtert. Da Orte auf der Karte und in

Tabelle 3.2: Übersicht der Explorationselemente in ausgewählten Anwendungen, eingeschlossen der Megamap aus TCTD.

Explorationselement	Google Maps	Bing Maps	Here WeGo	TCTD
LOKALISIERUNG				
Positionsmarker (Nutzer)	✓	✓	✓	✓
Labels (Straßen, Flüsse, ...)	✓	✓	✓	✓
Ortsmarkierungen	✓	✓	✓	✓
Klickmarkierung (Adresse, Koordinaten)	✓	✓	✓	✓
Spezifische Suche (mittels Suchfeld)	✓	✓	✓	—
Attributsübersicht	✓	✓	—	✓
NÄHE				
Ortsmarkierungen (Positionsabh.)	✓	✓	✓	✓
Ortsmarkierungen (Zoomabh.)	✓	✓	✓	✓
Entfernung (außerhalb Navigation)	✓	✓	—	✓
Offene Suche (mittels Suchfeld)	✓	✓	✓	—
Nahbereichssuche	✓	✓	—	—
Filter u. Sortierung	✓	✓	—	Nur Filter
Ortsnachbarschaft	✓	✓	Nur Transport	—
Umgebungsbilder	✓	✓	—	—
EVENT				
Öffnungszeiten	✓	✓	✓	—
Verkehrsinformationen	✓	✓	✓	—
Veranstaltungen	✓	—	—	—
Besucheraufkommen	✓	—	—	—

der Umgebung explizit benannt sind, können die Namen für eindeutige Wegbeschreibungen eingesetzt werden.

Ortsmarkierungen sind grafische Elemente, welche die Positionen von gewissen Gebäuden oder anderen interessanten Punkten (*Points-of-Interest*, POI) auf Karten markieren. Es gibt sowohl statische Ortsmarkierungen, die zusammen mit den Labels auf der Karte fest verankert sind, wie auch dynamische Ortsmarkierungen, die je nach Kontext des Nutzers ein- bzw. ausgeblendet werden. Die dynamischen Ortsmarkierungen werden durch „Stecknadeln“ repräsentiert. Sie sind mit Icons versehen, die die Art des POI anzeigen. Beispiele finden sich in Abbildung 3.3.

Eine *Klickmarkierung* kann in den Kartenanwendungen durch Klicken auf den Kartenbereich erzeugt werden. Die Markierung wird grafisch als Stecknadel oder ein vergleichbares Symbol dargestellt (siehe Abbildung 3.4). Über eine solche Markierung können Nutzer auf die Adresse und/oder die Koordinaten am angeklickten Ort zugreifen.



Abbildung 3.1: Beispiel eines Positionsmarkers in Google Maps.



Abbildung 3.2: Beispiel von Labels in HERE WeGo.



Abbildung 3.3: Beispiel von Ortsmarkierungen in Bing Maps (hervorgehoben durch rote Pfeile). Ausgewählte Orte werden durch Stecknadeln stärker betont.

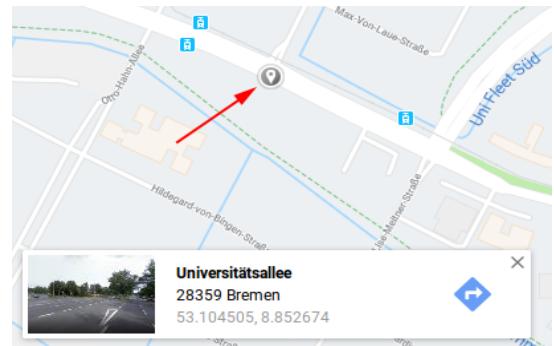


Abbildung 3.4: Beispiel der Klickmarkierung in Google Maps (hervorgehoben durch roten Pfeil). Unterhalb der Markierung werden die Adresse und Koordinaten gezeigt.

Die *spezifische Suche* ist eine Lokalisierungs-Interaktion, die durch ein Suchfeld ausgelöst wird. Als *spezifische Suche* (im Gegensatz zur *offenen Suche*) wird in dieser Arbeit die Suche nach einer bekannten Adresse oder einem eindeutig benannten Ort verstanden (beispielsweise „Bremer Rathaus“ oder „Bibliothekstraße 1“). Wird eine solche Suche durchgeführt, platziert die Anwendung eine grafische Markierung auf dem Zielobjekt. Den Nutzern bleibt somit eine manuelle Suche nach dem Zielort auf der Karte erspart.

Das letzte Lokalisierungselement ist die *Attributsansicht*. Über diese Ansicht werden den Nutzern Informationen über einen Ort aufgelistet. Die Informationen umfassen neben der Adresse und Anschrift unter anderem auch Kontaktdaten (Webseiten, Telefonnummern), Öffnungszeiten, Bilder, Bewertungen usw. Speziell für Gebäude werden hier auch Ausstattungen gelistet. Die Anzeige solcher Informationen ermöglicht es, die Kartenanwendungen für andere Anwendungsfälle als die reine Navigation zu nutzen. Beispielsweise können Nutzer mit der Kartenanwendung ihre Unterkunft während einer Reise planen und werden dann zur Buchung auf die jeweilige Seite des Hotels weitergeleitet.

3.2.2 Nähe-Elemente

Nähe-Elemente sind Explorationselemente, die im Bezug zur Position der Nutzer stehen. Sie werden miteinander kombiniert, um einen Überblick der Umgebung als Ganzes zu geben. Vor allem bei der offenen Suche nach unspezifischen Orten (z. B. „Restaurants in der Nähe“) kommen die Nähe-Elemente zum Einsatz, indem mehrere Alternativen als Zielorte angeboten werden. Bei der Untersuchung der Beispieldaten ergaben sich acht Arten von Nähe-Elementen:

Positionsabhängige Ortsmarkierungen werden nur in der näheren Umgebung des Nutzers eingeblendet. So können sich Nutzer auf nahegelegene Alternativen konzentrieren und die weiter entfernten Ziele ausblenden. Erweitert wird dies durch die *zoomabhängigen Ortsmarkierungen*, deren Sichtbarkeit vom Zoom der Karte abhängt. Die Anbieter der Kartenanwendung können damit zum Beispiel beliebte, häufig frequentierte Ziele hervorheben, während wenig besuchte Ziele ausgeblendet werden.

Entfernungen können als Nähe-Elemente außerhalb der reinen Navigation eingesetzt werden, um konkrete Entferungsverhältnisse in der Umgebung anzuzeigen. Entfernungen werden zum Beispiel zusammen mit anderen Ortsinformationen angezeigt, oder Nutzer benutzen ein virtuelles Maßband zum Abmessen auf der digitalen Karte. Nutzer können dadurch Reisezeiten abschätzen und bei mehreren Zielalternativen die mit dem kürzesten Reiseweg wählen.

Die *offene Suche* ist eine Nähe-Interaktion, die über ein Suchfeld ausgelöst wird. Anders als die *spezifische Suche* wird bei der offenen Suche nach Attributen von Orten gesucht (z. B. die Kategorien „Restaurants“, „Parks“, „Zoo“). Den Nutzern werden alle zutreffende Zielalternativen innerhalb eines Bereichs angezeigt, sodass sie zwischen diesen auswählen können. In den untersuchten Anwendungen werden alle möglichen Alternativen durch Ortsmarkierungen hervorgehoben. Abbildung 3.5 zeigt eine offene Suche nach Hotels in Bremen.

Die *Nahbereichssuche* ist eine Interaktion, mit der ein definerter Bereich der Karte unter Suchkriterien nach Orten durchsucht werden kann. Damit ist sie eine lokal begrenzte, offene Suche. In den Anwendungen lässt sich diese Funktion durch Öffnen des Kartenmenus mittels Rechtsklick aufrufen. Bei der Nahbereichssuche werden nur Ortsmarkierungen angezeigt, die sich in einem gewissen Radius um den Ort des Anklickens herum befinden. Nutzer können hiermit Umgebungen erkunden, an denen sie sich selber nicht befinden.

Über die Elemente *Filter und Sortierung* können die Suchkriterien weiter eingeschränkt werden. Beispielsweise lassen sich Restaurants nach der gewünschten Küche filtern (siehe Abbildung 3.6), oder Hotels nach Preisklasse. So müssen die Nutzer nicht sämtliche verfügbare Alternativen per Hand durchgehen, um zu prüfen, ob die Alternativen ihren Vorstellungen entsprechen. Sie können mit der Filterung und Sortierung irrelevanter Orte ausblenden und beim Suchen von Zielen Zeit sparen.

Das Nähe-Element *Ortsnachbarschaft* ist ein Element, welches in der Ansicht über die Ortsinformationen integriert ist. Hierbei handelt es sich um eine Liste von weiteren Nutzer-relevanten Orten, die sich in der Nähe des aktuell betrachteten Orts befinden. Auch die Information über nahegelegene Transportmöglichkeiten fällt unter diese Kategorie.

Schließlich finden sich *Umgebungsbilder* in den Kartenanwendungen als Nähe-Element. Sie zeigen Foto-Aufnahmen (gegebenenfalls als 360°-Aufnahme) der Umgebung. Wie die Ortsmarkierungen sind die abgebildeten Orte auf einen gewissen Radius um einen Ausgangspunkt herum beschränkt, sodass nur für die Nutzer relevante Bilder zu sehen sind. Die Einbindung

3 Konzeption der Megamap-Anwendung

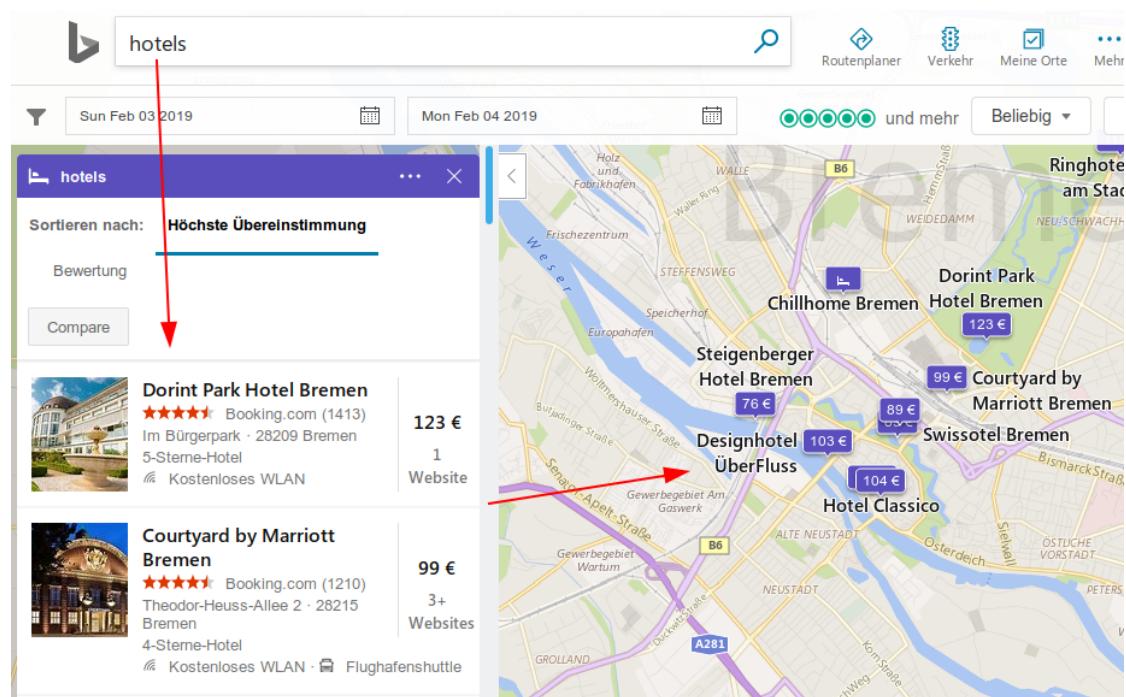


Abbildung 3.5: Offene Suche nach Hotels in Bing Maps liefert mehrere Alternativen.

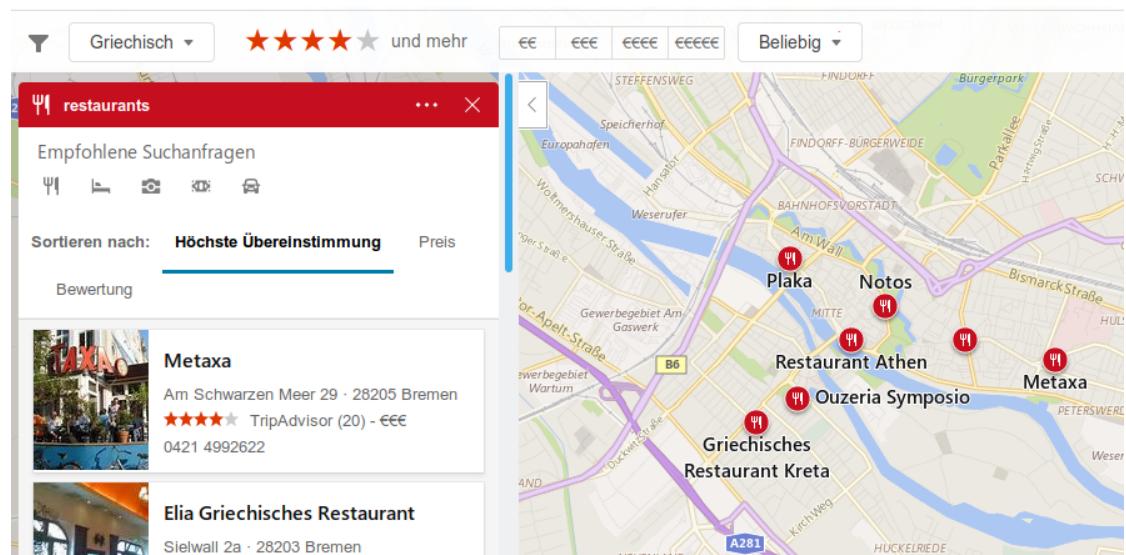


Abbildung 3.6: Anzeige und Sortierung von griechischen Restaurants mit einer 4-Sterne-Bewertung oder höher (in Bing Maps).

der Bilder in die Anwendungen wird unterschiedlich gehandhabt. Zum Beispiel befindet sich in Google Maps eine Liste von Umgebungsphotos in Attributsansicht. Wird die Liste angeklickt, öffnet sich eine Großansicht der Fotos. Handelt es sich bei dem Bild um eine 360°-Aufnahme, kann mit der Maus die Ansicht verändert werden.

3.2.3 Event-Elemente

Event-Elemente integrieren zeitliche Geschehnisse in die digitalen Karten. Die Eventinformationen werden in Echtzeit aus diversen Datenquellen bezogen, um die Karte zu aktualisieren. Bei der Untersuchung der Beispieldaten ergaben sich vier Arten von Event-Elementen:

Die *Verkehrsinformationen* informieren Nutzer über die aktuelle Situation des Straßenverkehrs. Verkehrsaufkommen, Baustellen, Staus und Umleitungen werden in die Karten integriert und visualisiert. Neben der aktuellen Verkehrssituation werden auch Durchschnittswerte für die Befahrung von Straßen angezeigt, sodass die Nutzer bereits vor der Abfahrt den Verkehr in der Umgebung abschätzen können.

Die *Veranstaltungsinformationen* sind in die Ortsinformationen integriert. Hier werden die Veranstaltungen der nächsten Tage präsentiert (z. B. Konzerte). Unter Umständen werden auch die Ticketverfügbarkeit und -preise angezeigt.

Für Gebäude auf der Karte werden *Öffnungszeiten* angezeigt. Dank der Integration der Öffnungszeiten müssen die Nutzer keine anderen Anwendungen oder Websites aufrufen, um zu schauen, ob das Ziel zur aktuellen Zeit erreicht werden kann. Schließlich sind auch Informationen über das *aktuelle Besucheraufkommen an Orten* als Event-Element verfügbar. Die Nutzer können zum Beispiel einsehen, ob ein großer Andrang auf ein Geschäft besteht und so lange Wartezeiten beim Schlangestehen vermeiden.

3.3 Megamap in Tom Clancy's The Division

In Kapitel 1 wurde bereits erwähnt, dass die grundlegende Idee für das Konzept der Megamap aus dem Spiel Tom Clancy's The Division stammt. Anders als die zuvor beschriebenen Kartenanwendungen implementiert die Megamap in TCTD eine dreidimensionale Karte, basierend auf einem virtuellen New York. Die Karte wird in die Umgebung des Spielcharakters integriert, sodass dieser „in der Karte steht“. Aus der Sicht des Spielcharakters handelt es sich also um eine AR-Karte.

Im Vergleich zu den vorigen Kartenanwendungen lassen sich sowohl Gemeinsamkeiten als auch Unterschiede bei der Umsetzung der Explorationselemente ermitteln. Für diese Arbeit wird die Megamap aus TCTD als vierte „Kartenanwendung“ nach den gleichen Kriterien wie die anderen Anwendungen betrachtet. Dieser Abschnitt geht auf die Explorationselemente in TCTDs Megamap ein. Eine Übersicht der gefundenen Elemente findet sich (zusammen mit denen der anderen Anwendungen) in Tabelle 3.2.

Das Aufrufen der Megamap in TCTD geschieht in zwei Schritten (siehe Abbildung 3.7):

1. Ein kleiner Ausschnitt der Megamap wird um den Spielcharakter herum in die virtuelle Umgebung integriert. Falls sich dort bereits Objekte befinden, bleiben diese weiterhin sichtbar. Die Megamap ist an den Überschneidungspunkten komplett transparent.

3 Konzeption der Megamap-Anwendung

2. Sobald sich der Kartenausschnitt durch den Spieler ändert, wird die Umgebung ausgeblendet und nur die Megamap bleibt sichtbar.



Abbildung 3.7: Übersicht der Magamap in TCTD.

Die Megamap nutzt einige der Lokalisierungselemente, die auch in der anderen Anwendungen zu finden sind. Ein Positionsmarker zeigt die aktuelle Position des Spielcharakters in der Welt an, wenn die Kamera nahe an die Karte herangezoomt wird. Andernfalls bleibt der Spielcharakter



Abbildung 3.8: Klickmarkierung in TCTDs Megamap mit x-/y-Koordinaten.

sichtbar. Straßen, Parks, Stadtteile etc. werden durch Text-Labels benannt. Wichtige Punkte auf der Karte (wie zum Beispiel andere Spieler, Missionen, Gebäude oder Items) werden durch unterscheidbare Icons und ergänzenden Text markiert. So können Spieler Orte auf der Karte schneller entdecken. Mit dem Controller können die Spieler einen Cursor über die Megamap bewegen, der dabei x- und y-Koordinaten der Karte anzeigt. Die Spieler können auch einen Klickmarkierung auf der Karte platzieren, welche automatisch eine Route vom Spielcharakter zum angeklickten Ort berechnet. Abbildung 3.8 zeigt einen Screenshot der Klickmarkierung.

Falls stattdessen eine Ortsmarkierung angeklickt wird, werden die Attribute des Orts auf einem HUD angezeigt (siehe Abbildung 3.9). Beispielsweise werden bei einer Mission das notwendige Charakterlevel, die Missionsbeschreibung sowie die Belohnungen für einen Missionsabschluss aufgelistet. Zudem werden die Entfernung der Orte zum Spielcharakter angezeigt. Diese Anzeige auf dem HUD ist vergleichbar mit den Attributlisten der anderen Kartenanwendungen.

Nähe-Elemente, wie es sie in den anderen Anwendungen gibt, sind in TCTD weniger zu finden. Neben den positions- und zoomabhängigen Ortsmarkierungen und Entfernungsangaben bietet die Megamap in TCTD nur eine limitierte Funktionalität zum Filtern der Ortsmarkierungen. Das Sortieren der Orte nach Kriterien, Umgebungsbilder oder eine offene Suche sind in der Megamap nicht vorhanden. Öffnungszeiten oder Verkehrsinformationen gibt es in dem Spiel nicht. Stattdessen werden die Positionen von anderen Mitspielern, Gegnern und Missionszielen in Echtzeit als Event-Elemente auf der Megamap präsentiert.

Da es sich bei der Megamap aus der Sicht des Spielcharakters um eine AR-Karte handelt, setzt sie einige Funktionen um, die mit den anderen Anwendungen nicht möglich sind. Durch ihre Platzierung im 3D-Raum kann sie die Umrisse der Gebäude des virtuellen New Yorks auch in der Höhe darstellen. Um die Megamap herum wird ein augmentierter Kompass-Ring eingeblendet, der den Spielern die Himmelsrichtungen anzeigt (teilweise sichtbar in Abbildung 3.9). Außerdem ist die Megamap mit einer augmentierten „GPS“-Routenführung für den Spielcharakter integriert. Dabei zieht sich eine Linie durch die virtuelle Umgebung, welche den Spielern den Weg zu ausgewählten Zielen zeigt. Einen Beispielscreenshot vom AR-GPS in TCTD findet sich in Abbildung 3.10.

Viele Aspekte der Megamap in TCTD sind für die Umsetzung einer AR-Kartenanwendung in der realen Welt interessant. Für die Realisierung einer solchen Anwendung ergeben sich allerdings Probleme, die gelöst werden müssen. Zum Beispiel ist ein 3D-Modell der Umgebung



Abbildung 3.9: Durch Anklicken einer Ortsmarkierung werden die jeweiligen Daten zum Ort im HUD angezeigt.



Abbildung 3.10: Wegpunkt in Megamap kontrolliert das augmentierte GPS. Oben Rechts: Minikarte. Unten Rechts: Das GPS führt in Richtung „Manhattan Bridge pass“.

in TCTD implizit gegeben, da die Umgebung selbst aus 3D-Modellen aufgebaut ist. In der realen Welt sind Umgebungsmodelle selten verfügbar. Damit eine Megamap dargestellt werden kann muss die Geometrie der Umgebung bekannt sein. Dies ist auch für die Platzierung der Karte relevant. Da im Spiel alle Umgebungsobjekte wie auch die Karte virtuell sind, können Überlappungen der Karte mit den Objekten durch visuelle Effekte wie in TCTD umgangen werden. In der realen Welt muss die Megamap-Anwendung physische Objekte wahrnehmen können, um Überlappungen korrekt zu berechnen. Ein weiteres Problem ist der Perspektivwechsel zwischen Erster- und Dritter-Person-Perspektive. Die Megamap in TCTD ist nicht für den Spielcharakter, sondern für den Spieler selbst gedacht. Das heißt, der Spieler betrachtet sowohl die virtuelle Umgebung als auch die Karte aus einer Dritte-Person-Perspektive. In der realen Welt nehmen die Nutzer die Erste-Person-Perspektive ein, wodurch die Sicht auf die Megamap eine andere ist, als die im Spiel. Es ist also nicht klar, ob sich das Konzept der Megamap auf die Anwendung in der Ersten-Person-Perspektive in der echten Welt übertragen lässt.

Auf diese Probleme wird im weiteren Verlauf der Arbeit durch die Aufstellung eines Megamap-Konzepts, dessen prototypischer Implementierung sowie einer Nutzerstudie des Prototyps eingegangen.

3.4 Das Megamap-Konzept

Basierend auf den Erkenntnissen der vorigen Abschnitte kann ein Konzept für eine umgebungsintegrierte Indoor-Megamap entwickelt werden, deren Zielplattform Mixed-Reality-HMDs sind. Obwohl die untersuchten Kartenanwendungen für Außenbereiche ausgelegt sind, betrifft das in dieser Arbeit entwickelte Konzept Innenbereiche (Gebäude). Wie Abschnitt 1.1 bereits erwähnt ist der Grund hierfür, dass aktuelle MR-HMDs wie die HoloLens oder die Magic Leap in Außenbereichen kaum nutzbar sind. Einerseits können sie die 3D-Strukturen der Umgebung nicht korrekt rekonstruieren. Andererseits sind die virtuellen Inhalte auf den lichtdurchlässigen Brillen kaum erkennbar [18, 65]. Da das Konzept für Außenbereiche auf diesen HMDs nicht umsetzbar ist, wird die Megamap stattdessen für Innenbereiche entwickelt. Das Konzept lässt sich dann zu einem späteren Zeitpunkt auf die Anwendung in Außenbereichen übertragen, sobald MR-HMDs die Nutzung im Freien unterstützen.

3.4.1 Nutzungsszenario

Die Megamap ist als eine dreidimensionale Karte für MR-HMDs konzipiert. Vor dem Hintergrund der Umgebung des Nutzers zeigt sie ein dreidimensionales Innenmodell des Gebäudes, in dem sich der Nutzer zur Zeit befindet. Die Karte wird durch das HMD in die Umgebung des Nutzers integriert. Vor allem bleibt ihre Rotation in der Umgebung verankert, wenn der Nutzer sich bewegt. Somit erscheint es, als würde die 3D-Karte tatsächlich ein Teil der Umgebung sein. Für mehrstöckige Gebäude wird nur das aktuelle Stockwerk angezeigt, wobei Nutzer die Möglichkeit zum Wechsel der Stockwerke haben. Über Interaktionselemente ist es möglich, Informationen zu Räumen und Objekten auf der Karte abzurufen. Die Konzeptzeichnung in Abbildung 3.11 verdeutlicht das Prinzip.

Die Megamap soll Nutzern helfen, sich in unbekannten Gebäuden zu orientieren, diese zu erkunden und nach Orten in den Gebäuden zu suchen. Ein Beispiel ist die augmentierte

Exploration der Gebäude der Universität Bremen. Neue Studierende oder Gäste der Universität können durch die Megamap bei der Suche nach Büros von Mitarbeitern, öffentlichen Druckern, Essensmöglichkeiten, Toiletten etc. unterstützt werden. Da die meisten der Universitätsgebäude mehrstöckig sind, ist der Einsatz einer dreidimensionalen Karte zur Exploration interessant. Auch der Einsatz in Einkaufszentren oder Flughäfen ist denkbar.

