



BIM Workshop VR

IP5-Bericht

IP5 von

Linus Kohler und Manuel Riedi

Herbstsemester 2019

E-Mail: manuel.riedi@students.fhnw.ch, linus.kohler@students.fhnw.ch

FHNW

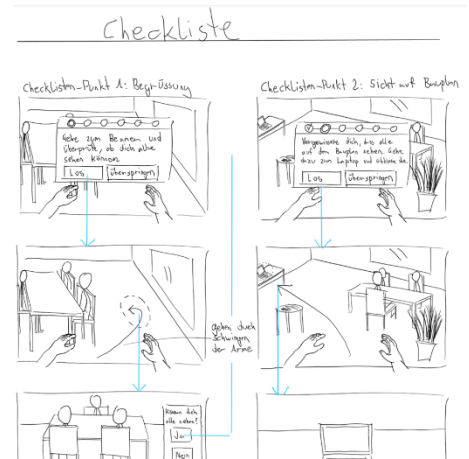
Hochschule für Technik

Studiengang: BSc Informatik - Profilierung iCompetence

Betreuerinnen: Prof. Dr. Doris Agotai, Kathrin Koebel

Auftraggeberin: Livia Suter (FHNW „Digitaler Wandel Bau“)

Windisch, 17. Januar 2020



Vorwort

Wir möchten uns an dieser Stelle bei allen Leuten bedanken, die uns vor, während und nach der Projektarbeit betreut, motiviert oder in organisatorischen Fragen unterstützt haben. Die Erarbeitung eines VR-Projekts mit Unity hat uns viel Spass bereitet und durch unsere Recherche haben wir viel Neues dazugelernt. Wir sind überzeugt, dass unser Projekt ein gutes E-Learning-Konzept und eine tolle Usability bietet!

Der nachfolgende Text wurde nicht durchgehend in geschlechtergerechter Sprache verfasst. Es ist uns jedoch wichtig zu betonen, dass sich der Text immer an alle Personen unabhängig vom Geschlecht richtet.

Abstract

Mit dem Projekt „BIM Workshop VR“ wurde eine VR-Anwendung in Unity umgesetzt, mit welcher BIM-Manager die Auswirkungen unterschiedlicher Raumsetting untersuchen und sich so optimal für die Durchführung ihrer künftigen BIM-Workshops vorbereiten können. Die BIM-Workshops sind gegenwärtig oft nicht effizient und effektiv, da die Räume nicht zielgerichtet eingerichtet werden. Ausserdem konnten Probleme bei der Interaktion zwischen Mensch und Technik, Mensch und Mensch sowie bei der Moderation während des BIM-Workshops festgestellt werden.

Für die Umsetzung der Applikation wurden die mit den auf den VR-Bereich bezogenen Forschungsfragen zu E-Learning, intuitiver Benutzung, Usability und UX Testing untersucht. Die evaluierten Ergebnisse zeigen bezüglich E-Learning, dass sich die Lernformate Learning by Intracting, Blended Learning und Personalized Learning besonders gut für VR-Projekte eignen. Bezüglich Usability wurden die Methoden WIM (World In Miniature) zur Raumkonfiguration, Arm Swing zur Fortbewegung und die virtuelle Hand zur Interaktion mit Objekten eingesetzt. Für das Testing der Usability und UX-Designs wurde eine iterative Methode kombiniert mit Papierprototypen und Usability-Tests eingesetzt.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	7
2	Ausgangslage und Problemstellung	9
2.1	Ausgangslage.....	9
2.1.1	Digitaler Wandel Bau.....	9
2.1.2	BIM und BIM-Workshops.....	9
2.2	Problemstellung.....	11
2.3	Ziel der Arbeit	11
2.4	Forschungsfragen	12
2.5	Methodik und Vorgehen.....	12
2.6	Zielgruppe.....	12
3	Recherche	13
3.1	E-Learning Konzepte in VR Anwendungen	13
3.1.1	E-Learning Konzepte und Bestandteile.....	13
3.1.2	Angepasste Gruppierung der E-Learning Bestandteile.....	17
3.1.3	Häufige Einsatzbereiche	18
3.1.4	Vorteile von VR E-Learning	18
3.1.4.1	Literaturstudien	19
3.1.4.2	Zusammenfassung	20
3.1.5	Schlussfolgerungen.....	22
3.1.5.1	Auswertung Lernformate	22
3.1.5.2	Projektspezifische Auswertung der Lernformate.....	25
3.1.5.3	Inhalte.....	25
3.1.5.4	Kommunikation	26
3.1.5.5	Kollaboration	26
3.2	Effektives E-Learning in VR Anwendungen.....	27
3.2.1	Einfluss auf das räumliche Vorstellungsvermögen.....	27
3.2.2	Art der VR-Anwendung	27
3.2.3	Fazit.....	28
3.3	Intuitive Benutzung im virtuellen Raum.....	29
3.3.1	Navigation und Fortbewegung.....	29

3.3.1.1	Gehen durch unnatürliche Techniken	29
3.3.1.2	Gehen auf natürliche Weise	31
3.3.1.3	Vor-/Nachteile im relativen Vergleich zu Navigations- /Fortbewegungsmethoden	32
3.3.2	Selektieren von Objekten	33
3.3.2.1	Charakteristiken beim Selektieren	33
3.3.2.2	Verschiedene Interaktionstechniken	34
3.3.2.3	Vor-/Nachteile im relativen Vergleich zu Selektionsmethoden	39
3.3.3	Manipulieren von Objekten	40
3.3.3.1	Umsetzungsmöglichkeiten	40
3.3.3.2	Manipulationstechniken	40
3.3.3.3	Vor-/Nachteile im relativen Vergleich zu Manipulationsmethoden	42
3.3.4	Menükonzepte	43
3.3.4.1	Menüs	43
3.3.4.2	3D-Widgets	43
3.3.4.3	Tangibles	43
3.3.4.4	Sprachkommandos	43
3.3.4.5	Gesten	43
3.3.4.6	Vor- und Nachteile im relativen Vergleich zu Menükonzepten	44
3.4	Usability und UX Testing im virtuellen Raum	45
3.4.1	Gestaltungslösung erarbeiten	45
3.4.2	Testen an Benutzer	47
3.4.2.1	Testmethoden	47
3.4.2.2	Berücksichtigungen bei der Durchführung	47
4	Applikationskonzept	49
4.1	Funktionsübersicht	49
4.2	Raumkonfiguration	50
4.3	Virtuelle Checkliste	51
4.4	Integriertes E-Learning-Konzept	53
4.5	Usability-Entscheidungen	54
4.5.1	Projektspezifische Berücksichtigungen	55
4.5.2	Navigation- und Fortbewegungstechnik	56
4.5.3	Selektions- und Manipulationstechniken	57

4.5.4	Menükonzept	58
4.5.5	Interaktionskonzept und Tastenbelegung	60
4.5.6	3D-Darstellung	62
4.6	Usability und UX-Testing in der virtuellen Raum Entscheidung	63
5	Umsetzung	64
5.1	Verwendete Technologien	64
5.2	Abhängigkeiten und Voraussetzungen	64
5.2.1	Steam und SteamVR	64
5.2.2	Kontroller-Konfiguration.....	64
5.3	Projektaufbau in Unity	66
5.3.1	Ordnerstruktur.....	66
5.3.2	Scene-Struktur.....	67
5.4	Wichtige GameObjects	69
5.4.1	Player	69
5.4.2	Room.....	69
5.4.3	ApplicationManager.....	69
5.4.4	Checklist.....	70
5.4.5	UIManager	71
5.5	Verwendete Assets	72
5.6	Abweichungen gegenüber dem Konzept.....	72
6	Testing.....	74
6.1	Verwendete Methoden.....	74
6.2	Testergebnisse	75
6.2.1	Konzeptvalidierung.....	75
6.2.2	Usability Testing	75
7	Weiterentwicklung des Konzepts und Schluss.....	77
7.1	Erweiterung der Applikation	77
7.1.1	Ziele definieren	77
7.1.2	Virtuelle Checkliste erweitern.....	77
7.1.3	Zusätzliche Modelle für WIM-Konfiguration	78
7.1.4	Neue Räume	78

7.2	Schluss	79
7.2.1	Diskussion der Ergebnisse	79
7.2.2	Reflexion	80
7.2.3	Ausblick.....	81
8	Verzeichnisse	83
8.1	Literaturverzeichnis	83
8.2	Abbildungsverzeichnis	86
8.3	Tabellenverzeichnis.....	87
9	Anhang	88
9.1	Usability Tests	88
9.2	Wireframes	98
9.3	Kartonprototyp	100
9.4	Projektausschreibung.....	101
9.5	Projektvereinbarung	102
9.6	Container Flyer	105
9.7	Screenshots der finalen Lösung	107

1 Einleitung

Eine VR-Anwendung für BIM-Manager

Die Applikation „BIM Workshop VR“ ist eine VR-Simulation, mit welcher BIM-Manager die Auswirkungen unterschiedlicher Raumsettings untersuchen und sich so optimal für die Durchführung ihren künftigen BIM-Workshop vorbereiten können. Die Applikation wurde so verwirklicht, dass BIM-Managern für ihre BIM-Workshops, verschiedene Raumsettings vornehmen und so die Auswirkungen ihrer künftigen Durchführungen untersuchen und erlernen können.

Bei der Umsetzung wurde untersucht, ob und welche E-Learning-Konzepte im VR-Bereich für einen BIM-Manger einen möglichst effektiven Lerneffekt erbringen können.

Die Auswertung hat ergeben, dass sich die Lernformate Learning by Intracting, Blended Learning und Personalized Learning für diesen Anwendungsfall besonders gut eignen. Deshalb wurde für das Projekt eine interaktive, virtuelle Checkliste integriert. So sollen die BIM-Manager die Raumkonfigurationen mittels Interaktion untersuchen und Feedback erhalten können.

Mit der Entwicklung wurde zudem eine möglichst intuitive Usability angestrebt, um insbesondere unerfahrenen Anwendern einen einfachen Einstieg in die virtuelle Umgebung zu gewährleisten. Dazu wurden verschiedene Methodiken bezüglich Usability im VR-Raum (Navigation, Fortbewegung, Manipulieren, Selektieren) untersucht und schliesslich zu einem intuitiven, gesamten Konzept vereint.

Die Ergebnisse beliefen dabei bezüglich Konfiguration eines Raumes, auf die so genannte WIM Methode (World in Miniatur). Betreffend Fortbewegung und Interaktionen konnten die natürlichen Methoden Arm Swing und Virtuelle Hand die besten Ergebnisse erzielen. Für das Menükonzept wurde das „Menü“ und verschiedene Ausführungen von „Tangibles“ verwendet.

Weiterführend bezüglich Usability wurde analysiert, wie sie im virtuellen Raum über den gesamten Entwicklungsprozess der Applikation getestet werden kann.

Die Rechercharbeiten haben ergeben, dass gegenwertig nur sehr wenig Literatur über diese Thematik existiert. Dennoch konnte gezeigt werden, dass eine iterative Forgehnsweise, kombiniert mit mit Lofi-Prototyping und gängigen Usability-Tests, effizient im Entwicklungsprozess eingesetzt werden können.



Abbildung 1: Screenshots aus der Anwendung: Links die Raumkonfiguration mittels WIM, rechts ist die virtuelle Checkliste aktiv

Herausforderungen für die BIM-Manger

Für das Arbeiten in sogenannten „BIM-Workshops“ müssen sich die Teilnehmer, insbesondere die BIM-Manager, mit neuen Herausforderungen betreffend Planungscoordination und Durchführung auseinandersetzen. Abhängig vom beabsichtigten Ziel des Workshops, wirken sich unterschiedliche Raumsettings (Anordnung von Mobiliar, Screens, Zonenbildung, usw.) auf die Effizienz und Effektivität der Durchführung aus.

Damit sich die BIM-Manger künftig besser auf solche Workshops vorbereiten können, statt solcher Erfahrungen erst mit realen Bedingungen sammeln zu müssen, soll eine Lernsoftware im VR-Bereich als ideales Werkzeug eingesetzt werden.

Umsetzung des Projekts

In einer ersten Phase wurden ausgiebige Recherchearbeiten bezüglich Forschungsfragen durchgeführt. Die Ergebnisse wurde anschliessend ausgewertet, sodass sie für die weitere Umsetzung bestmöglich eingesetzt werden können.

Die Umsetzung geschah anschliessend in einem iterativen Entwicklungsprozess, welcher in der ersten Iteration ein Lofi-Prototyp zur Konzeptvalidierung beinhaltete. In drei weiteren Iterationen wurden die daraus resultierenden Ergebnisse jeweils in produktiven Produktinkrementen durch Usability-Tests evaluiert. Während für den Lofi-Prototyp Karton und Papierskizzen verwendet wurden, wurde für die produktive Umsetzung die Game-Engine Unity eingesetzt. Für die Umsetzung bezüglich Hardware wurde die HTC-Vive Pro verwendet.

Inhalt dieses Berichts

Das Dokument beschreibt in einem ersten Teil die Ausgangslage und Problemstellung. In diesem Kapitel wird zudem auf die Ziele, Forschungsfragen, Methodiken, Zielgruppe und das Vorgehen der Arbeit näher eingegangen.

Auf diesen Teil folgt eine ausführliche Recherchedokumentation, wobei die Forschungsfragen in separaten Kapiteln zu geeigneten und effektiven E-Learning Konzepten, intuitiver Benutzung im virtuellen Raum sowie Usability und UX Testing im virtuellen Raum unterteilt sind.

Nach dem Recherche-Teil wird das Applikationskonzept dieses Projekts mit den Hintergründen und Entscheidungen erläutert. Dabei werden auch die verschiedenen Recherche-Ergebnisse wieder aufgegriffen und für das projektspezifischen Applikationskonzept bewertet.

Darauffolgend werden im Kapitel „Umsetzung“ die wichtigsten Elemente und Bestandteile der konkreten Umsetzung des Projekts beschrieben. So liefert dieses Kapitel unter anderem Informationen zu den verwendeten Technologien, Abhängigkeiten und Voraussetzungen, dem Projektaufbau in Unity und genauere Beschreibungen zu den wichtigsten Implementationen.

Nach diesem Kapitel wird beschrieben, wie das Testing in diesem Projekt durchgeführt wurde und welche Methoden dazu verwendet wurden.

Im letzten Kapitel werden die Weiterentwicklungsmöglichkeiten der realisierten Applikation beschrieben. Folgend darauf eine Diskussion der Ergebnisse, wie die Umsetzung die Aufgabenstellung mit den Forschungsfragen erfüllen konnte und eine Reflexion über die eingesetzte Methodik.

2 Ausgangslage und Problemstellung

2.1 Ausgangslage

2.1.1 Digitaler Wandel Bau

Das „BIM Workshop VR“-Projekt wird im Rahmen der Strategischen Initiative „Digitaler Wandel Bau“ der FHNW durchgeführt. Dieses interdisziplinär organisierte Projekt dient der Erfüllung diverser Ziele bezogen auf den digitalen Wandel im Bauwesen. Im Zuge dieser Strategischen Initiative wird Wissen mittels Literaturrecherchen und Fallstudien für das Projekt gesammelt. Basierend auf den Erkenntnissen der Wissensgenerierung werden Konzepte und Tools für den Digitalen Wandel der Baubranche entwickelt. [35]

2.1.2 BIM und BIM-Workshops

In der Planungs-, Bau- und Immobilienindustrie ist im Zuge der Digitalisierung und der damit verbundenen Einführung des „Building Information Modelling“ (BIM) ein Paradigmenwechsel im Gange. Statt mit 2D-Plänen wird zunehmend mit 3D-Modellen gearbeitet, welchen eine zentrale, objektbasierte Verwaltung von Projektinformationen zugrunde liegt. In etlichen Unternehmungen wird die BIM-Methode bereits im Planungs- und Umsetzungsprozess eingesetzt, doch mit der neuen Arbeitsweise sind auch neue Herausforderungen und neue Rollen verbunden, beispielsweise dieser des BIM-Managers. Der BIM-Manager hat die regelmässig stattfindenden BIM-Workshops zu leiten, an welchen die Planungskoordination zwischen den verschiedenen Fachplanern erfolgt. Abhängig vom Projektstadium und Ziel, das an einem solchen BIM-Workshop verfolgt wird, sind unterschiedliche Raumkonfigurationen empfohlen. [Text aus der Projektausschreibung, siehe Anhang]

Abhängig vom beabsichtigten Ziel des Workshops, wirken sich unterschiedliche Raumsettings (Anordnung von Mobiliar, Screens, Zonenbildung, usw.) auf die Effizienz und Effektivität der Durchführung aus. [Text aus der Projektvereinbarung, siehe Anhang]

Die Basis für die Thematik und das Projekt ist der Ergebnisbericht Fallstudie 1, SI 18-20 - Digitaler Wandel Bau der Fachhochschule Nordwestschweiz, verfasst durch Frau Livia Suter. Forschungsgestand dieses Berichts sind die „BIM-Koordinationssitzungen“, nachfolgend auch „BIM-Workshops“ genannt. Der Bericht untersucht dabei, wie die Räume solcher BIM-Workshops aktuell aussehen und wie die Interaktion der Personen im Raum (untereinander sowie mit der Technik) erfolgt. In diesem Bericht wurde unter anderem ein morphologischer Kasten mit verschiedenen Gestaltungsoptionen (Parameter) definiert (siehe Abbildung 2 Morphologischer Kasten aus dem Ergebnisbericht der Fallstudie), um einen Kollaborationsraum nach spezifischen Bedürfnissen und Zielen zu gestalten:

Parameter	Ausprägungen (Lösungsmöglichkeiten)				
	1	2	3	4	5
A Zonen					
Auswahl	0, 1, 2, 3	2, 3	3		
B Setting					
Auswahl	0	2, 3	3	1	2
C Sitzmobiliar					nichts
Auswahl	0, 2	3	2	1, 3	
D Schreibmobiliar					nichts
Auswahl	0, 2, 3			1, 2	
E Screen / Beamer	0	1	2	3	4
Auswahl		0, 1	2	3	
F Hilfsmittel					
Auswahl	1	0, 1, 2, 3	3	1, 2, 3	2, 3
G Extras					nichts
Auswahl	3	3	1, 3, 2	3	

Abbildung 2 Morphologischer Kasten aus dem Ergebnisbericht der Fallstudie

Der hier abgebildete Kasten wird im zitierten Ergebnisbericht genauer erläutert. Wichtig zu erwähnen ist, dass vor der Anwendung des Kastens die Ziele des BIM-Workshops und die Organisation der Moderation bestimmt werden müssen.

Des Weiteren werden im Bericht drei prototypische Kollaborationsräume genauer beschrieben, welche Raumkonfigurationen für verschiedene Szenarien – welche unterschiedlichen Zielen dienen – beschreiben. [34]

2.2 Problemstellung

Die BIM-Workshops sind nicht effizient und effektiv, da Räume nicht zielgerichtet eingerichtet werden. Ausserdem gibt es Probleme bei der Interaktion zwischen Menschen und Technik, Mensch und Mensch sowie bei der Ausführung der Moderation während den BIM-Workshops. Der zitierte Ergebnisbericht [34] dokumentiert dabei konkrete Probleme, die bei solchen Sitzungen aktuell auftreten und durch eine VR-Lösung verbessert werden sollten. Beispiele sind:

- Es gab Sitzplätze, die den Screen im Rücken hatten
- Die eingesetzten Screens waren zu klein
- Ein Tisch hatte nicht genügend Sitzplätze, so dass ein Teilnehmender hinten im Raum an der Wand sitzen musste
- Die Moderation hat die Materialien nicht vorbereitet, der an der Sitzung zu besprechende Projektkonflikt (Clash) auf dem Plan konnte auf den Bildausschnitten nicht gesehen werden
- Die Moderation soll als Lenkungsfunktion eingesetzt werden: Beim Stehen und Zeigen von Modellen auf Screens wurde mehr Wirkung erzeugt
- Die Wahl des Ortes der moderierenden Person muss auf die geplante Interaktion sowie der Methodik und Ziele der Moderation angepasst sein
- Wichtige Entscheider konnten nur kurz an der Sitzung teilnehmen und verzögern durch die Abwesenheit die Entscheidungsprozesse.
- Teilnehmende sind geistig oder physisch abwesend (beispielsweise hinter dem Laptop oder draussen am Telefon)
- Viele bilaterale Gespräche während der Sitzung können darauf hinweisen, dass gewisse Diskussionen intensiviert werden sollten, jedoch ohne den Sitzungsverlauf zu stören.
- Die Interaktion (zum Beispiel durch den Einsatz von Laserpointern) und die Nutzung der Technologie sollte gefördert werden. Ein Problem wurde zum Beispiel erst auf dem 3D-Modell sichtbar, nachdem zuvor ein 2D-Plan verwendet wurde.

2.3 Ziel der Arbeit

In der Projektvereinbarung wurde die Projektvision wie folgt definiert:

„Das Ziel ist eine virtuelle Trainings-Welt, in der BIM-Manager die Auswirkungen unterschiedlicher Raumsettings untersuchen und so für die Durchführung künftiger BIM-Workshop einen Lerngewinn erzielen können.

Dabei soll die Applikation eine möglichst intuitive Usability, gutes UX-Design sowie ein effektives E-Learning-Konzept beinhalten.“

Es soll also eine VR-Applikation unter Berücksichtigung der oben erwähnten Punkte entwickelt werden, welche es für die BIM-Manager und Sitzungsteilnehmer ermöglicht, verschiedene Raumsettings zu konfigurieren. Die Auswirkungen dieser Raumsettings auf den Workshop sollen mit der Applikation untersucht und erlernt werden können. Der Fokus der Applikation soll auf dem Konzept liegen, es müssen nicht alle verschiedenen Raumkonfigurationsparameter oder Möbel vorhanden sein. Dementsprechend soll die Applikation aber auch erweiterbar gestaltet sein.

2.4 Forschungsfragen

Folgende Problemstellungen sollen in dieser Arbeit genauer untersucht werden:

- Was für E-Learning Arten eignen sich für VR-Anwendungen?
- Wie können E-Learning Anwendungen mit VR besonders effektiv eingesetzt werden?
- Wie können Benutzer intuitiv im virtuellen Raum interagieren?
- Wie kann die Usability und User Experience einer solchen Anwendung getestet werden?

2.5 Methodik und Vorgehen

Bevor das Applikationskonzept erstellt wird, soll eine Forschungsphase die Forschungsfragen unabhängig und projektspezifisch beantworten. Die Antworten zu den Problemstellungen werden auf Basis von wissenschaftlichen Dokumenten und den Auswertungen sowie Analysen dazu zusammengetragen. Wichtig für den Einstieg in die Thematik ist dabei die oben zitierte Fallstudie. Anschliessend wird ein Applikationskonzept für die Zielerreichung der Arbeit vorgeschlagen und durch die Auftraggeberin in einer Konzeptvalidierung überprüft. Das für gut befundene Konzept wird iterativ umgesetzt. Anhand von verschiedenen Prototypen sollen mit Usability-Tests die eingesetzten Konzepte überprüft und beurteilt werden.

2.6 Zielgruppe

Die Zielgruppe des Projekts sind die BIM-Manager. Die anderen Workshop-Teilnehmer profitieren indirekt auch von Verbesserungen bei der Effizienz und Effektivität der Workshops.

Folgende Annahmen über die Zielgruppe wurden für die Analysen und Schlussfolgerungen getroffen:

- Keine VR-Erfahrung
- Alter: 18 bis 65
- Sind in einem Umfeld mit grossem Zeitdruck tätig.
- Der grosse Zeitdruck erlaubt es den Personen, nicht zusätzlich viel Zeit in der virtuellen Welt zu verbringen. Sie möchten die Informationen deshalb möglichst direkt erhalten.
- BIM-Manager haben nur in begrenzten Zeitslots einen Experten an der Seite, mit dem sie zum Beispiel gemeinsam die Workshops besprechen können.
- Haben wenig- bis mittelviel technischer Hintergrund
- Sind offen gegenüber neuen Technologien.

Zudem wurde besonders bei den Usability-Test von dieser Persona ausgegangen.

3 Recherche

In diesem Kapitel werden die zuvor beschriebenen Problemstellungen anhand der Forschungsfragen genauer untersucht. Die Ergebnisse sollen helfen ein effektives VR-Konzept im Rahmen der Projektarbeit zu entwickeln.

3.1 E-Learning Konzepte in VR Anwendungen

Digitale Medien werden bereits seit den 80er Jahren für die Wissensvermittlung eingesetzt. Damals noch unter dem Namen Computer Based Training (CBT), später wurde es auch oft als Web Based Training (WBT) und E-Learning bezeichnet. [1:209]

Neu dazugekommen ist auch das Lernen mit Augmented und Virtual Reality. [1:210]

In diesem Kapitel wird analysiert welche Konzepte sich für das E-Learning mittels VR besonders gut eignen. Dabei werden zunächst verschiedene E-Learning Konzepte identifiziert und es wird versucht, die Bestandteile der E-Learning Konzepte zu gruppieren. Bei den Konzepten und Bestandteilen sollen anhand von verschiedenen Quellen ein möglichst breites Spektrum abgebildet werden, von denen angenommen wird, dass diese über eine gewisse Verbreitung und aktuelle Relevanz verfügen. Anschliessend wird untersucht, in welchen Bereichen VR bereits verwendet wird. Interessant ist es auch herauszufinden, wie die virtuelle Realität in E-Learning Applikationen bereits verwendet wird und was die Vorteile von VR im E-Learning sind. Daraus folgt dann eine Ableitung, welche Konzepte sich besonders für VR Anwendungen eignen.