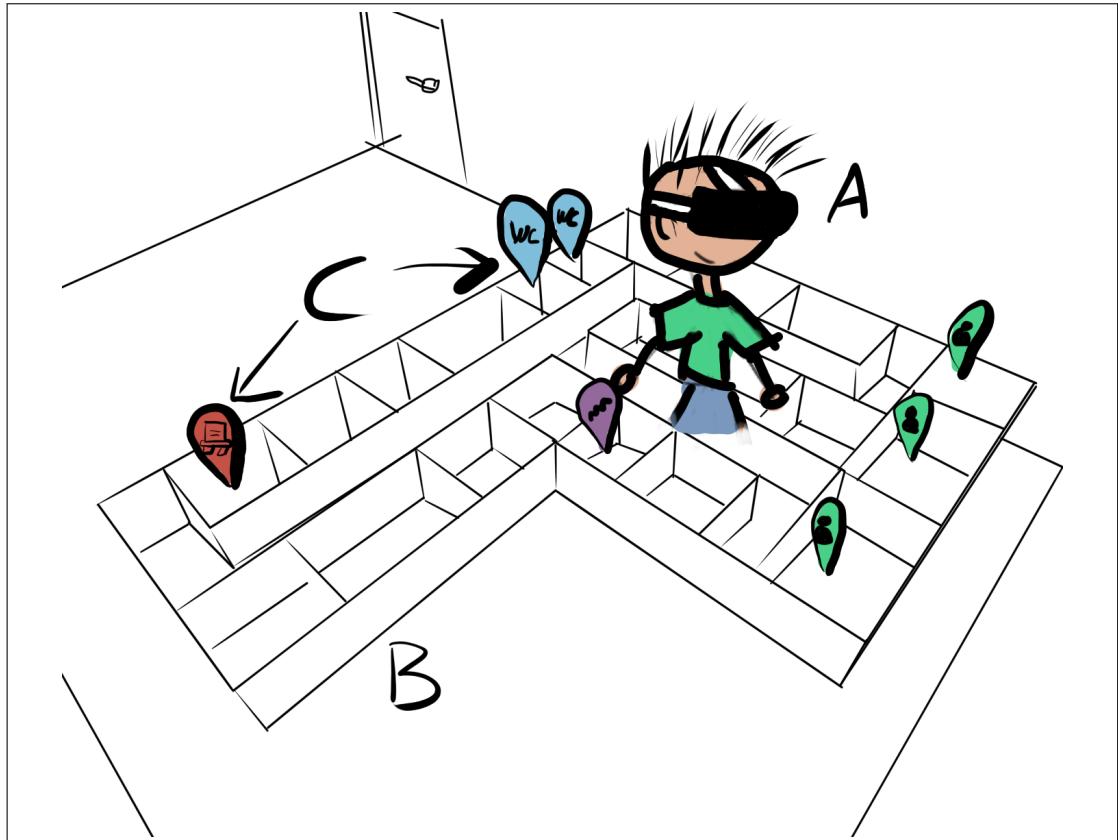


Abbildung 3.11: Konzeptzeichnung einer Megamap. A: Nutzer trägt ein HMD. B: Indoor-Megamap wird in Umgebung des Nutzers angezeigt. C: Stecknadel-Icons markieren Räume mit Kategorien.

3.4.2 Interaktion durch Explorationselemente

Nutzern von MR-HMDs wie der HoloLens oder der Magic Leap stehen drei Eingabemethoden zur Verfügung: Controller, Gesten- und Sprachsteuerung. Da die Megamap in dieser Arbeit als Prototyp in VR implementiert wird, konzentriert sich das Konzept auf die Controller-Methode.

Damit das 3D-Gebäudemodell überhaupt als Karte fungieren kann, die müssen Nutzer mit dem Modell interagieren können. Speziell muss die Karte Explorationselemente anbieten, mit denen die Nutzer die Umgebung erkunden können. Mögliche Explorationselemente sind in Abschnitt 3.2 beschrieben. Für das entwickelte Konzept sowie den Prototyp wurde eine klei-

ne Auswahl der Elemente betrachtet. In Zukunft sollte das Megamap-Konzept um weitere Explorationselemente ergänzt werden.

Für die Indoor-Megamap werden die Ortsmarkierungen als Raummarkierungen umfunktioniert. Die Raummarkierungen werden als dreidimensionale Stecknadeln über Räumen mit besonderen Funktionen dargestellt. So können interessante Orte im Gebäude hervorgehoben werden. Durch Icons auf den Stecknadeln wird die Kategorie des Raums hervorgehoben (beispielsweise Büro, Toilette etc.). Ebenso werden mit den Stecknadeln wichtige Objekte im Gebäude markiert (Drucker, Treppen und Aufzüge, Erste-Hilfe-Kästen etc.). Über Filterelemente neben der Karte lassen sich Stecknadeln nach einer gewünschten Kategorie herausfiltern. Die Konzeptzeichnung in Abbildung 3.12 zeigt die Indoor-Megamap der Ebene 5 des MZH an der Universität Bremen. Über eine virtuelle Filterbox werden nur Stecknadeln für öffentliche Toiletten gezeigt. Stecknadeln werden auch über Stockwerke hinweg angedeutet, indem sie vertikal versetzt und transparent gemacht werden. So können die Nutzer auch Orte und Objekte finden, die auf dem aktuellen Stockwerk nicht vorhanden sind.

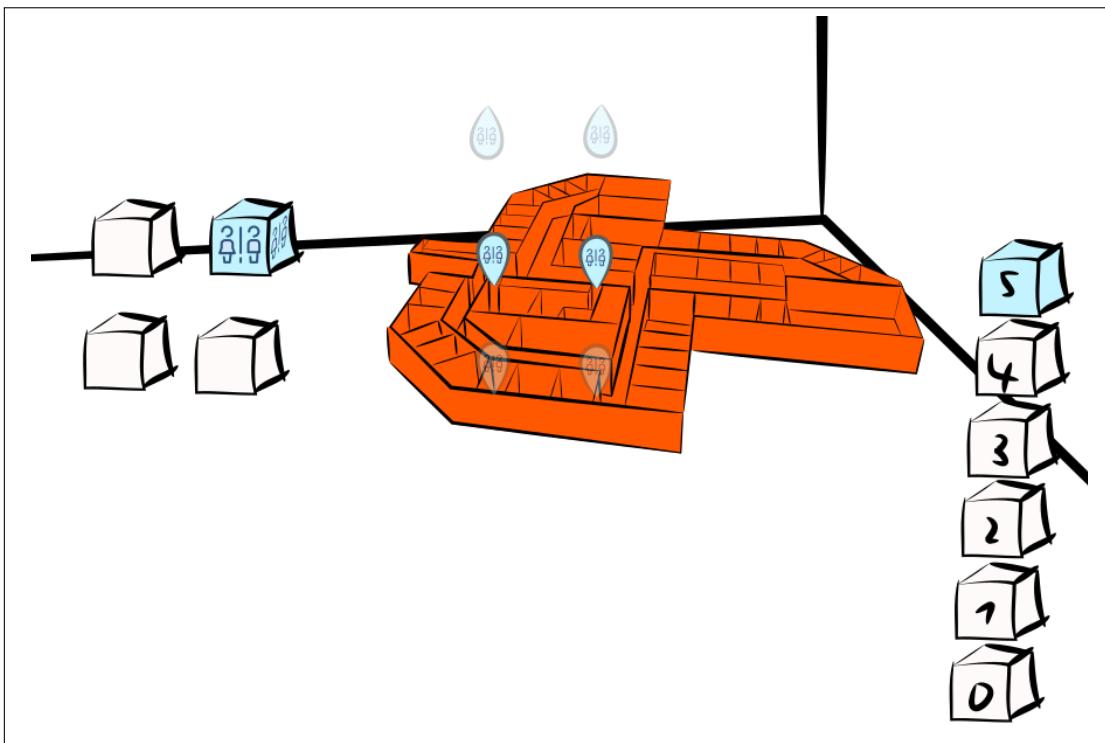


Abbildung 3.12: Konzeptzeichnung Megamap für Stockwerkwechsel, Filter und Suche.

Um mehr Informationen zu einem Ort oder Objekt zu erhalten, können die Stecknadeln entweder mit dem im Raum getrackten Controller berührt werden, oder sie werden mit einem virtuellen Laserpointer anvisiert. Letztere Variante hat den Vorteil, dass sich die Nutzer nicht zu weiter entfernten Stecknadeln hinbewegen müssen. An der Position der Stecknadel öffnet sich ein Fenster mit Informationen zum Ort bzw. Objekt, was die Aufgabe der Attributliste aus Abschnitt 3.2 abdeckt. Ein Beispiel für ein solches Informationsfenster ist in Abbildung 3.13

skizziert. Wie die Karte und die Stecknadeln ist auch das Informationsfenster in der Umgebung verankert. Anstatt es direkt auf dem HMD als HUD anzuzeigen befindet sich das Fenster an der Position der Stecknadel und wird so rotiert, dass Nutzer immer auf die Vorderseite schauen. Die relative Position des Fensters zur Umgebung bleibt gleich. Eine Integration von 2D-Elementen als 3D-Objekt in die Umgebung (anstatt Anzeige als HUD) verhindert Unwohlsein bei den Nutzern sowie eine Verdeckung der Umgebung und anderer virtueller Inhalte [18].



Abbildung 3.13: Konzeptzeichnung der Stecknadel-Informationen.

Zum Wechsel des aktuell gezeigten Stockwerks stehen weitere virtuelle Schaltflächen zur Verfügung (siehe Abbildung 3.12). Mit diesen kann auf die gleiche Weise wie mit den Stecknadeln oder den Filterelementen über den Controller interagiert werden. Die Nutzer müssen sich nicht tatsächlich auf das Stockwerk begeben, um es einsehen zu können.

Damit die Nutzer ihre Position auf der Karte schnell erkennen können wird der Positionsmarker als Lokalisierungselement für die Megamap übernommen. Der Marker wird so platziert, dass er sich in der Megamap auf der Position der Nutzer befindet. Für die 3D-Karte wird der Marker von einem zweidimensionalen Kreis zu einem Zylinder erweitert. Zusätzlich zeigt ein Kegel die aktuelle Blickrichtung sowie den Blickwinkel der Nutzer an.

3.4.3 Platzierung der Megamap im Raum

Um die Megamap wie ein „reales“ Objekt im Raum zu platzieren wird die 3D-Rekonstruktion des HMDs eingesetzt. Durch die Rekonstruktion liefert das HMD 3D-Meshes des Bodens, der Wände und vereinfachte Meshes von Objekten in der Umgebung. Die Megamap wird auf dem Mesh des Bodens platziert. Überlagert in die reale Umgebung sieht es so aus, also stünde die Karte im Raum.

Analog zur Karte aus TCTD wird die Megamap bei der Aktivierung auf die Nutzer zentriert. Das bedeutet, dass beim Aufrufen der Karte die Nutzer auf ihren eigenen Positionsmarkierungen stehen. Dies soll den Nutzern eine schnellere Orientierung ermöglichen, da sie ihre Position auf der Karte nicht erst wiederfinden müssen. Damit die Position der Nutzer bestimmt werden kann ist ein System zur Indoor-Lokalisierung erforderlich. Mehrere Ansätze werden in der Literatur diskutiert, darunter Wi-Fi-Fingerprinting [46, 47], Magnetfeld-Fingerprinting [10, 48] oder

Bild-basierte Verfahren [49–51]. Weiterhin könnten die vom HMD gelieferten 3D-Meshes mit vorgefertigten Raummodellen abgeglichen werden, um den aktuellen Raum sowie die aktuelle Position der Nutzer zu bestimmen.

Ein Problem, das bei der Platzierung der virtuellen Karte in die reale Umgebung auftritt, ist die Verdeckung realer Objekte. Sie dürfen, abhängig von ihrer Tiefe im Raum, nicht von der gerenderten Megamap verdeckt werden. Andernfalls würde dies zu einem Bruch der Immersion sowie einer falschen Tiefenwahrnehmung der MR-Szene führen [52, 53]. TCTD löst das Problem über die Transparenz der Megamap. Die Karte wird effektiv an den Umgebungsobjekten „ausgeschnitten“. Mit den erwähnten MR-HMDs ist ein solcher Effekt ebenfalls möglich. Durch die 3D-Rekonstruktion ergeben sich grobe Meshes der Umgebungsobjekte und Wände. Die virtuelle Megamap kann an den Stellen dieser Meshes transparent gerendert werden, wodurch der Effekt aus TCTD nachgestellt wird.

3.4.4 Beschaffung von Gebäudedaten und Generierung der Karten

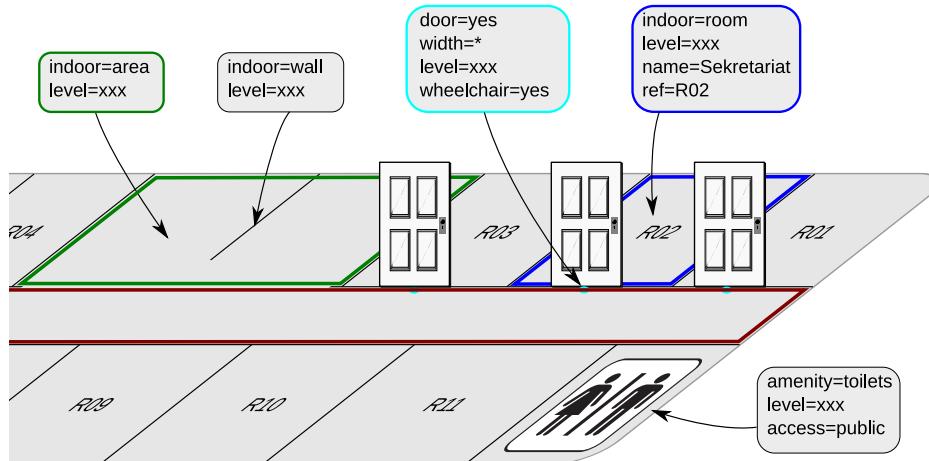


Abbildung 3.14: Beispiel des Simple Indoor Tagging Schemas in OpenStreetMap.
Quelle: [71]; Ausschnitt durch Verfasser.

Für die Darstellung als Megamap ist ein 3D-Modell des Gebäudes erforderlich. Eine automatisierte Generierung des Modells basierend auf Gebäudedaten ist wünschenswert, damit das Modell nicht per Hand erstellt werden muss. Ein möglicher Ansatz ist, die Grundrisse des jeweiligen Gebäudes zu georeferenzieren und in einer entsprechenden Datenbank wie z. B. OpenStreetMap zu veröffentlichen. Die Megamap-Anwendung kann auf die georeferenzierten Grundriss-Daten über die Programmierschnittstelle (*Application Programming Interface*, API) zugreifen und daraus 3D-Modelle generieren. Die Wände des Gebäudes können z. B. als Polygon-Features mit dem OSM-Tag `height` angelegt werden, die Türen würden durch Rechtecke mit dem Tag `min_height` repräsentiert. Normalerweise werden in OSM mit diesen Tags Gebäude als Ganzes definiert [72]. Dennoch lassen sich die Tags für die Definition eines Indoor-Layouts umfunktionieren.

Ergänzend hierzu unterstützt OSM das *Simple Indoor Tagging Schema*. Abbildung 3.14 zeigt,

wie das Schema auf ein Gebäudelayout angewendet werden kann. Da dieses Schema zum regulären Tagging in OSM kompatibel ist, können Indoor- und Outdoor-Daten in der selben Datenbank verwaltet werden [71]. Konkrete Möglichkeiten, die Daten aus OSM abzurufen und für die Megamap zu verwenden, werden in Kapitel 6 diskutiert.

4 Implementierung

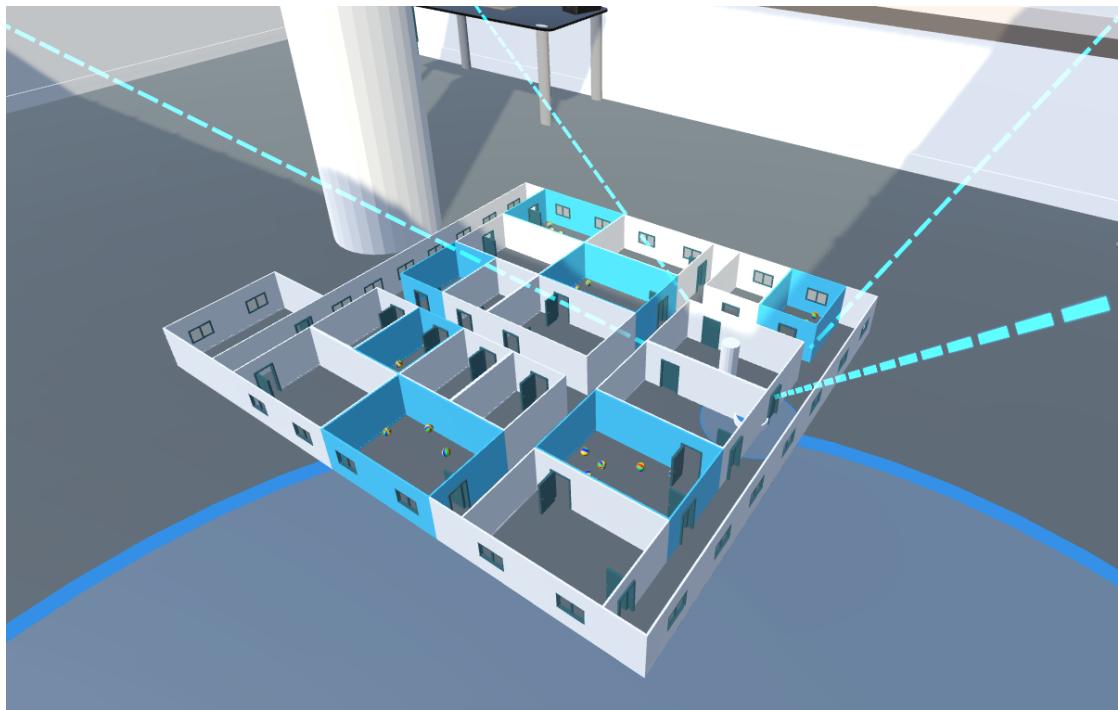


Abbildung 4.1: Beispiel des finalen Megamap-Prototyps in der Übersicht.

4.1 Unity Engine

Unity [73] ist eine *Engine* zum Entwickeln von 2D- und 3D-Anwendung (vorwiegend Spiele). Da Unity plattformunabhängig ist werden die Applikationen gleichzeitig für mehrere Plattformen entwickelt. Erstellt werden die Anwendungen mit dem Unity Editor.

Eine Unity-Anwendung ist in Szenen unterteilt. Jede Szene besitzt einen eigenen Szenengraph. Dieser Graph verwaltet alle Objekte einer Szene. Unity verwendet ein Entitäten-Komponenten-System. Das heißt, alle Unity-Objekte sind im Kern attribut- und funktionslose Entitäten (in Unity *GameObjects* genannt). Die eigentliche Funktionalität wird erst durch Hinzufügen von Komponenten (*Components*) zu den GameObjects deutlich. Beispielsweise verfügt das GameObject eines Würfel-Objekts über die Komponenten *Transform* (Position, Rotation und Skalierung), *MeshRenderer* (Geometrie) und *BoxCollider* (Kollision). Neben Anwendungen für

den Desktop oder mobile Endgeräte bietet Unity native Unterstützung für eine Vielzahl an AR- und VR-Plattformen an [74].

Zusätzlich zu diesen vorgefertigten Komponenten können auch Skript-Komponenten zu den GameObjects hinzugefügt werden. Dies ermöglicht Entwicklern, komplett neues Verhalten für Objekte in die Engine zu integrieren. Die Skripte werden in C# oder einem Javascript-Dialekt geschrieben. Die Skripte erben von der Unity-Klasse `MonoBehaviour`, wodurch sie in den Lebenszyklus von Unity-Objekten aufgenommen werden und Eventmethoden wie z. B. `Start()`, `Update()`, `FixedUpdate()` usw. erhalten [75].

Eine Besonderheit bei Unity im Vergleich zu anderen Engines sind die *Prefabs*. Dabei handelt es sich um abgespeicherte Konfigurationen von GameObjects inklusive ihrer Komponenten. Die Prefabs können dann jederzeit als vorkonfiguriertes Objekt instanziert werden. Darüber hinaus lässt sich Unity durch das Importieren von Plugins erweitern. So werden Assets (Texturen, Fonts, Musik, Materialien, Skripte) und Prefabs von anderen Entwicklern in das aktuelle Projekt übernommen. Aufgrund der einfach zu nutzenden AR-/VR-Funktionalität sowie der Erweiterbarkeit wird Unity für diese Arbeit eingesetzt.

4.2 SteamVR Plugin

Für diese Arbeit wird das *SteamVR Plugin* [76] eingesetzt. Dieses baut die in Unity integrierte AR-/VR-Unterstützung weiter aus. Eine zentrale Rolle nimmt das *Player-Prefab* ein. Durch Platzieren dieses Prefabs in der Unity-Szene werden automatisch GameObjects erzeugt, welche die Positionen und Rotationen vom HMD und Controllern des verbundenen VR-Systems tracken. Die Zuordnung der Geräte zu den GameObjects ist hardware-übergreifend und geschieht automatisch. Zudem wird den Nutzern eine Begrenzung des Spielebereichs angezeigt, welcher in diesem Fall durch den Messbereich der stationären Vive Basisstationen gegeben ist. Ebenso werden 3D-Modelle der Controller und Hände angezeigt, wobei sich die virtuellen Finger während der Controller-Nutzung mitbewegen. Das Prefab übernimmt außerdem das stereoskopische Rendern, sodass auf dem HMD für jedes Auge ein anderes Bild angezeigt wird, wodurch der Eindruck von räumlicher Tiefe entsteht.

Für diese Arbeit wird außerdem das *Interactable-SteamVR-Skript* verwendet. Über dieses Skript können GameObjects mit einer *Collider*-Komponente auf die virtuellen Hände bzw. Controller reagieren und interaktiv gemacht werden (z. B. Aufnehmen und werfen von Objekten, anklicken von Knöpfen etc.). Die Verwendungen dieses Skripts für den Megamap-Prototyp werden an entsprechender Stelle in den folgenden Abschnitten näher beschrieben.

4.3 Virtuelle Laborumgebung

Wie eingangs in Abschnitt 1.1 erwähnt war die ursprüngliche Idee dieser Arbeit die Implementierung eines Megamap-Prototyp für das MR-HMD Magic Leap One. Dabei sollte die virtuelle Karte mithilfe des HMDs in die reale Umgebung des Nutzers integriert werden.

Zu Beginn der Arbeit war allerdings statt der MR-Hardware nur ein Software-Simulator als Entwicklervorschau verfügbar. Im Verlauf der Arbeit wurde die MR-Hardware veröffentlicht. Das HMD war aber in der Arbeitsgruppe Human-Computer Interaction der Universität Bremen

nicht verfügbar. Daher wurde in dieser Arbeit ein alternativer Prototyp für das VR-HMD HTC Vive entwickelt. Wie die meisten VR-HMDs verdeckt die Vive das Sichtfeld der Nutzer komplett, um stattdessen die virtuellen Inhalte anzuzeigen. Somit ist die reale Welt für die Nutzer nicht mehr sichtbar, was die visuelle Integration der Megamap in die reale Umgebung unmöglich macht.

Der entwickelte Prototyp umgeht dieses Problem, indem ein virtuelles Modell der Umgebung im Maßstab 1:1 verwendet wird. Die reale Welt wird dadurch virtuell simuliert. Die Megamap kann dann in die *virtuelle* Umgebung des Nutzers integriert werden. Die Idee hinter diesem Ansatz ist, dass durch die Ähnlichkeit der realen und der virtuellen Umgebung das Prinzip des VR-Prototyps auf ein Szenario mit einem MR-HMD übertragbar ist. In zukünftigen Arbeiten könnte damit der Megamap-Prototyp auf MR-HMDs eingesetzt werden, ohne grundlegende Änderungen vornehmen zu müssen.

Wie auch die HoloLens erstellt die Magic Leap One durch aktives Tracking der Umwelt intern ein 3D-Modell der Umgebung. Dieses wird für die Kollisionsberechnung mit den virtuellen Inhalten verwendet. So können virtuelle Objekte mit realen Gegenständen interagieren (z. B. läuft ein Charakter über einen realen Tisch oder ein virtueller Bildschirm wird an einer realen Wand platziert). Da im Megamap-Prototyp ein 3D-Modell als Umgebung dient, ist die Interaktion von virtuellen Objekten mit der Umwelt implizit möglich.

Für den Prototyp wurde ein maßstabsgetreues 3D-Modell des Laborraums der Arbeitsgruppe



Abbildung 4.2: Um die Situation der MR-Anwendung in VR nachzubilden, wurde der Laborraum im Maßstab 1:1 modelliert. Die Bilder zeigen das Foto des realen Labors (oben links) sowie Screenshots des virtuellen Labors in Unity.

Human-Computer Interaction der Universität Bremen angefertigt, welcher der Durchführungs-ort der Nutzerstudie ist (siehe Kapitel 5). Abbildung 4.2 zeigt ein Foto des Laborraums sowie Screenshots der entsprechenden virtuellen Umgebung. Der Grundriss des Raums wurde im Modellierungsprogramm *Blender* mithilfe des eingebauten *Archimesh*-Werkzeugs zentimetergenau erstellt. Das Modell wurde als *.fbx* in Unity importiert und mit diversen virtuellen Requisiten ergänzt, um den Raum realistischer und dem Original ähnlicher wirken zu lassen.

Synchronisation der realen und virtuellen Position

Damit die virtuelle Umgebung als Ersatz für die reale Umgebung verwendet werden kann muss sichergestellt werden, dass die Rotation des virtuellen Raums der des realen Raums entspricht. Außerdem müssen die Positionen der Nutzer zwischen der virtuellen und realen Welt übereinstimmen. Der Prototyp muss dafür vorab in zwei Schritten konfiguriert werden:

Erster Schritt: Während der Kalibrierung der Vive legen die Nutzer den Spielebereich (die sogenannte *Play Area*) fest. Dies ist der Bereich, in dem sich keine Hindernisse befinden und der für die Basisstationen sichtbar ist. Hierfür ziehen die Nutzer mit den Controllern ein Rechteck nach, welches dann als Spielebereich gesetzt wird. Zu beachten ist, dass die längere Seite des Rechtecks orthogonal zur Ausgangsrotation des Player-Objekts in Unity verläuft. Die aktuell getrackte Rotation des HMDs wird relativ zur Ausrichtung der Play Area gemessen. Da SteamVR automatisch die längeren Seiten der Play Area als Vorder- bzw. Rückseite betrachtet, müssen diese orthogonal zur Blickrichtung des Player-Objekts verlaufen. Im Fall des entwickelten Prototyps bedeutet dies, dass die Vorderseite der Play Area parallel zu der Wand des Labors verlaufen muss, an der sich die Eingangstür und Tische befinden (siehe Abbildung 4.2). Die korrekte Kalibrierung der Play Area wird in Abbildung 4.3 skizziert. Wenn bei der Kalibrierung der Play Area eine andere Ausrichtung gewählt wird als die Ausgangsrotation des Player-Objekts, weicht die virtuelle Rotation der Nutzer von der realen Rotation im Bezug zum Raum ab. Effektiv hätte die virtuelle Umgebung dann eine andere Ausrichtung als die reale Umgebung. Die falsche Kalibrierung wird in Abbildung 4.4 dargestellt.

Ginge es nur um den visuellen Reiz in der virtuellen Umgebung, würden die Nutzer diese Abweichung lediglich beim Aufsetzen des HMDs bemerken (da dann der virtuelle Raum anders rotiert wäre als der reale). Wenn aber zum Beispiel der Tastsinn eine Rolle spielt, ist eine korrekte Ausrichtung des virtuellen Raums sinnvoll. Da in dem entwickelten Prototyp nicht ausgeschlossen ist, dass die Nutzer die Play Area verlassen und beispielsweise die Säule oder Wände mit den Händen berühren, ist es für die Immersion von Vorteil, wenn das Berühren der virtuellen Objekte mit den taktilen Reizen der realen Objekte verknüpft wird. Weiterhin wird durch die korrekte Ausrichtung die Messung des Abweichungsfehlers (siehe Kapitel 5) beim Zeigen auf Objekte erleichtert.

Zweiter Schritt: Neben der Orientierung der Nutzer muss die Position des virtuellen Raums angepasst werden, wenn dieser die reale Umgebung bestmöglich überlagern soll. Dies resultiert (wie bei der Rotation) aus der Tatsache, dass die getrackte Position des HMDs relativ zur Play Area gemessen wird, welche sich durch den Kalibrierungsvorgang von SteamVR ändern kann.

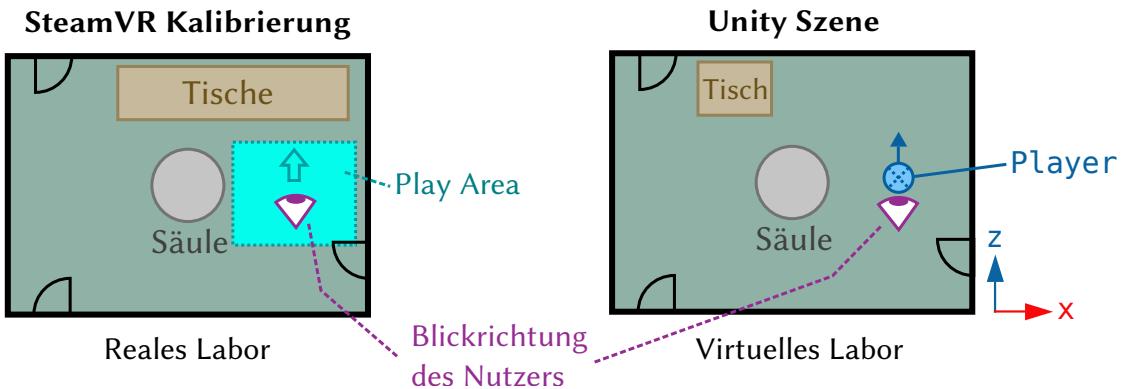


Abbildung 4.3: Die Play Area hat die gleiche Ausrichtung wie das Player-Objekt in der Grundrotation (entlang z-Achse). Die Rotation des Nutzers in der realen und virtuellen Welt stimmt überein.

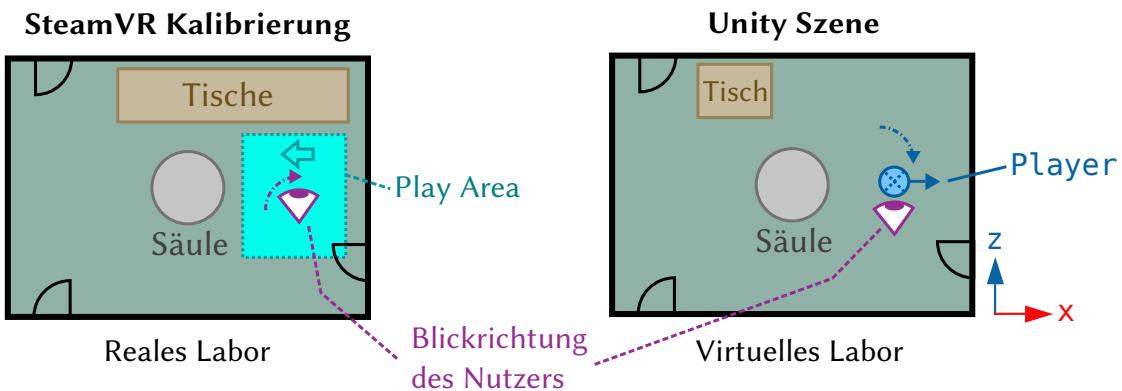


Abbildung 4.4: Die Play Area hat nicht die gleiche Ausrichtung wie das Player-Objekt in der Grundrotation. Der Nutzer hat einen Rotationsoffset (hier 90°), wodurch für den Nutzer effektiv die Räume unterschiedlich rotiert wirken.

Um die neue Position des virtuellen Raums zu bestimmen wird für den Prototyp wie folgt vorgegangen:

Der Prototyp wird mit seiner Ausgangsposition im Unity Editor ausgeführt. Die Ecke „links unten“ aus Vogelperspektive des virtuellen Labors befindet sich an der Unity-Welt-Koordinate $(0, 0, 0)$. Die Controller, welche im HMD durch 3D-Modelle visualisiert sind, werden in den Ecken des virtuellen Raums platziert. Dabei wird darauf geachtet, dass sie von den Basisstationen weiterhin erkannt werden. Nun wird im realen Labor die Entfernung von den Controllern zu den entsprechenden Ecken des Raums gemessen, was der Abweichung der virtuellen zur realen Welt entspricht. Die Entferungen werden gemittelt. Der resultierende Offset wird dann im Unity Editor verwendet, um das virtuelle Labor zu verschieben. Dieser Offset ist nun solange gültig, bis die Play Area neu kalibriert wird. Wie auch schon bei der Rotation ist diese Angleichung erst dann für die Nutzer bemerkbar, wenn sie versuchen physische Objekte wie Wände oder die Säule zu berühren. Würde die Verschiebung des Raums nicht durchgeführt werden, könnten

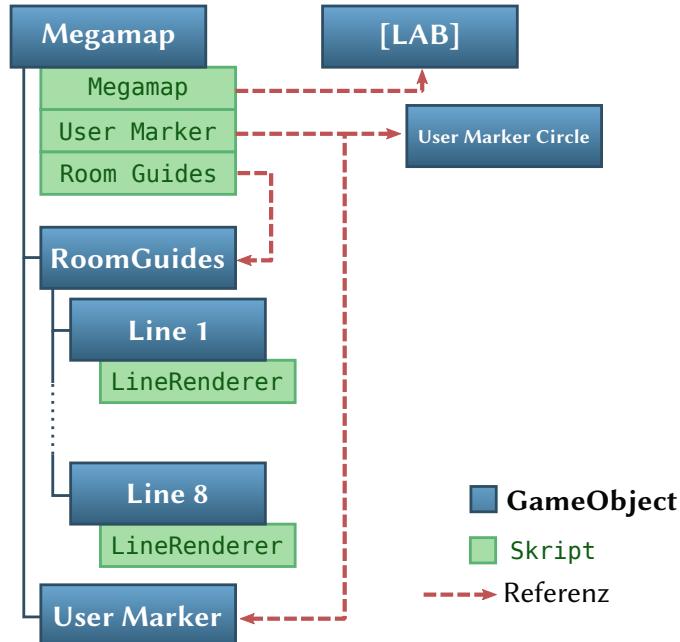


Abbildung 4.5: Übersicht des Megamap-GameObjects.

Nutzer mit den Controllern durch die virtuellen Objekte hindurch greifen oder sie würden auf physische Barrieren stoßen, obwohl die virtuellen Objekte noch weiter entfernt sind. Nach diesen beiden Schritten kann der virtuelle Raum als Ersatz für die reale Umgebung verwendet werden, die in einer MR-Anwendung ohne vorheriges Modellieren verfügbar wäre.

4.4 Das Megamap-GameObject

Der grundlegende Baustein der Implementierung ist das Megamap-GameObject. Eine strukturelle Übersicht des Objekts wird in Abbildung 4.5 gegeben. Das Objekt setzt sich aus drei Teilen zusammen, die jeweils durch eigene Komponenten repräsentiert werden:

Das Skript **Megamap** bietet allgemeine Einstellungsmöglichkeiten zur Darstellung der Megamap. Es lassen sich z. B. die Skalierung oder die Entfernung zum Boden ändern. Weiterhin bietet das Skript die Methoden `Show()` und `Hide()`, mit denen die Karte angezeigt bzw. ausgeblendet werden kann. Falls dabei das Feld `useAnimation` auf `true` gesetzt ist, wird die Karte beim Anzeigen durch eine Animation von einer 1:1 Raumgröße auf die eingestellte Skalierung nach und nach herunterskaliert (beim Ausblenden analog ein Hochskalieren). Die Megamap wird standardmäßig Nutzer-zentriert platziert. Das bedeutet, dass die Nutzer sowohl in der realen Welt als auch auf der Karte die gleiche Position einnehmen. Hierfür wird die virtuelle Umgebung referenziert und der Abstand vom HMD zum Ursprung des Labor-Modells ermittelt. Dieser Abstand wird dann wie die Megamap skaliert und die Karte wird um den skalierten Abstand verschoben. Sowohl die Animation als auch die Zentrierung sollen es den Nutzern erleichtern, ihre eigene Position auf der Karte zu finden. Außerdem sollen der Bezug vom Laborraum auf

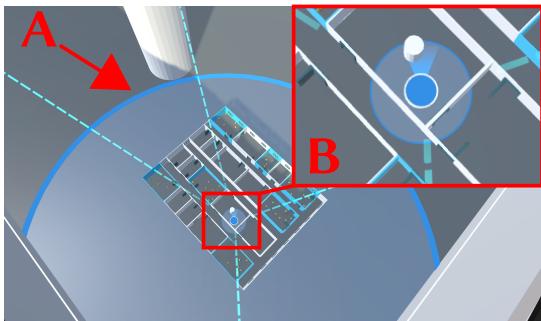


Abbildung 4.6: Der User Marker zeigt die Position der Nutzer auf der Megamap an. **A:** Marker in Umgebung. **B:** Marker auf Karte.

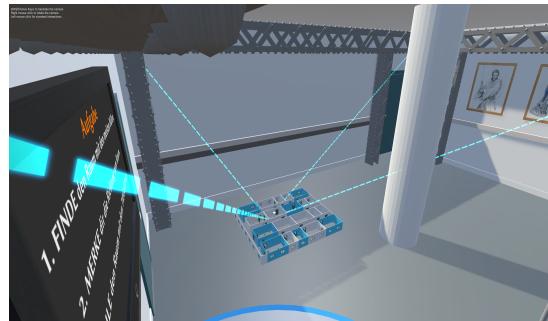


Abbildung 4.7: Die Room Guides verbinden die Ecken des umgebenden Raums mit dem entsprechenden Raum auf der Megamap.

der Karte zum umgebenden Laborraum hervorgehoben werden.

Das Megamap-Skript dient lediglich als Schnittstelle zur Manipulation der Karte. Das eigentliche 3D-Modell, welches als Karte verwendet wird, ist von diesem Skript unabhängig und wird erst zur Laufzeit durch andere Skripte als aktive Karte gesetzt. Hierfür bietet das Megamap-Skript die Methode `SetMap(...)` an, welche als Parameter unter anderem eine Referenz auf ein IndoorMap-Skript erwartet. Dank dieser Trennung von Schnittstelle und Modell können zur Laufzeit unterschiedliche Indoor-Karten gewechselt werden, was für die Nutzerstudie in Kapitel 5 Voraussetzung ist. Die Details zum IndoorMap-Skript werden in Abschnitt 4.5 ausgeführt.

Der zweite Teil des Megamap-Objekts, das **User Marker** Skript, dient ebenfalls der Orientierung für die Nutzer. Analog zu Kartenanwendungen wie Google Maps befindet sich eine Markierung auf der Megamap, welche die aktuelle Position der Nutzer anzeigt. Da es sich bei der Megamap um eine dreidimensionale Karte handelt wird hier ein Zylinder in Form ähnlich eines Pucks benutzt (siehe Abbildung 4.6). Mittels eines transparenten Kegels wird außerdem die aktuelle Rotation der Nutzer verdeutlicht. Um den Bezug von der Markierung auf der Karte zur Umgebung zu verstärken ist auch in dieser ein Kreis platziert, welcher auf die Nutzer zentriert ist.

Der dritte Teil des Megamap-Objekts ist das **Room Guides** Skript. Es zeichnet Linien von den Ecken des umgebenden Laborraums zum Laborraum auf der Karte (siehe Abbildung 4.7). Die Linien heben den Raum hervor, in dem sich die Nutzer befinden und stellen somit einen Bezug zur Umgebung her. Implementiert sind diese Führungslinien als acht GameObjects mit jeweils einer LineRenderer-Komponente, die zusammen mit der Megamap ein- bzw. ausgeblendet werden. Für die Startpunkte der Linien (die Ecken des umgebenden Raums) wird über die Renderer-Komponente des Labor-Modells auf dessen *Bounding Box* zugegriffen. Die Eckpunkte der Bounding Box sind die Startpunkte der Linien. Die Endpunkte der Linien werden berechnet, indem die Startpunkte mit der Transformationsmatrix der Megamap multipliziert werden. So entsteht der Effekt, dass die Linien zu den Eckpunkten des Labors auf der Karte hinführen. Standardmäßig werden über das Feld `showUpperOnly` nur die oberen vier Linien angezeigt, da die unteren Führungslinien vom Rest der Megamap verdeckt werden würden.

4.5 Erstellung der Indoor-Karten

Wie bereits erwähnt ist das eigentliche 3D-Modell, welches das Layout des Gebäudes repräsentiert, vom Megamap-Skript getrennt. Für den entwickelten Prototyp werden vorab erstellte 3D-Modelle eingesetzt, die in Blender mit dem Archimesh-Werkzeug modelliert wurden. Die erstellten Karten sind 3D-Modelle, bei denen die einzelnen Räume als separate GameObjects in Unity verfügbar sind. Abbildung 4.8 zeigt schematisch, wie die Objekthierarchie für die Indoor-Karten in Unity aufgebaut ist.

Für die Nutzerstudie aus Kapitel 5 ist es notwendig, dass die Nutzer mit Räumen interagieren können. Es wird eine Suchaufgabe implementiert, bei der die Nutzer einen spezifischen Raum finden und auswählen müssen. Die Nutzer können mit den Vive-Controllern Räume anvisieren und durch Betätigung des Triggers auswählen. Handelt es sich um den gesuchten Raum, wird die Karte ausgeblendet. Ansonsten wird der Raum als „falscher Raum“ hervorgehoben.

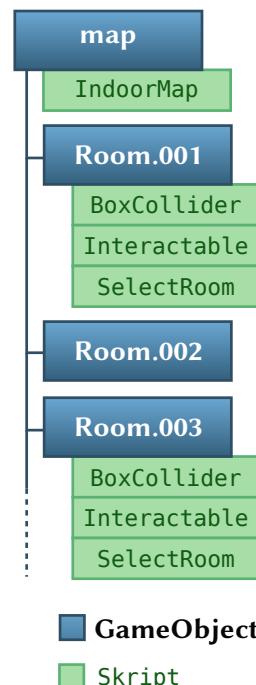


Abbildung 4.8: Objekthierarchie des IndoorMap-Objekts,

Diese Interaktionsmöglichkeit wird durch das `SelectRoom`-Skript umgesetzt. Das Skript verwendet die SteamVR-Komponente `Interactable`, wodurch Räume auf Annäherungs- und Interaktionsevents der Vive-Controller reagieren können. Im Skript werden dazu spezielle SteamVR-Methoden implementiert. Die Methode `OnHandHoverBegin(...)` wird ausgelöst, sobald die `HoverTransform` des Vive-Controllers den Collider des Raums berührt. In der Methode wird der Raum gelb hervorgehoben, wenn er zuvor nicht angeklickt wurde. Wenn er zuvor bereits angeklickt wurde (und nicht der gesuchte Raum ist) wird der Raum stattdessen rot eingefärbt.

Die Methode `OnHandHoverEnd(...)` setzt die Farbe des Raums in den Normalzustand

zurück, wenn der Vive-Controller den Collider des Raums verlässt. Somit ist die farbliche Änderung nur sichtbar, solange der Raum mit dem Controller anvisiert wird.

Die `HandHoverUpdate(...)`-Methode wird in jeder Update-Iteration von Unity ausgeführt, solange der Vive-Controller den Collider des Raums überlappt. In der Methode wird überprüft, ob aktuell der Trigger des Controllers betätigt wird. Sobald der Trigger von den Nutzern gedrückt wird, wird ein Event ausgelöst, was die Auswahl eines Raums signalisiert. Handelt es sich dabei um den gesuchten Zielraum, wird das Event `OnTargetRoomSelected` ausgelöst. Dieses wird an anderer Stelle benutzt, um die Karte bei Auswahl des Zielraums auszublenden. Wenn der falsche Raum gewählt wird, wird stattdessen das Event `OnWrongRoomSelected` aktiviert. Dieses wird genutzt, um die Auswahl von falschen Räumen zu zählen und in Kapitel 5 auszuwerten.

Um den Zugriff auf die Räume zu vereinfachen verfügt das IndoorMap-Objekt über das gleichnamige Skript `IndoorMap`. Dieses bietet C#-Eigenschaften (*Properties*) an, um die Liste aller Räume bzw. die Liste aller *auswählbarer* Räume zu erhalten (`Rooms` bzw. `SelectableRooms`).

Damit die Megamap das IndoorMap-Objekt als Karte verwendet wird es an die Methode `SetMap(...)` des `Megamap`-Skripts übergeben. Hierdurch wird das IndoorMap-Objekt zu einem Kind-Objekt der Megamap. Die Skalierung und Translation der Megamap werden automatisch für das Kartenmodell übernommen. Die Karte kann durch weitere Aufrufe von `SetMap(...)` ausgetauscht werden.

4.6 Interaktion mittels virtuellem Laserpointer

Mit den `SelectRoom`- und `Interactable`-Skripten können die Nutzer die Räume auf der Karte mit dem Vive-Controller auswählen. Allerdings müssten sie sich (ohne weitere Maßnahmen) zu den einzelnen Räumen hinbewegen, um diese mit dem Vive-Controllern zu berühren und auszuwählen. In informellen Vortests des Prototyps zeigte sich, dass die Bewegung zu den Räumen umständlich ist, wenn lediglich ein einzelner Raum gefunden werden soll. Die Play Area der Vive schränkt die Bewegung der Nutzer zusätzlich ein, da außerhalb der Play Area mit Hindernissen gerechnet werden muss und das Tracking durch die Basisstationen ungenauer wird.

Für den finalen Prototyp wurde daher eine Methode zur entfernten Auswahl von Räumen entwickelt. Über einen virtuellen „Laser Pointer“ können Nutzer mit den Vive-Controllern auf Räume zeigen und diese mit dem Trigger auswählen. Der Screenshot in Abbildung 4.9 zeigt ein Beispiel. Das Skript `LaserPointer` setzt dies um, indem es einen `LineRenderer` aktiviert, welcher einen Laserstrahl darstellt. Der Strahl verläuft vom Controller geradeaus in die Szene. In der Methode `Update()` wird dann durch `Physics.RaycastAll(...)` ein Schnitttest zwischen dem Strahl und Collidern in der Szene durchgeführt. Falls ein Collider vom Strahl getroffen wird und der Collider zu einem der Räume gehört, wird der Schnittpunkt als Endpunkt des Laserstrahls gesetzt. So entsteht der Effekt, dass der Laserstrahl nicht durch die Räume hindurchgeht.

Wie im vorigen Abschnitt beschrieben findet die Interaktion zwischen Vive-Controller und einem Raum statt, wenn der Controller den Raum überlappt. Da beim Laserpointer der Controller vom Raum entfernt ist, muss hier eine Modifikation vorgenommen werden. Intern

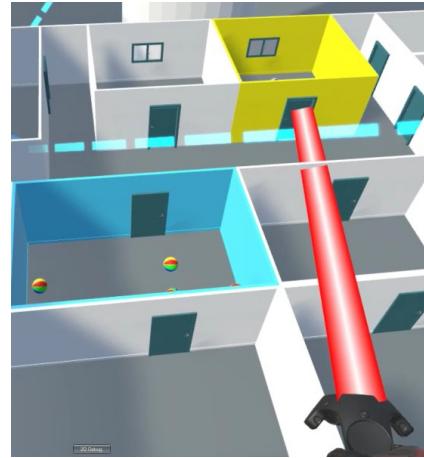


Abbildung 4.9: Mit dem Laserpointer wird ein Raum anvisiert.

nutzt das SteamVR-Hand-Skript (welches den Controller repräsentiert und trackt) die Felder `HoverSphereTransform` und `HoverSphereRadius`. Beide Felder definieren eine unsichtbare Kugel mit einem gegebenen Radius. Standardmäßig folgt diese Kugel der Position des Controllers. Sobald die Kugel mit einem `Interactable`-Objekt überlappt, werden die entsprechenden SteamVR-Events ausgelöst. Für den Laserpointer wird diese Kugel verschoben, wenn der Raycast einen Schnittpunkt mit einem auswählbaren Raum ergibt. Die Position der Kugel wird auf den Schnittpunkt geändert, wodurch sie sich effektiv am Ende des Laserstrahls befindet. Damit werden die SteamVR-Events für den entsprechenden Raum am Ende des Strahls ausgelöst. Abbildung 4.10 verdeutlicht diesen Vorgang. Wenn der Raycast keinen Schnittpunkt mit einem auswählbaren Raum ergibt, wird die Kugel wieder auf die Controller-Position zurückgesetzt.

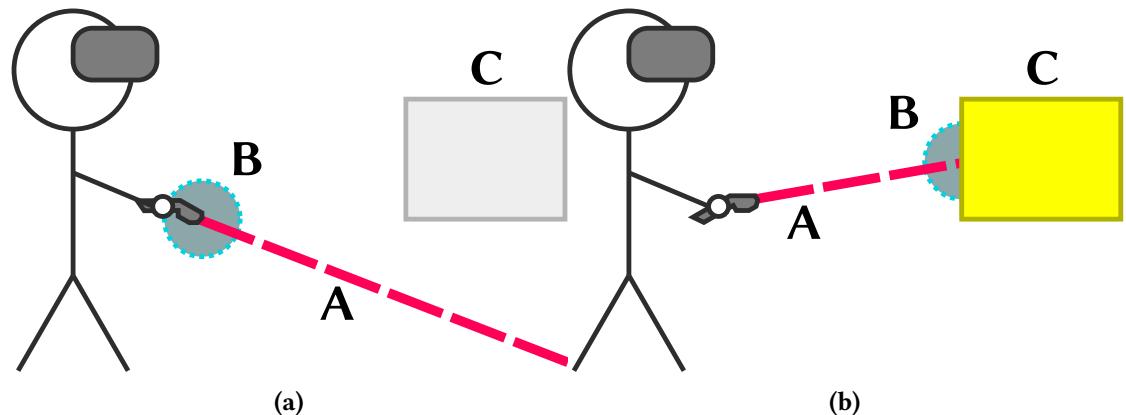


Abbildung 4.10: Funktionsweise des Laserpointers. Die `HoverSphere` wird verschoben, sodass der Raum auf den Vive-Controller reagiert. A: Laserpointer. B: SteamVR-HoverSphere. C: Auswählbarer Raum.

5 Nutzerstudie

Aus Kapitel 2 geht hervor, dass der Abgleich von 2D-Karten mit der Umgebung einen gewissen mentalen Aufwand erfordert, bedingt durch das Fehlen einer Dimension. Die 2D-Karte ist eine Abstraktion der Umgebung, wodurch Informationen verloren gehen. Der Zweck dieser Nutzerstudie ist zu überprüfen, ob sich bei den Probanden durch die 3D-Megamap ein räumliches Verständnis aufbaut, welches gegenüber der 2D-Karte zu einer effektiveren und effizienteren Orientierung führt. Um dies zu testen führten die Probanden eine Suchaufgabe und eine Richtungseinschätzung durch. Dabei wurden unter anderem die Suchzeit, die Abweichung der Schätzung und die Trefferrate des Ziels zwischen den Kartenvarianten verglichen. Außerdem bewerteten die Probanden die Nutzbarkeit der Ansätze und geben Feedback zum Megamap-Prototyp.

Die Hypothesen, die mit dieser Studie getestet werden, sind wie folgt definiert:

- Nullhypothese (H_0): Es gibt keine messbaren Unterschiede zwischen der 2D-Karte und den Megamaps bezüglich Effektivität und Effizienz.
- H_a : Die Effektivität und Effizienz der Megamaps unterscheiden sich von der 2D-Karte.