3.1.1 E-Learning Konzepte und Bestandteile

Im Bereich des E-Learning wird oft zwischen verschiedenen Lernformaten unterschieden. Eine typische Unterscheidung ist dabei zwischen **Learning by Distributing** (Lernende müssen die verteilten Inhalte selbst aufnehmen), **Learning by Interacting** (Lernende interagieren mit einem System und erhalten dabei Feedback) und **Learning by Collaborating** (Lernende eignen sich Wissen im Austausch mit anderen an). Ausserdem wird E-Learning häufig entsprechend den verwendeten Technologien klassifiziert. Ebenfalls wichtige Formen des E-Learning sind dabei das Mobile- oder Blended Learning. Beim **Mobile Learning** wird beispielsweise das Smartphone für die Wissensaneignung verwendet. **Blended Learning** ist ein Lernmodell bei dem Online- und Präsenzphasen kombiniert werden, wobei in der Präsenzphase, die selbst erlernten Inhalte vertieft, ergänzt und geübt werden. [2]

Gamification kann ebenfalls als E-Learning Konzept dienen. Dabei werden die Spielmechaniken verwendet, um die Lernenden zu motivieren und um sie Probleme lösen zu lassen. Es geht dabei um mehr als nur bedeutungslose Punkte, Achievements oder Badges. Die Lernenden müssen mit dem Spiel interagieren, Inhalte sollen zum Denken anregen, eine Story kann integriert werden. Gamification soll also zu einer intensiven Beschäftigung mit dem System führen und dazu, dass die Lernenden mehr Informationen erlernen können. [13:73-75]

Beim **Micro-Learning** werden die Lerninhalte in kleinen Schritten vermittelt. Komplexe Themen werden also in kleine „Häppchen“ aufgeteilt. Zum Zeitpunkt, wenn die Lernenden dies benötigen, wird Micro-Learning typischerweise eingesetzt um sie mit gezielten Informationen zu versorgen. Micro-Learning eignet sich auch gut, wenn Inhalte oft wiederholt werden sollen. Da weniger und gezielter Informationen verteilt werden, sollen die Lernenden diese besser aufnehmen können.

Auch können die Informationen schneller „on-the-go“ z.B. im Bus erlernt werden und über verschiedene Wege wie Online-Posts, E-Mails, kurze Videos etc. vermittelt werden. [13:75-77]

Rapid e-Learning beschreibt 2 Dinge: Das schnelle Zusammenstellen von Online-Lerninhalten. Typischerweise mit Online-Prüfungen, aber auch das absolvieren eines Kurses durch die Lernenden in einer verkürzten Zeitperiode als üblich. [13:79-81]

Beim **Personalized Learning** soll auf die Individualität der Lernenden besonders eingegangen werden. Die Lernenden sollen dabei bis zu einem gewissen Grad selbst entscheiden können, was sie lernen, wann sie es lernen und wie sie etwas lernen. Ein Coaching und automatisches oder manuelles Feedback sind dabei für die Lernenden sehr wichtig. [13:82-84]

Beim **Continuous Learning** geht es darum, ständig im Alltag dazuzulernen und dabei auf die Änderungen der Umgebung vorbereitet zu sein. Wichtig ist es dabei, stetig mit neuen Informationen, zum Beispiel via Social Media, versorgt zu werden. Jemanden um Hilfe zu fragen, die praktische Anwendung oder das Beobachten von erfahrenen Mitarbeitenden bei der Arbeit kann beispielsweise als Continuous Learning bezeichnet werden. [13:84-87]

E-Learning kann auch nach den Zielen oder Anwendungsgebieten einer Schulung eingeteilt werden. Also beispielsweise in „Sales Training“, „Customer training“, „IT training“ oder „Healthcare training“. [13] Im Rahmen dieses Projekts werden jedoch die Anwendungsbereiche separat untersucht. Deshalb wurde eine solche Einteilung bei den Konzepten nicht weiterverfolgt.

Dr George Siemens, welcher bereits viele wissenschaftliche Arbeiten und Forschung im Bereich des Learning und E-Learning veröffentlicht hat, teilt in einem veröffentlichten Artikel das E-Learning auf einer Mindmap in folgende Kategorien ein:

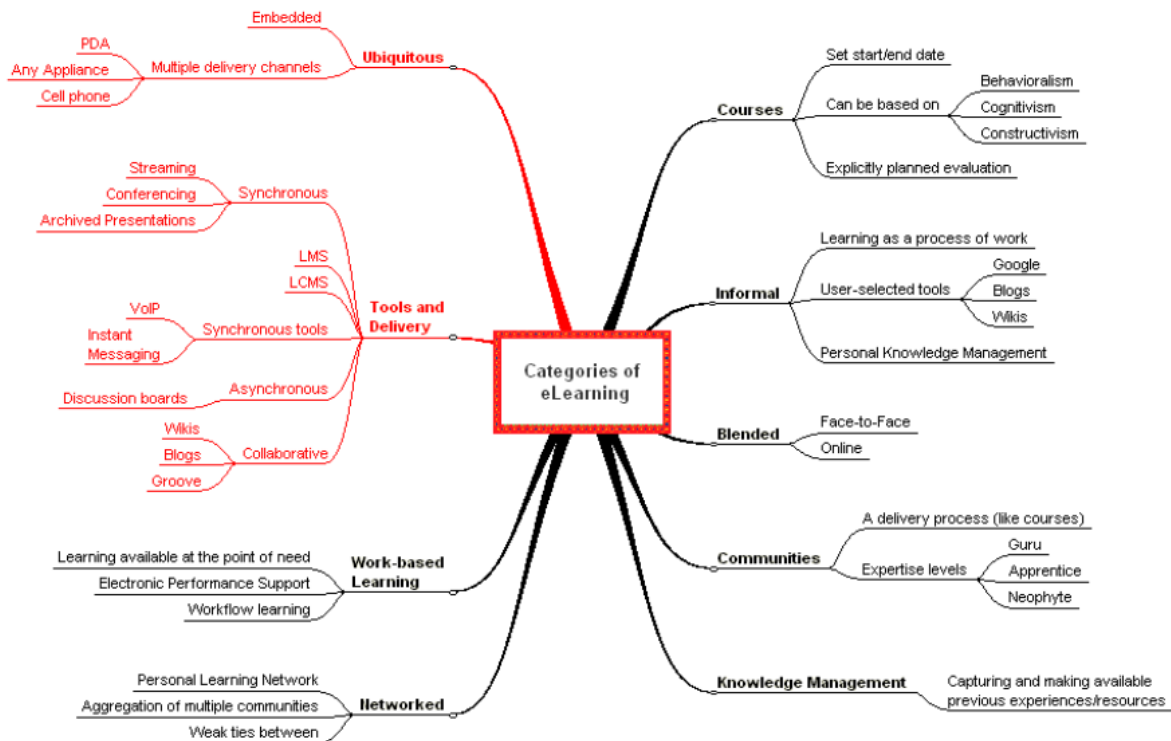


Abbildung 3 E-Learning Kategorien nach G. Siemens

Kurse, Informal Learning, Blended Learning, Communities, Knowledge Management, Networked learning, Work-Based Learning sind die Hauptkategorien. Zusätzlich würden die E-Learning-Kategorien durch die folgenden, in der Grafik rot markierten, Faktoren beeinflusst: Allgemeine Datenverarbeitung (engl. „Ubiquitous Computing“, welches dafür sorgen soll, dass zur beliebigen Zeit beliebige Inhalte erlernt werden können), sowie durch die Werkzeuge (beispielsweise Learning Content Management Systeme) und Auslieferungsform (worunter er synchrone oder asynchrone Übermittlung der Lerninhalte versteht). Siemens schreibt auch, dass keine der Kategorien alleine funktioniert und die Grenze zwischen den verschiedenen E-Learning-Kategorien fließend ist. Ein erfolgreiches E-Learning Konzept würde aus mehreren Kategorien bestehen. [4]

Ausgehend von der Kategorisierung nach Siemens wurden für diese Arbeit zusätzlich die Kategorien Knowledge Management und Work-based Learning als Lernformate aufgenommen. Diese wurden in den bisherigen Quellen noch nicht erwähnt und könnten für VR relevant sein.

Knowledge Management hat einen grossen Fokus auf Kollaboration und der Sammlung des Wissens. Dabei sollen im Learning Wissen für die Lernenden gesammelt, hinzugewonnen, geteilt, gespeichert, angewendet und ausgewertet werden. [14]

Beim **Work-based learning** sollen die Lernenden akademisches Wissen in der Praxis anwenden und so besser auf den Arbeitsalltag vorbereitet sein. Typischerweise geschieht dies in Praktika bei Organisationen/Firmen. [4]

Manuela Aparicio Et al. haben in einem wissenschaftlichen Bericht ein theoretisches E-Learning-Framework aufgebaut:

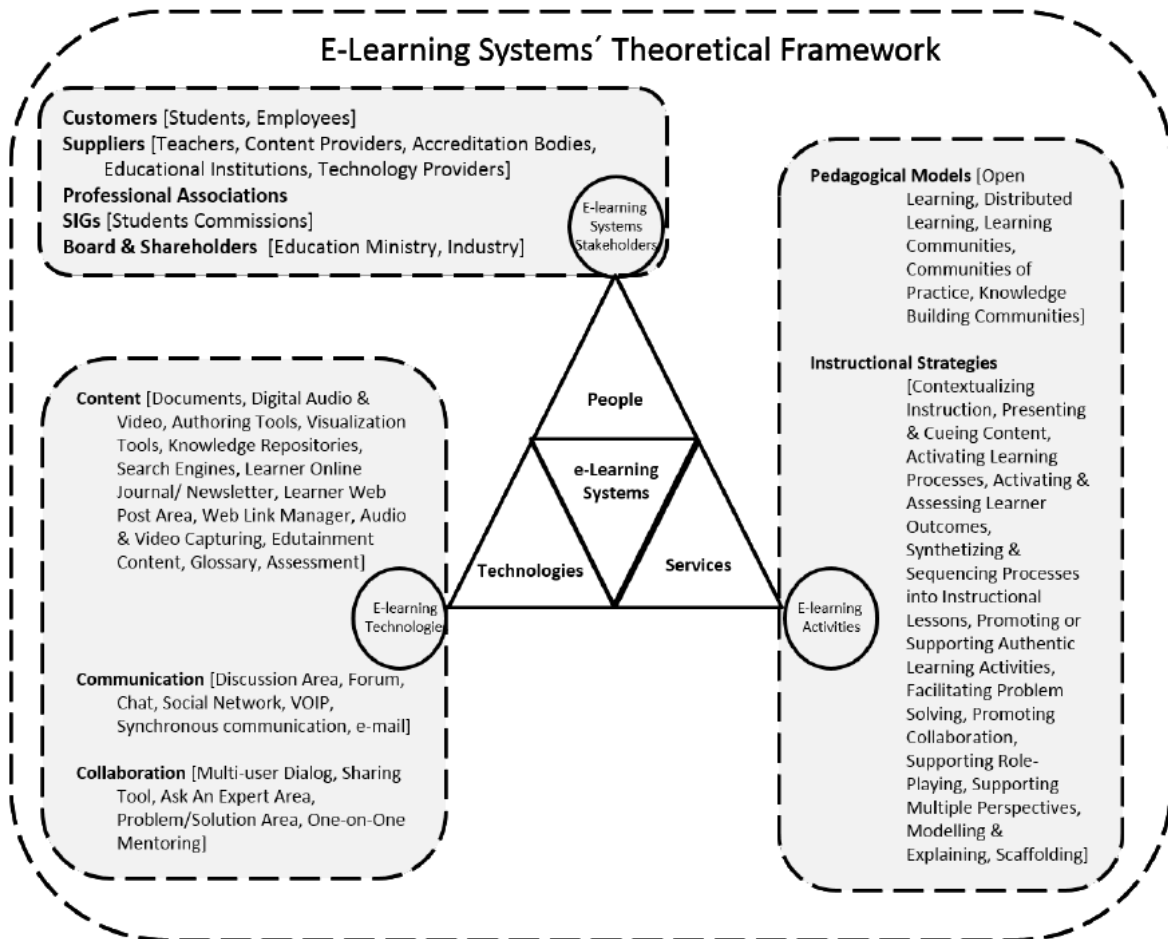


Abbildung 4 E-Learning Framework

Dieses soll die wichtigen Aspekte des E-Learning möglichst umfassend abbilden. Es soll bei zukünftigen Studien zu E-Learning hilfreich sein. Das Framework identifiziert bei E-Learning-Systemen die 3 Hauptkomponenten „People“, „Technologies“ und „Services“. Den Hauptkomponenten werden verschiedene Unterpunkte zugeordnet und mit möglichen Inhalten zu dieser Kategorie präsentiert. [5]

3.1.2 Angepasste Gruppierung der E-Learning Bestandteile

Anhand dieses E-Learning Frameworks von Manuela Aparicio Et al. werden die E-Learning Bestandteile für die weitere Analyse in folgender Tabelle gruppiert:

Lernformate, Aktivitäten, Pädagogische Modelle	Inhalte	Kommunikation	Kollaboration
Learning by Distributing	Dokumente	Synchrone, Direkte Kommunikation	Multi-User-Dialog
Learning by Interacting	Audio und Video	Diskussionsbereiche, Foren	Inhalte teilen Werkzeuge
Learning by Collaborating	Editoren/Autoren-Tools	Chat	Problem / Lösung-Bereich
Blended Learning	Visualisierungen (z.B. mit Bildern, GIFs oder via Tools)	Soziale Netzwerke	Experten-Fragebereich
Gamification	Wissensdatenbanken	VIOP	1 zu 1 Betreuung / Unterstützung
Micro-Learning	Posts und Blogs	E-Mail	Echtzeit Multiplayer
Rapid e-Learning	Suchmaschinen		
Pesonalized Learning	Unterhaltungsinhalte		
Continuous Learning			
Knowledge management			
Work-based learning			

Tabelle 1 E-Learning Bestandteile

Die Tabelle ist nicht abschliessend und kann um weitere Bestandteile oder Inhalte ergänzt werden. Sie sollte jedoch anhand der Recherche-Quellen die wichtigsten Bestandteile beinhalten und eine gute Basis für die nachfolgende Auswertung bieten. Es wurde darauf geachtet, dass die Tabelle ein möglichst breites Spektrum abdeckt.

Das Ziel dieser angepassten Gruppierung ist es, das Framework auf die relevanten Punkte im VR E-Learning zu reduzieren und um die zusätzlich identifizierten E-Learning Konzepte zu ergänzen. Die Bestandteile der Tabelle kommen dabei aus dem Framework selbst, sowie aus den weiteren, in [Kapitel 3.1.1](#) erwähnten Quellen und beziehen sich immer auf das E-Learning. Lernformate, Instruktionsstrategien und pädagogische Modelle wurden dabei in der ersten Spalte zusammengefasst. Bei der Kollaboration wurde zusätzlich „Echtzeit Multiplayer“ als Form ergänzt. Diese beschreibt, dass mehrere Anwender in Echtzeit, gleichzeitig im virtuellen Raum miteinander interagieren und sich beispielsweise durch Avatare sehen. Die Gruppe „People“ des E-Learning Frameworks wird im Rahmen dieser Arbeit nicht betrachtet und ist nicht in der Tabelle vorhanden.

Im [Kapitel 3.1.3 Häufige Einsatzbereiche](#) ist jedoch eine Auswertung, in welcher VR am häufigsten für E-Learning Zwecke eingesetzt wird. So kann besser abgeschätzt werden, für welche Zielgruppen VR bereits effizient eingesetzt wird.

3.1.3 Häufige Einsatzbereiche

In diesem Kapitel werden die aktuellen Einsatzbereiche von VR für Lernzwecke untersucht. Interessant ist dabei insbesondere, ob VR bereits in Applikationen für Raumkonfigurationen oder in BIM-Verwandten Bereichen eingesetzt wird.

Eine Auswertung zeigt, dass VR-Applikationen für Lernzwecke in den verschiedensten Einsatzbereichen vorkommen. Es wurde festgestellt, dass Applikationen in den Bereichen „Space“, „Nature“, „History“ und „Medicine“ am meisten verbreitet sind. Der Bereich „Architecture“ befindet sich ebenfalls im vorderen Drittel bezogen auf die vorhandenen VR-Anwendungen, während in den Bereichen „Psychology“, „Sociology“ und „Engineering“ eher wenig Applikationen gefunden werden. [7]

Eine Suche nach VR-Anwendungen für Lernzwecke im Steam Shop und nach Studien bei Scopus.com bestätigen den Eindruck, dass E-Learning mittels VR bereits in diversen Bildungsfelder eingesetzt wird.

Konkrete Beispiele für den aktuellen VR-Einsatz in Bildung- und im Trainingsbereich sind etwa folgende:

- Die Deutsche Bahn schult ihre Zugbegleiter in der Bedienung der Rollstuhlhebevorrichtung mit VR. Der komplexe Vorgang kann mit VR beliebig oft trainiert werden, da keine echten Züge notwendig sind, wodurch Kosten gespart werden. [1:211]
- Die amerikanische Supermarktkette Walmart trainiert die Mitarbeitenden mit VR. Zum Beispiel für die korrekte Bestückung der Regale. [1:211]
- Die Firma Horizon nutzt VR um die Mitarbeitende auf gefährliche Situationen wie bewaffnete Überfälle vorzubereiten. [1:211]
- Eine Rennwagen-Mechanik Simulation erlaubt es den Anwender einen Motor zusammenzubauen. Ein virtuelles Labor simuliert ein echtes Labor. Die detailgetreue 3D-Darstellung der Komponenten ist dabei sehr hilfreich für das Verständnis wie solche Motoren zusammengesetzt werden. [7]
- Eine weitere Applikation versetzt die Lernenden mittels VR direkt an den Ort des Geschehens. Ein dokumentarischer Ansatz mit Visualisierung eines Staudamms und des Kraftwerks soll den Lernenden dann beibringen wie Turbinen funktionieren. [7]

Zusammengefasst lässt sich sagen, dass VR bereits in verschiedensten Felder für Lern- und Trainingszwecke eingesetzt wird. Es lassen sich sehr viele Studien mit Forschungsergebnissen zu den unterschiedlichsten Einsatzbereichen finden. Eine detaillierte Analyse und Auswertung dieser themenspezifischen Studien würden jedoch den Rahmen dieser Arbeit sprengen.

3.1.4 Vorteile von VR E-Learning

Nachfolgend wurden die Vorteile von VR im E-Learning-Bereich genauer untersucht. Die Suche nach aktuellen Studien mit universellen Aussagen über den Erfolg oder die Vorteile von VR-Anwendungen im E-Learning-Bereich gegenüber klassischen E-Learning-Anwendungen gestaltete sich als schwierig. Viele Studien sind sehr spezifisch und untersuchen die Vorteile in

genau einem Lern- oder Trainingsbereich mit VR-Einsatz, oft auch im Zusammenhang mit einer entwickelten VR-Applikation.

Nachfolgend werden jedoch die Vorteile aus drei aktuellen Dokumenten zu diesem Thema etwas genauer erläutert:

- Kapitel „Lernen mit Virtual Reality: Chancen und Möglichkeiten der digitalen Aus- und Fortbildung“ aus einem Springer-Book [1] – Nachfolgend bezeichnet als VL1
- Artikel „Design and Application Research of VR/AR Teaching Experience System.“ [6] – Nachfolgend bezeichnet als VL2
- Studie „A Review of the Virtual Reality Applications in Education and Training.“ [7] – Nachfolgend bezeichnet als VL3

Diese Dokumente beschreiben die Vorteile von VR im Lern- und Trainingseinsatz. Sie wurden ausgewählt, weil sie allesamt im Jahr 2019 veröffentlicht wurden und entsprechend sehr aktuell sind. Die drei Dokumente führen durch verschiedene Sichtweisen zu unterschiedlichen Vorteilen. Sie kommen auch aus unterschiedlichen Regionen, so stammt VL1 aus Deutschland, VL2 aus China und VL3 aus Tschechien. Da sie alle sehr aktuell sind, sollen die Vorteile gut miteinander verglichen und gruppiert werden können.

3.1.4.1 Literaturstudien

Studie Vorteil E-Learning 1 (VL1):

Es heisst, VR-Lernumgebungen können sinnvoll zum Einsatz kommen, wenn ein praxisorientiertes Training von Prozessen, Anwendungen oder Verhaltensweisen gefragt ist.

Learning mit VR-Lernumgebungen soll dabei unter anderem folgende Vorteile bringen:

- Realitätsgetreue Demonstration von Objekten
- Direktes Training am Objekt
- Trainings von Situationen und Verhaltensweisen
- Das hohe Mass der Anwendbarkeit verringert die notwendige Transferleistung des Wissens
- E-Learning wird um den Faktor des anwendungsorientierten Trainings erweitert
- Risikominimierung bei gefährlichen Situationen
- Zeit- und Kostenersparnisse
- Echtzeit-Interaktion
- Taktils und auditives Just-In-Time-Feedback
- Fördert immersives Lernen, was sich positiv auf den Lernerfolg auswirken soll
- Mehr Spass am Lernen, höhere Motivation
- Multimediale Zusatzinhalte lassen sich einbinden
- Kollaboratives Lernen wird unterstützt
- Lernende können in VR-Trainingswelten ihr Tempo selbst bestimmen um einen individuellen Lernerfolg zu erzielen und Lernende sind mehr im Mittelpunkt der Lernerfahrung

[1:213-222]

Studie Vorteil E-Learning 2 (VL2):

Baiqiang Gan spricht von 3 Hauptvorteilen beim Lernen und Unterrichten mit VR: Immersion, Interaktivität und Fantasie.

Das Lernen in der virtuellen Realität könnte so die Probleme des traditionellen Unterrichts kompensieren, was mit dem Computer alleine noch nicht der Fall war. Probleme des traditionellen Unterrichtes seien fehlende Interaktion im Lernprozess, fehlende praktische Anwendung und fehlender Kontext um die Lerninhalte. Die Kreativität der Lernenden würde nicht gefördert und mit den aktuellen Lernumgebungen können die Anforderungen von echten Arbeiten nur schwer erfüllt werden.

Durch die Immersion würden die externen Störeinflüsse beim Lernen verringert und die Lernenden können besser in die Lernumgebung eintauchen und sich mit dieser identifizieren. Interaktivität heisst, dass die Lernenden mit ihrem Körper (Hände, Kopf, Augen, Sprache...) Einfluss auf das vorgegebene System nehmen können. Die Fantasie würde durch VR angeregt, was schlussendlich das Verständnis für die Lerninhalte verbessert und das kreative Denken der Lernenden anregt. Interessant ist dabei auch, dass Baiqiang Gan im Bereich des Learning mit AR 3 andere Hauptvorteile ausmacht: Offenheit, Intuition (engl. „intuitive“) und Überlagerung (engl. „Superposition“) [6]

Studie Vorteil E-Learning 3 (VL3):

Diese Studie sagt, dass VR für die Lehrpersonen eine Ergänzung darstellt. VR soll es ermöglichen, die Lernkurven der Studierenden durch immersive Erlebnisse und Spass zu verbessern. Folgende Hauptvorteile bringt VR daher für die Hochschulbildung:

- Visuelles Lernen – Mechanismen in 3D zu präsentieren kann für das Verständnis von „wie etwas funktioniert“ sehr nützlich sein
- Präsenzgefühl – Lernende fühlen sich in den virtuellen Umgebungen mehr „präsent“ als wenn sie nur Texte lesen
- Virtuelle Labore – Experimente können in virtuellen Laboren durchgeführt werden. Echte Labore sind teuer und können selten oft von Lernenden besucht werden.
- Learning by doing – Dinge können im virtuellen Raum direkt ausprobiert werden, anstelle dass nebst dem Unterricht nur Texte gelesen werden

Zusammengefasst kommt sie zum Schluss, dass VR Technologien in der Bildung folgende Vorteile bringen: Mehr Kontrolle für den Lernenden, grosser Praxisbezug, Gefahren sind nicht mehr vorhanden. [7:3]

3.1.4.2 Zusammenfassung

Die Vorteile der Studien VL1, VL2 und VL3 können miteinander verglichen werden und lassen sich zusammenfassen. In Klammern wird angegeben, in welchen der oben dokumentierten Studien der Vorteil als solcher identifiziert werden konnte:

- Der Praxisbezug ist grösser (VL1, VL2 und VL3), dazu zählen auch das Training am Objekt und das Präsenzgefühl
- Alle sprechen von einem Vorteil bei der Interaktion (VL1, VL2 und VL3 über „Mehr Kontrolle beim Lernen“).
- Learning by Doing (VL3, und bei VL1 „Trainings von Situationen und Verhaltensweisen“, „hohes Mass der Anwendbarkeit“ und „Faktor des anwendungsorientierten Trainings“)
- Realitätsgetreue Darstellung (VL1 und VL3 über „Visuelles Lernen“)
- Verbesserte Immersion (VL1 und VL2)
- Risikominimierung (VL1 und VL3)
- Spassfaktor (VL1 und VL3)
- Kostenersparnisse (VL1 und VL3)

Es gibt auch Vorteile, welche nicht in mehreren Studien vorkommen und nur einmal in VL1, VL2 oder VL3 erwähnt werden. Alle Vorteile aus diesen Studien werden in der folgenden Tabelle zusammengefasst gewichtet:

Kürzel	Vorteil gegenüber klassischem (E-)Learning	Allgemeine Gewichtung			Einschätzung der Relevanz für den Projekt-Use Case
		Vork.	Pers.	MW	
PB	Praxisbezug	3	2	2.5	Mittelhoch (Raumpräsenz hilft, kann jedoch theoretisch auch so in den Räumen schon geübt werden)
IA	Interaktion	3	2	2.5	Hoch (Beim Gestalten des Raums und beim Erlernen bestimmter Verhaltensweise oder Interaktionsformen während der Moderation)
LD	Learning by doing	2	3	2.5	Mittelhoch (man kann es auch sonst üben, macht es in den Räumen aber vielleicht weniger)
RD	Realitätsgetreue Darstellung (und Darstellung auch von unsichtbaren Sachverhalten)	2	3	2.5	Hoch od. mittelhoch (Darstellung des Raums, kommt darauf an ob die Darstellung realitätsgetreu sein muss)
IM	Immersion verbunden mit der Reduktion äusserer Störeinflüsse	2	2	2	Hoch (Vorstellen der Meetings)
RM	Risikominimierung beim Lernen in gefährlichen Situationen	2	3	2.5	Niedrig (Kein Risiko wird umgangen)
SM	Mehr Spass und Motivation	2	2	2	Niedrig (Ernste Umgebung)
KS	Kostensparnisse	2	2	2	Mittelhoch (Mobiliarkosten, evtl. vorgängige Ermittlung)
ZS	Zeitersparnisse	1	1	1	Hoch (Raum umgestalten kann schneller gehen, Annahme: Zeitdruck)
FB	Just-In-Time-Feedback für Lernende	1	2	1.5	Hoch (BIM-Manger brauchen und wollen Feedback)
FA	Fantasie wird angeregt	1	1	1	Mittelhoch (bei der Raumgestaltung evtl. wichtig)
KO	Kollaboration wird unterstützt	1	1	1	Mittelhoch (Es wäre vorteilhaft, wenn BIM-Manger die Raumkonfigurationen gemeinsam besprechen könnten)
MI	Zusätzliche Multimediale Inhalte lassen sich einbinden	1	2	1.5	Mittelhoch (Möglichkeit für Erklärvideos zum Verhalten im Raum, der Moderation oder Best Practices z.B. für die Einrichtung der Räume mit bestimmten Gegenständen, eine Wissens-DB Anbindung etc.)
IV	Individuell steuerbares Trainingstempo, Lernende sind als Individuum mehr im Mittelpunkt	1	2	1.5	Hoch od. mittelhoch (BIM-Manager können ihre Zeit selbst einteilen und haben sicheren Zugang um selbst nach ihrem Empfinden jederzeit die Räume anzupassen).

Tabelle 2 Gruppierte und gewichtete Vorteile von VR im E-Learning

Die Gewichtung setzt sich aus dem Vorkommen in den oben analysierten Studien und der persönlichen Einschätzung zusammen. Bei der persönlichen Einschätzung steht ein höherer Wert für eine höhere Wichtigkeit des Vorteils. Die Skala geht dabei auch von 1 (geringe Wichtigkeit) bis zu 3 (Sehr hohe Wichtigkeit). Die persönliche Einschätzung wurde ergänzend eingesetzt, da die Summe der Vorkommnisse von drei Studien als nicht ausreichend für eine sinnvolle Gewichtung erachtet wurde. Sie kommt mehrheitlich aus den eigenen Erfahrungen zustande. In der letzten Spalte wird die Relevanz der Vorteile für die BIM-Workshop-Problematik eingeschätzt.

3.1.5 Schlussfolgerungen

In diesem Unterkapitel werden die [in Kapitel 3.1.2 festgehaltenen E-Learning Bestandteile](#) in Bezug auf die Eignung mit VR untersucht. Dabei sollen die richtigen Schlüsse gezogen werden, um die Frage zu beantworten welche E-Learning Arten sich für VR-Anwendungen eignen.

Für die Auswertung der Lernformate wurde dabei eine Auswertungsmatrix erstellt. Die Bestandteile aus den Gruppen „Inhalte“, „Kommunikation“ und „Kollaboration“ werden in einzelnen Kapiteln textlich durch die Autoren dieses Berichts beurteilt.

3.1.5.1 Auswertung Lernformate

Die Auswertungsmatrix der Lernformate setzt sich wie folgt zusammen:

Die oberste Zeile besteht aus den 5 wichtigsten Vorteilen von VR im E-Learning gemäss dem Mittelwert der Gewichtung in der [Tabelle in Kapitel 3.1.4.2](#). Die weiteren Zeilen stehen für die Lernformate der [Tabelle in Kapitel 3.1.2](#). Danach werden alle Lernformate mit diesen 5 wichtigsten Vorteilen verglichen (Bewertung gemäss dem Text in der Legende) und entsprechend auf der Tabelle der folgenden Seite bewertet.

Wichtigste Vorteile	PB	IA	LD	RD	RM	Mittelwert
Lernformate						
Learning by Distributing	3	1	3	3	2	2.4
Learning by Interacting	5	5	5	3	5	4.6
Learning by Collaboration	2	5	2	1	1	2.2
Blended Learning	4	5	5	4	1	3.8
Gamification	1	3	3	1	1	1.8
Micro-Learning	3	3	4	3	3	3.2
Rapid E-Learning	3	3	3	1	3	2.6
Personalized Learning	3	3	3	3	3	3
Continuous Learning	4	4	5	3	4	4
Knowledge Management	2	1	5	2	3	2.6
Work-based learning	5	4	5	4	5	4.6

Legende

Vorteil mit VR zu Lernformat...

1 = ...hat nichts damit zu tun / ... ist dabei sehr unwichtig

2 = ... hat wenig damit zu tun / ... ist dabei unwichtig

3 = ...profitiert nicht besonders davon

4 = ...wird damit gefördert

5 = ...ist genau was es braucht

Tabelle 3 Auswertung der Lernformate im Allgemeinen

Die Tabelle zeigt unter anderem folgendes:

Learning by Distributing (also ein Verteilen von Informationen an die Lernenden) bringt keine grossen Vorteile mit VR.

Learning by Interacting ist ein E-Learning Konzept, welches ganz klar von den Vorteilen mittels VR profitiert. Dies ist offensichtlich, da viele der Quellen über die Vorteile die neuen Möglichkeiten der Interaktion in der virtuellen Realität als direkten Vorteil sehen und angenommen wird, dass bei dieser durch die neuen realistischen Interaktionsmöglichkeiten auch der Praxisbezug steigt.

Learning by Collaboration schneidet schlecht ab, obwohl die Zusammenarbeit vermutlich stark von neuen, gemeinsamen Interaktionsformen mit VR profitieren könnte. Ebenfalls ist die Kollaboration [gemäß einem in Kapitel 3.1.4.1 zitierten Bericht](#) ein direkter Vorteil in der virtuellen Realität. Zu vielen wichtigen Vorteilen trägt die Lernform allerdings nichts Zusätzliches bei.

Blended Learning bietet sich ebenfalls im Zusammenspiel mit E-Learning an, da so insbesondere der Praxisbezug nebst den Theorielektionen im Präsenzunterricht mit einem Trainer kollaborativ in VR trainiert werden kann und Dinge ausprobiert werden können. Dies sollte den Unterricht besonders gut ergänzen. Ein Bericht spricht in diesem Zusammenhang davon, dass sich Blended Learning ausgesprochen gut für VR Lernumgebungen eignet [1:222].

Das schlechte Abschneiden von Gamification überrascht. Die ausgewählten Hauptvorteile zielen jedoch mehr auf ernsthafte Lernumgebungen oder virtuelle Welten ab. Falls der Spass, die Motivation, Immersion oder die angeregte Fantasie als Hauptvorteile ausgewählt würden, würde

Gamification als E-Learning Konzept deutlich besser abschneiden. In einem solchen Fall eignet sich Gamification gut für VR. Interaktion, Immersion und Multimedia sind beispielsweise wichtig für das Storytelling, welches auch als Teil von Gamification gelten kann [15] und so mit VR besonders gut gefördert werden könnte.

Für das Micro- und Rapid E-Learning konnten zu den 5 festgelegten Hauptvorteilen keine besonderen Vorteile durch VR-Lernumgebungen identifiziert werden. Bei anders gewählten Hauptvorteilen, wären jedoch Vorteile dieser Lernformen denkbar. Zum Beispiel Rapid E-Learning könnte kombiniert mit anderen Formen wie Gamification dazu führen, dass Lernende intensiver und somit in einer kürzeren Zeitperiode Kurse absolvieren. Auch würden die Lernenden vermutlich wieder stark von den verbesserten Feedbackmöglichkeiten mit VR profitieren.

Für das Personalized Learning konnten keine besonderen Vorteile mit VR identifiziert werden.

Continuous Learning könnte ebenfalls von einem praktischen Training und der Interaktion sowie Risikominimierung mittels VR profitieren, da die täglich neuen Herausforderungen vermutlich besser trainiert werden könnten. Beim Continuous Learning stellt sich allerdings die Frage, wie eine solche Anwendung in der Praxis aussehen würde, da es schwierig wird die ständigen Änderungen in der (Lern-)Umgebung abzubilden und das VR System auch schnell bereitstehen muss.

Knowledge Management eignet sich mit den festgelegten Vorteilen nicht. Die Annahme ist, dass solche Konzepte nichts mit den neuen Interaktionsformen von VR anfangen können. Eine weitere denkbare Annahme wäre jedoch, dass solche VR-Systeme sehr nützlich sein können, um das Learning-by-Doing Verhalten zu analysieren und dann beispielsweise anderes oder effektiveres Feedback sammeln und geben zu könnten.

Work-based Learning würde gemäss der Auswertung ebenfalls sehr stark von VR profitieren. Die Frage ist hier allerdings, ob Learning mittels VR einen tatsächlichen Ersatz für die arbeitsbasierten Lernprogramme oder Praktikums sein kann. Falls nicht, stellt sich die Frage wie eine VR-Applikation Teile vom Work-Based Learning verbessern kann. Vermutlich lässt es sich sinnvoll als Ergänzung einsetzen.

3.1.5.2 Projektspezifische Auswertung der Lernformate

Nachfolgend die bekannte Auswertungsmatrix für die Lernformate, jetzt aber auf den Use-Case des Projekts bezogen. Entsprechend wurden die 5 Hauptvorteile gemäss der Einschätzung für die BIM Workshop-Relevanz ausgewählt. IM, ZS und FB ersetzen PB, LD und RM.

Wichtigste Vorteile	IA	RD	IM	ZS	FB	Mittelwert
Lernformate						
Learning by Distributing	1	3	1	1	1	1.4
Learning by Interacting	5	3	3	1	5	3.4
Learning by Collaboration	5	1	4	5	3	3.6
Blended Learning	5	4	3	1	4	3.4
Gamification	3	1	5	1	4	2.8
Micro-Learning	3	3	1	5	4	3.2
Rapid E-Learning	3	1	3	5	5	3.4
Personalized Learning	3	3	4	3	5	3.6
Continuous Learning	4	3	2	3	4	3.2
Knowledge Management	1	2	1	1	4	1.8
Work-based learning	4	4	4	1	3	3.2

Legende

Vorteil mit VR zu Lernformat...

1 = ...hat nichts damit zu tun / ... ist dabei sehr unwichtig

2 = ... hat wenig damit zu tun / ... ist dabei unwichtig

3 = ...profitiert nicht besonders davon

4 = ...wird damit gefördert

5 = ...ist genau was es braucht

Tabelle 4 Projektspezifische Auswertung der Lernformate

Bei der projektspezifischen Auswertung für die BIM Workshop VR Simulationen gibt es deutliche Unterschiede. Learning by Collaboration schneidet mit den neu gewählten Hauptvorteilen wegen der Möglichkeit der Zeitersparnis und dem Wegfallen der Risikominimierung und Praxisbezug deutlich besser ab und liegt als Konzept sogar vor Learning by Interacting. Ebenso schneidet Personalized Learning sehr gut ab, wegen dem Vorteil, dass der Benutzer mittels VR, besseres und direktes Feedback erhalten kann.

3.1.5.3 Inhalte

Als besonders geeignete Inhalte, welche einen zusätzlichen Vorteil für VR E-Learning Konzepte bringen, wurden folgende eingestuft:

- Visualisierungen
- Wissensdatenbanken
- Unterhaltungsinhalte

Sachverhalte und Inhalten lassen mit VR besonders gut visualisieren, da 3D-Modelle rund um den Avatar der Lernenden eingesetzt werden können und die Lernenden die Umgebung in 360

Grad erfassen können. Dies wird als Vorteil gegenüber Visualisierungen mit GIFs oder reinen Bildern gewertet.

Wissensdatenbanken können ebenfalls sinnvoller sein, da Wissen auf Basis der Aktionen und Interaktionen in den VR-Umgebungen generiert werden kann oder situationsbedingt abgerufen wird. Das Wissen kann dann auch in den verschiedenen Situationen wieder abgefragt und in der Applikation eingesetzt werden.

Unterhaltungsinhalte können wegen der Immersion und der angeregten Fantasie in der virtuellen Realität besser zur Geltung kommen.

3.1.5.4 Kommunikation

Als besonders geeignete Kommunikationsmittel, welche einen zusätzlichen Vorteil für VR E-Learning Konzepte bringen, wurden folgende eingestuft:

- Synchrone, direkte Kommunikation
- VIOP

Beide Systeme können am besten eingesetzt werden um die Kollaboration in VR-Anwendungen zu fördern.

3.1.5.5 Kollaboration

Als besonders geeignete Kollaborationsmittel, welche einen zusätzlichen Vorteil für VR E-Learning Konzepte bringen, wurden folgende eingestuft:

- Multi-User-Dialog
- Inhalte teilen Werkzeuge
- Problem- / Lösungsbereich
- 1 zu 1 Betreuung
- Echtzeit Multiplayer

Alle Systeme können auf einer neuen Ebene in VR-Anwendungen die Kollaboration fördern.

Multi-User Dialoge bieten sich für die Kommunikation verschiedener Lernenden oder beispielsweise zwischen Lernenden und Experten in der VR-Umgebung an.

Inhalte könnten gut zwischen verschiedenen VR-Umgebungen geteilt werden. So könnten die Lernenden andere Inhalte erkunden und zu diesem Feedback geben.

Problemlösungsbereiche bieten sich wegen den guten Visualisierungs- und Interaktionsmöglichkeiten mittels VR besonders an. Lösungen könnten ohne Risiko auch direkt selbst in der VR-Lernumgebung ausprobiert werden.

1 zu 1 Betreuung würden ebenfalls von einer gemeinsamen Interaktion und der Möglichkeit für Experten, Verhalten zu analysieren und Feedback in der VR-Umgebung zu geben, profitieren. Experten könnten auch die VR-Umgebung mitgestalten und diese für die Lernenden je nach Wissenstand anpassen.

Die gemeinsame Kollaboration in Echtzeit, wie sie oft in Multiplayer-Spielen vorhanden ist, wird als sehr vielversprechend eingeschätzt. Durch die gegenseitige Visualisierung der Avatare kann im virtuellen Raum ähnlich wie in der Realität zusammengearbeitet werden, jedoch mit den Vorteilen von VR. So könnten beispielsweise Risikosituationen zu zweit bedenkenlos trainiert werden oder gemeinsame Interaktion an einem 3D-Modell eines Hauses wäre möglich, obwohl sich die Personen in der Realität an einem anderen Ort befinden. Die populäre Applikation

„VRChat“ (<https://store.steampowered.com/app/438100/VRChat/>) kann ebenfalls als Beispiel dienen, wie eine solche Multiplayer-Kollaboration mit VR gefördert wird.

3.2 Effektives E-Learning in VR Anwendungen

Die Resultate zur Effektivität vom VR-basierten Lernen sind unterschiedlich und es ist anzunehmen, dass VR nicht bei allen Lernarten einen Mehrwert bietet. Des Weiteren wird vermutet, dass individuelle Unterschiede der Lernenden zu unterschiedlichen Eignungen und zu unterschiedlichen Resultaten führen. In den letzten Jahren lag der Fokus auf der Rolle von unterschiedlichen Lerncharakteristiken und die Wichtigkeit der persönlichen Unterschiede wurde deutlich. [8:49-50]

3.2.1 Einfluss auf das räumliche Vorstellungsvermögen

Eine Studie aus dem Jahr 2014 untersucht, ob VR-basiertes Lernen im Biologieunterricht gegenüber dem traditionellen Lernen im Klassenzimmer mit Powerpoint-Slides effektiver war. Das Ergebnis zeigt ein messbar besseres Abschneiden der Lernenden welche VR verwendet haben. Interessant ist jedoch auch das zweite Ergebnis der Studie. Sie kommt zum Schluss, dass Lernende mit einem schwachen räumlichen Vorstellungsvermögen besonders vom Lernen mit VR profitieren. Als besondere Vorteile vom Lernen mit VR für die Effektivität haben sie folgendes ausgemacht:

- Die menschliche Aufnahmefähigkeit war beim Lernen in der virtuellen Realität besser, da weniger auf die Instruktionen und die Informationen um das eigentliche Lernen geachtet werden musste und die Last unnötiger Informationen reduziert wurde.
- Die Möglichkeit für die Lernenden in der dynamischen Lernumgebung direkt zu interagieren hilft beim Lernen und aktiven Verarbeiten der Inhalte.
- Informationen werden gegenüber PowerPoint-Folien nicht aufgeteilt, weil bei Folien der Platz limitiert ist. Das führt dazu, dass die Aufmerksamkeit weniger geteilt wird, es kann mehr auf einmal wahrgenommen werden („Split attention effect was reduced“). Insbesondere für Leute mit einem schwachen räumlichen Vorstellungsvermögen ist dies ein grosser Vorteil, weil diese die Umgebung ohne explizite 3D-Visualisierung nicht kompensieren können.

[8]

3.2.2 Art der VR-Anwendung

Eine weitere Studie hat die Effektivität von E-Learning-Instruktionen in der virtuellen Realität gemessen. Sie teilt VR-Anwendungen dabei in Simulationen, Games und virtuelle Welten ein.

- Simulationen sind interaktive Lernumgebungen, die möglichst exakt die Realität imitieren oder den Lernenden ermöglichen bestimmte Hypothesen zu überprüfen.
- Games – in diesem Kontext sind Lernspiele gemeint - sind eine andere Form der Simulation mit Elementen wie Zielen, die erreicht werden sollen, Belohnungen, Levels, erzählenden Geschichten und anderen. Sie zielen darauf ab, die Lernmotivation zu erhöhen.
- Virtuelle Welten sind im Gegensatz zu Simulationen offen für die Lernenden, um frei Inhalte oder Objekte zu erschaffen und hinzuzufügen. Es wird oft eine künstliche 3D-Welt

geschaffen, in der die Lernenden durch Avatare repräsentiert werden und miteinander kommunizieren können.

[3:30]

Sie kommen in der Studie zu folgendem Schluss: „In general, game-based learning environments were more effective than virtual worlds or simulations, with overall effect sizes that were roughly twice as large“ [3:36]. Reine Simulationen schneiden am schlechtesten ab. Als möglichen Grund geben sie an, dass die Lernenden deutlich mehr Zeit in Games oder virtuellen Welten verbringen. Dies weil in Games verschiedene Levels vorhanden sein können und virtuelle Welten den Lernenden mehr Flexibilität und Freiheit geben. [3:36]

Eine weitere Quelle teilt VR-Lernumgebungen in vier verschiedene Lernwelten ein:

1. Trainingswelten, in denen etwas trainiert werden soll (Training). Beispiele dafür sind: Die Flugsimulation, Schulung für Montageschritte bei Werksmitarbeitenden, Einhalten von Hygienevorschriften in der Pflege im Umgang mit Patienten
2. Explorationswelten, in denen etwas erkundet werden soll (Exploration). Beispiele dafür sind Anwendungen in Museen oder bei Ausstellungen um Dinge wie den Vulkanausbruch von Pompei direkt erlebbar zu machen.
3. Konstruktionswelten, in denen etwas konstruiert werden soll (Konstruktion). Beispiele sind Anwendungen in der Medizin, Chemie oder Biologie, um Reaktionen zu untersuchen.
4. Wahrnehmungswelten, in denen etwas nachempfunden werden soll (Wahrnehmung). Beispiele wären Anwendungen für eine Reise durch die Blutbahnen des Körpers oder für eine Reise auf die Mondlandschaft, um normalerweise nicht sichtbare Elemente sichtbar zu machen und so anzutrainieren.

[1:218]

3.2.3 Fazit

Falls VR dort eingesetzt wird, wo die Vorteile einer VR Lernumgebung gross sind und sich das E-Learning Konzept für VR eignet, ist davon auszugehen, dass das Learning damit effizient ist. Ausserdem ist es ein Vorteil, dass Personen mit einem schwachen räumlichen Vorstellungsvermögen zusätzlich profitieren.

Um VR-Anwendung als Lern- oder Trainingsplattformen effizient zu gestalten, sollten nicht nur reine Simulationen entwickelt werden. Gamification kann das Lernen mittels VR zusätzlich fördern, falls die Lernenden dadurch mehr Zeit in der Anwendung verbringen. Auch ist es ein grosser Vorteil, eine offene Lernwelt zu schaffen.

Das heisst, dass es sinnvoll ist für den Anwendungsfall dieses Projekts eine Lernwelt zu schaffen. Anders als der ehemalige Titel „BIM-Workshop VR Simulation“ der Projektausschreibung suggerierte, soll es eher eine „BIM-Workshop VR Welt“ sein. Gamification kann zwar theoretisch die Effektivität steigern, aber da die BIM-Manger kaum viel Zeit zur Verfügung haben können sie, auch wenn sie wollten, nicht zusätzliche Zeit in der Anwendung verbringen. Daher kann Gamification nur begrenzt eingesetzt werden, eventuell im Rahmen von Storytelling.

3.3 Intuitive Benutzung im virtuellen Raum

In diesem Kapitel werden verschiedene Methoden untersucht, welche sich insbesondere als Interaktionsformen im virtuellen Raum etabliert haben. Dazu werden einzelne Aspekte der Interaktion detailliert analysiert, um sich schliesslich für die geeignetste Methoden für das BIM-Projekt entscheiden zu können. Dabei ist auch eine Kombination oder Weiterentwicklung dieser Techniken nicht auszuschliessen.

Die Analyse unterscheidet die Aspekte **Navigation und Fortbewegung**, **Selektieren** von Objekten sowie das **Manipulieren** von Objekten im virtuellen Raum.

Nach jeder dieser Untersuchungen werden die gesammelten Informationen über die Vor- und Nachteile in tabellarischer Darstellung zusammengefasst. Wichtige Eigenschaften werden zusätzlich als einzelne Metriken behandelt. Diese werden gemäss Rechercharbeiten und eigenen Erfahrungen versucht in einer fünfstufigen Skala (Sehr gut, gut, mittel, schlecht, sehr schlecht) einzustufen, sodass ein besseres relatives Vergleichen zwischen den Techniken ermöglicht wird.

3.3.1 Navigation und Fortbewegung

In diesem Abschnitt wird untersucht, wie sich Benutzer mit einem möglichst hohen Grad an Orientierung durch den virtuellen Raum bewegen könnten, um ihr gewünschtes Ziel zu erreichen.

Es werden dabei verschiedene Steuerungstechniken näher untersucht, wobei sich die Methoden angesichts des Projektziels und dessen Zusammenhang mit dem BIM-Workshop eher auf eine Fortbewegung des Gehens fokussieren. Dabei wird zwischen zwei grundsätzlichen Möglichkeiten unterschieden: Das Gehen auf natürliche Weise, welches versucht möglichst realitätsnah zu sein und das Gehen durch unnatürliche Ansätze wie beispielsweise das Teleportieren an eine gewünschte Stelle.

3.3.1.1 Gehen durch unnatürliche Techniken

Einfache Steuerung mittels Controller

Die simpelste Fortbewegungsmethode bietet das Steuern mittels Controllertasten wie es in gängigen 2D Games bereits üblich ist. Vorzugsweise mit dem Navigationssteuerkreuz kann so im virtuellen Raum auf intuitive Weise in die gewünschte Richtung navigiert werden. Auch der Controller von HTC-Vive verfügt standardmässig über solche Buttons.

Diese Methode kämpft allerdings mit einigen Nachteilen. Zum einen ist durch das ständige Bewegen im Raum eine Hand immer an den Controller gebunden und so für andere Interaktionsmöglichkeiten verwehrt. Zum anderen hat die Untersuchung gezeigt, dass diese Fortbewegungsart, die eher einer Art Fahrzeugsteuerung naheliegt, das Problem von Cybersickness erheblich verstärkt. [16]

Point & Teleportation -Methode

Eine der zurzeit herkömmlichsten Techniken der Fortbewegung ist die Teleportation. Mit dem sogenannten Point & Teleportation-Methode visiert man mit dem Controller die gewünschte Stelle im Raum an, an welche man sich teleportieren möchte. Durch eine weitere Bestätigung gelangt

man dann augenblicklich an diese Stelle.

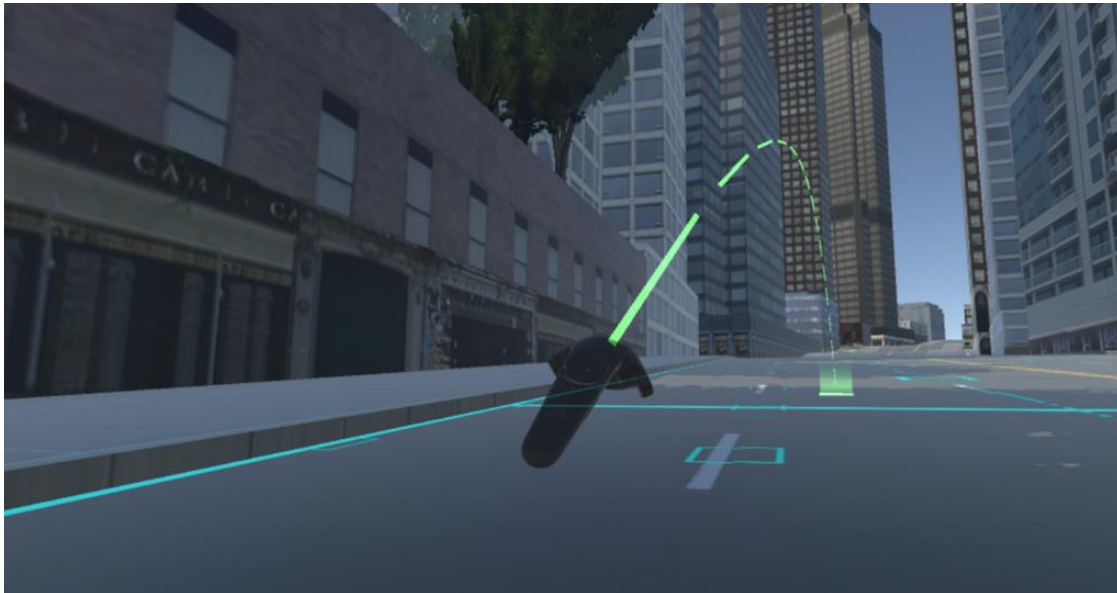


Abbildung 5: Screenshot beim Teleportieren <https://www.esri.com/arcgis-blog/products/3d-gis/3d-gis/gis2vr-from-cityengine-via-unity-to-htc-vive/>

Vorteil dieser Technik bietet die Tatsache, dass durch das Überspringen des zurückzulegenden Weges die Cybersickness weniger ausgeprägt zum Vorschein kommen wird. Allerdings hat die Technik auch den Nachteil, dass gerade durch diesen plötzlichen Positionswechsel der Orientierungssinn des Benutzers darunter leiden kann.