5.1 Aufbau

Das Experiment fand im Laborraum 5220 (MZB Ebene 5) der Arbeitsgruppe Human-Computer Interaction an der Universität Bremen statt. Für die Präsentation der virtuellen Umgebung wurde die HTC Vive mit zwei Basisstationen eingesetzt. Der getrackte Bereich zwischen den Basisstationen umfasste ca. $3\text{ m} \times 3\text{ m}$. Ein PC mit einer *Nvidia GTX 1080 Ti* Grafikkarte und einem *AMD Ryzen 7 1800X* Prozessor mit Unity 2018.2.12f1 renderte die Bilddaten. Diese wurden an das HMD mit dem *VIVE Wireless Adapter* [77]. Ein separater Laptop wurde bereitgestellt, auf dem die Probanden die Fragebögen via *Google Forms* ausfüllten.

5.2 Konditionen und Aufgaben

Die Studie wurde als Experiment innerhalb einer Gruppe (*Within-Subject*) gestaltet. Für die Nutzerstudie wurden drei unterschiedliche Konditionen getestet (siehe Abbildung 5.1):

- $3D_l$ (*low*): Die 3D-Megamap wird mit einer Skalierung von 6 % (relativ zur Umgebung) und 25 cm über dem Boden angezeigt. Diese Kondition entspricht am ehesten der Megamap aus TCTD.
- $3D_h$ (*high*): Die 3D-Megamap wird mit einer Skalierung von 6 % (relativ zur Umgebung) und 1 m unterhalb der HMD-Position auf Bauchhöhe angezeigt. Dabei wird die Höhe nur

beim Aufrufen der Karte berechnet. Danach bleibt sie fix. Diese Kondition wird getestet, um zu ermitteln, wie sich die Höhe der Megamap vom Boden auf die Nutzung auswirkt (insbesondere unter dem Aspekt, dass durch die Darstellung in 3D Verdeckungen durch die Wände der Räume auftreten können).

- 2D: Eine 2D-Karte wird senkrecht an der Wand vor dem Nutzer angezeigt. Auch die 2D-Karte hat eine Skalierung von 6 % (relativ zur Umgebung). Die Karte ist so an der Wand platziert, dass sie weder von anderen Wänden, noch von der Decke oder dem Fußboden geschnitten wird.

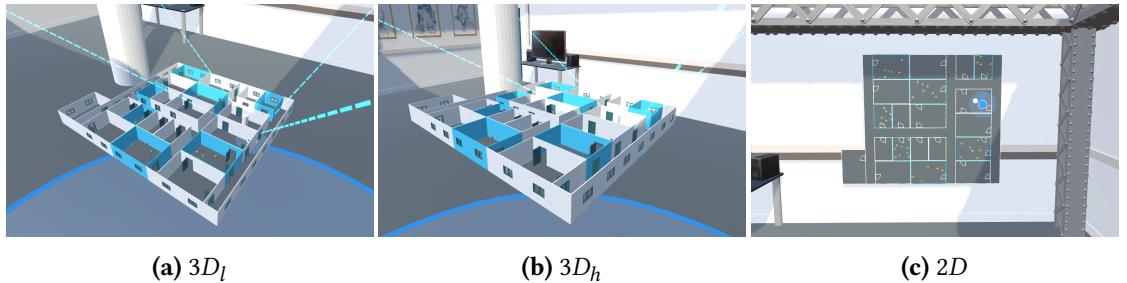


Abbildung 5.1: Die drei getesteten Konditionen.

Jedem Proband wurde vor dem Experiment eine von sechs möglichen Abfolgen der Konditionen zugeordnet. Den Probanden wurde ihre jeweilige Sequenz nicht mitgeteilt. Die Verteilung der Probanden auf die Sequenzen befindet sich im Anhang in Tabelle B.1. Da 15 Probanden teilgenommen haben sind die Sequenzen ungleichmäßig verteilt.

Jede Kondition wurde über 6 Iterationen wiederholt. Dabei wurde in jeder Iteration eine andere Indoor-Karte für die Megamap verwendet, um einen Lerneffekt der Kartenlayouts zu minimieren. Die unterschiedlichen Karten sind in Abbildung 5.2 zu sehen. Damit die Konditionen vergleichbar bleiben, wurde jede Karte einmal jeder Kondition unterzogen. Das heißt, die Probanden durchliefen insgesamt 18 Iterationen, wobei sechs unterschiedliche Karten jeweils dreimal eingesetzt wurden. Die Reihenfolge der Iterationen innerhalb einer Kondition war zufällig bestimmt, wobei darauf geachtet wurde, dass bei einem Wechsel der Konditionen die gleiche Karte nicht zweimal aufeinander folgte.

Um die Auswirkungen der jeweiligen Kondition auf die Performance und die räumliche Wahrnehmung des Probanden zu testen, wurden eine Suchaufgabe und eine Richtungsschätzung in den Megamap-Prototyp integriert.

Für die Suchaufgabe wurden auf der jeweiligen Karte in sieben Räumen Bälle platziert (rote Räume in Abbildung 5.2 und Zielraum). Die Probanden mussten dann den Raum suchen, der die meisten Bälle enthielt und diesen mit dem Vive Controller und dem virtuellen Laserpointer auswählen. Jede Megamap hatte genau einen Zielraum, welcher zufällig zwischen sieben und zehn Bällen enthielt. Die anderen Räume enthielten mindestens fünf Bälle und maximal einen Ball weniger, als der Zielraum. Jede der sechs Indoor-Karten hatte denselben Zielraum in allen drei Konditionen. So bleiben die Karten über die Konditionen hinweg vergleichbar. Wäre immer ein anderer Zielraum gewählt worden, wäre der Schwierigkeitsgrad der Suche zwischen den

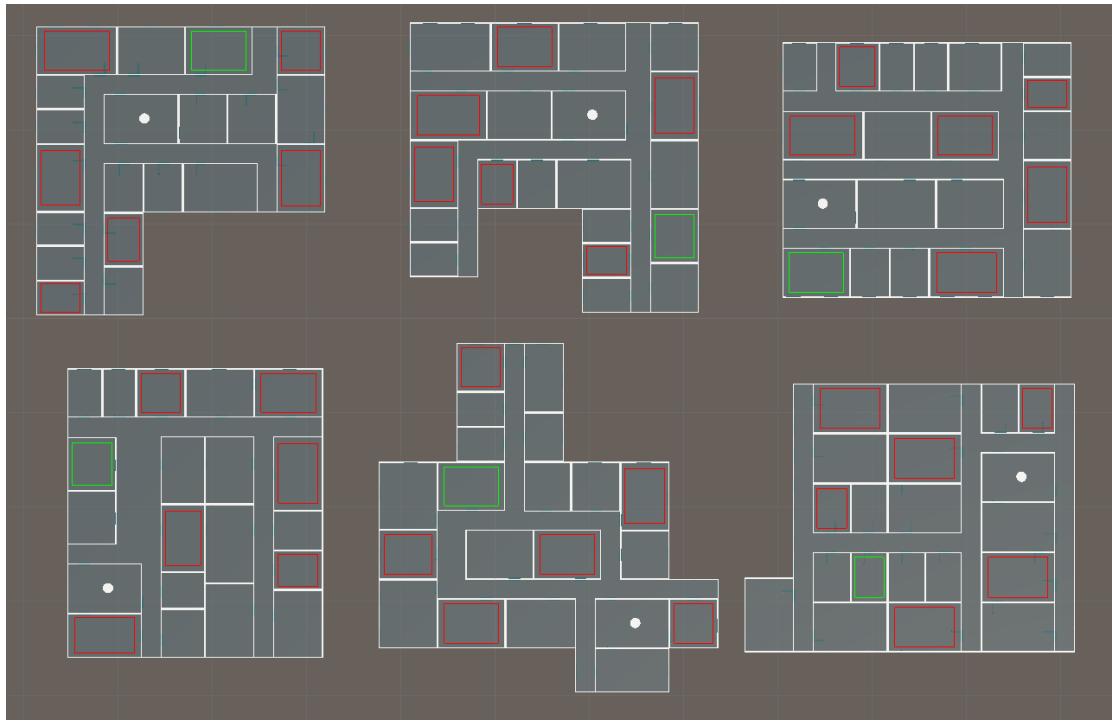


Abbildung 5.2: Die sechs Kartenlayouts. Alle **rot** markierte Räume werden mit Bällen gefüllt. Der Zielraum ist **grün** markiert. Der Laborraum ist der Raum mit der Säule (weißer Punkt).

Konditionen bei gleicher Karte verschieden gewesen. Für den Fall, dass ein Proband einen falschen Raum auswählte, wurde dieser rot eingefärbt. Der Proband musste dann mit der Suche nach dem Zielraum fortfahren.

Anhand der Megamap mussten sich die Probanden die Richtung vom virtuellen Laborraum zum Zielraum (horizontal und vertikal zentriert) merken. Sobald sie den Zielraum ausgewählt hatten, wurde die Megamap ausgeblendet. Mit dem virtuellen Laserpointer sollten die Probanden dann möglichst mittig auf den Zielraum *in ihrer Umgebung* zeigen. Durch Betätigen des Triggers konnte der Laserpointer „eingefroren“ werden, um die Richtung entweder zu korrigieren oder zu akzeptieren. Wenn die Richtung akzeptiert wurde, startete die nächste Iteration.

Damit die Suche auf einer Karte über alle Konditionen hinweg von der gleichen Position startete, wurde ein *User Setup* implementiert. Die beiden Schritte des User Setups sind in Abbildung 5.3 zu sehen. Die Probanden mussten sich auf eine festgelegte Zielposition stellen und für zwei Sekunden auf ein Ziel an der Wand schauen. Die beiden Zielpositionen waren von der jeweiligen Karte abhängig, blieben aber für eine Karte über die Konditionen hinweg gleich. Für jede Karte galten somit in allen Konditionen die gleichen Ausgangsbedingungen. Das User Setup wurde ebenso zwischen vor der Richtungsschätzung implementiert. Ohne diesen Zwischenschritt hätten die Probanden in den 3D-Konditionen nur den Laserpointer vom Raum auf der Karte anheben müssen, um die korrekte Richtung zu schätzen. Durch das User Setup wurden die Probanden abgelenkt, was diesen Vorteil der 3D-Konditionen gegenüber der 2D-Kondition minimieren sollte.



Abbildung 5.3: Mit dem „User Setup“ wurde vor der Raumsuche die Startposition und Blickrichtung zwischen den Konditionen angeglichen. Vor der Schätzung der Richtung wurden die Probanden außerdem abgelenkt. (a) Die Probanden mussten sich zuerst auf das 'X' stellen. (b) Danach mussten die Probanden für zwei Sekunden auf das Ziel an der Wand schauen.

5.3 Ablauf

Für einen Test wurden 45 Minuten angesetzt. Zuerst bekamen die Probanden Hintergrundinformationen zu der Nutzerstudie (siehe Anhang Abschnitt A). Unter anderem wurde erklärt, dass eine neuartige 3D-Darstellung von Indoor-Karten für MR/VR getestet wird und dass 2D- und 3D-Varianten verglichen werden. Mit einem Informationsbogen wurden die Probanden über die Details, den Ablauf sowie die gesammelten Daten der Nutzerstudie aufgeklärt. Daraufhin unterschrieben die Probanden einen Zustimmungsbogen (siehe Anhang Abschnitt A). Damit willigten sie zur Teilnahme an der Studie sowie der Aufzeichnung ihres Blickfelds in der virtuellen Umgebung ein. Die Probanden konnten frei entscheiden, ob zusätzlich eine Audioaufnahme der Gespräche während des Experiments aufgezeichnet würde.

Vor dem eigentlichen Test füllten die Probanden einen demografischen Fragebogen aus (siehe Anhang Abschnitt A). Dieser enthielt Fragen zur Person (Alter, Geschlecht usw.) sowie Vorerfahrungen in VR/MR und mit Kartenanwendungen für Außen- und Innenbereiche. Der letzte Teil des Fragebogens enthielt die ins Deutsche übersetzte Santa Barbara Sense-of-Direction Skala (SBSOD) [54], durch den die Probanden eine Selbstauskunft über ihren Orientierungssinn gaben. Die Bewertung wurde von einer 7-Punkte- auf eine 5-Punkte-Likert-Skala abgeändert, um mit den anderen Fragebögen einheitlich zu sein.

Den Probanden wurde danach das VR-Equipment (HMD und Batteriepack für den Wireless Adapter) angelegt. Sie fanden sich im virtuellen Laborraum wieder. Die Probanden wurden kurz in der Bedienung des Vive Controllers und der Bewegung im Raum innerhalb der Play Area unterrichtet. Sie wurden darauf hingewiesen, dass an einer der Wände ein virtueller Bildschirm hing, der ihnen den nächsten Aufgabenschritt in Textform anzeigen sollte, sollten sie den Ablauf vergessen haben. Die Probanden konnten darüber hinaus jederzeit während des Experiments Fragen an den Versuchsleiter stellen.

Es folgte ein Tutorial, bei dem die Probanden die zuvor beschriebenen Aufgaben (User Setup –

Suche – User Setup – Schätzen) in einer Tutorialkondition durchliefen (40 cm Kartenhöhe vom Boden bei 4 % Skalierung). Zuerst wurde die 3D-Megamap gezeigt, danach die 2D-Kondition. Die Probanden konnten entscheiden, ob sie das Tutorial wiederholen oder fortfahren wollen.

Nach dem Tutorial durchliefen die Probanden die Konditionen und Aufgaben, wie sie in Abschnitt 5.2 beschrieben sind. Zwischen den Konditionen setzten die Probanden das HMD ab und füllten am Laptop einen Fragebogen zur zuletzt getesteten Kartenvariante aus (siehe Anhang Abschnitt A). Die Fragebögen basierten auf der *System Usability Scale* (SUS) [55], wurden jedoch für das Anwendungsgebiet von Karten angepasst. Die Bewertung der einzelnen Aussagen erfolgte über eine 5-Punkte-Likert-Skala.

Nach Abschluss des letzten Fragebogens wurde mit den Probanden ein kurzes (5–10 Minuten) Leitfadeninterview geführt. Unter anderem beantworteten die Probanden Fragen (siehe Anhang Abschnitt A) zu ihrer präferierten Kartenvariante für die Suche und Richtungsschätzung, ihr Vorgehen beim Suchen, sowie Verbesserungsvorschlägen. Die Probanden wurden auch befragt, ob sie sich einen Einsatz von 3D-Megamaps mit MR-HMDs in der realen Welt sowohl in Innen- als auch Außenbereichen vorstellen könnten.

5.4 Testgruppe

An der Nutzerstudie nahmen 15 Personen teil (P_0, \dots, P_{14}), davon 10 männlich und 5 weiblich. Die Probanden befinden sich in einem Altersbereich von 23 bis 35 Jahren. 12 der Probanden geben an, bereits Vorerfahrungen mit VR oder MR gemacht zu haben. Alle Probanden verwenden Kartenanwendung zur Orientierung und Navigation im Freien. 8 der Probanden benutzen außerdem Karten zur Navigation innerhalb von Gebäuden. Darunter sind 4 Probanden, die digitale Indoor-Kartenanwendung nutzen.

Vier der Probanden sind Brillenträger, von denen zwei die Brille aus Bequemlichkeitsgründen während des Tests abnahmen. Zwei der Probanden sprachen Englisch und füllten ins Englische übersetzte Versionen der Fragebögen aus. Die Muttersprache aller anderen Probanden ist Deutsch. Keiner der Probanden war in die Inhalte der Masterarbeit oder der Nutzerstudie eingeweiht.

Die Probanden wurden durch an der Universität ausgehängte Flyer (siehe Anhang Abschnitt A), den Mailverteiler des Fachbereichs 3 und über die Arbeitsgruppe Human-Computer Interaction rekrutiert. Einige Probanden wurden außerdem durch persönlichen Kontakt mit dem Versuchsleiter angeworben. Für die Teilnahme wurden den Probanden Snacks und Getränke angeboten. Eine finanzielle Aufwandsentschädigung gab es nicht.

Bei der Analyse der Suchzeiten nach dem Zielraum viel auf, dass einer der Probanden (P_5) für über 50 % der ausreißenden Messungen verantwortlich war. Dies ist auf Probleme mit dem HMD-Setup zurückzuführen. Bei dem Proband saß das HMD locker, sodass er bei der Suche das Gefühl hatte, es würde ihm vom Kopf rutschen. Eine Neujustierung konnte das Problem nicht beheben. Der Proband hielt das HMD mit einer Hand fest, wodurch das Tracking des HMD häufig versagte und das Bild auf dem HMD ausfiel. Da die Werte dieses Probanden nicht für einen regulären Versuchsablauf repräsentativ sind, wurden seine Messungen von der Analyse ausgeschlossen.

Bei P_4 kam es während der ersten Kondition ($3D_h$) zu einem PC-Absturz, der aus einer

Inkompatibilität zwischen dem Ryzen-Prozessor und dem VIVE Wireless Adapter resultiert [78]. Auch bei einem erneuten Start des Experiments stürzte der PC in der Kondition $3D_h$ ab. Daraufhin wurde der Test abgebrochen. Der Proband führte das Experiment zwei Tage später erneut ohne Absturz durch. Es wird darauf hingewiesen, dass er durch die vorige (kurze) Teilnahme mehr Vorkenntnisse hatte, als die anderen Probanden.

5.5 Datenerhebung

Neben den Antworten aus den Fragebögen wurde das Sichtfeld der Probanden in der virtuellen Welt aufgezeichnet (und ggf. eine Audioaufnahme des Gesagten). Zum Vergleich der Effektivität von 2D und 3D wurde aus der Richtungsschätzung die horizontale und vertikale Abweichung von der „korrekten“ Richtung berechnet. Als korrekte Richtung gilt der Vektor von der Controllerspitze zum Zentrum des Zielraums in der Umgebung. Die horizontale und vertikale Abweichung ergeben sich aus den Winkeln zwischen der vom Probanden geschätzten und der korrekten Richtung. Für den Vergleich der Effizienz wurden diverse Zeitmessungen durchgeführt. Zum einen wurde die Zeit gemessen, die Probanden zum Finden des Zielraums benötigten. Zum anderen wurde die Zeit gemessen, bis Probanden die Schätzung der Richtung brauchten. Darüber hinaus wurden kontinuierlich die Positionen und Rotationen des HMDs und des Controllers aufgezeichnet.

5.6 Ergebnisse

In den folgenden Abschnitten werden die Ergebnisse aus der Nutzerstudie präsentiert und statistisch analysiert.

5.6.1 Santa Barbara Sense-of-Direction Skala

Die SBSOD-Skala liefert eine Selbsteinschätzung der Probanden ihres Orientierungssinns. Zur Auswertung der SBSOD-Skala werden die positiv formulierten Elemente invertiert bewertet. Der Mittelwert über die individuellen Bewertungen ist die SBSOD-Wertung [54]. Abbildung 5.4 stellt das Ergebnis grafisch dar. Von den 14 Probanden erreichten 12 (85,71 %) einen Wert über 3 („neutral“). Im Schnitt wurde eine Bewertung von 3,38 ($\pm 0,41$) erzielt. Der höchste erreichte Wert ist 4,07, der niedrigste Wert ist 2,67.

5.6.2 Effektivität und Effizienz bei Raumsuche

Suchzeit

Abbildung 5.5 zeigt die durchschnittlichen Suchzeiten bis zur Auswahl des Zielraums über alle Karten pro Kondition. Die entsprechenden Mittelwerte und Standardabweichungen sind zur Übersicht in Tabelle 5.1 aufgeführt. Zwischen den drei Konditionen ist nach dem Friedman-Test ein signifikanter Unterschied festzustellen ($\chi^2(2) = 63,5, p < 0.001$). Ein paarweiser Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test zwischen den einzelnen Konditionen zeigt, dass die Suche nach dem Zielraum in 2D ($18,31 \text{ s} \pm 9,3 \text{ s}$) signifikant schneller ist als in $3D_l$ ($27,44 \text{ s} \pm 13,39 \text{ s}, z = -6,003$,

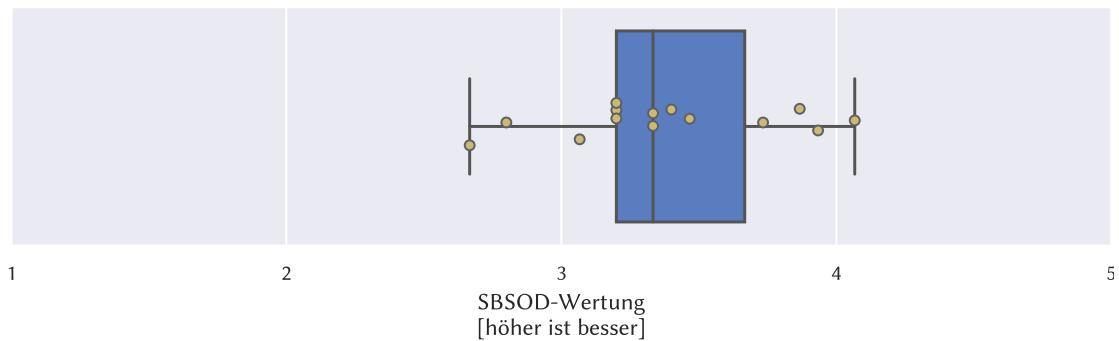


Abbildung 5.4: Erzielte SBSOD-Werte mit $\mu = 3,38$ und $\sigma = 0,41$.

$p < 0,001$) und $3D_h$ ($28,84 \text{ s} \pm 10,08 \text{ s}, z = -7,136, p < 0,001$). Der Unterschied der Suchzeit zwischen $3D_l$ und $3D_h$ ist hingegen nicht signifikant.

Weiterhin stellt sich die Frage, ob ein „besserer“ Orientierungssinn zu einer kürzeren Suchzeit führt. Abbildung 5.6 zeigt die durchschnittliche Suchzeit der Probanden in Bezug zu den ermittelten SBSOD-Wertungen. Für jede Kondition wird Spearmans Rangkorrelationskoeffizient zwischen der SBSOD-Wertung und der durchschnittlichen Suchzeit ermittelt. Die Tests weisen keinen signifikanten Zusammenhang der Variablen auf.

Tabelle 5.1: Mittelwert μ und Standardabweichung σ der Suchzeit über alle Karten je Kondition.

	Suchzeit [s]		
	$3D_l$	$3D_h$	$2D$
μ	27,44	28,84	18,31
σ	$\pm 13,39$	$\pm 10,08$	$\pm 9,3$

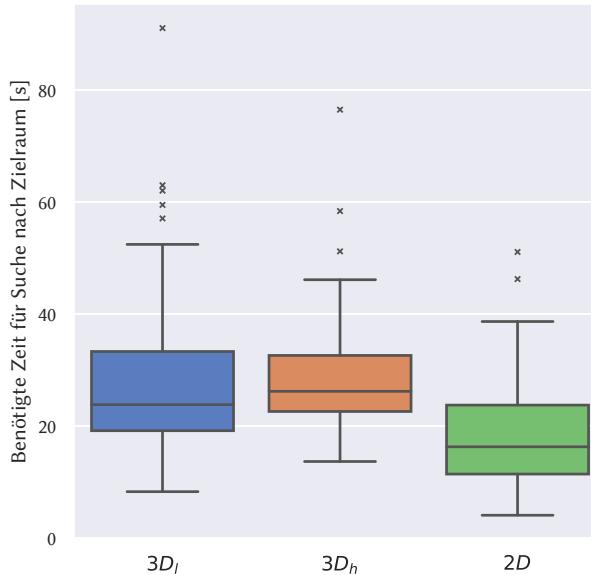


Abbildung 5.5: Boxplot der durchschnittlichen Suchzeiten (in Sekunden) über alle Karten je Kondition.

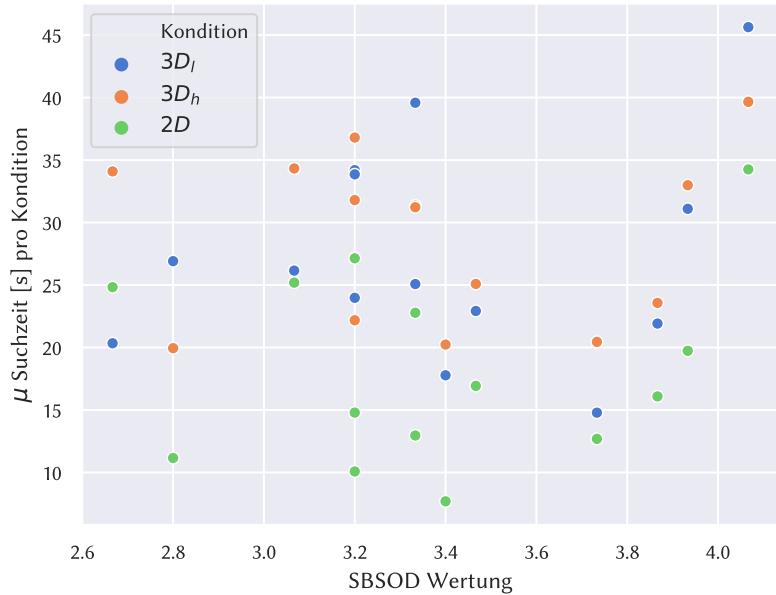


Abbildung 5.6: Scatterplot zur Überprüfung der Korrelation zwischen SBSOD-Wertung und Suchzeit.

Fehlerrate bei Raumauswahl

Neben der Suchzeit wurde auch die Zahl der falsch ausgewählten Räume (die Nicht-Zielräume) gemessen. Über die insgesamt 252 Suchaufgaben (14 Probanden \times 3 Konditionen \times 6 Karten) wurden in drei Fällen (1,19 %) statt dem Zielraum falsche Räume ausgewählt. Tabelle 5.2 zeigt eine Übersicht der entsprechenden Events. In beiden Fällen traten die Fehler in der ersten Kondition der entsprechenden Testsequenz ein (allerdings nicht in der ersten Karte).