Das liegt insbesondere daran, dass sich bei einer Teleportation nur die Position im Raum bestimmen lässt, nicht aber die Ausrichtung des Benutzers. Jedoch besteht der Fortbewegungsprozess natürlicherweise aus zwei, zur gleichen Zeit ausgeführten, Vorgängen: die Verschiebung von A nach B und die Ausrichtung in der eigenen Achse. Bei der Teleportation dagegen verlaufen diese Vorgänge sequenziell. Dies führt dazu, dass sich der Benutzer nach jeder Teleportation in einem weiteren Schritt, noch ausrichten wird. In der Studie [17] werden Ansätze beschrieben, wie diesem Problem innerhalb einer Teleportationsaktion entgegengewirkt werden kann. Als Beispiel sei hier die „AngleSelect Teleportation“ (Abbildung 6) genannt. Hier



Abbildung 6: AngleSelect Teleportation [17]

kann gleichzeitig mit dem Positionswechsel, auch die Ausrichtung (roter Indikator), festgelegt werden. Bei solchen „Abhilfen“ muss allerdings beachtet werden, dass dadurch eine zusätzliche

Steuerungskomplexität berücksichtigt werden muss. Beispielsweise durch einen weiteren Bestätigungsknopf.

Eine kleine hilfreiche Weiterentwicklung der Teleportationstechnik ist das sogenannte Speed-Teleporting. Der einzige Unterschied zum normalen Teleporting ist, dass während des Teleportationvorgangs kein abrupter Ortswechsel mit schwarzem Bild geschieht, sondern der Benutzer auf sehr schnelle Weise, aber noch im wahrnehmbaren Bereich, an die gewünschte Stelle gelangt. [18]

3.3.1.2 Gehen auf natürliche Weise

Walking in Place

Die Idee dieser Fortbewegungstechnik ist es, dass der Benutzer an Ort und Stelle geht, ohne dabei wirklich einen Weg zurückzulegen. Diese Methode hat insbesondere den Vorteil, dass die Benutzer einen hohen Grad an subjektiver Empfindung im Raum erfahren. Gemäss [19] erhöht diese Technik das Präsenzgefühl im Raum gegenüber rein virtuellen Techniken, wie zum Beispiel der Teleportation.

Die Technik hat zudem den Vorteil, dass sie gegenüber Cybersickness weniger anfällig ist [16]. In dieser Untersuchung wurde gezeigt, dass Benutzer durch die Fortbewegung mit simulierten Möglichkeiten, wie z.B. mit einem Fahrzeug, anfälliger auf Desorientierung und Übelkeit waren, als wenn sie sich auf natürliche Weise fortbewegten.

Die benötigte Hardware für Walking in Place muss entsprechend die Bewegungen von Beinen und Armen erfassen können. Im Falle der HTC Vive wird eine solche Technik gegenwärtig nicht unterstützt. Bei dessen aktuellsten Version wird jedoch das Headset und die beiden Controller (neuerdings auch mit den einzelnen Fingern) erfasst.

Eine kleine Vereinfachung von Walking in Place trägt deshalb den Namen „Arm Swing“, bei der das Simulieren mit den Beinen wegfällt und somit einzig das Bewegen der Arme zur Fortbewegung ausreicht. Bei der HTC Vive sollte diese Methode also über die Controller umsetzbar sein.

Redirected Walking

Walking in Place prägt immer noch die unnatürliche bzw. störende Tatsache, dass man an Ort und Stelle die Laufbewegung durchführen muss, um sich fortzubewegen.

Room-Scaling-basierte Systeme, wie es beispielsweise die HTC-Vive umsetzt, bieten die Möglichkeit sich zumindest in einem kleinen Umkreis von maximal 2.5 x 2.5 Meter [20] auf reale Weise fortzubewegen. Allerdings stösst man nach diesen Grenzen wieder auf das gleiche Problem, da der reale Raum gegenüber der virtuellen Umgebung immer noch begrenzt ist.

Eine Möglichkeit dies zu umgehen bietet der Ansatz des „Redirected Walking“ [21]. Dahinter steckt die Idee, dass für den Benutzer in der virtuellen Welt eine Geradeaus-Fortbewegung wahrgenommen wird, während er in der realen Umgebung allerdings im Kreis gelaufen ist.

Die Technik ist bereits so ausgereift, dass der Benutzer diesen Trugschluss, ohne es wirklich wahrzunehmen durchführt. Allerdings hat die Untersuchung gezeigt, dass diese „nicht Erkennung“ des Redirected Walking ein physikalische Raumgrösse von mindestens 22 Metern haben sollte [22].

3.3.1.3 Vor-/Nachteile im relativen Vergleich zu Navigations-/Fortbewegungsmethoden

In folgender Tabelle werden die Vor- und Nachteile zu den einzelnen bisher ausgeführten Navigations- und Fortbewegungsmethoden zusammengefasst, sodass sie bestmöglich miteinander verglichen werden können:

<i>Name</i>	<i>Technik</i>	<i>Positiv</i>	<i>Negativ</i>	<i>Cybersickness</i>	<i>Effizienz Fortbewegung</i>	<i>Desorientierung</i>
<i>Einfache Steuerung mit Controller</i>	Steuerkreuz	Einfache Umsetzung.	Eine Hand besetzt durchgehend den Controller. Schlechte Ergebnisse betreffend Cybersickness.	Sehr schlecht	Gut	Sehr gut
<i>Point & Teleportation -Methode</i>	Teleportation	Augenblicklich an Ort und Stelle.	Sofortiger Positionswechsel verursacht Desorientierung.	Sehr gut	Sehr gut	Schlecht
<i>Point & Teleportation -Methode</i>	Teleportation mit Orientations-Indikation	Augenblicklich an Ort und Stelle.	Zwei Schritte für eine Fortbewegungsaktion.	Sehr gut	Gut	Mittel
<i>Point & Teleportation -Methode</i>	Speed-Teleportation	Augenblicklich an Ort und Stelle.	Sofortiger Positionswechsel verursacht Desorientierung, wenn auch weniger als ohne Speed-Teleportation.	Sehr gut	Sehr gut	Mittel
<i>Walking in Place</i>	Fortbewegung mit Armen und Beinen an Ort und Stelle simulieren	Langlaufartiges Schwingen ermöglicht sehr hohes Tempo der Fortbewegung. Natürliche und intuitive Methode.	Anstrengende.	Gut	Gut	Sehr gut
<i>Arm Swing</i>	Fortbewegung nur mit Armen an Ort und Stelle simulieren	Langlaufartiges Schwingen ermöglicht sehr hohes Tempo der Fortbewegung. Natürliche und intuitive Methode.		Gut	Gut	Sehr gut
<i>Redirected Walking</i>	Kreisförmiges Laufen im realen Raum	Sehr realitätsnah.	Benötigt viel Platz des realen Raums und Technologie muss vollständig mit Wireless unterstützt werden. Effizienz der Fortbewegung maximal dem realen Gehegang möglich.	Sehr gut	Mittel	Sehr gut

Tabelle 5 Vor-/Nachteile im relativen Vergleich zu Navigations-/Fortbewegungsmethoden

3.3.2 Selektieren von Objekten

In diesem Abschnitt wird das Selektieren von Objekten analysiert. Als Einstieg werden einige Charakteristiken untersucht, welche für die virtuelle Umgebung im Selektionsprozess von Bedeutung sein könnten. Anschliessend werden verschiedene Interaktionstechniken verglichen, die für die Umsetzung denkbare Kandidaten darstellen könnten.

3.3.2.1 Charakteristiken beim Selektieren

Visuelles Feedback beim Selektieren

Wichtig ist es, den Benutzer während der Selektierungswahl durch ein visuelles Feedback zu unterstützen. Möglichkeiten dazu könnten das farbliche Hervorheben des ausgewählten Objektes sein, oder in Form eines Zielpunktes (wie ein Cursor einer Maus), die auf dem Objekt dargestellt werden [24:226]. Ein solcher 3D-Mauszeiger in VR ist sozusagen das Ebenbild zum Mauszeiger auf dem 2D-Desktop und dient somit als Zeigegerät für virtuelle Objekte.

Treffsicherheit beim Selektieren

Das Selektieren lässt sich grob in nahe und entfernte Techniken unterscheiden.

Nahen Interaktionen haben den Vorteil, dass sie mit der alltäglichen Erfahrung vertraut sind und deshalb für die meisten Benutzer eine schnelle Eingewöhnungsphase für das Selektieren von Objekten darstellt [24:227]. Ausserdem stellt durch die kurze Distanz die Treffsicherheit das richtige Objekt auszuwählen gänzlich kein Problem dar.

Im virtuellen Raum werden aber die realen Grenzen gerne überschritten, weshalb es in VR auch beliebt ist, Objekte auf weite Distanz selektieren zu können. Weite Distanzen haben aber den Nachteil, dass die Treffsicherheit beim Selektionsprozess darunter leiden kann. Die Gesetze von Fitts zeigen gerade dieses Problem, welches sich auch im virtuellen Raum zeigen dürften [24:227-228]. *„Es besagt, dass die benötigte Zeit, um eine Zielfläche zu erreichen, eine Funktion der Distanz zu dieser Fläche und deren Größe ist. Erreichen bedeutet hier einen motorischen Akt, z. B. das Berühren einer Zielfläche mit dem Finger oder – wie in der Originalstudie von Fitts – mit einem Stift. Dabei zeigt sich ein speed-accuracy trade-off, d. h. es kostet mehr Zeit, das Ziel zu erreichen, je weiter entfernt und je kleiner die Zielfläche ist.“* [23]

3.3.2.2 Verschiedene Interaktionstechniken

Ray-Casting

Heute oft eingesetzt ist ein Selektions-Strahl der bildlich aus dem Zeigegerät „wächst“.

Virtuelle Objekte, die den Strahl schneiden sind potenzielle Kandidaten um dieses Auswählen zu können.

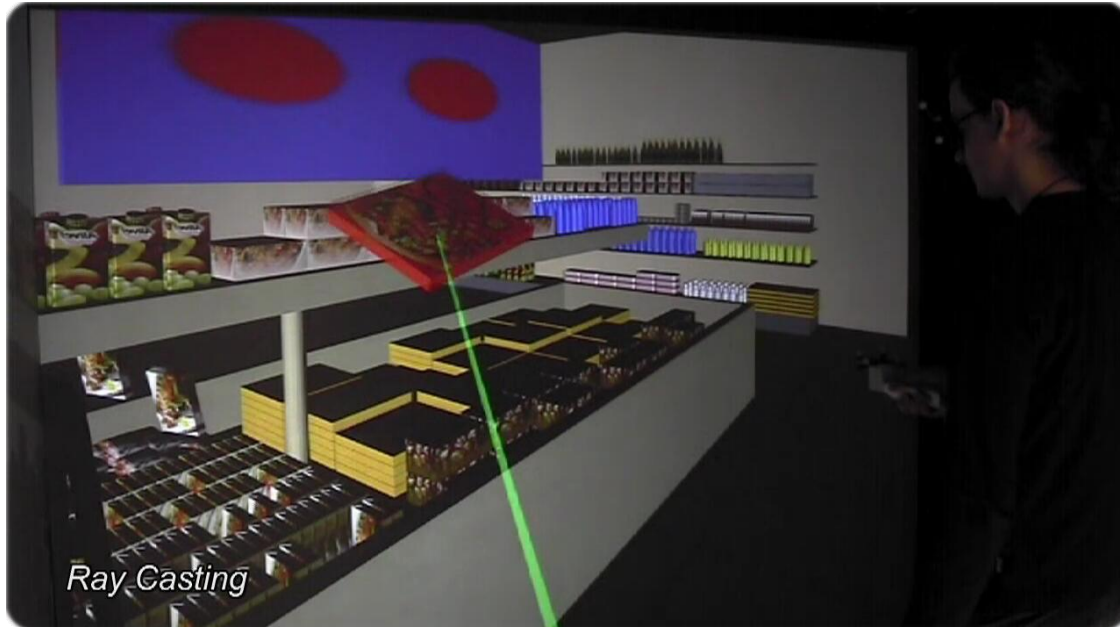


Abbildung 7: Screenshot beim Selektieren mit Ray Casting [25]

Mit dieser Technik können gewünschte Objekt selbst aus grosser Entfernung anvisiert bzw. selektiert werden. Die Methode ist insbesondere daher beliebt, da sie, in Anbetracht der entfernten Interaktionsmöglichkeiten, über eine hohe Präzisionsgenauigkeit verfügt.

Zu beachten ist hier aber, dass die Treffsicherheit mit zunehmender Distanz dennoch abnimmt, was im Abschnitt Treffsicherheit betreffend Fitts Law bereits erwähnt wurde [25]. Eine Abhilfe, welche dieser Technik nahe liegt, könnte die sogenannte Flashlight-Technik bieten (siehe Folgeabschnitt).

Flashlight-Technik

Im Gegensatz zum Ray-Casting, wird hier kein Strahl, sondern ein kegelförmiges Objekt aus dem Controller projiziert. Objekte die den Kegel schneiden werden als selektierbare Objekte hervorgehoben. Dabei ist die Idee, dass nur gerade das Objekte durch eine weitere Bestätigung endgültig selektiert wird, welches sich am nächsten zum Zentrum des Kegels befinden. Ist man sich betreffend Präzision während dem Selektionsprozess unsicher, hilft das Schrittweise annähernd an das Objekt, um die Menge der potentiell ausgewählten Objekte zu verfeinern. [26]

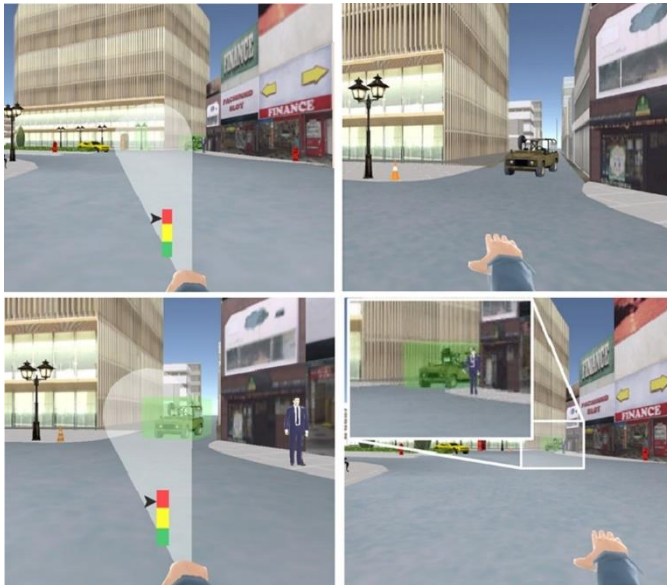


Abbildung 8 Screenshots bei eingesetzter Flashlight-Technik [26]

Stretch Go-Go

Bei dieser Methodik verfügt der Benutzer über eine VR-Hand, die der realen Hand weitgehend gleich ist. Streckt der Benutzer allerdings seinen Arm aus, wird die Hand im virtuellen Bereich auf einen unrealistisch weiten Bereich ausgedehnt bzw. bis sie am nächsten anvisierten Objekt zum Anliegen kommt. Ob sich das Objekt gerade vor dem Benutzer oder am anderen Ende des Raumes befindet, spielt dabei also keine Rolle mehr [27].

Um sich die Funktionsweise dieser Technik besser vorstellen zu können, kann sich Inspektor Gadget auf der rechten Abbildung als Vorbild zugezogen werden, welcher über die gleiche Fähigkeit verfügt.



Abbildung 9 Illustration zu Mr Gadget [24:229]

Diese Technik hat den Vorteil, dass sich Objekte sehr einfach und gut verschieben lassen. Allerdings verhält sie sich, wie die Ray-Casting-Methode, auf entfernte Distanzen zunehmend unpräziser [24:229].

Sticky-Ray-Methode

Ein interessanter Ansatz, um die Selektierung weiter zu vereinfachen bietet die Sticky-Ray-Technik.

Diese Methode gleicht der Ray-Casting-Technik insofern, als dass mittels des Strahls Objekte selektiert werden können. Um das Auswählen auf weite Distanzen allerdings betreffend Präzision zu verbessern, macht sich diese Technik gewissermassen das Kleben des Strahls an selektierbare Objekte zu nutzen. Anhand der folgenden Abbildung wird der Ablauf von links nach rechts beschrieben.

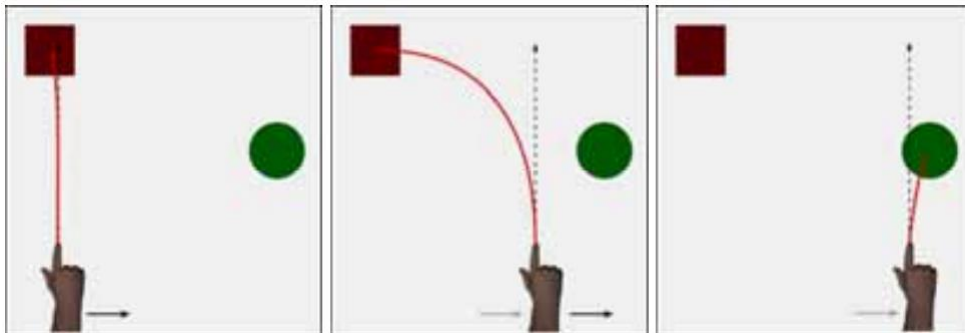


Abbildung 10 Technik der Sticky-Ray-Methode [28]

Links: Mit dem Strahl zeigt man zu Beginn auf das rote Quadrat, das als potenziell zu selektierendes Objekt gekennzeichnet wird. Mitte: Obwohl man sich nun von diesem Objekt mit dem Zeigegerät abwendet, bleibt der Strahl wie ein Magnet am Objekt haften, was weiterhin die Selektierung dessen indiziert. Rechts: Sobald man nun mit dem Zeigegerät im geraden Winkel das Runde selektierbare Objekt schneidet, wird der Strahl auf dieses Objekt ausgerichtet bzw. gehaftet [28].

Das Selektieren von Objekten benötigt somit deutlich weniger Präzisionsgefühl und eignet sich deshalb insbesondere für weniger erfahrene VR-Benutzer.

Dieses „haften bleiben“ könnte allerdings das Spielerlebnis beeinträchtigen, da man sich dadurch leicht ablenken oder es generell als störend empfunden werden könnte. Ein Einsatz dieser Methode scheint daher eher für Räumlichkeiten zu sein, in welchen sich weniger oder grössere Objekte befinden, um nicht ständig die Ausrichtungsänderung des Strahles wahrnehmen zu müssen. Dieser Modus kann natürlich ein- und ausgeschaltet werden, was aber ein zusätzliches Ein- und Ausschalten per Knopfdruck erfordert und daher gewöhnungsbedürftig ist.

World-In-Miniatur (WIM) Technik

Ein komplett anderer Ansatz der Selektion kann mit der World-In-Miniatur (WIM) Technik angegangen werden. Hier wird der gesamte Raum, in welchem sich der Benutzer gerade befindet, per Knopfdruck als Miniaturausgabe auf die eine Hand, oder einfach vor den Benutzer projiziert. Dadurch besteht die Möglichkeit, ein Objekt mit dem Zeigefinger der anderen Hand zu selektieren und zu verschieben.

Sofern diese Methode angesichts des harten (Spiel-)Unterbruchs für das Gesamtkonzept kein störender Faktor darstellt, kann sie mit starken Vorteilen gegenüber anderen Methoden punkten. Durch die dadurch erzeugte Vogelperspektive hat man einen optimalen Überblick über den



Abbildung 11 WIM-Methode [24:230]

gesamten Raum und bezüglich Präzision spielt es keine Rolle, ob Objekte weit oder nahe vom Benutzer entfernt sind. Es können sogar Objekte selektiert werden, die sich normalerweise nicht im Sichtfeld des Benutzers befinden, was gegenüber den anderen Selektionstechniken ein Alleinstellungsmerkmal darstellt [24:230].

Selektieren mit dem Blick

Das Anvisieren von Objekten durch leidlichen Blickkontakt könnte in der virtuellen Welt einfach umgesetzt und scheinbar als bequeme Lösung einer Selektionstechnik verstanden werden. Allerdings scheint dies angesichts des „Midas Touch Problem“ keine befriedigende Lösung zu sein [29]. Das Phänomen zeigt die Problematik, dass Augenbewegungen willkürlich geschehen und nicht von den beabsichtigten Zielen unterschieden werden können. Das bedeutet letztlich, dass immer wieder ungewollte Interaktionen das Ergebnis sind. Lösungsansätze diesbezüglich wie etwa Verweilpausen des Blickes oder längeres Unterdrücken des Lidschlages stoßen gemäss [36] auf wenig Akzeptanz bei den Benutzern.

Virtuelle Hand

Mit der virtuellen Hand wird hier die einzige Methode zum ausschliesslich direkten interagieren mit dem gewünschten Objekt beschrieben. Vorteil ist hier die natürliche Interaktionsweise, wie man es aus dem realen Alltag erlebt und die hohe Präzision beim Anwählen der Objekte. Nachteil ist je nach Kontext, dass der Benutzer zuerst zum gewünschten Objekt gelangen muss, um es

anzuwählen zu können [24:226]. Je nach Fortbewegungsmöglichkeit des Spiels (Siehe Abschnitt: Navigation und Fortbewegung), könnte sich dies als starke Beeinträchtigung des Spielerlebnisses herausstellen. Ob der realistische Grad dieser Methode für den Spielverlauf wichtig ist, muss je nach Konzept bzw. Anwendung eingeschätzt werden.

3.3.2.3 Vor-/Nachteile im relativen Vergleich zu Selektionsmethoden

In folgender Tabelle werden die Vor- und Nachteile zu den einzelnen bisher ausgeführten Selektionsmethoden zusammengefasst, sodass sie bestmöglich miteinander verglichen werden können:

<i>Name</i>	<i>Technik</i>	<i>Positiv</i>	<i>Negativ</i>	<i>Interaktion sradius</i>	<i>Treffsicher heit aus der Nähe</i>	<i>Verschlechterung Treffsicherheit bei hoher Distanz</i>	<i>Effizienz</i>
<i>Ray-Casting</i>	Strahl schneidet Objekt	Selektieren aus grosser Entfernung.	Präzision nimmt auf Distanz schnell ab.	Entfernt und nah	Gut	Mittel	Mittel
<i>Flashlight- Technik</i>	Zentrum des Kegels schneidet Objekt	Selektieren aus grosser Entfernung. Präzision besser als bei Ray- Casting.		Entfernt und nah	Sehr gut	gut	Mittel
<i>Stretch-Go- Go</i>	Verlänger ungsarm	Das Interagieren ist sehr einfach und intuitiv. Auch aus weiter Entfernung benutzbar.	Auf weite Entfernung zunehmen unpräzise.	Entfernt und nah	Sehr gut	Mittel	Mittel
<i>Stick-Ray</i>	Haftender Strahl schneidet Objekt	Benötigt weniger Präzisionsgefühl als Ray-Cast oder Flashlight.	Haftender Strahl könnte als störend empfunden werden. Für Räumen mit vielen Objekten nicht geeignet.	Entfernt und nah	Sehr gut	Gut	Mittel
<i>WIM (World in Miniatur)</i>	Selektiere n aus der Vogelpers pektive	Objekte selektierbar, die sich normalerweise nicht im Sichtfeld befinden.	Unterbricht Spielfluss Erfordert Benutzung beider Hände Treffsicherheit zwar gut, allerdings sind die Objekte so sehr klein, sodass dennoch Präzisionsgefühl erfordert wird.	Entfernt und nah	Gut	Gut	Sehr gut
<i>Selektieren mit dem Blick</i>	Selektiere n mit den Augen	Leicht erlernbar.	Häufige ungewollte Interaktionen zur Folge	Entfernt und nah	Schlecht	Sehr schlecht	Schlecht
<i>Virtuelle Hand</i>	Selektiere n mit der Hand	Sehr intuitiv und realitätsnah Benützung. Sehr hohe Präzision.	Keine Interaktion aus weiter Distanz möglich. Durch hohen Grad an Realismus möglicherweise Beeinträchtigung des Spielflusses.	nah	Sehr gut		Sehr gut

Tabelle 6 Vor- und Nachteile im relativen Vergleich zu Selektionsmethoden

3.3.3 Manipulieren von Objekten

Sobald ein gewünschtes Objekt selektiert wurde, liegt es nahe, diese Objekte auf irgendeine Weise manipulieren zu können. In diesem Abschnitt werden gängige Methoden der Objektmanipulation untersucht, welche sich mit der Veränderung des Ortes, der Orientierung im Raum, der Grösse und der Form der Objekte auseinandersetzt. Dabei sollte beachtet werden, dass sich diese Techniken nicht gänzlich isoliert von den Selektionstechniken betrachten lassen, da sie je nach Konzept aufeinander abgestimmt werden sollten.