Tabelle 5.2: Zahl der falsch ausgewählten Räume während der Suchaufgabe.

Proband	Kondition	Karte	Suchzeit [s]	# Fehler	Sequenz
user_8	3D _h	Karte_6	40,61 s	2	3D _h -3D _l -2D
user_9	2D	Karte_5	38,4 s	1	2D-3D _l -3D _h

5.6.3 Effektivität und Effizienz bei Richtungsschätzung

Genauigkeit der Schätzung

Da in den Tests nur Layouts mit einem Stockwerk eingesetzt wurden, spiegelt die vertikale Abweichung bei der Richtungsschätzung lediglich die Fähigkeit der Probanden wieder, auf die Mitte des Laborraums zu zielen. Folglich sind die Werte im Vergleich zur horizontalen Abweichung kleiner und unterscheiden sich kaum zwischen den Konditionen (3D_l: $\mu = 5,74^\circ \pm 4,47^\circ$;

$3D_h: \mu = 5,63^\circ \pm 4,06^\circ$; $2D : \mu = 6,08^\circ \pm 4,8^\circ$; absolute vertikale Abweichung). Daher werden die Ergebnisse der vertikalen Abweichung im Folgenden nicht weiter beachtet.

Abbildung 5.7 zeigt das Ergebnis der Richtungsschätzung. Da die Abweichung sowohl in positiven Winkeln (Abweichung nach rechts) als auch negativen Winkeln (Abweichung nach links) gemessen wurde, werden hier die absoluten Werte der Abweichung analysiert. Andernfalls würden sich die Werte bei der Mittelwertbildung gegenseitig aufheben. Wie zu erkennen ist, liegen die Mittelwerte von $3D_l$ ($7,79^\circ \pm 7,22^\circ$), $3D_h$ ($7,84^\circ \pm 7,44^\circ$) und $2D$ ($6,62^\circ \pm 5,28^\circ$) nahe beieinander. Der Friedman-Test kann keine signifikanten Unterschiede zwischen den Konditionen nachweisen.

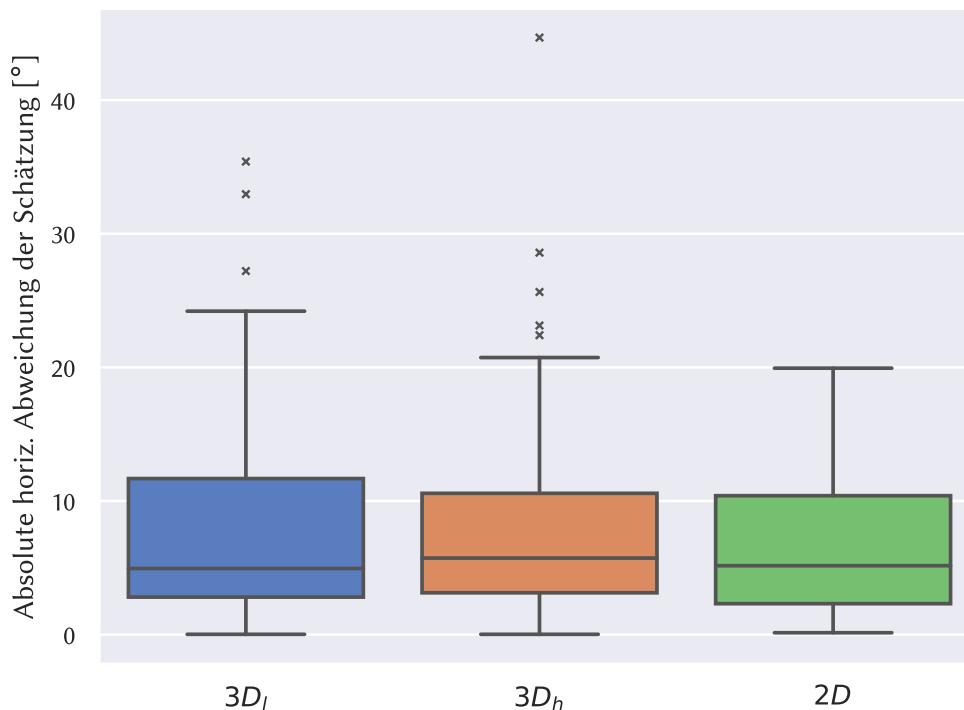


Abbildung 5.7: Horizontale Abweichung in ° (Grad) bei der Richtungsschätzung von der tatsächlichen Linie zur Raummitte (ohne vertikale Abweichung).

Für die einzelnen Karten fasst Tabelle 5.3 die Mittelwerte und Standardabweichungen der absoluten horizontalen Abweichungen zusammen. Abbildung 5.8 zeigt den dazugehörigen Boxplot. Es ist zu erkennen, auf Karte 3 und 4 größere Abweichungen eintreten. Der Friedman-Test bestätigt signifikante Unterschiede zwischen den Karten ($\chi^2(6) = 39,755, p < 0,001$). Die horizontale Abweichung bei Karte 3 ist signifikant größer als bei Karte 1 ($z = -4,483, p < 0,001$), Karte 2 ($z = -4,195, p < 0,001$), Karte 5 ($z = -3,432, p < 0,001$) und Karte 6 ($z = -3,37, p < 0,001$). Auch die hohe Abweichung bei Karte 4 ist gegenüber Karte 1 ($z = -3,782, p < 0,001$), Karte 2 ($z = -3,395, p < 0,001$), Karte 5 ($z = -2,044, p < 0,05$) und Karte 6 ($z = -2,17, p < 0,05$) signifikant. Weiterhin gibt es bei Karte 5 eine signifikant größere Abweichung als bei Karte 1 ($z = -2,645, p < 0,008$), was durch die Ausreißer (siehe Abbildung 5.8) begünstigt wird.

Wird der Unterschied zwischen der positiven und negativen horizontalen Abweichung

Tabelle 5.3: Mittelwert μ und Standardabweichung der absoluten horizontalen Abweichung pro Karte in °.

Karte 1	Karte 2	Karte 3	Karte 4	Karte 5	Karte 6
$\mu = 4,44^\circ$	$\mu = 4,96^\circ$	$\mu = 11,75^\circ$	$\mu = 10,19^\circ$	$\mu = 6,62^\circ$	$\mu = 6,55^\circ$
$\pm 4,03^\circ$	$\pm 3,3^\circ$	$\pm 6,98^\circ$	$\pm 9,07^\circ$	$\pm 4,94^\circ$	$\pm 7,05^\circ$

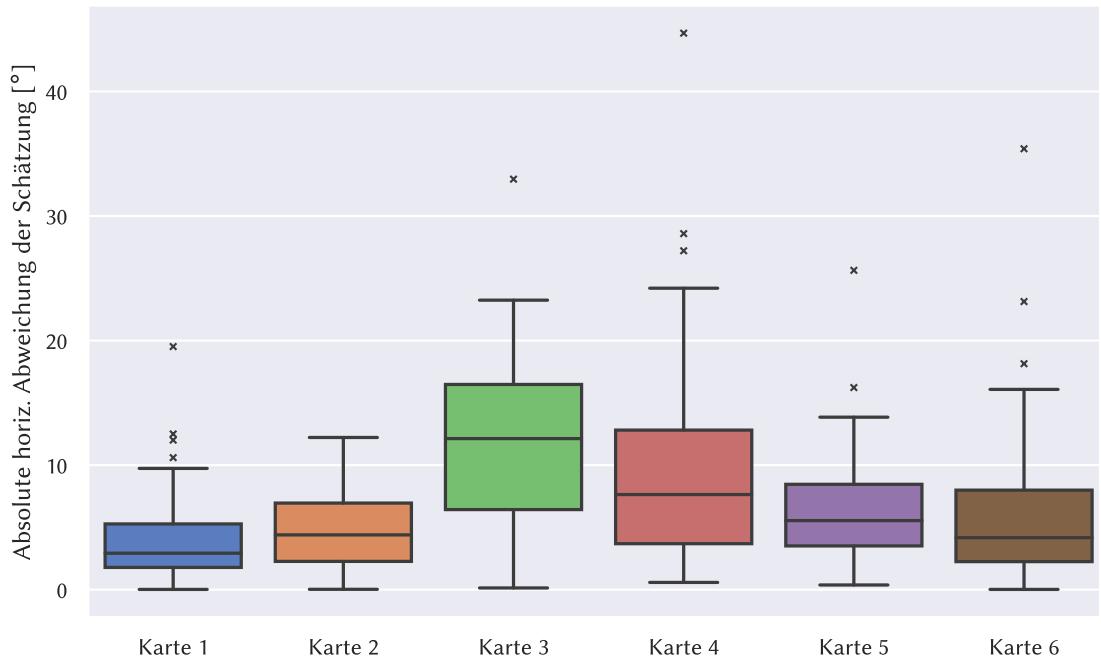


Abbildung 5.8: Absolute horizontale Abweichung in ° (Grad) bei der Richtungsschätzung pro Karte.

mit einbezogen, ist eine Tendenz zu einem Ausschlag nach links (negativ) der horizontalen Abweichungen zu erkennen. Von den insgesamt 252 Richtungsschätzungen weichen 158 (62,7 %) nach links ab.

Schätzungszeit

Neben der Abweichung der Schätzung wurde auch die Zeit gemessen, bis die Probanden ihre Einschätzung bestätigten. Abbildung 5.9 visualisiert die erhobenen Daten. In den meisten Iterationen (95,24 %) wurde die Richtungsschätzung innerhalb von 10 Sekunden bestätigt. Im Schnitt benötigten die Probanden zur Schätzung in $3D_l$ $3,61 \text{ s} \pm 1,71 \text{ s}$, in $3D_h$ $4,18 \text{ s} \pm 2,86 \text{ s}$ und in $2D$ $4,86 \text{ s} \pm 4,78 \text{ s}$. Der paarweise Vergleich weist nicht auf statistisch signifikante Unterschiede hin. Allerdings ist eine Tendenz zu erkennen, dass die Probanden sich in der $2D$ Kondition mehr Zeit gelassen haben als in $3D_l$ ($z = -7.947, p = 0.083$).

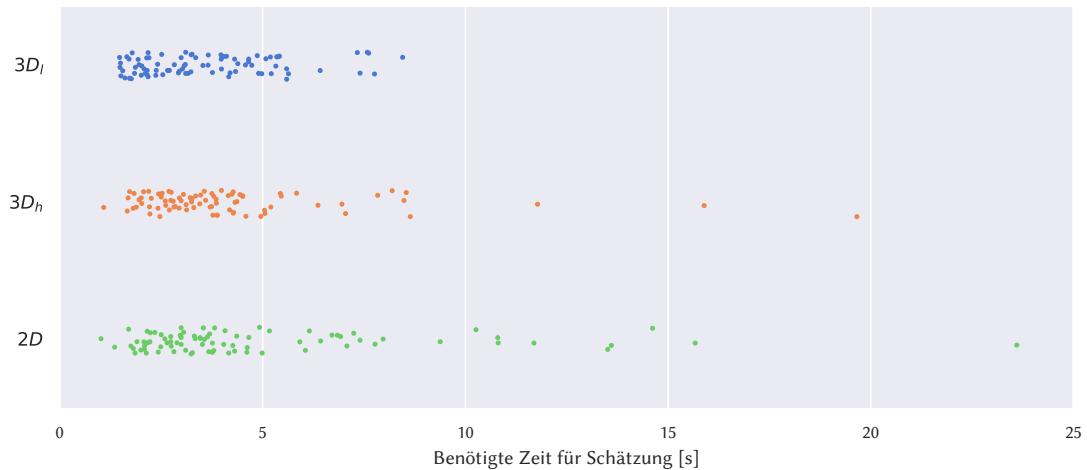


Abbildung 5.9: Vergleich zwischen der mittleren Schätzungszeit zwischen den Konditionen.

Einer der Gründe für die Messung der Schätzungszeit war, die Korrelation zur resultierenden horizontalen Abweichung zu testen. Die Überlegung ist, dass Probanden, die sich mehr Zeit für die Schätzung der Richtung nehmen, präziser sind. Abbildung 5.10 zeigt die absolute horizontale Abweichung in Bezug zur benötigten Schätzungszeit. Weder grafisch, noch durch Anwendung des Spearman-Tests, ist eine Korrelation zwischen den beiden Variablen erkennbar. Da die meisten Probanden ihre Schätzung innerhalb der ersten 10 Sekunden abgegeben haben, sind für den Zeitraum *nach* 10 Sekunden zu wenig Messungen vorhanden, um eine zuverlässige Aussage über eine potentielle Korrelation treffen zu können.

Trefferrate

Neben der Abweichung wurde auch die Trefferrate (ob der Zielraum bei der Schätzung getroffen wurde oder nicht) gemessen. Abbildung 5.11 zeigt einen Boxplot der Trefferrate über alle Probanden zwischen den einzelnen Konditionen. Es ist anzumerken, dass für die Berechnung eines Treffers die vertikale Abweichung mit einbezogen wurde. Die höchste durchschnittliche Trefferrate zeigten die Nutzer in 3D_h ($\mu = 79,8\% \pm 26,3\%$), gefolgt von 2D ($\mu = 76,2\% \pm 23,3\%$) und schließlich 3D_l ($\mu = 75\% \pm 20,4\%$). Ein Friedman-Test ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen den Konditionen.

5.6.4 Fragebögen zur Nutzungsfreundlichkeit

Die Fragebögen enthielten sowohl positiv als auch negativ formulierte Aussagen in einer ungleichmäßigen Reihenfolge, denen die Probanden auf einer Skala von 1 bis 5 zustimmten oder sie ablehnten. Für die Auswertung wurden die Bewertungen der positiven Aussagen invertiert. Die Bewertungen wurden aufaddiert und schließlich mit einem Faktor von 3,125 multipliziert, um so eine Gesamtwertung zwischen 0 und 100 zu erhalten. Es sei darauf hingewiesen, dass die Fragebögen nur acht statt, wie in der SUS vorgesehen, zehn Fragen enthalten [55]. Daher sind die Wertungen der beiden Skalen nicht direkt miteinander vergleichbar.

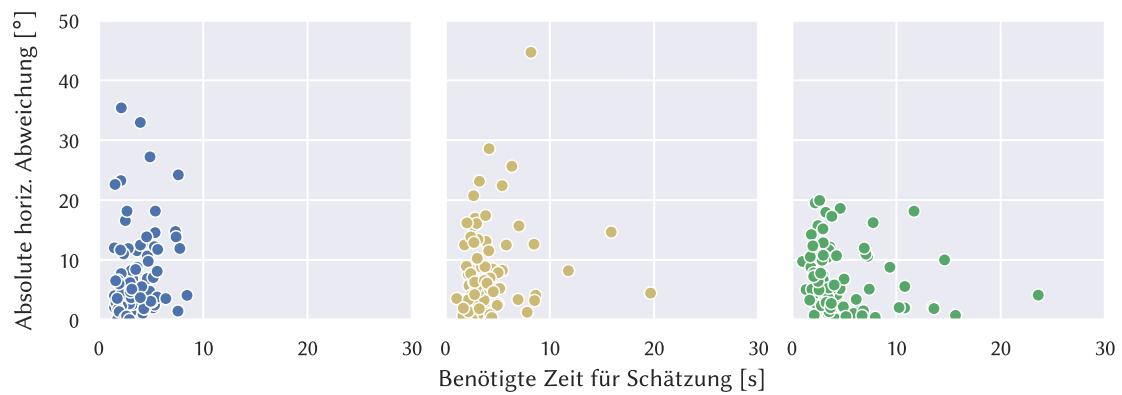


Abbildung 5.10: Plot der Schätzungszeit gegen die absolute horizontale Abweichung. Eine Korrelation ist nicht erkennbar.

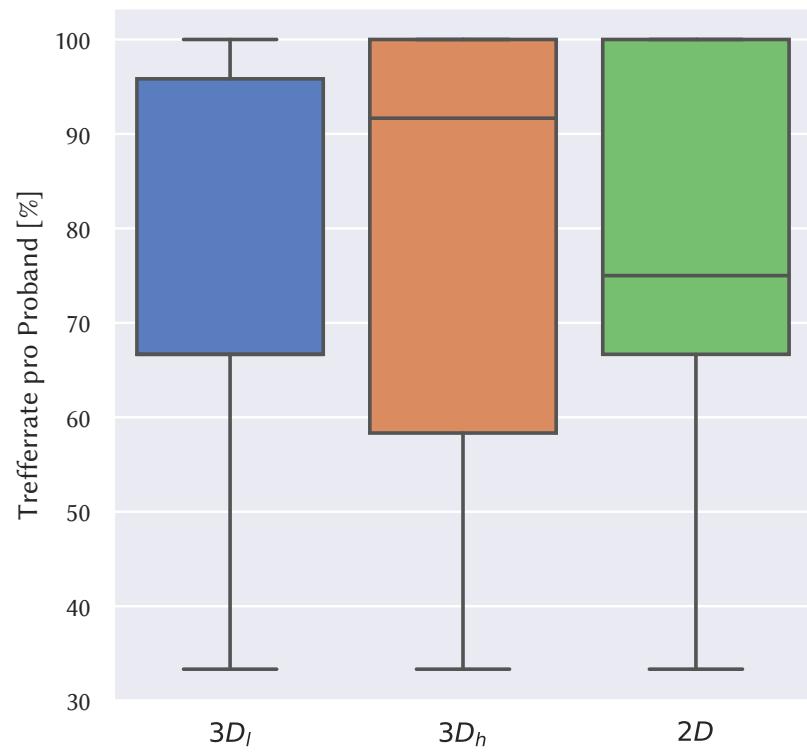


Abbildung 5.11: Trefferrate des Zielraums über alle Probanden zwischen den Konditionen.

Das Ergebnis des Fragebogens ist in Abbildung 5.12 zusammengefasst. Durchschnittlich bewerteten die Probanden die 2D-Variante am besten ($\mu = 83,75 \pm 12,11$). Dahinter liegen die Megamaps mit $3D_l$ ($\mu = 72,29 \pm 17,27$) und $3D_h$ ($\mu = 65,21 \pm 18,06$). Ein paarweiser t-Test zeigt, dass die höhere Bewertung von 2D gegenüber $3D_l$ ($t = 2.452, p < 0.05$) und $3D_h$ ($t = 3.988, p < 0.005$) statistisch signifikant ist. Zwischen den beiden 3D-Konditionen gibt es keine signifikanten Unterschiede.

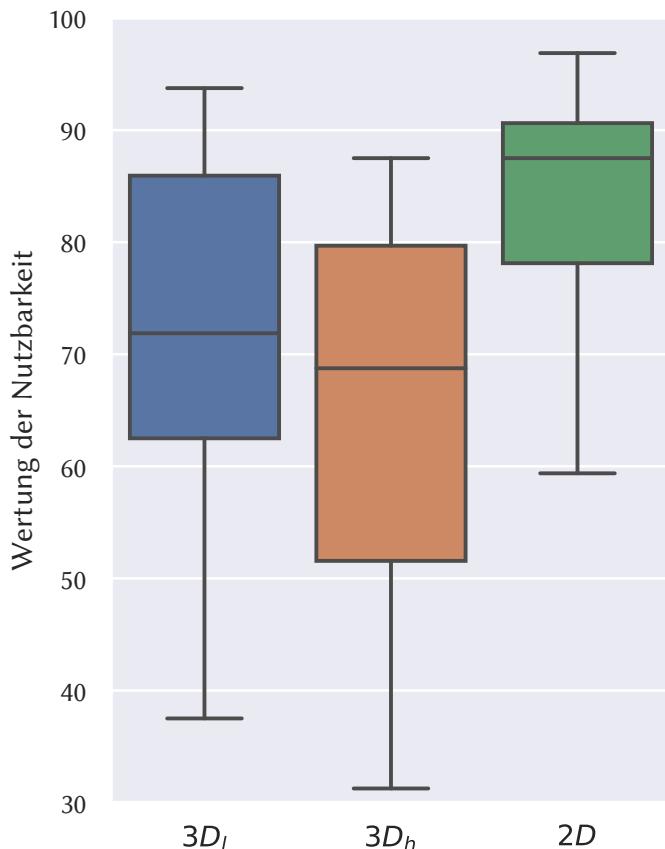


Abbildung 5.12: Bewertung der Nutzbarkeit der einzelnen Konditionen.

5.7 Diskussion der Ergebnisse

5.7.1 Suchaufgabe

Das Ergebnis der Zeitmessungen für die Suchaufgabe ist eindeutig. Die 2D-Variante ist für die Suche den beiden 3D-Megamaps überlegen. Die durchschnittlichen Suchzeiten sind gegenüber $3D_l$ ca. 33 % kürzer, bei $3D_h$ sind es ca. 36 %. Es gibt drei Gründe, durch die sich dieses Ergebnis erklären lässt:

1. Für die Suchaufgabe wurden die Bälle in den Räumen platziert. Die Bälle befanden sich dabei auf Fußbodenhöhe des jeweiligen Raums. Auf den 3D-Megamaps wurden sie deswegen teilweise durch die Wände der Räume und die geöffneten Türen verdeckt. Die Probanden mussten sich von Raum zu Raum bewegen, um in die Räume zu schauen und die Bälle sehen zu können, was zusätzliche Zeit in Anspruch nahm. Aus den Gesprächen ergab sich, dass dieses Problem auf der hohen Megamap noch präsenter war als auf der niedrigen. P_{14} äußerte, dass man „bei 3D [...] gefühlt in jeden Raum reingucken [muss].“ Die zusätzliche Nähe der hohen Megamap zum HMD sorgte für einen flacheren Blickwinkel auf die Karte, wodurch die Räume schlechter eingesehen werden konnten als auf der niedrigen Megamap. Einige Male wurden Bälle nicht gesehen, wodurch die Probanden die Räume mehrmals ablaufen mussten, bis sie den Zielraum entdeckten. Auf der 2D-Karte bestand dieser Nachteil nicht, da es in der zweidimensionalen Ansicht keine Verdeckung durch die Wände gibt. Die Probanden schauten hier von oben auf die Karte und konnten so direkt in *alle* Räume schauen.
2. Zusammenhängend mit dem ersten Problem ist das kleinere Sichtfeld der Megamaps gegenüber der 2D-Karte. Bei der 2D-Karte standen die Probanden mehrere Meter von ihr entfernt und schauten „von oben“ auf sie hinab. Die 2D-Karte war somit zu jeder Zeit komplett im Blickfeld der Probanden, wodurch alle Räume und Bälle sowie der eigene Positionsmarker sichtbar waren. Bei den 3D-Megamaps hingegen standen die Probanden inmitten der Karte und wurden von ihr umgeben. Das bedeutet, dass der Teil der Megamap, der sich hinter den Probanden befand, nicht einsehbar war. Demnach konnten sich Probanden nur auf einen kleinen Teil der Karte konzentrieren. Dies ist eine direkte Konsequenz aus der Übertragung der Megamap von der Dritte-Person-Perspektive aus TCTD in die Erste-Person-Perspektive. Einige Probanden versuchten dieses Problem zu umgehen, indem sie sich bei jeder Karte zuerst „aus der Karte heraus“ bewegten, um einen Überblick des Grundrisses zu bekommen. P_7 fühlte sich von der hohen Megamap eingeengt und sagte dazu, dass er „erst einmal da rausgehen und außen herum laufen [muss].“ Weil sich Teile der Megamap außerhalb des Sichtfelds befanden kam es vor, dass der Positionsmarker und der Laborraum nicht sichtbar waren. Die Probanden verloren somit während der Suche den Bezug ihrer *physischen* Position. P_9 beschrieb, dass sie jedes Mal nach dem Labor suchen musste, weil sie „voll auf die Bälle fixiert“ war. Der Verlust von visuellem Kontext außerhalb des Blickfelds wird z. B. in Videospielen durch die Anzeige von Markern auf Kompassleisten oder Minikarten ausgeglichen. In der Literatur lassen sich Ansätze finden, die Gleches für die Anwendung auf AR-VR-HMDs umsetzen [56, 57]. Für den konkreten Prototyp schlug P_3 vor, eine visuelle Linie vom Positionsmarker zur aktuellen Position des Nutzers zu ziehen.
3. Die Probanden beschrieben, dass sie zum Merken der Richtung für die Schätzungsaufgabe auf den Karten unterschiedliche „Taktiken“ angewendet hatten. Tatsächlich folgten fast alle Probanden auf den 3D-Megamaps der gleichen Vorgehensweise und kehrten vor der Auswahl des Zielraums zuerst zum Laborraum auf der Karte zurück, um sich so für die Schätzungsaufgabe die Richtung merken zu können. Ein Nutzer zielte während des Ablaufens der Karte mit dem Controller immer auf den Raum, in dem er die höchste Zahl an Bällen gezählt hatte (P_{14}). Auf der 2D-Karte hingegen waren diese Taktiken nicht notwendig. Hier orientierten sich die Probanden

an besonderen Merkmalen auf der Karte, z. B. der Säule im Laborraum oder den Türen. Einige der Probanden nutzen auch den Kegel des Positionsmarkers aus, um sich den Winkel für die korrekte Drehung zum Zielraum zu merken. Zum Beispiel bevorzugten P_4 und P_6 die 2D-Karte für die Richtungsschätzung, da diese Variante für sie „gewohnter“ sei.

Ein Aspekt, der sich (laut den Probanden) weniger auf die Performance auswirkte, als zuvor angenommen, war der Komfort der HMD-Nutzung. Da die Probanden für die 3D-Megamaps die meiste Zeit in Richtung Boden schauen mussten, wurde der Kopf in einer geneigten Position gehalten. Der Verfasser dieser Arbeit vermutete, dass das Gewicht des HMDs sowie die Befestigung am Kopf für ein unangenehmes Gefühl sorgen könnten und den Eindruck, das HMD könnte vom Kopf abrutschen. In der Praxis war das nur für P_5 ein ausschlaggebendes Problem. Keiner der anderen Probanden hatte Probleme mit der Nutzung des VR-Equipments. Es wurde aber angemerkt, dass das Bild (und somit die Bälle) an den Rändern der HMD-Linsen verschwommen waren.