3.3.3.1 Umsetzungsmöglichkeiten

Um Objekte im virtuellen Raum manipulieren zu können gibt es viele Möglichkeiten. Von solchen, die sich an die Realität versuchen anzulehnen, um eine möglichst echte Immersion des Spielerlebnis entstehen zu lassen. Oder solche, welchen sich die Vorzüge der virtuellen Welt zu nutzen machen und die Einfachheit der Manipulation in den Vordergrund stellen. Als Beispiel ist hier insbesondere die Möglichkeit der Manipulation aus der Ferne gemeint. In Anbetracht des Konzepts wird hier mehr auf solche unrealen Methoden fokussiert, bei welchen also der praktische Nutzen im Vordergrund steht.

Für die Umsetzung sollte man sich auch die Frage stellen, ob eine egozentrische oder exozentrische Manipulationsmöglichkeit für die Anwendung passender sein könnte. Bei der egozentrischen Perspektive steht im Mittelpunkt, dass sich der Benutzer möglichst präsent im VR-Raum fühlen soll und die Möglichkeit zur direkten Manipulation von Objekten hat. Bei der Exozentrischen Perspektive dagegen befindet sich der Benutzer ausserhalb der virtuellen Umgebung. Hier hat man besonders gut den Blick über das Ganze. Die möglichst einfache und schnell zu handhabende Interaktion und Manipulation von Objekten steht hier im Vordergrund [24:232].

3.3.3.2 Manipulationstechniken

Virtuelle Hand

Wie bereits bei den Selektionstechniken beschrieben, kann ein Objekt mit der virtuellen Hand, wie in der natürlichen Welt, durch ledigliches Berühren verschoben werden. Die virtuelle Hand ist durch diese starke Realitätsnähe daher als sehr schnell erlernbares Werkzeug einzustufen. Nach dem Berühren kann durch einen weiteren Knopfdruck, im Falle von Controllern, oder durch



Abbildung 12 Virtuelle Hand [<https://seretel-technologies.fr/2017/08/01/les-manettes-a-travers-les-annees-nos-preferees/>]

natürliches Zugreifen im Falle eines Handtrackings, nach diesem gegriffen werden. Danach kann das Objekt beliebig gedreht oder dessen Position geändert werden.

Als Nachteil sollte nicht vergessen werden, dass dies nur für Objekte in unmittelbarer Umgebung anwendbar ist.

Zeigegesten

Bei diesen Herangehensweisen steht eine Kombination mit den Ray-Casting- bzw. Kegel-Methoden nahe. Als Manipulationswerkzeug verfügt man hier ebenfalls über die virtuelle Hand. Die Interaktion mit dem Objekt wird hier allerdings aus der Entfernung umgesetzt. Genauer ist damit gemeint, dass man beispielweise mit der Ray-Casting-Methode ein Objekt aus der Ferne selektiert und dieses dann mit den Gesten der virtuellen Hand, ohne an die Stelle zu gehen, manipuliert. Würde man dann beispielweise seine Hand vor den Augen in der eigenen Achse nach Links drehen, würde man in der Ferne das Objekt mit dem selben Verhalten beobachten können.

Bei der Methode muss allerdings beachtet werden, dass durch die Entfernung gezwungenermassen die Präzision bezüglich Manipulation eines Objekts leidet, da man es wie erwähnt nur von weitem betrachtet und sich folglich die gleichen Probleme betreffend Treffsicherheit und Fitts Law zeigen dürften.

Voodoo-Dolls

Wie mit dem Ansatz von WIM unter Selektionstechniken erklärt, wird hier nicht der gesamte Raum auf eine Miniaturansicht skaliert, sondern nur einzelne Objekte, die man zuvor selektiert hat. Das Objekt befindet sich dann sozusagen in der eigenen Hand und kann mit den gleichen

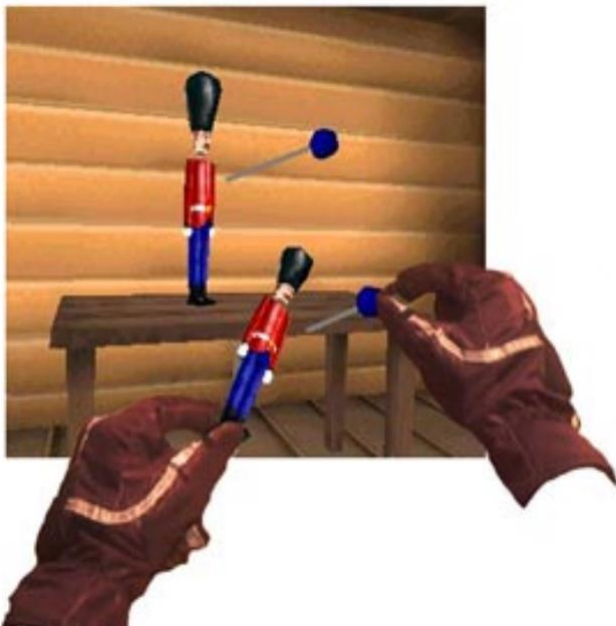


Abbildung 13 Interaktion mit Voodoo-Dolls [30]

Gesten wie mit der virtuellen Hand manipuliert werden. Bei Beendigung wird das angepasste Objekt wieder an seinen Platz positioniert. Oder alternativ: Es wird an seinem Platz zur Zeit der Manipulation als Kopie abgebildet [30].

Das Bearbeiten eines Objekts kann so bequem und präzise vorgenommen werden, ohne dabei zwingend an die Position des Objekts gehen zu müssen. Wie bei der WIM-Methode ist auch hier die Benutzung beider Hände eine Voraussetzung.

3.3.3.3 Vor-/Nachteile im relativen Vergleich zu Manipulationsmethoden

In folgender Tabelle werden die Vor- und Nachteile zu den einzelnen bisher ausgeführten Manipulationsmethoden zusammengefasst, sodass sie bestmöglich miteinander verglichen werden können:

<i>Name</i>	<i>Technik</i>	<i>Positiv</i>	<i>Negativ</i>	<i>Entfernung</i>	<i>Verschieben</i>	<i>Rotieren</i>	<i>Transformieren</i>	<i>Präzision</i>
<i>Virtuelle Hand</i>	Manipulieren mit natürlicher Hand	Sehr intuitiv und einfach erlernbar.	Keine Manipulation aus der Entfernung möglich	Nahe	Sehr gut	Sehr gut	Sehr gut	gut
<i>Zeigegesten</i>	Zeigegesten	Sehr präzise. Sehr intuitiv.	Präzisionsprobleme aus der Entfernung. Muss erlernt werden.	Nahe und entfernt	Mittel	Mittel	mittel	Mittel
<i>Voodoo-Dolls</i>	Umgebung verkleinern und dann mit virtueller Hand manipulieren.	Sehr intuitiv.	Erfordert Benutzung beider Hände. Interaktion aus weiter Entfernung möglich	Nahe und entfernt	Sehr gut	Sehr gut	Sehr gut	Gut

Tabelle 7 Vor- und Nachteile im relativen Vergleich zu Manipulationsmethoden

3.3.4 Menükonzepte

Im folgenden Abschnitt werden die fünf weitverbreitetsten Ansätze der Menüführung untersucht.

3.3.4.1 Menüs

Unter Menüs versteht man eine Liste von Einträgen. Sie können an ihrer Position in der Umgebung fixiert, an ein Objekt oder an den Benutzer selbst gekoppelt werden. Zudem können sie in 1-, 2- oder 3-dimensionalen Ausführungen umgesetzt werden.

Menüs haben insbesondere dann einen Vorteil gegenüber anderen Menükonzepten, wenn es eine hohe Anzahl an Auswahlmöglichkeiten bieten muss, welche möglichst übersichtlich dargestellt werden sollten. So können sie insbesondere als platzsparende Lösungen optimal eingesetzt werden [24:223].

3.3.4.2 3D-Widgets

3D-Widgets sind dreidimensionale Objekte in der virtuellen Welt, welche als eine Art Menüs benutzt werden können. Kreativen Umsetzungsmöglichkeiten sind hier keine Grenzen gesetzt, sodass sie besonders als Spassfaktor oder Anregung zur Interaktion gut eingesetzt werden können. Die Benutzbarkeit könnte je nach Umsetzung allerdings darunter leiden [24:223].

3.3.4.3 Tangibles

Tangibles sind reale Objekte wie beispielsweise ein Steuerrad für eine virtuellen Autosimulation eingesetzt werden kann. Solche realitätsnahen Umsetzungen haben insbesondere den Vorteil, dass sie oft sehr intuitiv benutzt werden können und dadurch ein Erlernen dessen Bedienbarkeit fast gänzlich wegfällt. Schlechter abschneiden dürften solche Umsetzungen, wenn auf die Vorteile der virtuellen Welt nicht verzichtet werden soll. Also wenn die Grenzen der echten Welt beispielsweise mit verschachtelten Menüs, Interaktionen durch Sprachkommandos oder Gesten zu nutzen gemacht wird [24:223].

3.3.4.4 Sprachkommandos

Sprachkommandos haben den Vorteil, dass sie Freihändig benutzt werden können und somit die Hände für andere Interaktionen frei bleiben. Zudem werden keine Teile der virtuellen Welt durch ein Menü verdeckt.

Nachteil ist zum einen, dass viele Sprachkommandos für den Benutzer ermüdend sein können und zum anderen könnte sie in lauten Umgebungen oder an kollaborativen Arbeitsumgebungen für andere Personen störend sein können. Des Weiteren ist für den Benutzer auch der Funktionsumfang des Menüs schwer einzuschätzen [24:224].

3.3.4.5 Gesten

Gesten haben den Vorteil, dass sie sich gut mit anderen Techniken kombinieren lassen und wie bei den Sprachkommandos keine anderen Teile der virtuellen Umgebung verdeckt werden.

Allerdings ist es für den Benutzer schwerer die verfügbare Funktionalität zu erkennen und die Handhabung muss zudem zuerst erlernt werden [24:224].

3.3.4.6 Vor- und Nachteile im relativen Vergleich zu Menükonzepten

In folgender Tabelle werden die Vor- und Nachteile zu den einzelnen bisher ausgeführten Menükonzepten zusammengefasst, sodass sie bestmöglich miteinander verglichen werden können:

<i>Name</i>	<i>Technik</i>	<i>Positiv</i>	<i>Negativ</i>	<i>Erlenbarkeit</i>	<i>Platzbedarf</i>
<i>Menüs</i>	Klassische Auflistung von möglichen Menüpunkten	Auch hohe Anzahl Menüpunkte übersichtlich darstellbar.	Müssen erlernt werden. Können je nach Umsetzung weniger intuitiv sein.	Mittel bis gut	Sehr gut
<i>3D-Widgets</i>	Variationen von 3D-Objekte die als Menüs fungieren	Regen zum Benutzen an. Können Spass machen	Müssen sehr gut umgesetzt werden, damit Benutzbarkeit nicht darunter leidet.	Je nach Umsetzung: sehr schlecht bis sehr gut	Schlecht bis mittel
<i>Tangibles</i>	Real-Nachempfundene Steuerobjekte (Bsp. Steuerrad)	Hoher Grad an Intuitiver Benutzbarkeit.	Machen sich Vorteile der virtuellen Welt nicht zu nutzen.	Sehr gut	Sehr schlecht
<i>Sprachkommandos</i>	Menübefehle mittels Spracherkennung	Freihändig nutzbar. Keine Verdeckung durch Menüs auf die virtuelle Welt. Gut mit anderen Techniken kombinierbar.	Sprachkommandos können ermüdend sein. Können andere Personen in der Umgebung stören. Funktionsumfang des Menüs schwer einzuschätzen. Kommandos müssen erlernt werden. Aufwendig und schwer umzusetzen.	Mittel	Sehr gut
<i>Gesten</i>	Menübefehle mittels Handgesten	Keine Verdeckung durch Steuerelemente auf die virtuelle Welt. Gut mit anderen Techniken kombinierbar.	Funktionsumfang des Menüs schwer einzuschätzen. Kommandos müssen erlernt werden.	Mittel	Sehr gut

Tabelle 8 Vor- und Nachteile im relativen Vergleich zu Menükonzepten

3.4 Usability und UX Testing im virtuellen Raum

In diesem Kapitel soll die Frage geklärt werden, wie VR-Anwendungen so entwickelt werden können, dass sie einen möglichst hohen Grad an Qualität bezüglich Usability und UX erreichen.

Um dieses Ziel zu erreichen kann man sich weitgehend auf die etablierten (insbesondere iterativen) Entwicklungsprozesse der Softwareentwicklung stützen, beziehungsweise sind diese grösstenteils auch auf den VR-Bereich übertragbar. Allerdings müssen die einzelnen Entwurfsaktivitäten innerhalb des iterativen Entwicklungsprozesses angepasst werden. Beispielsweise Programme, die zur Erstellung von Lofi-Prototypen verwendet werden, lassen sich nur bedingt für die Entwicklung eines virtuellen Raums sinnvoll einsetzen [24:245].

Der Schlüssel zum Erfolg ist aber auch hier in der nutzerzentrierten Vorgehensweise zu finden. Folgend eine Übersicht nach der ISO Norm [ISO 9241-210]:

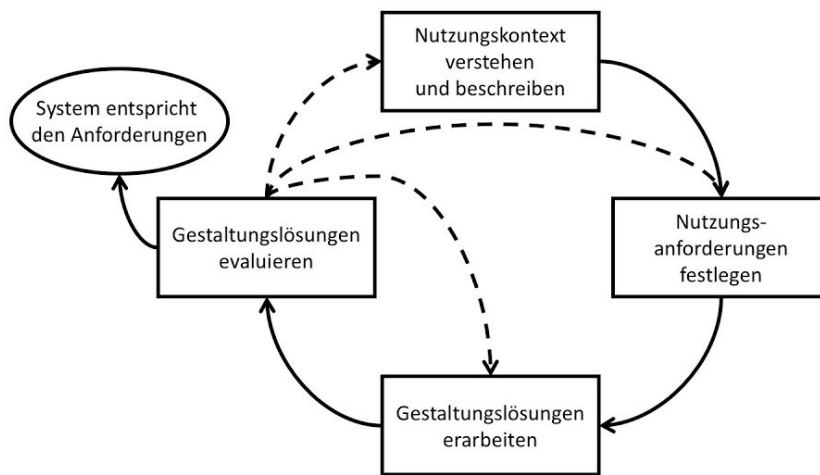


Abbildung 14 [<https://www.procontext.de/aktuelles/2010/03/iso-9241210-prozess-zur-entwicklung-gebrauchstauglicher-interaktiver-systeme-veroeffentlicht.html>]

Dieses Kapitel beschränkt sich auf die Frage, wie man im Bereich von VR-Anwendungen Gestaltungslösungen erarbeiten und evaluieren kann. Die restlichen iterativen Schritte werden hier ausgelassen und können in weiteren Literaturquellen nachgeschlagen werden.

3.4.1 Gestaltungslösung erarbeiten

Ansatz: 5-Step Workflow

Besondere Herausforderungen in der virtuellen Welt ist das Erarbeiten von Lofi-Prototypen. Gemäss [24:248], können in der ersten Iteration Entwürfe als Skizzen oder Storyboard entworfen werden. Möchte man aber in späteren Iterationen das Konzept an interaktive Prototypen austesten, werden einige Tools zur Umsetzung benötigt. Ein interessanter Ansatz bietet dabei ein

vorgeschlagener Workflow, mit welchem man Schritt für Schritt einen 3D-Prototyp erstellen kann [31].

Folgend werden die einzelnen Schritte als Übersicht aufgelistet:

1. Idee auf Papier bringen
2. Erstellen von 2D-Assets
3. Erstellen von 3D-Assets
4. Szenenaufbau
5. Teilen und Präsentieren

Für die Umsetzung dieser Schritte werden folgende Tools aus Abbildung 15 eingesetzt. Diese Tools könnten ggf. gemäss der beschriebenen ISO-Norm 9241-210 eingesetzt werden.

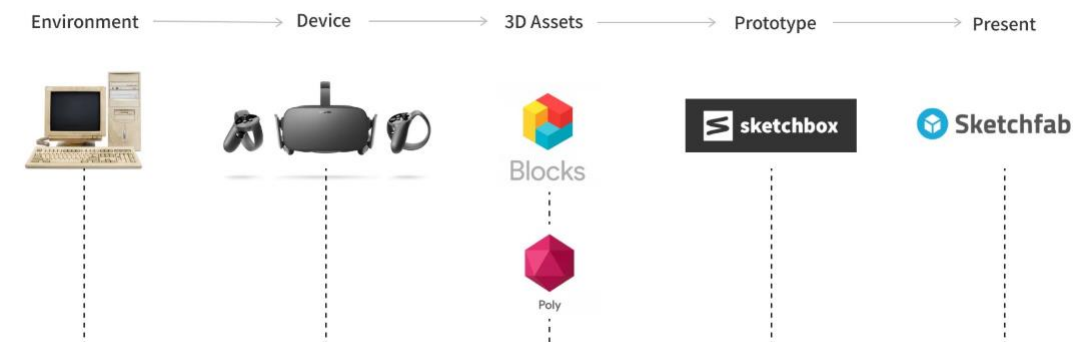


Abbildung 15 Eingesetzte Tools für den 5-Step-Workflow

Die detaillierte Vorgehensweise kann gemäss Quelle [31] nachgeschlagen werden. Hier soll lediglich erwähnt werden, dass für die Umsetzung dieses Workflows aufgrund der vielen Tools und der darin zu entwickelnden 3D-Modelle dies eine eher zeitintensive Methode darstellen wird. Zudem müssen unter Umständen einige Tools zuerst erlernt werden, was zumindest in diesem Aspekt eher als Nachteil angesehen werden kann. Wie gut sich der Workflow in der Umsetzung eines VR-Projekts wirklich schlägt müsste zudem zuerst getestet werden, da ausser der genannten Quelle keine wissenschaftlich validierten Artikel dazu gefunden werden können.

Ansatz: Lofi-Prototypen und gängige Usability-Test-Methoden

Ein wesentlich geringerer Aufwand als der 5-Step-Workflow bietet der Ansatz, sich auf einen Lofi-Prototyp in der Anfangsphase zu beschränken und nach dessen Fertigung die Entwicklung des Projekts in der produktiven Umgebung fortzusetzen. Der Lofi-Prototyp kann so ideal in Gesprächen während der Konzeptfindungsphase eingesetzt und zur Evaluation fortlaufend angepasst werden. Die anschliessend produktive Version kann schliesslich mittels Usability-Tests an realen Benutzer getestet werden.

Gemäss eigener Erfahrung hat sich diese Vorgehensweise insgesamt als vorteilhafter Ansatz bewährt. Konkret wurde in einem früheren Projekt „FHNW IP1,2: VR Computer“ dabei ein Papierprototyp zur Evaluation mit den Auftraggebern erstellt. In einem weiteren Schritt wurden zur

besseren Evaluation einzelne Komponenten des Projekts jeweils auf Plakatpapieren aufskizziert. Diese wurden dann in einem Raum gleich wie im virtuellen Raum des Projekts aufgehängt, sodass ein Durchspielen des Ablaufs besser vorstellbar gemacht wurde. Das so entstandene Konzept wurde dann in der produktiven Umgebung umgesetzt und in iterativen Schritten, mit gängigen Usability-Test-Methoden, überprüft.

3.4.2 Testen an Benutzer

Nachdem das Konzept ausgearbeitet und evaluiert wurde und dieses anschliessend in einer ersten Version als interaktives 3D-Produkt entwickelt ist, kann bei künftigen Iterationen die Usability und die User Experience getestet werden.

3.4.2.1 Testmethoden

Die Testmethoden von virtuellen Anwendungen unterscheiden sich grundsätzlich nicht von denen der 2D-Anwendungen. Gängige Methoden wie die heuristische Evaluation oder andere Normen können also übernommen werden.

Allerdings sollten für die Durchführung einige Besonderheiten berücksichtigt werden, welche im folgenden Abschnitt „Berücksichtigungen bei der Durchführung“ genauer beschrieben werden. [32]

3.4.2.2 Berücksichtigungen bei der Durchführung

Probanden verstehen

Es ist wichtig zu wissen, dass für viele Personen die virtuelle Realität absolutes Neuland darstellt und man deshalb einige zusätzliche Leistungen durchführen muss, welche sich vom Testen der 2D-Anwendungen unterscheiden oder nicht benötigt werden.

Für die Durchführung sollte genügend Zeit eingeplant werden und die Probanden sollten so gut wie möglich mit Hilfestellungen unterstützt werden. Das können simple Hilfestellungen sein, wie man das Headset aufsetzt oder das Demonstrieren, wie man sich im VR-Raum fortbewegt. Man sollte insgesamt den Probanden vor dem Starten der Testdurchführung etwas Zeit einräumen, um sich mit der Umgebung vertraut zu machen und sich an die Steuerung zu gewöhnen.

Man sollte sich auch bewusst sein, dass die Testpersonen während der Durchführung durch viele Reize aus dem virtuellen Raum beeinflusst werden. Aus diesem Grund sollte man sie nicht zu oft von aussen mit weiteren Hinweisen unterbrechen, da sie sonst schnell überfordert sein können. Es rät sich beispielsweise auch auf eine musikalische Untermalung zu verzichten, was für den Benutzer nur einen zusätzlichen, zu verarbeitenden Input darstellt. [32]

Umgebung vorbereiten

Es wird empfohlen, dass der Proband die äusseren Grenzen des physischen Raums vor Beginn des Tests abläuft, um ein Gefühl für die Begrenzung zu erhalten.

Man sollte zudem beachten, dass genügend Platz um den Probanden vorhanden ist, damit sich der Moderator um ihn bewegen kann, ohne ihm in die Quere zu kommen. Zudem sollte auch die Technik an einem sicheren Platz deponiert werden, so dass die Durchführung nicht durch irgendwelche Gegenstände unterbrochen werden kann.

Folgende Abbildung stellt dies schematisch dar:

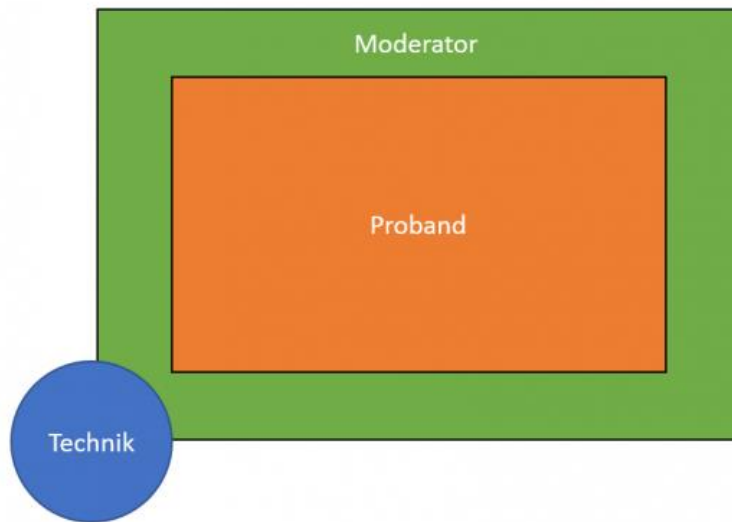


Abbildung 16 Einrichtung in der Draufsicht des physischen Raums für den Usability-Test [32]

Verhalten des Moderators

Eine ständige Änderung der Position des Moderators kann auf den Probanden verirrend wirken, da er seine Stimme so ständig von einer anderen Richtung zu hören bekommt. Er sollte daher den Probanden nicht permanent mitbegleiten.

Des Weiteren sollte der Moderator insbesondere bei der HTC-Vive darauf achten, dass er sich nicht zwischen die Sensoren stellt und damit die Verbindung des Systems unterbricht.

Weiter wird es vermutlich besonders in den ersten Iterationsprototypen des öfteren dazu kommen, dass der Moderator an verschiedenen Punkten eingreifen muss. Das kann beispielsweise sein, wenn sich Probanden im Kabel verheddern oder sie aufgrund einer falsch interpretierten Aufgabe in eine Sackgasse laufen. Es wird empfohlen, dass die Probanden bereits vor dem Test informiert werden, dass der Moderator in solchen Fällen eingreifen wird. [32]

Grafische Details

Aufschriften an Gegenständen und andere grafische Aspekte können im virtuellen Raum aufgrund der Auflösung manchmal schwer zu erkennen sein. Für die Durchführung sollte man sich deshalb im Voraus vergewissern, dass Objekte klar ersichtlich präsentiert werden. Anderenfalls könnte dies die Testergebnisse verfälschen und ggf. einen falschen Eindruck bezüglich UX vermitteln. [32]

4 Applikationskonzept

In diesem Kapitel werden die Hintergründe und Entscheidungen, auf denen das Konzept der BIM-Workshop VR-Anwendung basiert, erläutert.

4.1 Funktionsübersicht

Das Konzept der Applikation besteht aus zwei Teilen, welche in den nachfolgenden Kapiteln genauer erklärt werden:

- Die Raumkonfiguration, in der mittels WIM-Konzept (World in Miniature) der Raum beliebig eingerichtet und umgestaltet werden kann
- Die virtuelle Checkliste mit einem Raumbetrachtungsmodus

Das Applikationskonzept bietet den Benutzer folgende Kern-Funktionalitäten (wichtige funktionale Anforderungen):

- Freies bewegen und umschaun (im eingerichteten, virtuellen Raum als auch im WIM-Modus)
- Im WIM-Modus können neue Objekte im Raum platziert werden
- Im WIM-Modus können die Positionen der Objekte verschoben werden
- Im WIM-Modus können bestehende oder platzierte Objekte wieder aus dem Raum entfernt werden
- Auswahl der Raumziele, gemäss denen der Raum eingerichtet werden soll
- Eine Checkliste kann gestartet und durchgeführt werden, dabei gibt es verschiedene Punkte zu erledigen. Mehr dazu in [Kapitel 4.3](#).
- Interaktion mit Objekten (wie Laserpointer) im Checklistenmodus
- Zonen welche im Checklistenmodus betreten werden müssen
- Eine Auswertung zeigt die erreichten oder nicht erreichten Checklistenpunkte an
- Die Checkliste lässt sich abbrechen oder bestimmte Checklistenpunkte können übersprungen werden
- Die Checkliste zeigt nur Punkte an, welche zu den ausgewählten Raumzielen passen
- Modelle von 3D-Personen (Fiktive Teilnehmer des BIM-Workshops) erscheinen während dem die Checkliste gestartet ist
- Wechsel zwischen den verschiedenen Modi (Raumkonfiguration und Betrachtungsmodus mit virtueller Checkliste), die vorgenommenen Veränderungen in der Raumkonfiguration lassen sich betrachten.

Weitere Funktionalitäten für die Zukunft werden im Projektausblick beschrieben.

4.2 Raumkonfiguration

Beim Start der Raumkonfiguration können die Ziele ausgewählt werden, für die der Raum eingerichtet werden soll (zum Beispiel um die Kreativität oder Effizienz der Workshops zu steigern). Ausserdem wäre es denkbar, dass hier die Grösse des Raums oder Containers festgelegt wird. Parameter B – G lassen sich gemäss dem morphologischen Kasten im WIM-Modus platzieren. Die Raumkonfiguration und die Zielauswahl orientieren sich dabei am morphologischen Kasten und an den Beispierräumen mit den dort definierten Zielen für die BIM-Workshops, gemäss dem Ergebnisbericht der Fallstudie zu den BIM-Räumen in [34]. Es werden jedoch nicht alle Parameter in diesem Projekt auch platzierbar sein, da es darum geht das Prinzip zu zeigen und entwickeln.

Die nachfolgende Abbildung zeigt wie die Raumkonfiguration abläuft:

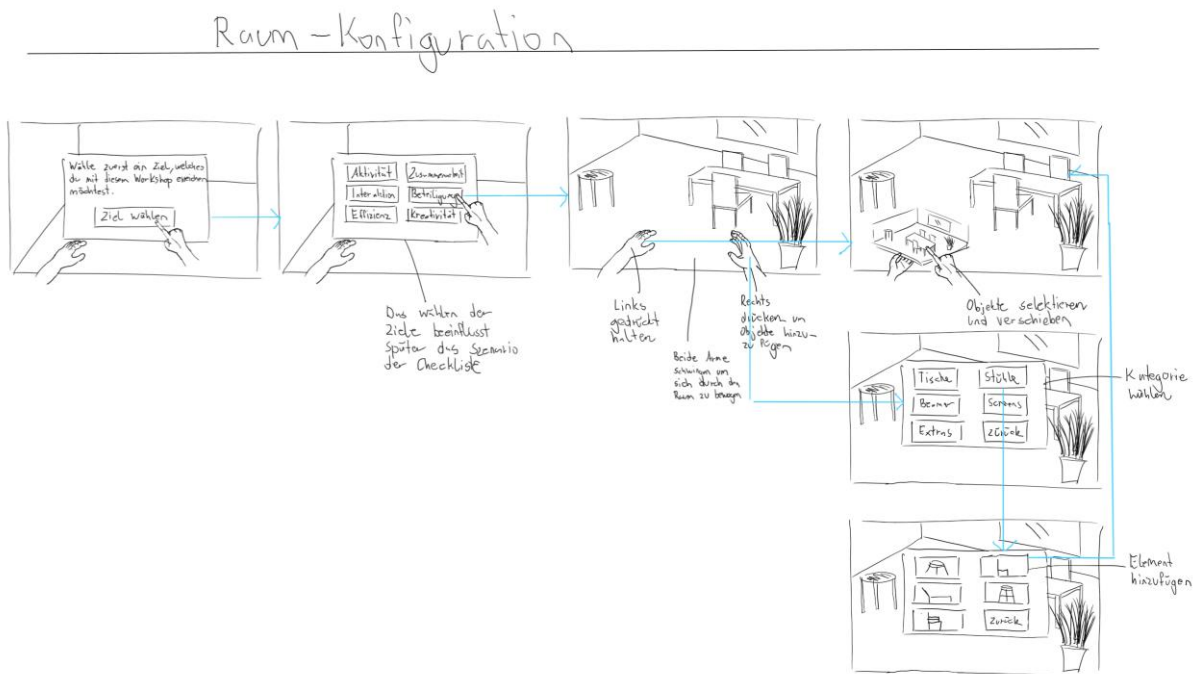


Abbildung 17 Wireframes der Raumkonfiguration

4.3 Virtuelle Checkliste

Haben die Benutzer den Raumkonfigurationsmodus verlassen, können sie den Raum ohne störende Elemente in den echten Dimensionen analysieren. Ausserdem können sie eine virtuelle Checkliste starten.

Die Checkliste ist ein wichtiger Bestandteil des E-Learning Konzepts, da die zu beachtenden Punkte bei der Raumkonfiguration durch „Learning by doing“ und durch Interaktionen im Raum (mit Gegenständen oder virtuellen Personen) einprägt werden sollten. Die Checklistenpunkte passen sich gemäss die ausgewählten Ziele an.

Typische Checklistenpunkte, welche der Benutzer im virtuellen Raum des BIM-Workshop-Meeting erledigen müsste, könnten beispielsweise sein:

1. Begrüssung Sie die BIM-Anwesenden
 - a. Gehen Sie vor den Beamer
 - b. Richten Sie sich gegen die BIM-Anwesenden aus
 - c. Validierung: Können alle Personen Sie sehen?
2. Aktivieren Sie den Bauplan auf dem Notebook
 - a. Gehen Sie zum Notebook und aktivieren Sie den Plan
 - b. Validierung: Können alle anwesenden den Plan sehen?
3. Zeigen Sie mit dem Laserpointer etwas auf dem Plan
 - a. Gehen Sie zum Laserpointer und nehmen Sie ihn
 - b. Zeigen Sie mit Laserpointer auf den Plan
4. Weisen Sie die störende Person auf die Arbeitszone hin
 - a. Gehen Sie zur Person, die am E-Mails beantworten ist
 - b. Tippen Sie die Person zweimal an, um sie aufzufordern in die Ruhezone zu gehen

Die virtuelle Checkliste lässt also den Benutzer mittels aktiver Interaktionen überprüfen, ob verschiedene Punkte beim eingerichteten Raum erfüllt werden und soll die Benutzer ausserdem auf Problemstellungen oder neue Möglichkeiten bei der Durchführung der BIM-Workshops hinweisen.

Für das Projekt sollen die Punkte 1 und 3 implementiert werden, da sie (technisch) sehr unterschiedlich sind und einen guten Eindruck der Möglichkeiten mit der virtuellen Checkliste vermitteln können.

Folgende Abbildung verdeutlicht anhand von zwei ausgewählten Checklistenpunkten wie dies in VR für den Benutzer aussehen würde:

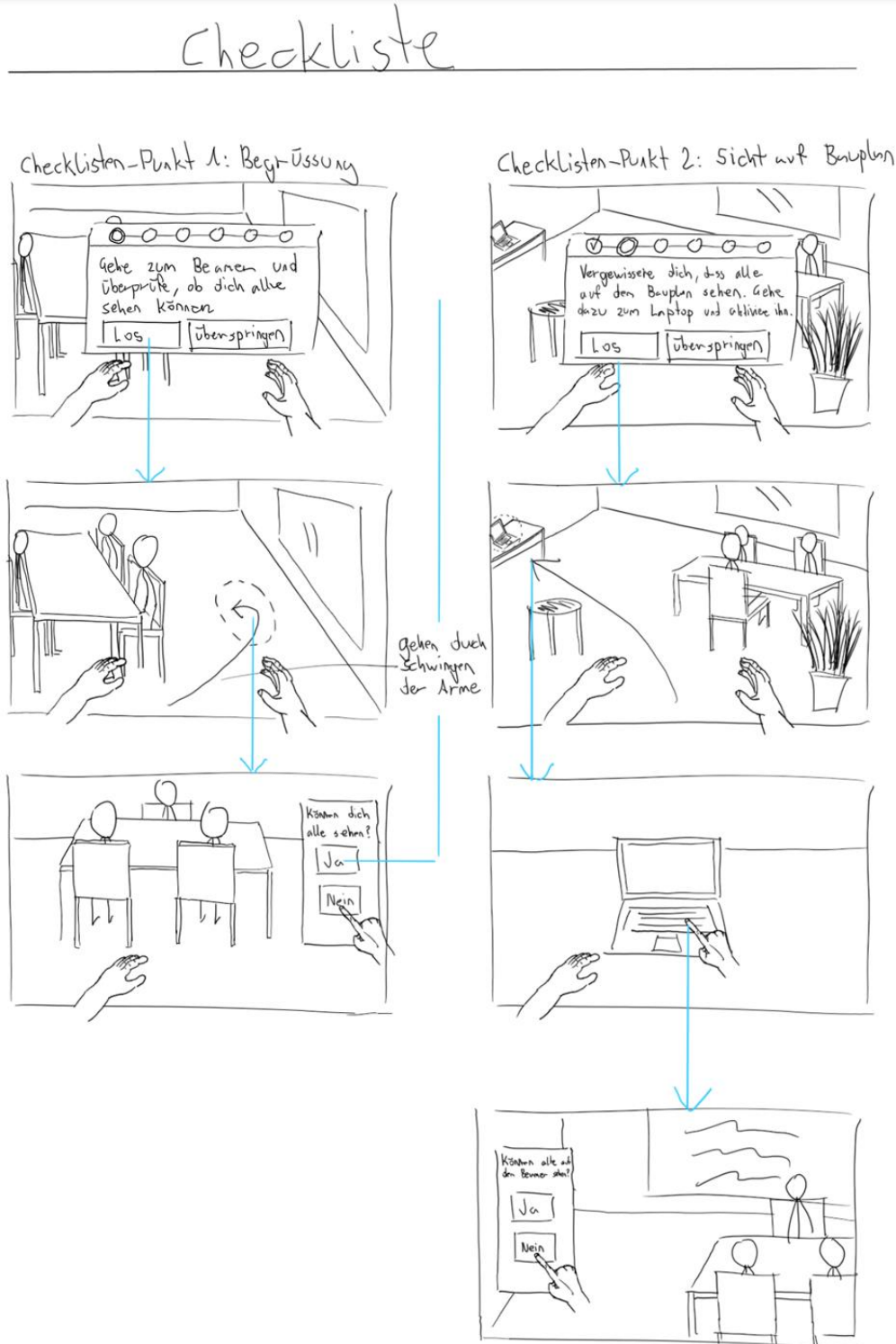


Abbildung 18 Wireframes der virtuellen Checkliste

4.4 Integriertes E-Learning-Konzept

Das E-Learning-Konzept wurden auf Basis der [Schlussfolgerungen für besonders geeignete VR E-Learning-Konzepte](#) (insbesondere der projektspezifischen Auswertung der Lernformate) ausgewählt und setzt sich wie von G. Siemens empfohlen [4:1] aus mehreren Komponenten zusammen. Ausserdem sollte das E-Learning Konzept wie in der Aufgabenstellung beschrieben möglichst effektiv sein. Deshalb wurden auch die [Ergebnisse der Recherche zur Effektivität](#) miteinbezogen.

Das E-Learning-Konzept des Projekts sieht folgendes vor:

Komponente	Begründungen	Wie im Konzept vorhanden
Virtuelle Welt	<ul style="list-style-type: none"> • Effektiver als Simulation • Der Raum, in dem man sich befindet kann frei gestaltet und beeinflusst werden was sowieso ein Teil des Konzepts sein soll • Mehr Freiheit als wenn nur einzelne Schritte angepasst werden, was den (Wieder-)Verwendungswert der Anwendung für BIM-Manager erhöht 	<ul style="list-style-type: none"> • Das freie Konfigurieren des Raumes im WIM-Modus • Freies bewegen im Raum (keine fixen Schritte der genau definierten Abfolgen von Aktionen, die erledigt werden müssen – Ausnahme: Durchführung Checklistenpunkte)
Learning by Interacting	<ul style="list-style-type: none"> • Wissen soll effektiver aufgenommen und verinnerlicht werden, da mit VR aktive Interaktionen erfolgen [33] • Grosser Vorteil von VR (Siehe Auswertung der Lernformate in Kapitel 3.1.5.1) • Learning by doing wird durch VR besser unterstützt 	<ul style="list-style-type: none"> • Der Raum kann im WIM-Modus interaktiv „zusammengebaut“ werden • Der BIM-Manager interagiert in der Checkliste (mit Gegenständen oder virtuellen Personen)
Teile von Personalized Learning	<ul style="list-style-type: none"> • Lernende erhalten besseres Feedback (selbst oder automatisiert) und werden durch Checkliste geführt • Mehr Flexibilität bei der Planung dank VR • Ziele können selbst ausgewählt werden, die Checkliste für den Lernenden passt sich danach an 	<ul style="list-style-type: none"> • Checkliste und Betrachtungsmodus geben den Lernenden Feedback • Die Raumkonfiguration kann jederzeit in VR erfolgen • 3D-Modelle von Workshop-Teilnehmenden
Visualisierungen	<ul style="list-style-type: none"> • Durch die 3D-Modelle kann der Raum eingerichtet werden, in der 3D-Umgebung können die Veränderungen der Konfiguration durch die BIM-Manager entsprechend gut nachvollzogen und getestet werden 	<ul style="list-style-type: none"> • Die 3D-Modelle der virtuellen Welt, welche möglichst realistische Dimensionen haben

Tabelle 9 Übersicht und Begründungen der vorgesehenen E-Learning-Komponenten

„Storytelling“, „Blended Learning“ und „Wissensdatenbanken“ wären Komponenten, die das E-Learning-Konzept sehr gut ergänzen könnten. Sie sind keine Kern-Bestandteile des aktuellen Konzepts, da sie weniger direkt zur Zielerreichung dieses Projekts beitragen und eine Realisierung mit sehr viel Aufwand verbunden sein kann. Im Kapitel Ausblick wird genauer beschrieben wie sie sinnvoll und ergänzend eingesetzt werden könnten.

Interessante Ansätze, welche geprüft wurden, jedoch nicht den Weg ins Konzept gefunden haben, sind:

- Gamification ist nur teilweise im Konzept mitintegriert durch den Storytelling-Ansatz. Auf Levels oder Badges beispielsweise wurde verzichtet, aufgrund der Annahme das BIM-Manager unter Zeitdruck arbeiten und nicht mehr Zeit zur Verfügung haben um in der Applikation zu verbringen, selbst wenn sie dies wollten. Sie möchten möglichst zum Zeitpunkt der Benutzung direktes Feedback von der Anwendung erhalten.
- Die Applikation ist keine Simulation, da dies mit sehr vielen Einschränkungen verbunden wäre. Die einfachen Interaktionsmöglichkeiten, das freie Gehen und die freie Konfiguration im WIM-Modus sind ein grosser Vorteil von VR, welche in offenen Welten besser zum Tragen kommen.
- Learning by Collaboration ist nicht integriert, da angenommen wird, dass Experten, welche den BIM-Manager helfen selten verfügbar sind und die Ressourcen knapp sind um zu zweit an einem Raum zu arbeiten.
- Besondere Unterhaltungsinhalte wurden nicht implementiert, da es aufgrund der in [Kapitel 2.6 definierten Annahmen](#) nicht zur Zielgruppe passen würde.

Die Kommunikations- und Kollaborationsmittel wurden nicht weiter untersucht, da sie für das definierten Konzept nicht relevant sind, weil kein „Learning by Collaboration“ integriert ist. Falls dieses zusätzlich ins Konzept integriert würde, wäre es sinnvoll die Ergebnisse dieser Bereiche ebenfalls ins E-Learning-Konzept miteinzubeziehen.

4.5 Usability-Entscheidungen

Die Entscheidung der endgültigen Usability-Umsetzung hängt von zwei wesentlichen Aspekten ab:

- **Projektspezifische Berücksichtigungen**
Wer ist die Zielgruppe, wie wichtig ist Cybersickness insgesamt für die Benutzer, was ist für die Fortbewegung wichtig, mit welcher Infrastruktur ist zu rechnen und welche Eigenschaften bringt die Durchführung eines BIM-Workshops mit.
- **Recherchespezifische Berücksichtigungen**
Arbeiten aus den Recherchen, welche sich an die Ergebnisse des Kapitels „3.3 Intuitive Benutzung im virtuellen Raum“ anlehnen.

Das Ziel dieser beiden Aspekte ist, diese möglichst so aufeinander abzustimmen, dass letztlich ein stimmiges Konzept erarbeitet werden kann.

4.5.1 Projektspezifische Berücksichtigungen

Das Ergebnis wurden auf folgende Entscheidung festgelegt:

Usability-Entscheidung	Entscheidungsgrundlage	Beschreibung
UE ¹	Zielgruppe	Intuitive und schnell erlernbare Lösung
UE ²	Cybersickness	Lösung die möglichst Cybersickness-Freundlich ist.
UE ³	Fortbewegung	Präzision statt Schnelligkeit der Fortbewegung
UE ⁴	Erwartete Infrastruktur	Kompatibel für gängige VR-Brillen (HTC-Vive, Oculus) / Interaktionsumfeld ca. 2.5 x 2.5 Meter
UE ⁵	Eigenschaften Durchführung BIM-Workshop	Möglichst praktisch und effizient gestaltetes Interaktionskonzept mit Objekten

Tabelle 10 Übersicht der Usability-Entscheidungen

Detaillierte Begründungen für diese Entscheidungsgrundlagen werden in den Folgeabschnitten ausgeführt.

Entscheidungsgrundlage „Zielgruppe“

Bei der Zielgruppe wird von technisch eher wenig bis mittel versierten Personen ausgegangen. Von Erfahrungen in der virtuellen Welt wird nicht ausgegangen, wobei ein Interesse diesbezüglich eher vorhanden sein wird.

In Anbetracht folgender Aspekte sollte versucht werden ein möglichst **intuitives und schnell erlernbares** Lösungskonzept zu finden.

- Da die VR-Simulation mit hoher Wahrscheinlichkeit eher unter zeitlich begrenzten Umständen eingesetzt wird, sollte ein langes Erlernen von Bedienungselementen vermieden werden.
- Da von einer erstmaligen VR-Erfahrung ausgegangen wird, ist anzunehmen, dass Benutzer durch die neuen Eindrücke bereits gefordert werden und eine gewisse Eingewöhnungszeit daher denkbar ist. Ein zusätzliches Erlernen von Steuerelementen, Fortbewegungsarten etc. könnte daher als zusätzlicher Störfaktor wirken.

UE¹: *Intuitive und schnell erlernbare Lösung*

Entscheidungsgrundlage „Cybersickness“

Das Thema Cybersickness wird in Verbindung mit der virtuellen Welt immer wieder thematisiert. Die dadurch ausgelösten Symptome wie Schwindel, Müdigkeit, Apathie, Kopfschmerzen usw. [37] sollen aus nachvollziehbaren Gründen möglichst minimiert werden.

UE²: *Cybersickness-Freundliche Lösung*

Entscheidungsgrundlage „Fortbewegung“

Für das Konzept wird betreffend Projekt „BIM-Workshop“ davon ausgegangen, dass eher kleine Strecken im virtuellen Raum zurückgelegt werden müssen. Eine Fortbewegung, die auf

Schnelligkeit optimiert ist, wird deshalb eher vernachlässigt. Generelle Usability, welche bezüglich Präzision optimiert ist, wird dagegen aufgrund der vermutet eher vielen Interaktionen bevorzugt.

UE³: Präzision statt Schnelligkeit der Fortbewegung

Entscheidungsgrundlage „Erwartete Infrastruktur“

Für die Infrastruktur wird davon ausgegangen, dass VR-Brillen wie die aktuellen Oculus Rift oder HTC-Vive zur Verfügung gestellt werden. Erweiterte Technologien, wie Ganzkörper-Scannung usw. werden nicht berücksichtigt.

Für die Grösse des Umfelds wird von normalen Büroräumen ausgegangen. Das Interaktionsfeld wird ca. mit 2.5 x 2.5 Meter erwartet.

UE⁴: Kompatibel für gängige VR-Brillen (HTC-Vive, Oculus) / Interaktionsumfeld ca. 2.5 x 2.5 Meter

Entscheidungsgrundlage „Eigenschaften Durchführung BIM-Workshop“

Bereits bei der Entscheidungsfindung für einzusetzende Usability-Techniken könnten gewisse Aspekte bezüglich Durchführung eines BIM-Workshops hilfreich sein.

Zur Arbeit eines BIM-Managers gehört bereits vor der eigentlichen Durchführung das Einrichten des Raums (Tische, Stühle, Beamer einrichten usw.) Es ist auch nicht auszuschliessen, dass auf Objekte gezeigt werden muss oder dass diese eventuell gedreht und transformiert werden müssen.

Mit einem hohen Grad an Interaktionsmöglichkeiten verschiedenster Objekte wird somit gerechnet. Auf ein stimmiges Interaktionskonzept sollte deshalb Wert gelegt werden.

UE⁵: Möglichst praktisch und effizient gestaltetes Interaktionskonzept mit Objekten

4.5.2 Navigation- und Fortbewegungstechnik

Für die Entscheidung „Navigation und Fortbewegung“ werden *UE¹*, *UE²*, *UE³* und *UE⁴* berücksichtigt und mit den Recherche-Ergebnisse aus dem Kapitel „3.3.1 Navigation und Fortbewegung“ abgestimmt.

UE¹

Für intuitive und schnell erlernbare Techniken sprechen durch die natürliche Anwendung besonders Walking in Place, Arm Swing sowie Redirected Walking.

Die Teleportation benötigt erfahrungsgemäss etwas mehr Eingewöhnungszeit, hat aber den Vorteil, dass sie sich als eine höchst effiziente und schnelle Fortbewegungstechnik bewiesen hat. Als wichtiger Punkt wird bei dieser Technik aber in Betracht gezogen, dass sich das Problem der Desorientierung besonders bei VR-Unerfahrenen Benutzern als Herausforderung darstellen könnte. Abhilfen wie die Teleportation mit Orientations-Indikation verbessern zwar diesen Umstand, fordern aber auch diesen Mechanismus zuerst erlernen zu müssen.

UE²

Eine Technik, welche betreffend Cybersickness schlecht abschneidet, ist die einfache Steuerung mit Controller bzw. mit dem Steuerkreuz. Aus diesem Grund wird diese Technik für das Konzept ausgeschlossen. Gut bis sehr gut diesbezüglich schneidet dagegen das Teleportieren, Walking in Place bzw. Arm Swing und das Redirected Walking ab.

UE³

Die Teleportation hat einen besonderen Vorteil bezüglich Effizienz der Fortbewegung. In Anbetracht, dass aber nur kleinere Strecken zurückgelegt werden müssen, kann dieser Vorteil nicht das Problem der Desorientierung und der schlechteren Erlernbarkeit im Vergleich zu Walking in Place, Arm Swing oder Redirected Walking überwiegen. Der Fokus wird deshalb auf diese drei Methoden gelegt und weiter beurteilt.

UE⁴

Für Redirected Walking wird eine zu aufwendige Infrastruktur benötigt. Es wird nicht davon ausgegangen, dass komplette Wireless oder grosse Areale jeweils zur Verfügung gestellt werden. Bezüglich Walking in Place werden zusätzliche Techniken benötigt, welche das Bewegen der Beine registrieren können. Nur das Arm Swing kann diese Anforderung noch erfüllen.

Endgültiger Entscheid

Als einzige Technik kann die Arm Swing Methode überzeugen. Betreffend Cybersickness schneidet die Technologie gemäss Untersuchungen gut ab. Zudem muss sie nahezu überhaupt nicht erlernt werden, da sie aufgrund der Nähe zur Realität perfekt einer intuitiven Fortbewegungsart nachempfunden ist.

4.5.3 Selektions- und Manipulationstechniken

Für die Entscheidung „Interaktionstechniken“ wird UE¹ berücksichtigt und mit den Recherche-Ergebnisse aus dem Kapitel „Tabelle 5 Vor-/Nachteile im relativen Vergleich zu Navigations-/Fortbewegungsmethoden

Selektieren von Objekten“ und „Tabelle 6 Vor- und Nachteile im relativen Vergleich zu Selektionsmethoden

Manipulieren von Objekten“ abgestimmt.

UE¹

Für intuitive und schnell erlernbare Faktoren sprechen eine gute Treffsicherheit auf nahe und/oder weite Distanz sowie eine effektive Benutzbarkeit. Diesbezüglich schneidet die Technik „Selektieren mit dem Blick“ schlecht ab und wird deshalb nicht mehr berücksichtigt.

Die jeweils ähnlichen Techniken, Ray-Casting, Flashlight und Stick-Ray stehen in direkter Konkurrenz zueinander, wobei Flashlight und Sticky-Ray durch das „Kegel-Konzept“ bzw. „haftender Strahl“ merklich besser abschneiden. Die Beurteilung der Ray-Casting-Methode wird deshalb nicht weiterbehandelt.

Die virtuelle Hand ist aufgrund der Nähe zur Realität äusserts intuitiv und schneidet daher bezüglich Treffsicherheit und Effizienz am besten ab. Auf das Selektieren auf weite Entfernung muss hier aber verzichtet werden.

Für die Beurteilung von WIM muss die Kombination mit der virtuellen Hand berücksichtigt werden. Vereint man die Resultate bezüglich Treffsicherheit, können daraus neue Ergebnisse gezogen werden. Objekte können auch aus Entfernung selektiert werden, während die intuitiven Vorteile der Hand nicht verloren gehen müssen. Einbusse gibt es allerdings auf Grund der Tatsache, dass Objekte damit kleiner und somit schwerer zu erreichen sind.