5.7.2 Richtungsschätzung

Anders als bei der Zielraumsuche sind die Ergebnisse für die Richtungsschätzung nicht eindeutig. Zwischen den drei Konditionen gibt es weder bei der Abweichung noch bei der Schätzungszeit statistisch signifikante Unterschiede. In den Interviews nannten die Probanden gleichermaßen 2D und $3D_l$ als präferierte Varianten zur Richtungsschätzung. Keiner der Probanden empfand $3D_h$ als die beste Option für die Schätzung, was mitunter durch die Schwierigkeiten bei der vorherigen Suche (siehe vorigen Abschnitt) einher geht.

Auffällig ist, dass die ausreißenden Abweichungen nur in den 3D-Konditionen auftreten (siehe Abbildung 5.7). Beispielsweise resultiert der extremste Ausreißer ($44,68^\circ$ auf Karte 4 in $3D_h$) daraus, dass der Proband zuerst in die grobe Richtung des Zielraums zielte, sich dann anders entschied und den Controller bewusst nach rechts hinweg zog. In diesem Fall kann davon ausgegangen werden, dass der Proband sich über die gemerkte Richtung unsicher war. Für die anderen Ausreißer konnte ein solches Verhalten nicht beobachtet werden. Wie Abbildung 5.10 zeigt, kann auch nicht auf eine Korrelation zwischen der Schätzungszeit und dem Abweichungsfehler geschlossen werden. Die meisten Schätzungen wurden innerhalb von 10 Sekunden abgegeben und die langsameren Einschätzungen sind nicht zwingend präziser als die schnelleren Schätzungen. Daraus lässt sich folgern, dass in der 2D-Karte die Orientierungspunkte (Säule, Türen, Wände, Positionsmarker) für das Merken einer Richtung besser wahrgenommen werden und somit zu weniger Unsicherheit und groben Schätzungsfehlern führen, als es bei den 3D-Karten der Fall ist.

Ein Faktor, der die Höhe der Abweichung wesentlich beeinflusst, ist das jeweilige Layout der zugrundeliegenden Karte (siehe Abbildung 5.8). Bei der Gestaltung der Kartenlayouts wurde darauf geachtet, dass zwischen den verschiedenen Karten der Zielraum vom Labor aus in variierende Richtungen gelegen ist. Die Probanden müssen also mehrere unterschiedliche Drehungen für die Schätzungen durchführen. Wie auf der Grafik zu sehen ist, sind die Abweichungen in den Karten 3 und 4 am höchsten. Die beiden Layouts sind in Abbildung 5.13 zu sehen. In diesen beiden Layouts liegen die Zielräume *fast* auf einer Geraden mit dem Laborraum („nach vorne“ in Karte 4, „nach hinten“ in Karte 3). Die Mittelpunkte der Räume weichen durch einen kleinen Versatz von dieser Geraden ab. Eine mögliche Erklärung für die schlechtere Performance auf

diesen Karten ist, dass der kleine Versatz von den Probanden bei der Einschätzung entweder vernachlässigt oder aber als größer eingeschätzt wurde, als er eigentlich war. Folglich entstand für die beiden Layouts eine größere Abweichung als für die anderen Karten. Für den Ausbau dieser Theorie bedarf es einer weiteren Studie, die sich speziell mit dem Versatz von Zielpunkten in der Umgebung im Bezug zu einem Referenzpunkt auseinandersetzt.

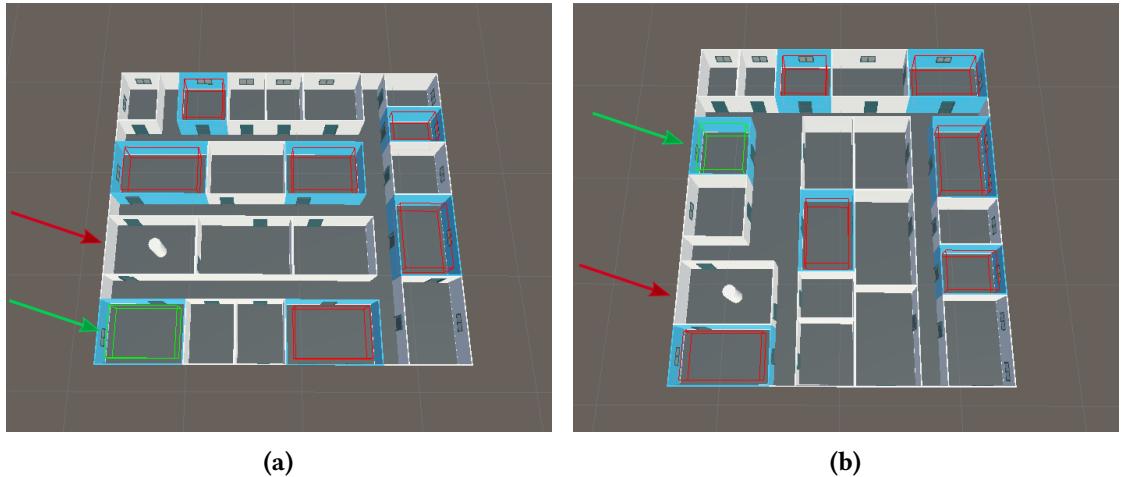


Abbildung 5.13: Layouts der Karten 3 (a) und 4 (b). Die blauen Räume wurden während des Tests mit Bällen gefüllt. **Roter Pfeil:** Laborraum. **Grüner Pfeil:** Zielraum.

Für die Schätzung wurde weiterhin eine Tendenz zu einer Abweichung „nach links“ festgestellt. Dies könnte mit der Auswahl der Probanden zusammenhängen. Von den 14 ausgewerteten Probanden sind 12 Rechtshänder. Die beiden Linkshänder absolvierten den Test ebenfalls mit der rechten Hand. Es besteht die Möglichkeit, dass dies in Kombination mit der Haltung des Vive-Controllers zu einer links-ausgerichteten Abweichung führt. Weitere Tests mit einer ausbalancierten Zahl von Rechts- und Linkshändern sind für eine Bestätigung dieser Theorie erforderlich.

In den Interviews wurden die Probanden gefragt, ob sie sich (neben der Richtung zum Zielraum) auch die Pfade für eine potentielle Navigation zum Zielraum gemerkt hätten. Fast alle Probanden äußerten, dass sie sich nur die groben Richtungen gemerkt hätten. Manche der Probanden erwähnten, während der Suchaufgabe versucht zu haben, sich die Wege zu den Zielräumen einzuprägen. P_{13} hat z. B. darüber nachgedacht, durch welche Türen er zum Ziel laufen müsse.

5.7.3 Room-Guides und Animation

Die Room-Guides und die Animation wurden in den Prototyp integriert, um den Bezug des Laborraums auf der Megamap zum Laborraum in der Umgebung zu verstärken. Die Probanden wurden hinsichtlich dieser Idee befragt.

Nur einer der Probanden (P_3) empfand die Room-Guides als nützlich, bemerkte dies aber erst gegen Ende des Experiments. Manche der Probanden hatten die Linien nicht bewusst

wahrgenommen. Andere hatten die Linien gesehen, deren Zweck aber nicht verstanden. Die Probanden äußerten, dass ihnen der Positionsmarker und die Säule sowohl im virtuellen Labor als auch auf der Karte für einen Bezug zwischen Megamap und Umgebung ausgereicht hätten. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass markante Merkmale und Strukturen in der Umgebung für eine Indoor-Karte wichtig sind, um eine schnelle Orientierung zu ermöglichen.

Die Animation wurde von den Probanden mit gemischten Meinungen aufgenommen. Ein Proband äußerte, dass die Animation „mega entscheidend“ sei, da er „manchmal Schwierigkeiten [habe], die [Karten] auf den echten Raum zu mappen“. Andere Probanden empfanden die Animation als „irritierend“ (P_{14}). Ein Proband sagte, dass „die Animation [sich anfühlt] wie Herunterfallen“ (P_9). Weitere Probanden verspürten während der Animation die VR-typische Motion Sickness (P_0, P_7). Vor allem bei der 2D-Variante war dies der Fall, da hier die Animation zusätzlich zur Skalierung auch die Rotation der Karte änderte. Es lässt sich daraus schließen, dass die Animation, wie sie hier implementiert wurde, keine allgemeingültige Lösung für einen Bezug zur Umgebung ist und sogar kontraproduktive Effekte aufweisen kann.

5.7.4 Nutzbarkeit

Die Ergebnisse zur Nutzbarkeit der drei Varianten anhand der Fragebögen spiegeln im Grunde die Ergebnisse aus der Raumsuche wieder. Die 2D-Karte wird von den Probanden klar bevorzugt, gefolgt von $3D_l$ und schließlich $3D_h$. Da die Probanden die meiste Zeit des Tests mit der Raumsuche verbrachten und die Interaktionen mit den Kartenvarianten der Suche stattfanden, ist dieses Resultat zu erwarten. Unter Anbetracht der Kategorisierung der SUS nach Stufen der Nutzbarkeit [55] und der Skalierung von 3,125 der hier verwendeten Fragebögen erreicht die $3D_h$ -Variante eine Einstufung von niedriger Nutzbarkeit. Die Probleme der hohen Megamap wurden in den vorigen Abschnitten bereits erläutert. Ein Vorschlag der Probanden war, die Höhe der Wände zu verringern, sodass man bei der hohen Megamap weiterhin gut in die Räume hineinsehen kann (P_{11}, P_{13}). Eine weitere Alternative wäre die Verwendung von visuellen Markierungen oberhalb der Räume, was dem Konzept in Kapitel 3 entspricht. Hier bestünde keine Notwendigkeit, in die Räume hineinzusehen.

Besonders positiv wurden die Megamap-Varianten bezüglich ihrer Eignung zur Orientierung („Wo bin ich?“) bewertet. Dies unterstützt die Vermutung, dass sich durch die Megamaps ein räumliches Verständnis von der eigenen Umgebung aufbauen kann.

Ein Aspekt der Megamap, den die Probanden in den Interviews positiv bewerteten, war die Einarbeitung von Details wie Türen und Fenstern. Einige Probanden äußerten, dass solche Elemente für Indoor-Anwendungen (darunter auch die Navigation) hilfreich seien.

5.7.5 Zusammenfassung

Der Prototyp wurde in dieser Arbeit entwickelt, um mit der Nutzerstudie zwei Fragen zu klären: Erstens, ob sich mit einer dreidimensionalen Megamap ein räumliches Verständnis von der Umgebung des Nutzers aufbauen kann. Zweitens, ob die Effektivität und Effizienz der Megamap mit einer herkömmlichen 2D-Darstellung vergleichbar ist.

Die Studie zeigt, dass durch die Verwendung der Megamap in der Tat ein räumliches Verständnis der Indoor-Umgebung bei den Probanden vorhanden ist. Sie konnten mit der Karte aus

einer Reihe von Räumen unter festgelegten Suchkriterien einen Zielraum finden und sich die Richtung zu diesem Raum merken. Außerhalb der Kartenansicht blieb die Vorstellung, wo sich dieser Raum in der Umgebung befindet, erhalten. Wie P_3 und P_7 richtig erkannten, gehört für eine explorative Kartenanwendung allerdings mehr dazu, als ein simples räumliches Verständnis von Richtungen. Erst durch die Einbindung einer Suchfunktion für Objekte und die Integration von Informationen über die Umgebung kann eine Megamap als Kartenanwendung verwendet werden. Der Prototyp setzt viele der Aspekte aus dem Megamap-Konzept nicht um, weshalb er nur als sehr limitierte Variante einer Megamap bezeichnet werden kann. Dementsprechend nahmen die Probanden die Megamap nicht als Hilfswerkzeug zur Exploration von Umgebungen, sondern als Spielerei wahr. P_{10} empfand die Megamap als „spaßig“. P_3 , P_4 und P_8 bezeichneten den Prototyp als „Gimmick“ und „Cool, aber unnötig“. Der eigentliche Mehrwert der Megamap entsteht erst durch die *inhaltliche* Integration in die Umgebung und umgekehrt. Dieser erste Prototyp wird zwar „physisch“ in die Umgebung integriert, eine inhaltliche Verbindung zur Umgebung gibt es allerdings nicht.

Die Nullhypothese dieses Experiments, dass es keinen signifikant messbaren Unterschied in Effektivität, Effizient und Nutzbarkeit zwischen einer 2D-Darstellung und den 3D-Megamaps gibt, wird *teilweise* abgelehnt. In der Suche nach Objekten auf der Karte ist die 2D-Darstellung signifikant schneller als die verglichenen Megamap-Varianten. Ebenso (und deswegen) erhielt die 2D-Darstellung eine statistisch signifikant höhere Bewertung der Nutzbarkeit von den Probanden. Bei der Effektivität (Trefferrate und Abweichung beim Zeigen in Richtung Zielraum) bestehen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Konditionen. Die Studie bestätigt damit die Ergebnisse aus [28] und teilweise [29], bei denen ebenfalls 2D- gegen 3D-Darstellungen von Indoor-Karten getestet wurden. Der Verfasser der Arbeit hatte sich erhofft, dass die Integration der Karte in die direkte Umgebung der Nutzer einen positiven Einfluss auf die Effektivität der 3D-Darstellung nehmen würde. Dieser Effekt blieb jedoch aus.

6 Fazit

Die digitale Unterstützung der Navigation und Exploration durch augmentierte Inhalte ist ein Thema, das in der Vergangenheit bereits von Forschung und Industrie behandelt wurde. Die Idee, eine augmentierte Karte als Megamap um die Nutzer herum in die Umgebung zu integrieren, ist bisher nur aus Videospielen wie z. B. *Tom Clancy's The Division* bekannt. In der vorliegenden Masterarbeit wurde untersucht, ob sich eine solche Megamap auch für die „reale“ Welt umsetzen lässt. Zu diesem Zweck wurde das Konzept einer Megamap für den Einsatz mit einem Mixed-Reality-HMD entwickelt. Virtuelle Gebäudekarten sollen als Megamap in das reale Umfeld der Nutzer projiziert werden, sodass diese sich einen Überblick der Umgebung verschaffen können. Verschiedene explorative Interaktionselemente aus bereits existierenden Kartenanwendungen sind in das Konzept mit eingeflossen und wurden für den Einsatz in Innenräumen neu interpretiert. Auf Basis dieses Konzepts wurde ein erster Prototyp der Megamap für die HTC Vive entwickelt. In einer Nutzerstudie ($N = 15$) wurde mit dem Prototyp die Nutzbarkeit, Effektivität und Effizienz der Megamap für die Suche nach Objekten und den Aufbau einer räumlichen Vorstellung der Umgebung untersucht. Die Megamap wurde in zwei Varianten getestet (Fußboden- und Bauchhöhe). Als Vergleichsbasis diente hierzu eine herkömmliche 2D-Darstellung der Gebäudekarten. Die statistische Analyse der quantitativ erhobenen Daten ergab keine Vorteile der Megamap gegenüber der 2D-Variante in Bezug auf Effektivität oder Effizienz. Für die Suche nach Objekten auf der Karte bewies sich die 2D-Darstellung als die effizientere Option mit einer ca. 33 % bis 36 % kürzeren Suchzeit gegenüber den Megamaps. Weiterhin bewerteten die Probanden die Nutzbarkeit der 2D-Alternative besser als die der Megamap. In einem kurzen Leitfadeninterview wurden zudem die subjektiven Meinungen der Probanden zu der Megamap eingeholt.

6.1 Probleme des Megamap-Prototyps

Durch die Nutzerstudie, die Interviews sowie den Erfahrungen bei der Implementierung offenbaren sich drei Probleme des aktuellen Megamap-Prototyps. Hieraus ergeben sich Ansatzpunkte für zukünftige Verbesserungen und Erweiterungen der Megamap.

Fehlende Suchfunktion und andere Explorationselemente

Der Hauptgrund für den großen Zeitunterschied zwischen der 2D-Karte und den 3D-Megamaps (siehe Abschnitt 5.6.2) ist das Fehlen einer Suchfunktion. Herkömmliche Kartenapplikationen, wie z. B. die in Kapitel 3 analysierten Webanwendungen, verfügen über eine Suchfunktion für eine spezifische und/oder offene Suche nach Zielorten. Eine manuelle Suche auf der Karte nach Zielen ist daher nicht notwendig. In der Nutzerstudie war allerdings die manuelle Suche nach Zielen auf der Karte gefordert. Dies begünstigt die 2D-Variante, da im Gegensatz zur

3D-Megamap alle Ziele gleichzeitig von den Probanden zu sehen waren. Dieser Unterschied könnte durch das Implementieren einer Suchfunktion für die Megamap ausgeglichen werden.

Aber auch andere Explorationselemente fehlen im Prototyp. Das Megamap-Konzept aus Kapitel 3 sieht eine Reihe von Elementen vor, die im aktuellen Prototyp nicht umgesetzt sind. Dieser wurde mit dem Fokus auf die Aufgabenstellung der Nutzerstudie entwickelt und stellt somit lediglich eine begrenzte Realisierung des Konzepts dar. Die eigentliche Kartenfunktionalität kommt dabei zu kurz. Insofern ist die konkrete Implementierung nur teilweise repräsentativ zur Beantwortung der Forschungsfrage dieser Masterarbeit. Gleichzeitig bedeutet dies, dass das Potential der Megamap bei Weitem nicht ausgeschöpft ist und das Konzept der Megamap für zukünftige Arbeiten weiterhin interessant bleibt.

Limitierung auf VR-Hardware

Der Prototyp wurde für ein VR-HMD entwickelt, da das gewünschte MR-HMD (Magic Leap One) für die Implementierung nicht zur Verfügung stand. Der Nachweis, dass sich die Megamap für den Einsatz in einem tatsächlichen MR-Szenario eignet, steht weiterhin aus. Es wurde bei der Implementierung versucht, die Übertragbarkeit von dem VR-Prototyp auf MR aufrecht zu erhalten. Dazu wird die reale Umgebung durch eine virtuelle simuliert und die Bewegungsfreiheit wird mit der Verwendung des Wireless-Adapters sichergestellt. Es werden dennoch Annahmen getroffen, die in einer MR-Anwendung nicht unbedingt gelten. Beispielsweise ist nicht sicher, ob die Präzision der 3D-Rekonstruktion der MR-HMDs ausreicht, um die Megamap zuverlässig in der Umgebung zu platzieren. Gleiches gilt für die Berechnung von Schnittpunkten zwischen der Megamap und Objekten in der Umgebung. Zudem ist die aktuelle Position der Nutzer in der virtuellen Umgebung implizit gegeben. Für eine MR-Anwendung muss jedoch eine separate Lokalisierung durchgeführt werden, was (je nach Ansatz) zusätzliche Abweichungsfehler in das System einbringen kann. Diese Probleme müssen für einen zukünftigen Einsatz der Megamap in MR-Anwendungen gelöst werden.

Beschaffung der Indoor-Kartendaten

Der aktuelle Prototyp hat den Nachteil, dass die Gebäudekarten vorab als 3D-Modell per Hand erstellt werden müssen. Dies ist einerseits ein erheblicher zeitlicher Aufwand, andererseits limitiert es die Anwendung auf die vorab modellierten Gebäude. Für eine (mobile) MR-Anwendung wäre es wünschenswert, wenn die Daten des Gebäudes, in dem sich die Nutzer aktuell befinden, für die Megamap auf Abruf verfügbar wären. Zwei Alternativen für eine semi-automatisierte Beschaffung der Kartendaten wurden während der Implementierung erforscht, konnten aber aufgrund von unterschiedlichen Problemen nicht in den Prototyp integriert werden. Im Sinne der Dokumentation und als Grundlage für zukünftige Arbeiten werden die untersuchten Ansätze hier beschrieben.

Die **erste** Alternative ist das *WRLD SDK* (fortan „WRLD“). Es ist ein Framework, um interaktive 3D-Karten für Unity zu erstellen und anzuzeigen. WRLD bezieht dabei seine Kartendaten von *OpenStreetMap* sowie diversen proprietären Anbietern [79]. Die Daten werden aufbereitet und Nutzern über WRLDs eigene Server zur Verfügung gestellt. WRLD erlaubt die Einbettung von Indoor-Karten von Gebäuden. Hierzu können Entwickler georeferenzierte Lagepläne auf

die WRLD-Server hochladen und für das gewünschte Gebäude registrieren. Danach sind die Indoor-Karten für alle Nutzer von WRLD zugänglich. Zudem können die Indoor-Karten mit Einrichtungsgegenständen versehen werden, um die sie natürlicher aussehen zu lassen. Abbildung 6.1 zeigt die Interaktion mit WRLDs Indoor-Karten. Der Nachteil von WRLD ist, dass es keine Offline-Nutzung erlaubt. Imaginäre Gebäude-Layouts, wie sie von der Nutzerstudie in dieser Arbeit vorausgesetzt wurden, können daher nicht auf die WRLD-Server hochgeladen und verwendet werden. Eine zukünftige Megamap-Implementierung für reale Gebäude könnte aber durchaus von diesem SDK Gebrauch machen.

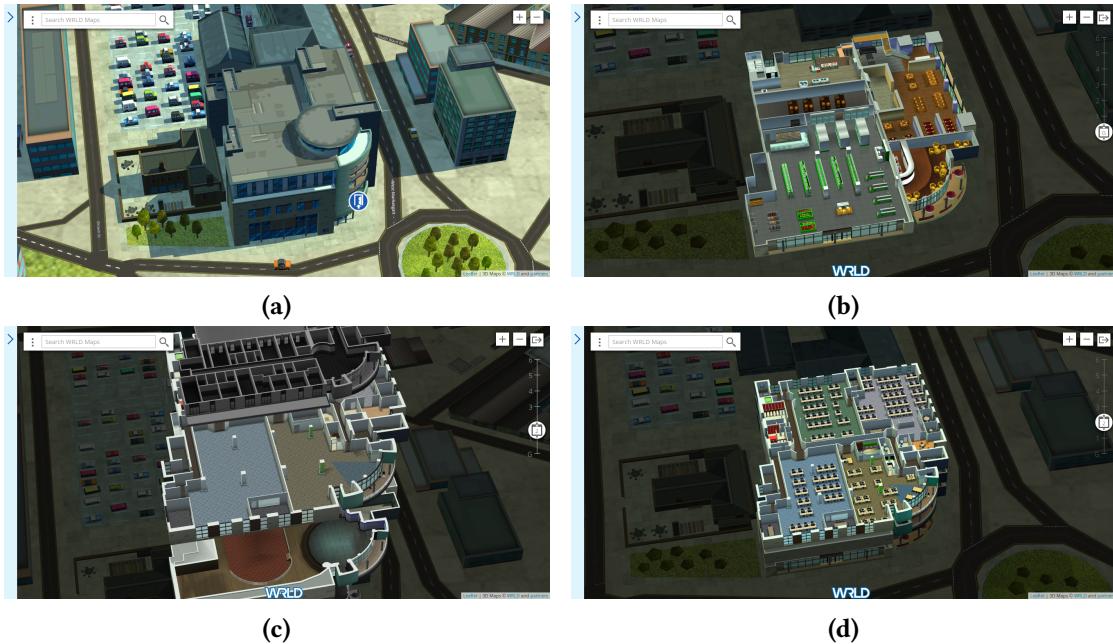


Abbildung 6.1: Indoor-Funktionalität von WRLD. (a) Das Gebäude ist von außen sichtbar. Über einen Button kann das Gebäude betreten werden. (b)(b) Die Innenansicht des Gebäudes mitsamt Einrichtung wird angezeigt. (c) Über einen Slider können die Stockwerke gewechselt werden. (d) Untenliegende Stockwerke werden vom aktuellen Stockwerk verdeckt.

Die **zweite** Alternative ist das Mapbox SDK für Unity. Mapbox bietet sowohl Raster-Tiles (Satellitenbilder) als auch Vektor-Tiles (vektorbasierte Straßen- und Gebäudeumrisse) an. Es bezieht seine Daten über unterschiedliche Provider, einschließlich OpenStreetMap [80]. Sofern die OpenStreetMap-Daten Informationen über die Beschaffenheit der Gebäude liefern, wie z. B. die Höhe, können diese Daten für eine 3D-Visualisierung mit Mapbox ausgelesen werden. Für die Umrisse der Gebäude werden Polygone generiert und entsprechend der Höhe extrudiert. Da Mapbox keine *explizite* Unterstützung für Indoor-Karten anbietet, müssen diese über einen Umweg eingebunden werden (wie in [81–83] beschrieben). Ein georeferenzierter Lageplan des Gebäudes kann auf die Mapbox-Server geladen und in Unity ausgelesen werden. Abbildung 6.2 zeigt die 3D-Darstellung eines zuvor erstellten Lageplans. Bei der Verwendung von Mapbox für Gebäudelayouts entstanden visuelle Artefakte (fehlende oder hinzugefügte Wände, Artefaktpolygone) die aus Rundungs- und Präzisionsfehlern resultierten [84, 85]. Daher wurde sich

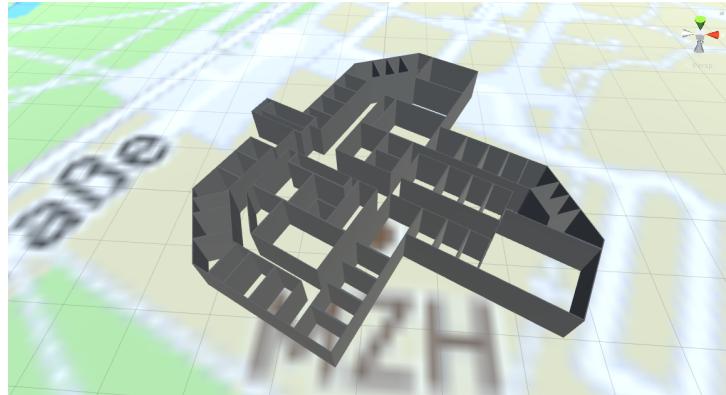


Abbildung 6.2: 3D-Darstellung des Lageplans des MZH Ebene 5 über das Mapbox Unity Plugin.

gegen einen Ansatz mit Mapbox entschieden. Für Anwendungen, bei denen eine Megamap für Außenbereiche entworfen werden soll, bietet sich das Mapbox SDK weiterhin an.

6.2 Ausblick

In dieser Arbeit wurde das grundlegende Konzept für die augmentierte Kartenexploration anhand einer Megamap entwickelt. Die Möglichkeiten für zukünftige Ansätze in MR sind keineswegs abgehandelt. Sowohl das Konzept als auch der Prototyp sollen der Anstoß für weitere Forschung in diesem Bereich sein. Da die Idee für die Megamap aus einem Spiel entstammt ist es naheliegend, andere Navigations- und Explorationselemente aus Spielen mit der Megamap zu kombinieren. Beispielsweise könnte ein MR-HUD, eine Minikarte oder eine Kompassleiste angezeigt werden, wenn die Megamap ausgeblendet wird.

Die Probanden wurden zum Ende des Interviews über ihre Meinung für potentielle Anwendungen einer Megamap befragt. Viele der Probanden konnten sich den Einsatz der Megamap für komplexe, mehrstöckige Gebäude vorstellen, wie z. B. in Einkaufszentren oder Flughäfen. Vor allem in Gebäuden, in denen die Navigation und Exploration in drei Dimensionen stattfindet, sehen sie die Vorteile einer Megamap. Aber auch die MR-Megamap für den Einsatz im Freien wurde als mögliche Anwendung genannt. Die Megamap könnte nicht nur einzelne Gebäude, sondern ganze Gebiete anzeigen. Die dreidimensionalen Gebäude und Strukturen auf der Megamap wären denen der Umgebung nachempfunden, um den mentalen Aufwand beim Wechsel zwischen Karte und Umgebung zu verringern. Probanden nannten auch eine Kombination aus Megamap und augmentierter Navigation (wie in TCTD) als möglichen Anwendungsfall.

Momentan werden komplexere Anwendungen durch die Möglichkeiten aktueller Mixed-Reality-Technologien beschränkt, vor allem im Freien. Aber das Interesse seitens der Industrie an Innovation im Bereich Mixed Reality wird z. B. durch die Finanzierung des Magic Leap Startups in Höhe von ca. 2 Mrd. Dollar [86] deutlich. Mit dem Fortschritt der Technologie werden Mixed-Reality-Anwendungen wie die Megamap in Zukunft für den alltäglichen Einsatz möglich sein.

Literatur

- [1] D. W. F. van Krevelen und R. Poelman. „A Survey of Augmented Reality Technologies, Applications and Limitations“. In: *International Journal of Virtual Reality* 9.2 (Juni 2010), S. 1–20 (siehe S. 1, 16).
- [2] Q. Zhao. „A survey on virtual reality“. In: *Science in China Series F: Information Sciences* 52.3 (März 2009), S. 348–400. doi: [10.1007/s11432-009-0066-0](https://doi.org/10.1007/s11432-009-0066-0) (siehe S. 1).
- [3] S. Sharples, S. Cobb, A. Moody u. a. „Virtual reality induced symptoms and effects (VRISE): Comparison of head mounted display (HMD), desktop and projection display systems“. In: *Displays* 29.2 (2008). Health and Safety Aspects of Visual Displays, S. 58–69. doi: [10.1016/j.displa.2007.09.005](https://doi.org/10.1016/j.displa.2007.09.005) (siehe S. 1).
- [4] K. Jung, S. Lee, S. Jeong u. a. „Virtual Tactical Map with Tangible Augmented Reality Interface“. In: *2008 International Conference on Computer Science and Software Engineering*. Bd. 2. Dez. 2008, S. 1170–1173. doi: [10.1109/CSSE.2008.1305](https://doi.org/10.1109/CSSE.2008.1305) (siehe S. 1).
- [5] J. Li, E. van der Spek, J. Hu u. a. „SEE ME ROAR: Self-determination Enhanced Engagement for Math Education Relying On Augmented Reality“. In: *Extended Abstracts Publication of the Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play*. CHI PLAY ’17 Extended Abstracts. New York, NY, USA: ACM, 2017, S. 345–351. doi: [10.1145/3130859.3131316](https://doi.org/10.1145/3130859.3131316) (siehe S. 1).
- [6] L. Feng, X. Yang und S. Xiao. „MagicToon: A 2D-to-3D creative cartoon modeling system with mobile AR“. In: *2017 IEEE Virtual Reality (VR)*. 2017, S. 195–204. doi: [10.1109/VR.2017.7892247](https://doi.org/10.1109/VR.2017.7892247) (siehe S. 1).
- [7] S. Yoo und C. Parker. „Controller-less Interaction Methods for Google Cardboard“. In: *Proceedings of the 3rd ACM Symposium on Spatial User Interaction*. SUI ’15. New York, NY, USA: ACM, 2015, S. 127. doi: [10.1145/2788940.2794359](https://doi.org/10.1145/2788940.2794359) (siehe S. 1).
- [8] A. Mulloni, H. Seichter und D. Schmalstieg. „Indoor Navigation with Mixed Reality World-in-miniature Views and Sparse Localization on Mobile Devices“. In: *Proceedings of the International Working Conference on Advanced Visual Interfaces*. AVI ’12. Capri Island, Italy: ACM, 2012, S. 212–215. doi: [10.1145/2254556.2254595](https://doi.org/10.1145/2254556.2254595) (siehe S. 1, 8, 10).
- [9] T. Höllerer, S. Feiner, T. Terauchi u. a. „Exploring MARS: developing indoor and outdoor user interfaces to a mobile augmented reality system“. In: *Computers & Graphics* 23.6 (1999), S. 779–785. doi: [10.1016/S0097-8493\(99\)00103-X](https://doi.org/10.1016/S0097-8493(99)00103-X) (siehe S. 1, 11).
- [10] I. A. Hashish, G. Motta, M. Meazza u. a. „NavApp: An indoor navigation application: A smartphone application for libraries“. In: *2017 14th Workshop on Positioning, Navigation*

- and Communications (WPNC)*. Okt. 2017, S. 1–6. doi: [10.1109/WPNC.2017.8250047](https://doi.org/10.1109/WPNC.2017.8250047) (siehe S. 1, 32).
- [11] M. Rohs, G. Essl, J. Schöning u. a. „Impact of Item Density on Magic Lens Interactions“. In: *Proceedings of the 11th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*. MobileHCI ’09. New York, NY, USA: ACM, 2009, 38:1–38:4. doi: [10.1145/1613858.1613907](https://doi.org/10.1145/1613858.1613907) (siehe S. 1, 13, 14).
 - [12] A. Morrison, A. Oulasvirta, P. Peltonen u. a. „Like Bees Around the Hive: A Comparative Study of a Mobile Augmented Reality Map“. In: *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. CHI ’09. Boston, MA, USA: ACM, 2009, S. 1889–1898. doi: [10.1145/1518701.1518991](https://doi.org/10.1145/1518701.1518991) (siehe S. 1, 13, 14).
 - [13] G. Reitmayr, E. Eade und T. Drummond. „Localisation and Interaction for Augmented Maps“. In: *Proceedings of the 4th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*. ISMAR ’05. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2005, S. 120–129. doi: [10.1109/ISMAR.2005.39](https://doi.org/10.1109/ISMAR.2005.39) (siehe S. 1, 15, 16).
 - [14] R. Xiao, J. Schwarz, N. Throm u. a. „MRTouch: Adding Touch Input to Head-Mounted Mixed Reality“. In: *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 24.4 (2018), S. 1653–1660. doi: [10.1109/TVCG.2018.2794222](https://doi.org/10.1109/TVCG.2018.2794222) (siehe S. 2).
 - [15] K. Bark, C. Tran, K. Fujimura u. a. „Personal Navi: Benefits of an Augmented Reality Navigational Aid Using a See-Thru 3D Volumetric HUD“. In: *Proceedings of the 6th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications*. AutomotiveUI ’14. Seattle, WA, USA: ACM, 2014, 1:1–1:8. doi: [10.1145/2667317.2667329](https://doi.org/10.1145/2667317.2667329) (siehe S. 2, 11).
 - [16] W. Narzt, G. Pomberger, A. Ferscha u. a. „Augmented reality navigation systems“. In: *Universal Access in the Information Society* 4.3 (März 2006), S. 177–187. doi: [10.1007/s10209-005-0017-5](https://doi.org/10.1007/s10209-005-0017-5) (siehe S. 2, 11).
 - [17] S. Kim und A. K. Dey. „Simulated Augmented Reality Windshield Display As a Cognitive Mapping Aid for Elder Driver Navigation“. In: *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. CHI ’09. Boston, MA, USA: ACM, 2009, S. 133–142. doi: [10.1145/1518701.1518724](https://doi.org/10.1145/1518701.1518724) (siehe S. 2, 11, 12).
 - [18] S. Schröder. „Augmented Reality Anwendung für Windows Mixed Reality unter Verwendung der HoloLens zur Vermarktung von Werbeflächen“. Bachelorarbeit. Institut für Computervisualistik, 2017 (siehe S. 2, 6, 12, 29, 32).
 - [19] P. Milgram und F. Kishino. „A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays“. In: *IEICE Transactions on Information Systems* E77-D.12 (1994) (siehe S. 5, 6).
 - [20] R. T. Azuma. „A Survey of Augmented Reality“. In: *Presence: Teleoper. Virtual Environ.* 6.4 (Aug. 1997), S. 355–385. doi: [10.1162/pres.1997.6.4.355](https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.4.355) (siehe S. 5).
 - [21] G. Zachmann. „Introduction, Immersion, Presence“. In: *Virtual Reality & Physically-Based Simulation* (2015). Vorlesung (siehe S. 6).

-
- [22] G. Zachmann. „VR Displays, Stereo Rendering, Display Issues“. In: *Virtual Reality & Physically-Based Simulation* (2015). Vorlesung (siehe S. 6).
- [23] O. Bimber und R. Raskar. „Modern Approaches to Augmented Reality“. In: *ACM SIGGRAPH 2006 Courses*. SIGGRAPH '06. Boston, Massachusetts: ACM, 2006. doi: [10.1145/1185657.1185796](https://doi.org/10.1145/1185657.1185796) (siehe S. 6, 14, 16).
- [24] R. Stoakley, M. J. Conway und R. Pausch. „Virtual Reality on a WIM: Interactive Worlds in Miniature“. In: *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. CHI '95. Denver, Colorado, USA: ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., 1995, S. 265–272. doi: [10.1145/223904.223938](https://doi.org/10.1145/223904.223938) (siehe S. 7, 8, 10).
- [25] R. Trueba, C. Andújar und F. Argelaguet. „World-in-Miniature Interaction for Complex Virtual Environments“. In: *International Journal of Creative Interfaces and Computer Graphics* 1.2 (2010), S. 1–14. doi: [10.4018/jcicg.2010070101](https://doi.org/10.4018/jcicg.2010070101) (siehe S. 7).
- [26] C. Elvezio, M. Sukan, S. Feiner u. a. „Travel in large-scale head-worn VR: Pre-oriented teleportation with WIMs and previews“. In: *2017 IEEE Virtual Reality (VR)*. März 2017, S. 475–476. doi: [10.1109/VR.2017.7892386](https://doi.org/10.1109/VR.2017.7892386) (siehe S. 7, 10).
- [27] L. Chittaro, V. K. Gatla und S. Venkataraman. „The Interactive 3D BreakAway Map: a navigation and examination aid for multi-floor 3D worlds“. In: *2005 International Conference on Cyberworlds (CW'05)*. Nov. 2005, 8 pp.–66. doi: [10.1109/CW.2005.88](https://doi.org/10.1109/CW.2005.88) (siehe S. 8).
- [28] L. Chittaro und S. Venkataraman. „Navigation Aids for Multi-floor Virtual Buildings: A Comparative Evaluation of Two Approaches“. In: *Proceedings of the ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*. VRST '06. Limassol, Cyprus: ACM, 2006, S. 227–235. doi: [10.1145/1180495.1180542](https://doi.org/10.1145/1180495.1180542) (siehe S. 8, 9, 62).
- [29] H. Li und N. A. Giudice. „The Effects of 2D and 3D Maps on Learning Virtual Multi-level Indoor Environments“. In: *Proceedings of the 1st ACM SIGSPATIAL International Workshop on MapInteraction*. MapInteract '13. Orlando, Florida: ACM, 2013, S. 7–12. doi: [10.1145/2534931.2534941](https://doi.org/10.1145/2534931.2534941) (siehe S. 8, 62).
- [30] S. Vallance und P. Calder. „Context in 3D planar navigation“. In: *Proceedings Second Australasian User Interface Conference*. AUIC 2001. 2001, S. 93–99. doi: [10.1109/AUIC.2001.906282](https://doi.org/10.1109/AUIC.2001.906282) (siehe S. 8).
- [31] A. Mulloni, H. Seichter und D. Schmalstieg. „Handheld Augmented Reality Indoor Navigation with Activity-based Instructions“. In: *Proceedings of the 13th International Conference on Human Computer Interaction with Mobile Devices and Services*. MobileHCI '11. Stockholm, Sweden: ACM, 2011, S. 211–220. doi: [10.1145/2037373.2037406](https://doi.org/10.1145/2037373.2037406) (siehe S. 8).
- [32] A. Mulloni, H. Seichter und D. Schmalstieg. „User experiences with augmented reality aided navigation on phones“. In: *2011 10th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality*. Okt. 2011, S. 229–230. doi: [10.1109/ISMAR.2011.6092390](https://doi.org/10.1109/ISMAR.2011.6092390) (siehe S. 9).

- [33] G. Reitmayr und D. Schmalstieg. „Collaborative Augmented Reality for Outdoor Navigation and Information Browsing“. In: *Proceedings of the Second Symposium on Location Based Services and TeleCartography*. TU Wien, 2004, S. 53–62 (siehe S. 11, 12).
- [34] A. Y. Lin, K. Kuehl, J. Schöning u. a. „Understanding "Death by GPS": A Systematic Study of Catastrophic Incidents Associated with Personal Navigation Technologies“. In: *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. CHI '17. New York, NY, USA: ACM, 2017, S. 1154–1166. doi: [10.1145/3025453.3025737](https://doi.org/10.1145/3025453.3025737) (siehe S. 11).
- [35] C. A. Wiesner und G. Klinker. „Overcoming Location Inaccuracies in Augmented Reality Navigation“. In: *Augmented Reality, Virtual Reality, and Computer Graphics*. Hrsg. von L. T. De Paolis, P. Bourdot und A. Mongelli. Cham: Springer International Publishing, 2017, S. 377–388. doi: [10.1007/978-3-319-60922-5_29](https://doi.org/10.1007/978-3-319-60922-5_29) (siehe S. 12).
- [36] L. Pfannmüller, M. Walter und K. Bengler. „Lead me the right way?! The impact of position accuracy of augmented reality navigation arrows in a contact analogue head-up display on driving performance, workload, and usability“. In: *Proceedings of the 19th Triennial Congress of the International Ergonomics Association (IEA) 2015*. Hrsg. von G. Lindgaard und D. Moore. Melbourne, 2015 (siehe S. 12).
- [37] E. A. Bier, M. C. Stone, K. Pier u. a. „Toolglass and Magic Lenses: The See-through Interface“. In: *Conference Companion on Human Factors in Computing Systems*. CHI '94. Boston, Massachusetts, USA: ACM, 1994, S. 445–446. doi: [10.1145/259963.260447](https://doi.org/10.1145/259963.260447) (siehe S. 13).
- [38] F. Wiehr, F. Daiber, F. Kosmalla u. a. „ARTopos: Augmented Reality Terrain Map Visualization for Collaborative Route Planning“. In: *Proceedings of the 2017 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing and Proceedings of the 2017 ACM International Symposium on Wearable Computers*. UbiComp '17. Maui, Hawaii: ACM, 2017, S. 1047–1050. doi: [10.1145/3123024.3124446](https://doi.org/10.1145/3123024.3124446) (siehe S. 13, 14).
- [39] A. Moore und H. Regenbrecht. „The Tangible Augmented Street Map“. In: *Proceedings of the 2005 International Conference on Augmented Tele-existence*. ICAT '05. Christchurch, New Zealand: ACM, 2005, S. 249–250. doi: [10.1145/1152399.1152449](https://doi.org/10.1145/1152399.1152449) (siehe S. 13–15).
- [40] J. S. Roo, R. Gervais, J. Frey u. a. „Inner Garden: Connecting Inner States to a Mixed Reality Sandbox for Mindfulness“. In: *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. CHI '17. New York, NY, USA: ACM, 2017, S. 1459–1470. doi: [10.1145/3025453.3025743](https://doi.org/10.1145/3025453.3025743) (siehe S. 15, 16).
- [41] D. Moura und L. Bartram. „Investigating Players' Responses to Wayfinding Cues in 3D Video Games“. In: *CHI '14 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*. CHI EA '14. New York, NY, USA: ACM, 2014, S. 1513–1518. doi: [10.1145/2559206.2581328](https://doi.org/10.1145/2559206.2581328) (siehe S. 17).

-
- [42] D. Moura und M. S. El-Nasr. „Design Techniques for Planning Navigational Systems in 3-D Video Games“. In: *Comput. Entertain.* 12.2 (Feb. 2015), 2:1–2:25. doi: [10.1145/2701657.2633421](https://doi.org/10.1145/2701657.2633421) (siehe S. 17).
- [43] C. Lodts. „Exploring Different Visualization Techniques For Augmented Reality Navigation Helpers Inspired By Open World Games“. Magisterarb. Universiteit Hasselt, 2015 (siehe S. 17).
- [44] J. Rantakari, J. Väyrynen, A. Colley u. a. „Exploring the Design of Stereoscopic 3D for Multilevel Maps“. In: *Proceedings of the 6th ACM International Symposium on Pervasive Displays*. PerDis '17. Lugano, Switzerland: ACM, 2017, 5:1–5:6. doi: [10.1145/3078810.3078829](https://doi.org/10.1145/3078810.3078829) (siehe S. 17).
- [45] T. Reichenbacher. „Adaptive concepts for a mobile cartography“. In: *Journal of Geographical Sciences* 11.1 (Dez. 2001), S. 43–53. doi: [10.1007/BF02837443](https://doi.org/10.1007/BF02837443) (siehe S. 19).
- [46] B. Lautenschläger. „Design and Implementation of a Campus Navigation Application with Augmented Reality for Smartphones“. Bachelorarb. Hochschule Mannheim, 2012 (siehe S. 32).
- [47] A. Alnabhan und B. Tomaszewski. „INSAR: Indoor Navigation System Using Augmented Reality“. In: *Proceedings of the Sixth ACM SIGSPATIAL International Workshop on Indoor Spatial Awareness*. ISA '14. Dallas/Fort Worth, Texas: ACM, 2014, S. 36–43. doi: [10.1145/2676528.2676535](https://doi.org/10.1145/2676528.2676535) (siehe S. 32).
- [48] K. J. C. Ang, S. L. Carag, D. E. M. Jacinto u. a. „Design and Development of Google Glass-Based Campus Navigation System“. In: *Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering* 10.1-5 (2018): Breakthrough To Excellence in Communication and Computer Engineering II. Hrsg. von M. A. Othman, H. A. Sulaiman, Y. A. Rahim u. a., S. 75–81 (siehe S. 32).
- [49] M. Kalkusch, T. Lidy, N. Knapp u. a. „Structured visual markers for indoor pathfinding“. In: *The First IEEE International Workshop Agumented Reality Toolkit*, 2002, 8 pp.–. doi: [10.1109/ART.2002.1107018](https://doi.org/10.1109/ART.2002.1107018) (siehe S. 33).
- [50] A. Möller, M. Kranz, S. Diewald u. a. „Experimental Evaluation of User Interfaces for Visual Indoor Navigation“. In: *Proceedings of the 32Nd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*. CHI '14. Toronto, Ontario, Canada: ACM, 2014, S. 3607–3616. doi: [10.1145/2556288.2557003](https://doi.org/10.1145/2556288.2557003) (siehe S. 33).
- [51] A. R. Silva, L. Valente, E. Clua u. a. „An Indoor Navigation System for Live-Action Virtual Reality Games“. In: *2015 14th Brazilian Symposium on Computer Games and Digital Entertainment (SBGames)*. Nov. 2015, S. 1–10. doi: [10.1109/SBGAMES.2015.29](https://doi.org/10.1109/SBGAMES.2015.29) (siehe S. 33).
- [52] J. Kasperi, M. P. Edwardsson und M. Romero. „Occlusion in Outdoor Augmented Reality Using Geospatial Building Data“. In: *Proceedings of the 23rd ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*. VRST '17. New York, NY, USA: ACM, 2017, 30:1–30:10. doi: [10.1145/3139131.3139159](https://doi.org/10.1145/3139131.3139159) (siehe S. 33).

- [53] D. R. Walton und A. Steed. „Accurate Real-time Occlusion for Mixed Reality“. In: *Proceedings of the 23rd ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*. VRST ’17. New York, NY, USA: ACM, 2017, 11:1–11:10. doi: [10.1145/3139131.3139153](https://doi.org/10.1145/3139131.3139153) (siehe S. 33).
- [54] M. Hegarty, A. E. Richardson, D. R. Montello u. a. „Development of a self-report measure of environmental spatial ability“. In: *Intelligence* 30.5 (2002), S. 425–447. doi: [10.1016/S0160-2896\(02\)00116-2](https://doi.org/10.1016/S0160-2896(02)00116-2) (siehe S. 48, 50).
- [55] J. Brooke. „SUS: A Retrospective“. In: *Journal of Usability Studies (JUS)* 8.2 (Feb. 2013), S. 29–40 (siehe S. 49, 55, 61).
- [56] Y.-T. Lin, Y.-C. Liao, S.-Y. Teng u. a. „Outside-In: Visualizing Out-of-Sight Regions-of-Interest in a 360° Video Using Spatial Picture-in-Picture Previews“. In: *Proceedings of the 30th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*. UIST ’17. New York, NY, USA: ACM, 2017, S. 255–265. doi: [10.1145/3126594.3126656](https://doi.org/10.1145/3126594.3126656) (siehe S. 58).
- [57] U. Gruenefeld, A. E. Ali, W. Heuten u. a. „Visualizing Out-of-view Objects in Head-mounted Augmented Reality“. In: *Proceedings of the 19th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*. MobileHCI ’17. New York, NY, USA: ACM, 2017, 81:1–81:7. doi: [10.1145/3098279.3122124](https://doi.org/10.1145/3098279.3122124) (siehe S. 58).

Online Referenzen

- [58] Microsoft. *Microsoft HoloLens*. 2018. URL: <https://www.microsoft.com/de-de/hololens> (siehe S. 1).
- [59] Facebook Technology, LLC. *Oculus Rift*. 2018. URL: <https://www.oculus.com/rift/> (besucht am 09.10.2018) (siehe S. 1).
- [60] HTC Corporation. *HTC Vive*. 2018. URL: <https://www.vive.com/eu/> (besucht am 21.09.2018) (siehe S. 1).
- [61] Amazon. *Oculus Rift + Touch Bundle*. Bild. 2018. URL: https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/61ueGFutGgL._SL1000_.jpg (besucht am 09.10.2018) (siehe S. 1).
- [62] Amazon. *HTC Vive — VR Brille*. Bild. 2018. URL: <https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/41jXgDfwLgL.jpg> (besucht am 09.10.2018) (siehe S. 1).
- [63] Ubisoft. *Tom Clancy's The Division Offizielle Website*. 2018. URL: <https://tomclancy-thedivision.ubisoft.com/game/de-de/home/> (besucht am 10.05.2018) (siehe S. 2).
- [64] MYDIVISION.NET. *HUD & User Interface*. 2014. URL: <https://mydivision.net/the-division-hud/> (siehe S. 3).
- [65] A. Strange. *How to Use the Magic Leap One in Outdoor Settings, It's Not Perfect, but It's Possible*. Hrsg. von Next Reality News. 8. Okt. 2018. URL: <https://magic-leap-reality.news/news/use-magic-leap-one-outdoor-settings-its-not-perfect-but-its-possible-0186627/> (siehe S. 2, 12, 29).
- [66] Magic Leap, Inc. *Magic Leap*. 2018. URL: <https://www.magicleap.com/> (besucht am 10.05.2018) (siehe S. 3).
- [67] Magic Leap, Inc. *Magic Leap Foto*. Hrsg. von Wired. Foto. 2018. URL: <https://www.wired.com/story/magic-leap-one-creator-augmented-reality-inside-story/> (besucht am 31.01.2018) (siehe S. 4).
- [68] Google LLC. *Maps – Navigation & Transit*. 2018. URL: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.google.android.apps.maps&hl=en> (besucht am 25.06.2018) (siehe S. 20).
- [69] Microsoft. *Bing Maps*. 2018. URL: <https://www.bing.com/maps> (besucht am 31.12.2018) (siehe S. 20).