Auch Stretch-Go-Go kombiniert die Vorteile der virtuellen Hand mit dem Selektieren aus der Ferne und schneidet damit bezüglich Treffsicherheit und Effizienz ebenwürdig ab.

Für die weiterführende Auswahl werden somit Stretch-Go-Go, Sticky-Ray, Flash-Light, virtuelle Hand und WIM weiterbehandelt.

Betreffend BIM-Raum kann davon ausgegangen werden, dass sich in dem aufzuhaltenden Raum eher viele Einrichtungsobjekte befinden, welche als potenzielle Selektionskandidaten in Frage kommen. Da die Sticky-Ray Technik gemäss Recherche für solche Räume eher ungeeignet sind, wird sie hier nicht weiterbehandelt.

Die Flash-Light Technik ist eine Optimierungsmassnahme, die besonders für die Unterstützung einer Selektion auf weite Entfernungen entwickelt wurde. Da Interaktionen auf derart weite Entfernungen vermutlich nicht benötigt werden, ist sie für das Konzept eher unpassend.

Wie die Sticky-Ray und die Flash-Light Technik, hat auch die Stretch-Go-Go Technik gegenüber der reinen virtuellen Hand den bedeutenden Nachteil, dass sie nicht der realen Welt nachempfunden ist. Das bestmögliche Ergebnis bezüglich intuitiver und schnell erlernbarer Techniken bleibt daher die virtuelle Hand.

UE⁵

Unter Anbetracht der Tatsache, dass das Konzept mindestens über das Einrichten eines Raums verfügen soll, liegt es nahe, dass die WIM-Technik viele Vorzüge mit sich bringt. Vergleicht man diese mit den anderen Techniken; Stretch-Go-Go, Sticky-Ray, Flash-Light, virtuelle Hand, wird schnell klar wieso diese Techniken suboptimaler sind: Um Objekte selektieren zu können, müssen sie immer im Sichtfeld des Benutzers liegen. Um einen kompletten Raum einrichten zu können, ist es also unumgänglich sich ständig im Raum zu bewegen und auszurichten. Des Weiteren hat man in der Ego-Perspektive auch eine deutlich schlechtere Übersicht über den Raum als wenn man ihn aus der Vogelperspektive betrachtet.

Mit WIM können diese Umstände alle auf einmal ausgemerzt werden. Der Raum kann bequem von oben und deutlich effizienter nach den Wünschen des Benutzers eingerichtet werden. Aus diesem Grund fällt der Entscheid bezüglich Raumeinrichtung deutlich auf die WIM-Methode.

Endgültiger Entscheid

Ausgehend davon, dass für das restliche Konzept eher keine Interaktionen aus der Ferne benötigt werden, kann die ohnehin eingesetzt virtuelle Hand für den WIM-Bereich als ideale Ergänzung für das gesamte Interaktionskonzept dienen.

4.5.4 Menükonzept

Für die Entscheidung „Menükonzept“ wird *UE⁷* berücksichtigt und mit den Recherche-Ergebnisse aus dem Kapitel 3.3.4 „Menükonzepte“ abgestimmt.

Für die Wahl eines Menükonzeptes werden Sprachkommandos und Gesten nicht in Betracht gezogen. Grundsätzlich könnten solche Eingabemethoden sehr hilfreich und effizient eingesetzt werden, allerdings müsste man dies, in Anbetracht des Projektumfangs und der Komplexität, in einem eigenständigen Projekt umsetzen.

3D-Widgets fokussieren eher auf den spielerischen Effekt. Aufgrund des beabsichtigten Gesamtkonzeptes scheint diese Form eher nicht passend eingesetzt werden zu können.

Da eine Vielzahl von Objekten (aufgrund der Raumkonfiguration) vermutet werden, dürfte ein platzsparendes Konzept positiv ausfallen. Die Wahl bleibt hier beim klassischen Menü, welches sich als besonders platzsparend und gleichzeitig mit einer hohen Anzahl an übersichtlichen

Menüpunkten behaupten kann.

Einem dem Tangibles angelehnten Ansatz (im Falle einer Kombination mit WIM), wäre gewissermassen dem Einrichten eines Puppenhauses nahegelegen. Einrichtungsgegenstände könnten als Miniaturobjekte neben dem Raum bereitgestellt werden. Nach diesen könnten dann auf natürliche Weise gegriffen werden und sie liessen sich im Konfigurationsraum platzieren.



Abbildung 19 WIM-Tisch mit Modellen auf der Tischfläche

Wie in Abbildung 19 zu sehen hat sich allerdings herausgestellt, dass dieses Konzept zu viel Platz beanspruchen würde. Zudem könnten sich die Benutzer nicht mehr effizient um den Tisch bewegen und Objekte wären teilweise nicht mehr in Griffweite.

Da Tangibles aber für die intuitivste Art eines Menükonzeptes spricht, sind diesbezüglich zum Menü selbst ergänzende Einsätze denkbar. Beispielsweise ein Abfalleimer zur Löschung von Gegenständen.

Endgültiger Entscheid

Besonders für die Raumkonfiguration, aber auch für andere Begebenheiten soll das Menü zum Einsatz kommen. Wo immer es sinnvoll erscheint, sollen Tangibles mit dem Menükonzept ergänzt werden.

4.5.5 Interaktionskonzept und Tastenbelegung

Wie bereits beschrieben soll das Konzept einfach erlernbar und intuitiv sein. Die Bedienung soll sich möglichst natürlich anfühlen. Entsprechend sollen künstliche und abstrakte Elemente wie UI-Menüs oder Tasteninteraktionen auf ein Minimum reduziert werden.

Folgende Inputs werden verwendet:

- **Elemente nehmen, halten und platzieren: Left / Right Trigger oder Left / Right Grip.**
Erklärung: Damit das Nehmen und Halten von Objekten in der virtuellen Welt möglichst einfach und intuitiv ist, kann dies sowohl mit dem Trigger als auch mit den Seitentastens (Grip) erfolgen. Diese Tasten werden für diese Funktionalität auch oft in anderen VR-Anwendungen verwendet und Aktion mit der Hand fühlt sich natürlich an.
- **Bewegen (Teleportieren oder Arm Swing): Right Touchpad.**
Erklärung: Arm Swing ohne das Drücken einer Taste wurde durch praktisches Anwenden geprüft und führte zu vielen Problemen: Es führt zu ungewollten Bewegungen, wenn beispielsweise der Arm bewegt wird um ein Element zu greifen. Als wird danebengegriffen oder Verwirrung herrscht, weil sich der Character bewegt obwohl man selbst an Ort und Stelle bleibt und sich nicht bewegen wollte. Man traut man sich also nicht Elemente zu nehmen, weil jederzeit eine unkontrollierte Bewegung erfolgen kann.
- **Moduswechsel: Left Touchpad.**
Erklärung: Die Verwendung ist gewissermassen ein Bruch mit dem gewählten Ansatz, möglichst auf unnatürliche Abstraktion zu verzichten. Die Taste wurde dennoch gewählt, da sie sich im Prototyping-Prozess als beste Methode von den uns verglichenen herausgestellt hat. Ausserdem wird das Teleportieren auf eine Taste beschränkt, um die Benutzer dazu zu motivieren, mit der linken Hand parallel etwas anderes zu machen (z.B. Objekte zu halten).

Folgende Alternativen für den Moduswechsel wurden diskutiert und überprüft:

Methoden	Art der Prüfung	Vorteile	Nachteile
Left Touchpad (Taste auf dem Controller) – Aktuell verwendete Methode	Implementierung im 2. Prototyp, Usability-Tests	<ul style="list-style-type: none"> • Wechsel jederzeit möglich (Ortsunabhängig) • Teleportieren mit beiden Touchpads möglich • Kein störendes Element im Blickfeld 	<ul style="list-style-type: none"> • Etwas Denk- und Gewöhnungsarbeit nötig, um Teleportieren von Moduswechsel zu unterscheiden • Muss erlernt werden (unnatürlich)
Right Gripper (Taste auf dem Controller)	Implementierung im 1. Prototyp, Usability-Tests	<ul style="list-style-type: none"> • Wechsel jederzeit möglich (Ortsunabhängig) • Teleportieren mit beiden Touchpads möglich • Kein störendes Element im Blickfeld 	<ul style="list-style-type: none"> • Die Taste wird oft versehentlich ausgelöst, insbesondere beim Versuch ein Objekt zu greifen • Muss erlernt werden (unnatürlich)
Button als UI-Element	Diskussion	<ul style="list-style-type: none"> • Passend zu anderen Menüs (wenn konsequent UIs verwendet) • Wechsel jederzeit möglich (Ortsunabhängig) 	<ul style="list-style-type: none"> • Störendes, künstliches Element im Blickfeld • Abstraktes Element
Türen (Der Anwender betätigt eine Türklinke oder geht durch eine Türe, um den Modus zu wechseln)	Diskussion	<ul style="list-style-type: none"> • Passend um Raumbewachungs-Modus zu verlassen • Kein abstraktes Element wird verwendet • Kein störendes Element im Blickfeld 	<ul style="list-style-type: none"> • Muss gefunden werden • Bewegung zur Türe notwendig • Künstliches Verhalten im WIM-Modus um sich wieder zu verkleinern
Schrumpf- und Vergrößerungszonen (Sichtbare Zonen in der virtuellen Welt, in die sich der Anwender hineinbewegen muss, um den Modus zu wechseln)	Diskussion	<ul style="list-style-type: none"> • Schnell sichtbar • Schnell erlernbar 	<ul style="list-style-type: none"> • Bewegung zur Zone erforderlich • Abstrakt und schwer vorstellbar • Zone kann störend wirken (z.B. beim Betrachten des Raums) • Zone kann Platz wegnehmen

Tabelle 11 Übersicht der geprüften Methoden für den Moduswechsel

4.5.6 3D-Darstellung

Die Applikation wird bewusst nicht fotorealistisch, sondern stilistisch gehalten. Der Raum und die Elemente sind einem Low Poly-Style abgebildet. Das heisst, es werden weniger Polygone verwendet um die 3D Elemente darzustellen.

Dieser Style wurde ausgewählt, weil er bezogen auf VR einige Vorteile bringt, die nachfolgend zusammengefasst wurden.

Es gibt eine Studie, die zeigt, dass Fotorealismus in VR besser für die Immersion ist als unrealistische Darstellungen. [9] Diese Studie und weitere Berichte betonen jedoch, dass die Integrität und Konsistenz der Grafik noch wichtiger sind und Fotorealismus keine Voraussetzung für die Immersion ist. Daraus kann geschlussfolgert werden, dass ein schlecht gemachter Fotorealismus vermutlich schlechter ist als eine einheitliche, saubere stilistische Darstellung. [9, 10]

Die Performance ist ebenfalls ein sehr wichtiger Faktor für die Immersion in VR. Schlechte Framerates können zu Simulation Sickness führen. Low Poly-Umgebungen benötigen ohne viel Optimierung deutlich weniger Rechenleistung als fotorealistische Umgebungen, was also ein Vorteil ist.

In VR-Umgebungen ist es wichtig, dass die Dimensionen stimmen [11]. Beim Training und Einrichten der BIM Workshops in VR ist dies besonders wichtig. Korrekte Dimensionen lassen sich jedoch unabhängig von der Grafik – also auch im Low Poly-Style - korrekt darstellen.

Eine möglichst realistische Grafik sei zwar erwünscht, aber grafische Konsistenz und Integrität ist deutlich wichtiger als grafischer Realismus. Technische Unschönheiten reissen den User aus der Immersion. So schreibt Susan Michalak bei den Guidelines für Immersive VR Experiences von Intel: „Imperfections such as heavy pixelation, tearing, or inconsistent levels of detail are all visual artifacts that will draw users out of the VR world.“ [12]. Weil Low Poly-Elemente einfacher einzusetzen sind, wird davon ausgegangen, dass auch weniger technische Unschönheiten auftreten.

Untergründe sollen besser sein, wenn diese ruhig, also mit weniger Details, dargestellt werden [12]. Dies wäre ein weiterer Vorteil vom Low Poly-Style, da auf unnötige Details verzichtet wird.

Das Erstellen möglichst realistischer 3D-Umgebungen ist sehr zeitaufwändig. Um die Elemente so zu erstellen, dass sie wirklich gut aussehen wird viel Zeit benötigt. Ausserdem ist es schwierig aus verschiedenen Assets mit fotorealistischen Modellen, diese so zu kombinieren, dass sie zusammenpassen und einheitlich wahrgenommen werden.

Da es bei dieser Arbeit um das Konzept geht, ist also davon auszugehen, dass dieses mit einer stilistischen Darstellung besser realisiert, geprüft und deshalb schlussendlich auch sinnvoller eingesetzt werden kann.

4.6 Usability und UX-Testing in der virtuellen Raum Entscheidung

Auf den Ansatz zum 5-Step-Workflow sollte aufgrund des hohen Zeitaufwands und der teilweise unvertrauten Tools verzichtet werden. Die Projektdauer bzw. die Projektgrösse scheint für den Workflow nicht optimal eingesetzt werden zu können.

Der wesentlich zeitsparendere und bereits bekannten Ansatz bezüglich Lofi-Prototyp und Usability-Tests an der produktiven Version wird deshalb bevorzugt. Auf eine iterative Vorgehensweise soll nicht verzichtet werden, weshalb vom Lofi-Prototyp bis zur finalen produktiven Version mehrere Evaluierungen eingeplant werden.

5 Umsetzung

In diesem Kapitel werden die wichtigsten Elemente und Bestandteile der konkreten Umsetzung des BIM Workshop VR Projekts beschrieben. Dieses Kapitel setzt ein gewisses technisches Verständnis mit den verwendeten Technologien voraus.

5.1 Verwendete Technologien

- Entwicklungsumgebung: Unity 2019.2.12f1 mit JetBrains Rider
- VR-Brillen: Vive Pro, Vive Cosmos
- VR Zusatzsoftware: Steam mit Steam VR, Vive VR Software
- Versionsverwaltung: GitLab

5.2 Abhängigkeiten und Voraussetzungen

5.2.1 Steam und SteamVR

Bei der Projektausführung ist die parallele Ausführung von Steam und SteamVR notwendig.

5.2.2 Controller-Konfiguration

Die Controller-Konfiguration für das BIM Workshop VR Projekt muss korrekt sein. Die Konfiguration (Tastenzuordnung für die entsprechenden Controller) kann über ein UI von Steam angepasst werden. Das UI für die Zuordnung lässt sich direkt aus dem Unity-Projekt öffnen.

Damit die Zuordnung für das Projekt korrekt ist, muss sie den im [Kapitel Interaktionskonzept und Tastenbelegung](#) definierten Standards entsprechen.

Bei den zwei getesteten VR Brillen wurde der Standard (default) verwendet, aber mit der Besonderheit dass im „wimset“ die zusätzliche Aktion „WimModeEnabled“ beim linken Touchpad/Joystick hinterlegt ist und der linke Controller mit der entsprechenden Taste nicht mehr zum teleportieren verwendet wird:

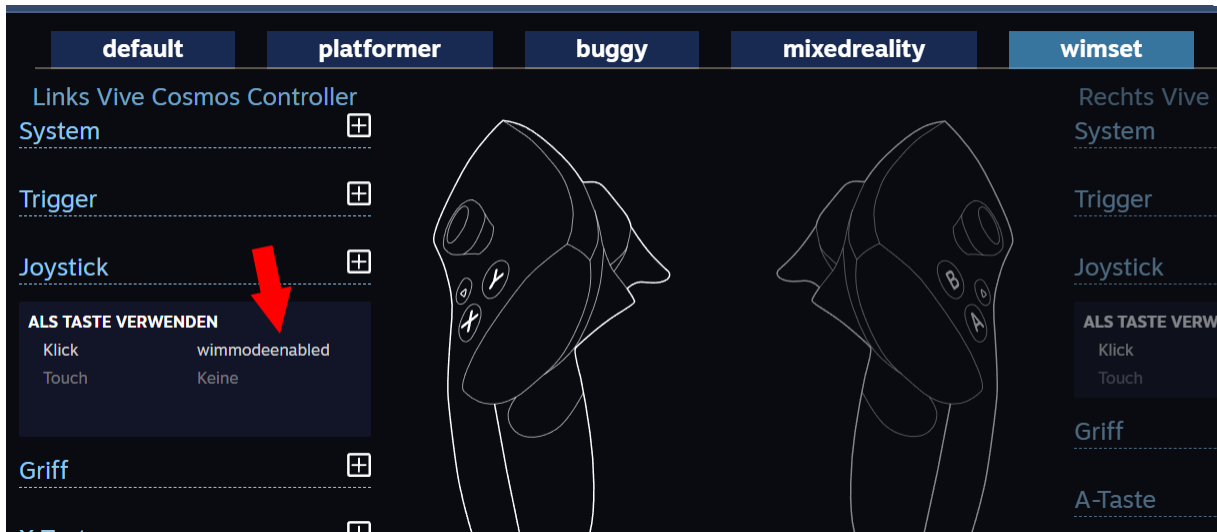


Abbildung 20 Controller-Konfiguration für SteamVR

Die Aktion „WimModeEnabled“ wird von Scripts im „ApplicationManager“ verwendet, um zwischen dem Konfigurations- und dem Betrachtungsmodus zu wechseln.

5.3 Projektaufbau in Unity

5.3.1 Ordnerstruktur

Die Liste beschreibt wie die Ordner-Struktur des Unity-Projekts organisiert ist. „Eigene“ steht dabei für selbst erstellte, zusätzliche Inhalte oder Inhalte mit projektspezifischen Anpassungen. „Externe“ steht für [Inhalte/Daten von Unity-Assets](#), welche ins Projekt importiert wurden. Bei externen Assets wurde nie direkt in deren Ordner etwas angepasst – alle externen Ordner bleiben also unangetastet - so lassen sich diese später mit weniger Problemen aktualisieren:

- Animations – Eigene Daten für die Animationen der Personen bei der Checkliste
- Audio – Eigene Audiodaten
- Inspace – Externes Asset
- Low Poly Animated People – Externen Asset
- Prefabs – Eigene Prefabs für die Applikation
 - Bim Container – Prefabs für das Grundgerüst des Raums/Kontainers
 - Models – Prefabs für die Modelle im Raum/Kontainer
 - Configurable – Interaktive Modelle, welche im WIM Modus selbst platziert/verschoben werden können
 - Fixed – Statische Modelle, welche immer an einer fixen Position im Raum sind
 - Persons – Die Personen welche bei der virtuellen Checkliste im Raum spawnen können
 - UIs – UI-Elemente (Verschiedenen UI Canvas und der Pointer)
- SampleScenes – Durch die externen Unity Standard Assets angelegter Ordner
- Scenes – Eigene Szenen
- Scripts – Eigene C#-Skripts
 - Checklist – Alle Scripts für das Checklisten-System
- Shaders - Zusätzlicher Shader mit Material für das UI: Damit dieses immer im Vordergrund bleibt
- Standard Assets – Externes Asset
- SteamVR* – Externe Assets
- StreamingAssets – Ordner vom externen SteamVR für Unity angelegt, siehe <https://docs.unity3d.com/Manual/StreamingAssets.html>
- Textures and Sprites – Eigene Texturen für Modelle und das UI

5.3.2 Scene-Struktur

Das Projekt wurde in einer Scene „MainScene“ entwickelt, welche wie auf den folgenden Abbildungen dargestellt aussieht:

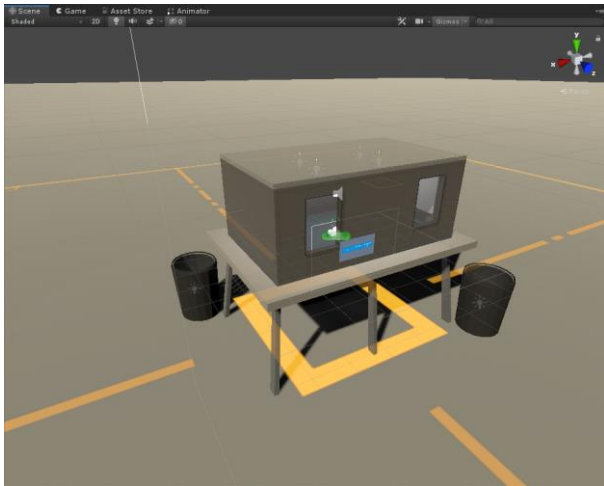


Abbildung 22 WIM-Tisch in der MainScene

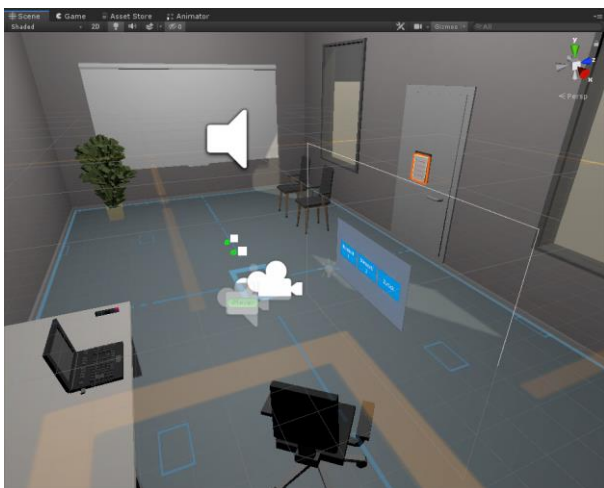


Abbildung 23 Rauminnenansicht in der MainScene

Die Abbildung 21 auf der rechten Seite zeigt die projektrelevante Grundstruktur der Szenen-Hierarchy, deren GameObjects auf der folgenden Seite noch textlich erläutert werden. Die ersten drei sichtbaren GameObjects wurden für das Testing der Applikation und die Entwicklung der „Arm Swing“ Fortbewegungsmethode eingesetzt, sind aber aktuell deaktiviert da sie nicht verwendet werden.

Die Grundstruktur dieser Szene ist so angelegt, dass sie bei Weiterentwicklungen oder Anpassungen der Szene beibehalten werden kann.

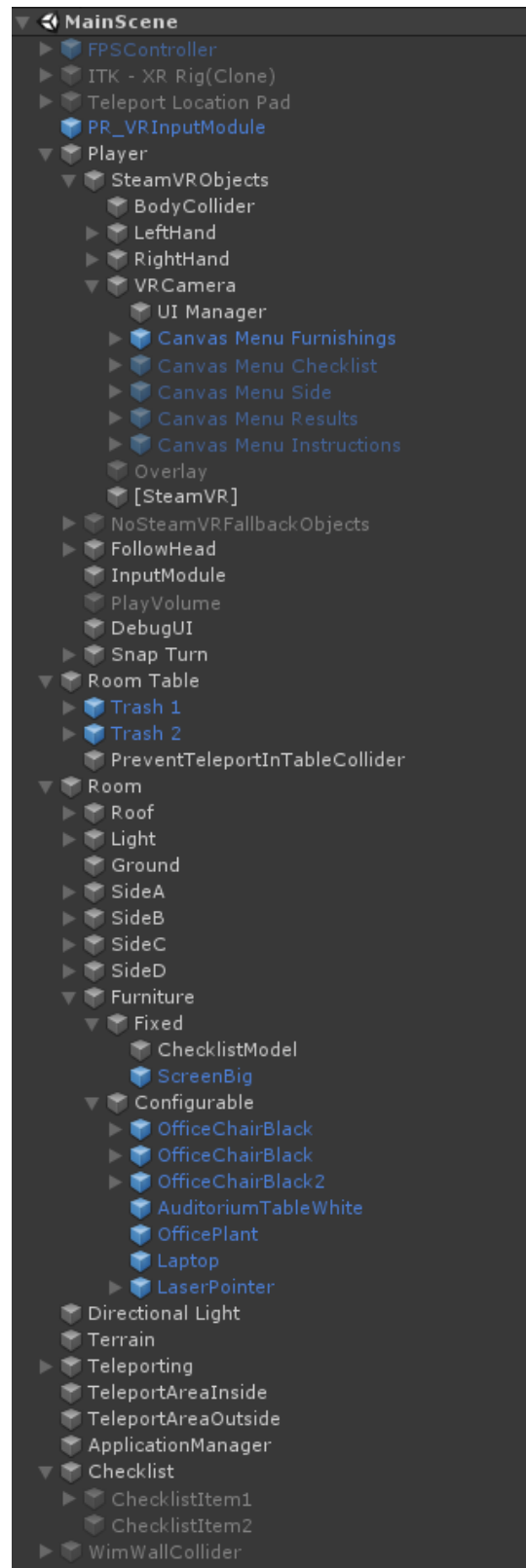


Abbildung 21 MainScene-Hierarchy

Diese Tabelle beschreibt die für das Projekt wichtigen Top-Level-GameObjects mit den relevanten Child-Objekten der Abbildung 21:

GameObject-Name	Beschreibung
PR_VRInputModule	Beinhaltet die Methoden, welche mit dem von Unity bereitgestellten Raycast kommunizieren. Alle getroffenen Objekte, welche den Raycast benötigen werden dabei zurückgegeben und durch „Hover“, „Press“ oder „Release“ mit dem PR_VRInputModule unterschieden.
Player	Modifizierter Player-Prefab von Steam VR. Mehr dazu in Kapitel 5.4.1, Player .
Room Table	Das Tischmodell für den WIM-Modus, auf dem sich der Raum befindet sowie die beiden Eimer für das Löschen von Elementen. Ein zusätzlicher Box-Collider verhindert, dass sich der Benutzer unter den Tisch teleportieren kann.
Room	Der Baucontainer oder Raum, welcher sich auf dem Tisch befindet und eingerichtet oder betrachtet wird. Mehr dazu in Kapitel 5.4.2, Room .
Directional Light	Allgemeine Szenenbeleuchtung
Terrain	Das Gebiet welches im WIM-Modus um den Tisch herum erscheint
Teleporting	Vom SteamVR-Plugin für die Teleport-Funktionalität generiert
TeleportAreaInside	Markiert und beschränkt den Bereich, in dem sich der Benutzer im Raum (Raumbetrachtungsmodus und Checkliste) teleportieren kann. Dieses Area sollte immer ganz knapp über dem Raumboden platziert sein und der Fläche des Raumbodens entsprechen.
TeleportAreaOutside	Markiert und beschränkt den Bereich, in dem sich der Benutzer im WIM-Modus um den Tisch herum teleportieren kann.
ApplicationManager	Ein leeres GameObject mit Scripten für die Applikationslogik. Mehr dazu in Kapitel 5.4.3, ApplicationManager.
Checklist	Ein leeres GameObjects mit Scripts für die Checklistenlogik und Child-Objekten für die einzelnen Checklistenpunkte. Mehr dazu im Kapitel 5.4.4, Checklist .
WimWallCollider	Beinhaltet Collider-Objekte (welche beim Teleportieren nicht berücksichtigt werden) deren Funktion es ist, die Seitenwände des Raumes zu deaktivieren, wenn der Benutzer von einer bestimmten Seite im WIM-Modus auf den Raum blickt. Das Script <code>WimWallDisabler.cs</code> an den Collider aktiviert und deaktiviert die entsprechend zugewiesenen Wände.