- [70] HERE Global B.V. *HERE WeGo*. 2018. URL: <https://wego.here.com> (besucht am 31.12.2018) (siehe S. 20).
- [71] OpenStreetMap Foundation. *OpenStreetMap Wiki: Simple Indoor Tagging*. 2018. URL: https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Simple_Indoor_Tagging (besucht am 17.01.2019) (siehe S. 33, 34).
- [72] OpenStreetMap Foundation. *OpenStreetMap Wiki: Category:Buildings*. 2018. URL: <https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Category:Buildings> (besucht am 17.01.2019) (siehe S. 33).
- [73] Unity Technologies. *Unity Spiele-Engine*. 2018. URL: <https://unity3d.com/de> (besucht am 16.08.2018) (siehe S. 35).
- [74] Unity Technologies. *Unity User Manual – XR*. Dokumentation. 2018. URL: <https://docs.unity3d.com/Manual/XR.html> (besucht am 16.08.2018) (siehe S. 36).
- [75] Unity Technologies. *Unity User Manual – Execution Order of Event Functions*. Dokumentation. 2018. URL: <https://docs.unity3d.com/Manual/ExecutionOrder.html> (besucht am 22.12.2018) (siehe S. 36).
- [76] Valve Corporation. *SteamVR Plugin*. Unity Plugin. 2018. URL: <https://assetstore.unity.com/packages/templates/systems/steamvr-plugin-32647> (besucht am 16.08.2018) (siehe S. 36).
- [77] HTC Corporation. *VIVE Wireless Adapter*. 2018. URL: <https://www.vive.com/eu/wireless-adapter/> (besucht am 19.01.2019) (siehe S. 45).
- [78] HTC Corporation. *Update on Vive Wireless Adapter and Ryzen chipsets*. 2018. URL: <https://blog.vive.com/us/2018/11/16/update-vive-wireless-adapter-ryzen-chipsets/> (besucht am 19.01.2019) (siehe S. 50).
- [79] WRLD. *3D Maps*. WRLD. 2018. URL: <https://www.wrld3d.com/3d-maps/> (besucht am 13.08.2018) (siehe S. 64).
- [80] Mapbox. *A Data Platform*. Mapbox. 2018. URL: <https://www.mapbox.com/data-platform/> (besucht am 14.08.2018) (siehe S. 65).
- [81] Mapbox. *Extrude polygons for 3D indoor mapping*. Dokumentation. Mapbox. 2018. URL: <https://www.mapbox.com/mapbox-gl-js/example/3d-extrusion-floorplan/> (besucht am 14.08.2018) (siehe S. 65).
- [82] A. Pavani. *Indoor navigation in AR with Unity*. Hrsg. von Point of interest – The official Mapbox blog. 2018. URL: <https://blog.mapbox.com/indoor-navigation-in-ar-with-unity-6078afe9d958> (besucht am 14.08.2018) (siehe S. 65).
- [83] K. Clarke. *Indoor Mapping with Mapbox GL*. Hrsg. von Maps Mania. 2017. URL: <http://googlemapsmania.blogspot.com/2017/01/indoor-mapping-with-mapbox-gl.html> (besucht am 14.08.2018) (siehe S. 65).

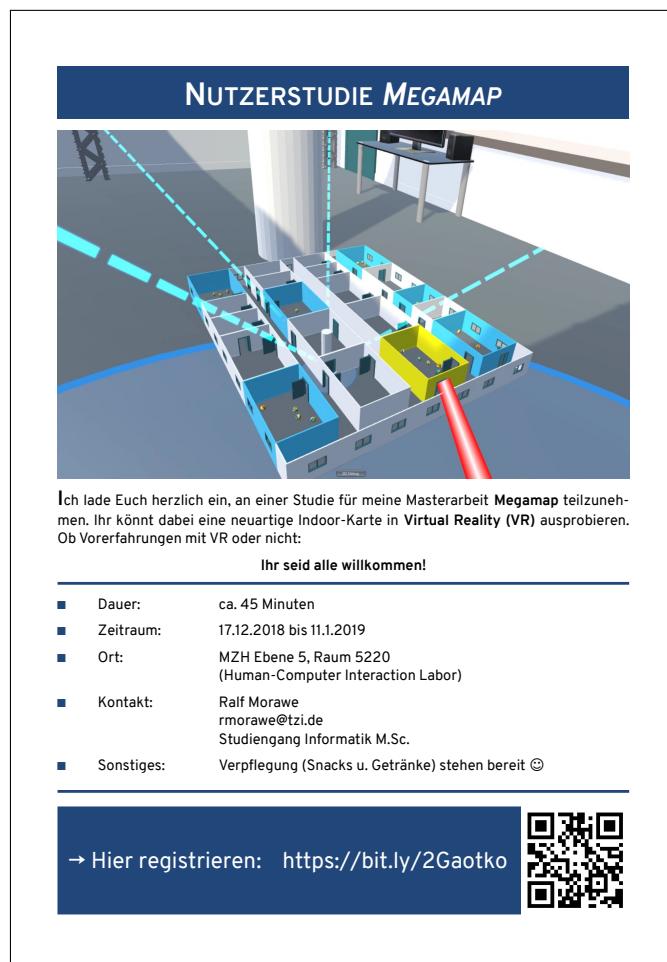
-
- [84] B. Kahyaoglu. *WGS84 precision in Unity World Space*. Hrsg. von Point of interest – The official Mapbox blog. 2017. URL: <https://blog.mapbox.com/wgs84-precision-in-unity-world-space-687c7d574bb3> (besucht am 14.08.2018) (siehe S. 65).
 - [85] Mapbox. *Known Issues*. Dokumentation. 2018. URL: <https://www.mapbox.com/mapbox-unity-sdk/docs/02-known-issues.html#vector-tile> (besucht am 14.08.2018) (siehe S. 65).
 - [86] S. Machkovech. *Magic Leap finally announces a headset... but it's vague, touched-up in Photoshop*. Hrsg. von Ars Technica. 2017. URL: <https://arstechnica.com/gaming/2017/12/magic-leap-finally-announces-a-headset-but-its-vague-rendered-in-photoshop/> (besucht am) (siehe S. 66).

Anhang A

Material für Nutzerstudie

Alle hier aufgeführten Materialien sind auch auf der beiliegenden DVD enthalten.

Flyer für Nutzerstudie



Informationsbogen für Probanden

Informationen zur Teilnahme an der Wissenschaftlichen Studie

Thema: Megamaps: Explorative, umgebungsintegrierte Karten für Head-Mounted Displays
Versuchsleiter: Ralf Morawe
Arbeitsgruppe: Human-Computer Interaction
Gutachter: Prof. Dr. Johannes Schöning,
Prof. Dr. Gabriel Zachmann
Kontakt: rmorawe@tzi.de

Beschreibung: Diese Studie ist Teil meiner Masterarbeit, in der eine neuartige Darstellung dreidimensionaler Karten (sog. *Megamaps*) für die Erkundung von Gebäuden untersucht wird. Deine Aufgabe ist es, mithilfe einer herkömmlichen 2D-Ansicht sowie der neuartigen Megamap-Ansicht auf einer Gebäudekarte Bälle in Räumen zu suchen. Dabei wird gemessen, wie lange es dauert, bis Du den Raum mit den meisten Bällen findest. Außerdem wird Deine räumliche Vorstellung des Gebäudes getestet, indem Du auf den gefundenen Raum zeigst. Das Experiment findet in einem virtuellen Abbild des Labors statt, in dem Du dich gerade befindest. Wichtig: Hier wird **nicht deine Leistung bewertet**, sondern die **Performance und Effizienz des Systems**.

Deine Teilnahme an dieser Studie ist **freiwillig**. Du kannst jederzeit ohne weitere Folgen und ohne Angabe von Gründen von deiner Teilnahme zurücktreten. Du kannst auch einzelne Fragen nicht beantworten. Deine persönlichen Daten werden stets vertraulich behandelt und nur in anonymisierter Form analysiert und veröffentlicht. Du kannst jederzeit vor, während oder nach der Studie Fragen stellen oder eine Pause einlegen bzw. abbrechen.

Ablauf: Das Experiment dauert insgesamt ca. 45 Minuten. Der Ablauf ist wie folgt:

- Fragebogen
 - Tutorials zur 2D- und 3D-Karte
 - Räume suchen und Zeigen mit 6 2D- oder 3D-Karten
 - Kurzer Fragebogen
 - Abschließende Fragen
- 
- 3 Iterationen

Risiken: Bei der Verwendung von VR-Geräten kann es u.U. zu Schwindelgefühlen und/oder Übelkeit kommen (*Motion Sickness*). Sollte dies der Fall sein, teile mir dies bitte mit und wir beenden das Experiment. Damit du nicht gegen Wände, Stühle etc. läufst wird der mögliche Bewegungsbereich in der virtuellen Welt als **türkis-farbenes Gitter** angezeigt. Bitte bleibe innerhalb dieses Gitters.

Aufnahmen: Neben den zuvor genannten Messdaten wird ebenso eine Bildschirmaufnahme Deines Sichtfelds in der virtuellen Welt aufgezeichnet.

Weiterhin kannst du frei entscheiden, ob unsere Gespräche während des Experiments **akustisch** aufgezeichnet werden. Die Audioaufnahmen werden lediglich **auszugweise in anonymer und verschriftlicher Form** im Rahmen der Arbeit veröffentlicht. Die Audioaufnahmen werden nach Veröffentlichung der Arbeit gelöscht.

Ich bedanke mich hiermit herzlich für Deine Unterstützung und wünsche Dir viel Spaß beim Experiment!

Bitte unterzeichne das beiliegende Dokument „**Zustimmung zur Teilnahme an einer wissenschaftlichen Studie**“, um deine Teilnahme zu bestätigen und den oben beschriebenen Konditionen zuzustimmen.

Zustimmungsbogen

Zustimmung zur Teilnahme an einer wissenschaftlichen Studie

Ich habe das beiliegende Dokument „*Informationen zur Teilnahme an einer wissenschaftlichen Studie*“ gelesen und fühle mich bezüglich der Teilnahme an der Studie zur „*Megamap: Explorative, umgebungsintegrierte Karten für Head-Mounted Displays*“ und zum Ablauf der Studie hinreichend informiert.

Ich bin mir bewusst, dass die Teilnahme an der Studie freiwillig erfolgt und dass ich jederzeit, ohne die Angabe von Gründen, von meiner Teilnahme zurücktreten kann. Ein Abbruch hat keine weiteren Konsequenzen. Alle bis dahin gesammelten Daten werden gelöscht.

Während des Experiments werden (Bild-)Daten zu meinem Verhalten und meinem Sichtfeld in der virtuellen Realität aufgezeichnet. Ich kann frei entscheiden, ob die Gespräche während des Experiments akustisch aufgezeichnet werden. Ich stimme zu, dass die im Experiment erhobenen Daten wissenschaftlich analysiert und anschließend in anonymisierter Form veröffentlicht werden.

Zutreffende Punkte bitte ankreuzen:

- Ich stimme einer Teilnahme an der Studie unter den oben und im beiliegenden Informationsblatt beschriebenen Konditionen zu (erforderlich).
- Ich bin mit der anonymisierten Veröffentlichung einzelner Ausschnitte des Bildmaterials in Thesis, Papern oder Präsentationen einverstanden.
- Ich bin mit anonymisierten Audioaufnahmen der Gespräche während des Experiments einverstanden.
- Ich bin mit der anonymisierten Veröffentlichung einzelner verschriftlicher Ausschnitte des Audiomaterials in Thesis, Papern oder Präsentationen einverstanden.

Vor- und Nachname:.....

Ort und Datum:..... Unterschrift:.....

Durch Versuchsleiter auszufüllen:
ID:

Kommentar:

Seite 1 von 1

Demografischer Fragebogen und Santa Barbara Sense-of-Direction Skala

Dies ist eine Offline-Variante des eigentlichen Fragebogens, den die Probanden über Google Forms ausfüllten.

Nutzerstudie Megamaps – Demographie Fragebogen

* Erforderlich

* User ID (vom Versuchsleiter auszufüllen):

Allgemeine Daten

* Geschlecht Weiblich / Männlich / Anderes

Alter
* Welche ist deine starke Hand? Rechts / Links / Ich bin beidhändig

* Körpergröße (kreuze eine Antwort an):
(Bitte gib hier deine Größe an (relevant für den Test). Wenn du dir nicht sicher bist, nimm die Größe aus deinem Ausweis oder schätze.)

Unter 1,60m
 1,60m bis 1,65m
 1,66m bis 1,70m
 1,71m bis 1,75m
 1,76m bis 1,80m
 1,81m bis 1,85m
 1,86m bis 1,90m
 Über 1,90m

Vorerfahrungen Virtual Reality und Karten

(Hinweis: Wenn bei den folgenden Fragen von „Karten“ die Rede ist, sind Karten zur Orientierung und Navigation gemeint, nicht etwa Visiten- oder Spielkarten.)

* Hast du bereits Vorerfahrungen mit Mixed-Reality (MR) oder Virtual Reality gemacht? (Kreuze eine Antwort an.)

Ja
 Nein

Seite 1 von 5

- Wenn Ja, welche Systeme hast du bereits verwendet?

- HTC Vive
- Oculus Rift
- Microsoft HoloLens
- Magic Leap One
- MR/VR via Smartphone (z.B. Google Cardboard)
- Sonstiges:

* Wie häufig verwendest du MR/VR? (Kreuze *eine Antwort* an.)

- Täglich
- Wöchentlich
- Monatlich
- Seltener als monatlich
- Nie

* Verwendest du Karten oder Karten-Apps zur Orientierung/Navigation im Freien? (Kreuze *eine Antwort* an.)

- Ja
- Nein

- Wenn Ja, welche Karten bzw. Karten-Apps verwendest du zur Orientierung/Navigation im Freien?

- Papierkarten
- Öffentlich aushängende Übersichtskarten
- Google Maps
- Google Earth
- Bing Maps
- OpenStreetMap
- Sonstiges:

- Wenn Ja, wozu verwendest du Outdoor-Karten?

- Um Herauszufinden, wo ich bin
- Um Routen von A nach B zu planen
- Um nahegelegene Restaurants, Geschäfte etc. zu finden
- Um mir die Umgebung anzuzeigen
- Sonstiges:

* Benutzt du Indoor-Karten zur Navigation innerhalb von Gebäuden? (Kreuze eine Antwort an.)

- Ja
- Nein

- Wenn Ja, welche Art von Indoor-Karten benutzt du?

- Aushängende Gebäudepläne
- Digitale Karten / Indoor-Apps (z.B. in Flughäfen)
- Sonstiges:

- Wenn Ja, wozu verwendest du Indoor-Karten?

- Um Herauszufinden, wo im Gebäude ich bin
- Um Routen von A nach B zu planen
- Um spezielle Räume zu finden (Büros, Geschäfte, Toiletten etc.)
- Um mir einen Gesamteindruck des Gebäudes zu verschaffen

* Orientierungssinn

Die folgenden Fragen treffen Aussagen über deine räumliche Vorstellungskraft und Navigationsfähigkeiten, -vorlieben und -erfahrungen. Kreise nach jeder Aussage die entsprechende Zahl **ein**, welche deine Zustimmung zu der Aussage am ehesten trifft. Kreise die „1“ ein wenn du mit der Aussage *sehr stark zustimmst*. Kreise die „5“ ein, wenn du der Aussage *sehr stark widersprichst*. Kreise eine Zahl dazwischen ein, wenn du teilweise zustimmst. Wenn du *weder zustimmst noch widersprichst*, kreise die „3“ ein.

- Ich bin sehr gut darin, Wegbeschreibungen zu geben.

(Stimme sehr zu) 1 2 3 4 5 (Lehne stark ab)

- Ich habe ein schlechtes Gedächtnis dafür, wo ich die Dinge gelassen habe.
(Stimme sehr zu) 1 2 3 4 5 (Lehne stark ab)
- Ich bin sehr gut darin, Entfernungen zu beurteilen.
(Stimme sehr zu) 1 2 3 4 5 (Lehne stark ab)
- Mein "Orientierungssinn" ist sehr gut.
(Stimme sehr zu) 1 2 3 4 5 (Lehne stark ab)
- Ich neige dazu, meine Umgebung in Bezug auf die Himmelsrichtungen (N, S, O, W) zu betrachten.
(Stimme sehr zu) 1 2 3 4 5 (Lehne stark ab)
- Ich verirre mich sehr schnell in einer neuen Stadt.
(Stimme sehr zu) 1 2 3 4 5 (Lehne stark ab)
- Ich lese gerne Landkarten.
(Stimme sehr zu) 1 2 3 4 5 (Lehne stark ab)
- Ich habe Schwierigkeiten, Wegbeschreibungen zu verstehen.
(Stimme sehr zu) 1 2 3 4 5 (Lehne stark ab)
- Ich bin sehr gut im Lesen von Landkarten.
(Stimme sehr zu) 1 2 3 4 5 (Lehne stark ab)
- Ich erinnere mich nicht sehr gut an Routen, während ich als Beifahrer im Auto unterwegs bin.
(Stimme sehr zu) 1 2 3 4 5 (Lehne stark ab)
- Ich mag es nicht, Wegbeschreibungen zu geben.
(Stimme sehr zu) 1 2 3 4 5 (Lehne stark ab)
- Es ist mir nicht wichtig zu wissen, wo ich bin.
(Stimme sehr zu) 1 2 3 4 5 (Lehne stark ab)

- Normalerweise lasse ich die Navigationsplanung für lange Reisen von jemand anderem durchführen.

(Stimme sehr zu) 1 2 3 4 5 (Lehne stark ab)

- Ich kann mich normalerweise an neue Routen erinnern, nachdem ich sie nur einmal gefahren bin.

(Stimme sehr zu) 1 2 3 4 5 (Lehne stark ab)

- Ich habe keine sehr gute "mentale Karte" von meiner Umgebung.

(Stimme sehr zu) 1 2 3 4 5 (Lehne stark ab)

Fragebogen zu den Konditionen 3D_l, 3D_h und 2D

Dies ist eine Offline-Variante der eigentlichen Fragebogen, die die Probanden über Google Forms ausfüllten.

Fragebogen zur niedrigen Megamap

User ID (vom Versuchsleiter auszufüllen):

Kreise nach jeder Aussage die entsprechende Zahl **ein**, welche deine Zustimmung zu der Aussage am ehesten trifft. Kreise die „1“ ein wenn du mit der Aussage *sehr stark zustimmst*. Kreise die „5“ ein, wenn du die Aussage *stark ablehnst*. Kreise eine Zahl dazwischen ein, wenn du teilweise zustimmst. Wenn du *weder zustimmst noch widersprichst*, kreise die „3“ ein.

- Die niedrige Megamap ist einfach zu benutzen.
(Stimme sehr zu) 1 2 3 4 5 (Lehne stark ab)
- Ich würde die Unterstützung einer erfahrenen Person brauchen, um die niedrige Megamap zu benutzen.
(Stimme sehr zu) 1 2 3 4 5 (Lehne stark ab)
- Ich würde die niedrige Megamap häufiger benutzen.
(Stimme sehr zu) 1 2 3 4 5 (Lehne stark ab)
- Ich finde, dass die niedrige Megamap zur Orientierung ("Wo bin ich?") nicht geeignet ist.
(Stimme sehr zu) 1 2 3 4 5 (Lehne stark ab)
- Die niedrige Megamap ist nicht geeignet, um Objekte zu finden.
(Stimme sehr zu) 1 2 3 4 5 (Lehne stark ab)
- Ich fühle mich sehr sicher bei der Benutzung der niedrigen Megamap.
(Stimme sehr zu) 1 2 3 4 5 (Lehne stark ab)
- Ich kann mir vorstellen, die niedrige Megamap für die Navigation ("Von A nach B") zu benutzen.
(Stimme sehr zu) 1 2 3 4 5 (Lehne stark ab)
- Ich kann mich an die Layouts der Gebäude nicht bzw. kaum erinnern.
(Stimme sehr zu) 1 2 3 4 5 (Lehne stark ab)

Fragebogen zur hohen Megamap

User ID (vom Versuchsleiter auszufüllen):

Kreise nach jeder Aussage die entsprechende Zahl **ein**, welche deine Zustimmung zu der Aussage am ehesten trifft. Kreise die „1“ ein wenn du mit der Aussage *sehr stark zustimmst*. Kreise die „5“ ein, wenn du die Aussage *stark ablehnst*. Kreise eine Zahl dazwischen ein, wenn du teilweise zustimmst. Wenn du *weder zustimmst noch widersprichst*, kreise die „3“ ein.

- Die hohe Megamap ist einfach zu benutzen.

(Stimme sehr zu) 1 2 3 4 5 (Lehne stark ab)

- Ich würde die Unterstützung einer erfahrenen Person brauchen, um die hohe Megamap zu benutzen.

(Stimme sehr zu) 1 2 3 4 5 (Lehne stark ab)

- Ich würde die hohe Megamap häufiger benutzen.

(Stimme sehr zu) 1 2 3 4 5 (Lehne stark ab)

- Ich finde, dass die hohe Megamap zur Orientierung ("Wo bin ich?") nicht geeignet ist.

(Stimme sehr zu) 1 2 3 4 5 (Lehne stark ab)

- Die hohe Megamap ist nicht geeignet, um Objekte zu finden.

(Stimme sehr zu) 1 2 3 4 5 (Lehne stark ab)

- Ich fühle mich sehr sicher bei der Benutzung der hohen Megamap.

(Stimme sehr zu) 1 2 3 4 5 (Lehne stark ab)

- Ich kann mir vorstellen, die hohe Megamap für die Navigation ("Von A nach B") zu benutzen.

(Stimme sehr zu) 1 2 3 4 5 (Lehne stark ab)

- Ich kann mich an die Layouts der Gebäude nicht bzw. kaum erinnern.

(Stimme sehr zu) 1 2 3 4 5 (Lehne stark ab)

Fragebogen zur 2D-Karte

User ID (vom Versuchsleiter auszufüllen):

Kreise nach jeder Aussage die entsprechende Zahl **ein**, welche deine Zustimmung zu der Aussage am ehesten trifft. Kreise die „1“ ein wenn du mit der Aussage *sehr stark zustimmst*. Kreise die „5“ ein, wenn du die Aussage *stark ablehnst*. Kreise eine Zahl dazwischen ein, wenn du teilweise zustimmst. Wenn du *weder zustimmst noch widersprichst*, kreise die „3“ ein.

- Die 2D-Karte ist einfach zu benutzen.
(Stimme sehr zu) 1 2 3 4 5 (Lehne stark ab)
- Ich würde die Unterstützung einer erfahrenen Person brauchen, um die 2D-Karte zu benutzen.
(Stimme sehr zu) 1 2 3 4 5 (Lehne stark ab)
- Ich würde die 2D-Karte häufiger benutzen.
(Stimme sehr zu) 1 2 3 4 5 (Lehne stark ab)
- Ich finde, dass die 2D-Karte zur Orientierung ("Wo bin ich?") nicht geeignet ist.
(Stimme sehr zu) 1 2 3 4 5 (Lehne stark ab)
- Die 2D-Karte ist nicht geeignet, um Objekte zu finden.
(Stimme sehr zu) 1 2 3 4 5 (Lehne stark ab)
- Ich fühle mich sehr sicher bei der Benutzung der 2D-Karte.
(Stimme sehr zu) 1 2 3 4 5 (Lehne stark ab)
- Ich kann mir vorstellen, die 2D-Karte für die Navigation ("Von A nach B") zu benutzen.
(Stimme sehr zu) 1 2 3 4 5 (Lehne stark ab)
- Ich kann mich an die Layouts der Gebäude nicht bzw. kaum erinnern.
(Stimme sehr zu) 1 2 3 4 5 (Lehne stark ab)

Fragen für Leitfadeninterview

- Welche Kartenvariante war dein Favorit für *die Suche*?
- Welche Kartenvariante war dein Favorit für *die Richtungsschätzung*?
- Hast du die Room-Guides bemerkt bzw. zur Orientierung genutzt?
- Was war dein Vorgehen bei der Suche?
- Wie hast du dir die Richtungen zum Zielraum gemerkt? An welchen Punkten hast du dich orientiert?
- Könntest du dir die Megamap in einer MR-Anwendung für die Exploration von Gebäuden (z. B. die Uni Bremen oder ein Einkaufszentrum) vorstellen? Würdest du die MR-Megamap benutzen?
- Könntest du dir die Megamap in einer MR-Anwendung für die Exploration von *Außenbereichen* vorstellen?
- Was bräuchte die Megamap deiner Meinung nach, um als Karte benutzbar zu sein?

Anhang B

Konditionssequenzen für die Nutzerstudie

Tabelle B.1: Liste der Konditionssequenzen für die Probanden.

Proband	Kondition 1	Kondition 2	Kondition 3
P_0	$3D_l$	$3D_h$	$2D$
P_1	$3D_h$	$3D_l$	$2D$
P_2	$2D$	$3D_l$	$3D_h$
P_3	$3D_l$	$2D$	$3D_h$
P_4	$3D_h$	$2D$	$3D_l$
P_5	$2D$	$3D_h$	$3D_l$
P_6	$3D_h$	$2D$	$3D_l$
P_7	$3D_l$	$3D_h$	$2D$
P_8	$3D_h$	$3D_l$	$2D$
P_9	$2D$	$3D_l$	$3D_h$
P_{10}	$3D_l$	$2D$	$3D_h$
P_{11}	$2D$	$3D_h$	$3D_l$
P_{12}	$3D_l$	$3D_h$	$2D$
P_{13}	$3D_h$	$2D$	$3D_l$
P_{14}	$2D$	$3D_l$	$3D_h$

Anhang C

Inhalt der DVD

- `morawe_ralf_masterthesis.pdf`: Dieses Dokument.
- **Megamap**: Repository (GitHub) zur Megamap-Implementierung. Das Repository ist auf den Tag `v0.6` ausgecheckt. Dies ist der aktuellste Tag und der, der in der Nutzerstudie verwendet wurde.
- **Study**: Materialien und Daten zur Nutzerstudie.
 - **Material**: PDFs zu den Fragebögen, Informationsbögen etc.
 - **Results**: Die aufgezeichneten Daten aus der Nutzerstudie (Messungen und Ergebnisse der Fragebögen).
- **Thesis**: Repository (GitHub) zu dieser Masterarbeit.
 - `thesis`: .tex-Dateien für dieses Dokument.
 - `references`: .bib-Dateien für Bibliografie.
 - `result_analysis`: Python-Skripts zur statistischen Analyse der Ergebnisse.

Das Repository zur **Masterarbeit** ist ebenfalls erreichbar unter:

<https://github.com/Mowalle/master-thesis.git>.

Das Repository zur **Megamap** ist ebenfalls erreichbar unter:

<https://github.com/Mowalle/megamap.git>.