Tabelle 12 Übersicht der GameObjects der "MainScene"

5.4 Wichtige GameObjects

Dieses Kapitel beschreibt die für das Projekt wichtigen Unity-Gameobjects (mit ihren allenfalls relevanten Child-Objekten und Beziehungen), welche in der „Main Scene“ verwendet werden.

5.4.1 Player

Der Player ist ein von SteamVR-Plugin zur Verfügung gestellter entkoppelter Prefab mit dem Unterschied, dass bei der VRCamera zusätzlich die UI-Panels und der UI-Manager ([siehe Kapitel 5.4.5. UIManager](#)) als Child-Elemente vorhanden sind.

Der Player ist dabei der Character Controller des Benutzers in der virtuellen Welt. Er repräsentiert also gewissermassen den Benutzer. Nebst dem „BodyCollider“ sind auch die Hände von SteamVR teil des Players.

5.4.2 Room

Der Raum (GameObject „Room“) ist aktuell ein Baucontainer gemäss ISO-Norm Standard (4.88m x 2.43m) der Firma Conecta, dessen Einrichtung mit dieser Applikation im WIM-Modus verändert werden kann. Die Benutzer können den Raum von innen betrachten (als wären sie in echt drin) und die Checkliste in diesem Raum durchführen.

Der Raum ist wie folgt aufgebaut:

- Seitenwände (SideA, SideB, SideC, SideD) welche alle Bestandteile einer Seite zusammenfassen (Fenster, Türe, Wandelemente...) über die BimWallDisabler deaktiviert und aktiviert werden.
- „Ground“ – Der Boden des Raums mit der Grundfläche
- „Roof“ – Das Dach mit den Lampen
- „Light“ – Lichter für die zusätzliche Beleuchtung des Raums
- „Furniture“ – Alle Einrichtungsgestände sind Child dieses leeren GameObjects, wobei unterschieden wird zwischen:
 - „Fixed“ – Die Child-Objekte dieses Objekts sind immer an einer fixen Position im Raum und lassen sich nicht im WIM-Modus verschieben oder löschen, weil diese für die Applikationslogik zwingend an einer vordefinierten Position vorhanden sein müssen. Dazu zählen aktuell die weisse Leinwand und das Model der Checkliste um diese zu starten.
 - „Configurable“ – Die Child-Objekte dieses Objekts lassen sich immer sobald der WIM-Modus aktiv ist verschieben oder vom Raum entfernen (löschen). Typischerweise sind dies die Einrichtungsgegenstände des Raumes wie Stühle, Pflanzen, Tische oder weitere Elemente gemäss den Parameter des morphologischen Kastens. Es sind alles Prefabs mit dem Tag „Configurable“, so dass sie sich auch über das Menü neu hinzufügen liessen.

5.4.3 ApplicationManager

Der „ApplicationManager“ ist für allgemeine Applikationslogik zuständig. Er hat dabei die Skripte `ApplicationController.cs`, `BodyResizer.cs` und ein Skript von SteamVR um zusätzliche die WIM-Input-Bindings (das „WimSet“) zu laden als Komponenten.

Die Aufgaben des „ApplicationManger“ werden vom `ApplicationController.cs`-Skript erledigt, dessen Aufgabe es ist, den Moduswechsel vom WIM-Modus in den Raumbetrachtungsmodus und umgekehrt durchzuführen. Folgende Punkte werden beim Moduswechsel durch das Skript erledigt:

- Abfangen des Inputs um den Wechsel einzuleiten
- Den Player über `BodyResizer.cs` verkleinern oder vergrößern und die Position des Players in der Welt verändern (neben den Tisch oder in den Raum setzen)
- Den Raum (Room) für den entsprechenden Modus vorbereiten. Dabei werden diverse Dinge erledigt:
 - Andere `TeleportingAreas` entsprechend aktivieren/deaktivieren
 - Interaktivität von „Configurable“-Gameobjects aktivieren/deaktivieren
 - Das Dach anzeigen/verbergen
- Checkliste und „WimWallDisabler“ aktivieren und deaktivieren
- Die entsprechenden UI-Panels aktivieren und deaktivieren

5.4.4 Checklist

Die Checkliste besteht aus einem `GameObject` mit den Skripten `Checklist.cs` und `PersonSpawnSystem.cs`. Für jeden Checklistenpunkt ist ein Child-Objekt („ChecklistItem“) in „Checklist“ angelegt, welches dort in einer Liste „checklistItems“ zugewiesen ist, die alle Checklistenpunkte umfasst. `Checklist.cs` ist für die Durchführung der Checkliste zuständig und greift auf die entsprechenden „ChecklistItems“ zu. Die „ChecklistItems“ sollen nie direkt angesprochen werden, sondern immer nur über `Checklist.cs`. Dadurch sollen sich einfach neue Checklistenpunkte anlegen lassen, ohne dass an der Logik für die Durchführung etwas gemacht werden muss. Nur das aktive `ChecklistItem-GameObject` ist jeweils in der Scene aktiv.

Innerhalb der „Checklist“-Items sind `GameObjects` vorhanden, welche spezifisch zur Erledigung dieses Checklistenpunkts verwendet werden. Dies ist beim ersten Checklistenpunkt dieses Projekts ein „TriggerArea“, ein Bereich, welcher der Benutzer zur Erledigung dieses Punktes betreten muss. Beim zweiten Checklistenpunkt gibt es ein Skript `ObjectEnabler.cs`, welches für diesen Checklistenpunkt die Objekte in seiner Liste kurzzeitig aktiviert.

Folgendes (teilweise etwas vereinfachte) Sequenzdiagramm zeigt das Funktionsprinzip der Checkliste und wie sie mit den verschiedenen Komponenten zusammenspielt:

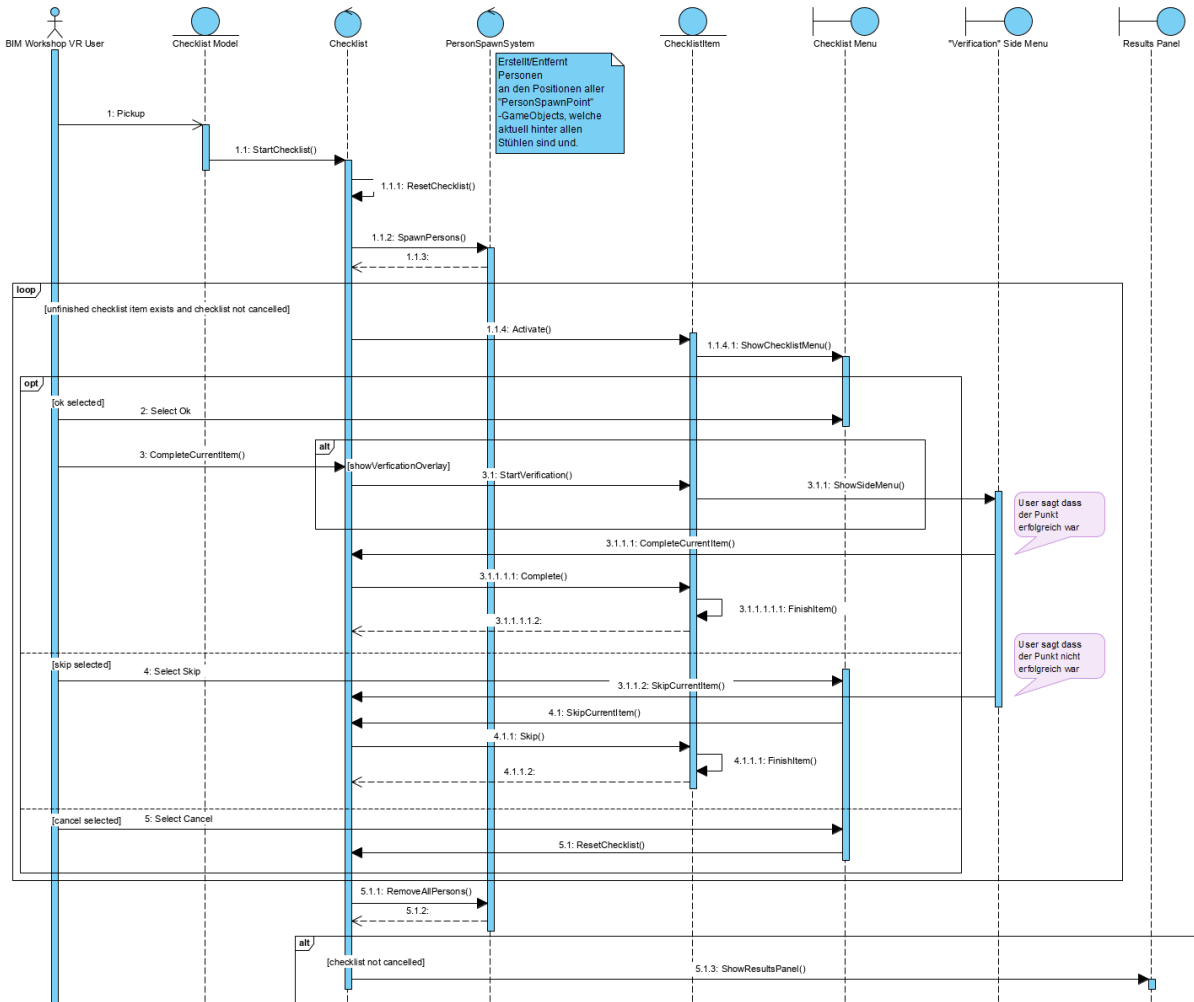


Abbildung 24 Sequenzdiagramm der Checkliste

Die Interaktion mit dem „Verification Side Menu“ wurde für eine bessere Übersicht abgekürzt dargestellt mit den Sprechblasen.

5.4.5 UIManager

Die Interaktionen mit den Menüpanelen wurden mittels Raycast-Technik und dem von Unity bereitgestellten Input Model umgesetzt. Die entsprechend dazugehörigen Methoden werden im `VrInputModule.cs` angewendet. Das Script wird über das am Player, an der rechten Hand angehängten `PR_Pointer`-Objekt angewendet. Objekte, welche über den `PR-Pointer` kollidieren bzw. erkannt werden, geben die entsprechende Information des Objekts zurück. Als wichtiger Hinweis ist zu beachten, dass Raycast keine Objekte anspricht, welche mit dem „Ignore Raycast“ Layer konfiguriert wurden.

Der logische Ablauf der Menüpanels sowie Ressourcenzugriffe (zb. auf Mobiliar), welche durch einige Menüs ausgelöst werden können, werden im Script `UIController.cs` umgesetzt. Die Menüs selbst sind als Prefabs im Ordner `prefab/Uls` abgelegt.

5.5 Verwendete Assets

Hier werden die im Projekt verwendeten Unity-Assets von Drittanbietern aufgelistet:

- Grafikmodelle:
Low Poly Office. Publisher: A3D.
<https://assetstore.unity.com/packages/3d/environments/low-poly-office-141836> [Stand: 24.11.2019]
- VR Fortbewegung (Arm Swing Movement – aktuell nicht in Verwendung):
[ITK] VR Character Controller - Inspace Toolkit. Publisher: Inspace.
<https://assetstore.unity.com/packages/tools/utilities/itk-vr-character-controller-in-space-toolkit-144299> [Stand: 24.11.2019]
- Teleporting, Object Interaction, Character Controller:
SteamVR Plugin. Publisher: Valve Corporation.
<https://assetstore.unity.com/packages/tools/integration/steamvr-plugin-32647> [Stand: 08.12.2019]
- Personen:
Low Poly Animated People. Publisher: Polyperfect.
<https://assetstore.unity.com/packages/3d/characters/humanoids/low-poly-animated-people-156748> [Stand: 08.12.2019]
- Testing mit First Person Controller:
Unity Standard Assets. Publisher: Unity Technologies.
<https://assetstore.unity.com/packages/essentials/asset-packs/standard-assets-for-unity-2017-3-32351> [Stand: 22.12.2019]

5.6 Abweichungen gegenüber dem Konzept

Dieses Kapitel listet nur die Abweichungen und Einschränkungen gegenüber dem Konzept auf, welche aus technischen oder zeitlichen Gründen im Rahmen dieses Projekts nicht umgesetzt werden konnten. Es beschreibt nicht die begründeten Usability-Entscheidungen im Verlaufe der Arbeit und auch nicht die möglichen oder erwünschten Weiterentwicklungen für das Konzept, welche den jeweiligen separaten Kapiteln zu entnehmen sind.

Die „Arm Swing Movement“-Methode wurde durch Teleportation ersetzt. In einem frühen Entwicklungsstadium konnte die „Arm Swing Movement“-Methode mit einem externen Asset erfolgreich implementiert und auch bei den Usability-Tests getestet werden. Allerdings war das eingesetzte Asset nicht mit dem Interaction-System des SteamVR-Plugins kompatibel, welches für die weitere Entwicklung des Projekts essenziell war. Deshalb wurde entschieden, um das restliche Konzept umzusetzen, auf die Teleportation des SteamVR-Plugins zurückzugreifen. Der Entwickler des Assets „[ITK] VR Character Controller - Inspace Toolkit“ mit der „Arm Swing Movement“-Methode wurde kontaktiert und hat in einer ersten Antwort mitgeteilt, dass es möglich wäre das SteamVR Interaction-System mit seinem Asset zusammen zu verwenden, jedoch

undokumentierte, manuelle Schritte notwendig seien um dies zu erreichen. Auf weitere Rückfragen für die konkrete Umsetzung hat er jedoch nicht mehr reagiert. Weitere passende Tools oder Assets welche „Arm Swing Movement“ in Unity unterstützen konnten nicht gefunden werden. Alle gefundenen Alternativen wären nur mit einer älteren Version des SteamVR-Plugins kompatibel gewesen oder wurden schon über einen längeren Zeitraum nicht mehr aktiv weiterentwickelt.

Das WIM-Konzept wurde anders implementiert als auf den Wireframes im Applikationskonzept sichtbar: Die Benutzer halten den Raum nicht mehr in der Hand, sondern werden vergrößert und neben den Raum platziert, welcher vor ihnen auf einem Tisch ist, falls sie den Raum konfigurieren wollen. Um den Raum zu betrachten oder die Checkliste zu starten werden sie wieder verkleinert („geschrumpft“) und in den Raum auf dem Tisch hineinversetzt. Dies hat den Vorteil, dass der Raum in der Hand nicht mit der Umgebung synchronisiert werden muss, was die Lösung technisch einfacher macht. Ausserdem hat der Benutzer beim Konfigurieren immer beide Hände zur Verfügung, weil der Raum fix platziert auf einem Tisch vor ihm steht.

Die Zielauswahl für den Raum und das UI dazu fehlt, da diese Funktion eine geringere Priorität hatte und gut nachträglich implementiert werden kann. Mehr zur Zielauswahl für die Raumkonfiguration wird im [Kapitel 7.1.1, Ziele definieren](#) beschrieben.

6 Testing

Dieses Kapitel erklärt, wie das Projekt im iterativen Entwicklungsprozess getestet wurde. Dazu wird beschrieben welche Methoden angewendet wurden und welche Ergebnisse dazu erzielt werden konnten.

6.1 Verwendete Methoden

Methode der Konzeptvalidierung

Für die Validierung des Konzepts wurde nach der Erstellung des Papierprototypen ein Miniaturmodell aus Karton angefertigt, welches den WIM-Modus repräsentieren soll. Der reale Raum wurde zudem als Workshop-Räumlichkeit interpretiert. Der Ablauf der Anwendung konnte so möglichst nahe der beabsichtigten VR-Umgebung nachempfunden werden.



Abbildung 25 Kartonprototyp für die Raumkonfiguration

Wie in Abbildung 25 Kartonprototyp für die Raumkonfiguration dargestellt, konnte der Raum wie vorgesehen direkt in einer Hand gehalten werden. Verschiedene Kartonmodelle (Stühle, Screens...) konnten mit der anderen Hand an der richtigen Stelle im Raum platziert werden.

Zur Prüfung der virtuellen Checkliste wurden die Aufgaben des Benutzers in der Applikation auf den Slides notiert und durch ein Projektmitglied direkt vorgeführt, als würde dies im virtuellen Raum erledigt

Methode der Usability-Tests

Für die Usability-Tests an den jeweiligen Produktinkrementen wurde Fragestellungen vorbereitet.

Für die Durchführung testeten die Probanden die aktuelle Version direkt an der VR-Brille. Sie werden dabei aufgefordert ihre Gedankengänge laut auszusprechen. Im Anschluss wird mittels Fragebogen, die Fragestellungen geklärt. Für die Durchführung wird gemäss Rechercheergebnisse im Bericht Kapitel (3.4.2.2 Berücksichtigungen bei der Durchführung) eingegangen, um betreffend Usability-Tests im VR-Bereich optimale Ergebnisse erzielen zu können.

Detaillierte Informationen zu den Fragestellungen, Testmetriken, Use Case usw. können im Anhang 9.1 Usability Tests erfahren werden.

6.2 Testergebnisse

6.2.1 Konzeptvalidierung

Die Konzeptvalidierung wurde an einem Meeting zusammen mit der Kundin durchgeführt. Dabei wurde das Konzept präsentiert, Feedback eingeholt und offene Fragen diskutiert. Letztlich konnte man sich für das endgültige Konzept einigen.

6.2.2 Usability Testing

Über die gesamte Entwicklungszeit des Projekts wurden zwei Usability-Tests durchgeführt. Die Fragestellungen und Testmetriken waren dabei zum Teil unterschiedlich. Die Ergebnisse werden folgend zusammengefasst.

Usability-Test 1

Ergebnisse der Testmetriken aus den Befragungen der Probanden:

Interagieren mit Objekten im Betrachtungsmodus (Sehr gut bis sehr schlecht)

Sehr gut	Gut	Mittel	schlecht	Sehr schlecht
	x			

Interagieren mit Objekten im WIM-Modus (Sehr gut bis sehr schlecht)

Sehr gut	Gut	Mittel	schlecht	Sehr schlecht
	x			

Zusammenfassendes Ergebnis aus den Gesprächen und Beobachtungen:

- Das Platzieren von Objekten erfordert zu viel «Feintuning». Objekte sollten nicht aufspringen, wenn man sie zu tief platziert. Insgesamt ging das Platzieren allerdings sehr gut.
- Man sollte sich nicht auf den Tisch teleportieren können (sollte aber bei Walking in Place keine Probleme geben)
- Das Wechseln zwischen Betrachtungsmodus und Konfigurationsmodus wird ausfolgenden Aspekten nicht gut verstanden:
 - o Der Seiten-Button wird nicht gefunden und benötigt zu viel Kraft um ihn zu betätigen
 - o Nach dem Wechseln in den Konfigurationsmodus sollte man gegen den Tisch ausgerichtet werden

Usability-Test 2

Ergebnisse der Testmetriken aus den Befragungen der Probanden:

Interagieren mit Objekten im Betrachtungsmodus (Sehr gut bis sehr schlecht)

Sehr gut	Gut	Mittel	schlecht	Sehr schlecht
x				

Interagieren mit Objekten im WIM-Modus (Sehr gut bis sehr schlecht)

Sehr gut	Gut	Mittel	schlecht	Sehr schlecht
x				

Verständlichkeit der Checklisten-Punkte

Sehr gut	Gut	Mittel	schlecht	Sehr schlecht
x				

Zusammenfassendes Ergebnis aus den Gesprächen und Beobachtungen:

- Die Testperson war insgesamt sehr zufrieden und hatte nahezu keine negativen Aspekte erwähnt.
- Wünschenswert wäre eine Beschreibung, die die Testperson besser in das Geschehen einführen würde. Beispielsweise wie die Tastenbelegung der Controller zu verstehen ist oder wie man im WIM-Modus interagieren kann.
- Beobachtet wurde wieder, wie schon im Ersten Prototyp, dass das Platzieren der Objekte im WIM-Modus viel Feinmotorik erfordert. Das Problem mit dem zu tiefen Platzieren und deren Folge, aufspringende Objekte tauchte oft auf.

7 Weiterentwicklung des Konzepts und Schluss

Dieses Kapitel beinhaltet Hinweise zur Erweiterung der Applikation und die Schlussfolgerungen zum realisierten Projekt. Im Kapitel „Schluss“ wird zuerst beurteilt ob und wie die Umsetzung die Aufgabenstellung mit den Forschungsfragen erfüllt. Danach folgt die Reflexion der methodischen Vorgehensweise und ein Ausblick mit Vorschlägen für die nächsten Schritte zur Verbesserung der aktuellen Lösung.

7.1 Erweiterung der Applikation

7.1.1 Ziele definieren

Das Checklisten-system ist für die Ziele vorbereitet: Bei den Checklistenpunkten („ChecklistItem“) können IDs von Zielen zugewiesen werden. Die Checklistenpunkte erscheinen dann nur, wenn eine ihrer IDs in der ID-Liste aus der Checkliste vorkommt.

Was noch fehlt ist die Zielauswahl mit den eigentlichen Zielen. Wenn also Ziele über ein UI-Panel wie im Konzept angedacht ausgewählt werden, müssten deren IDs bei der Checkliste gesetzt werden, damit diese dann nur die Checklistenpunkte anzeigt, welche den Zielen entsprechen.

7.1.2 Virtuelle Checkliste erweitern

Die virtuelle, interaktive Checkliste ist so aufgebaut, dass sie gut um weitere Checklistenpunkte ergänzt werden kann. Um einen neuen Checklistenpunkt zu integrieren, muss dem GameObject „Checklist“ ein neues Child-Objekt „ChecklistItemX“ (das „X“ steht für die Zahl des Checklistenpunkts) mit dem ChecklistItem-Skript hinzugefügt werden. Beim Start der Applikation sollte das „ChecklistItemX“ deaktiviert sein.

Die öffentlichen Felder des ChecklistItem-Skripts müssen entsprechend im Unity-Inspector gesetzt werden (siehe Abbildung 26 ChecklistItem mit vollständiger Konfiguration):

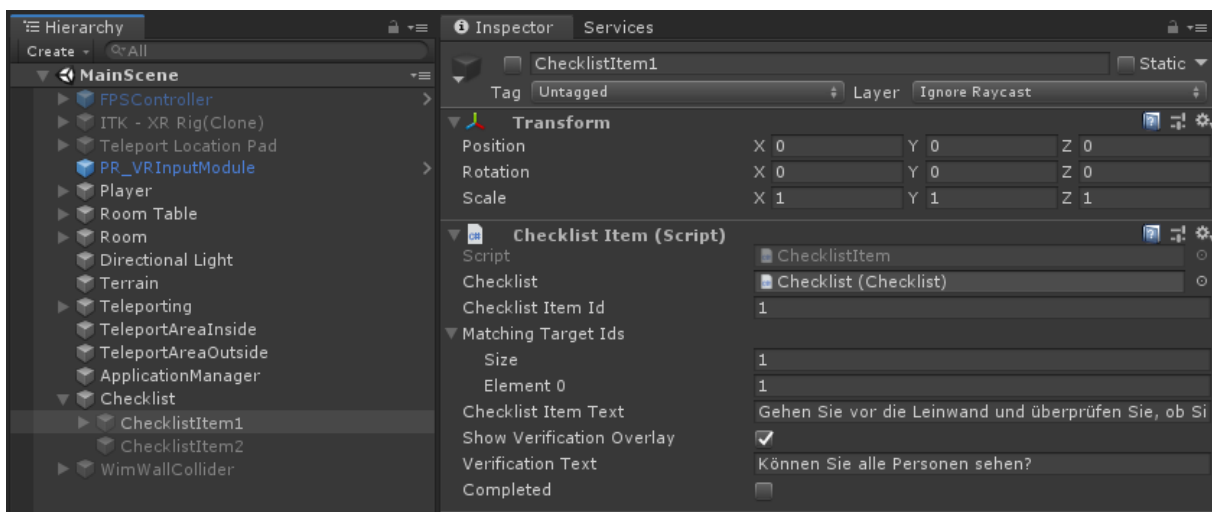


Abbildung 26 ChecklistItem mit vollständiger Konfiguration

Benötigt werden eine eindeutige ID, der Text für die Aufgabe, der Text bei einer allfälligen manuellen Verifikation und die IDs der Ziele. Das neue „ChecklistItemX“ muss ausserdem in der Liste `checklistItems` in „Checklist“ über den Unity-Inspector hinzugefügt werden.

Der Checklistenpunkt wird automatisch gestartet und aktiviert, sobald er an der Reihe ist. Um ihn bei einer erfolgreichen Durchführung zu beenden kann die Methode `CompleteCurrentItem()` in `Checklist.cs` verwendet werden. Falls zuerst noch eine manuelle Verifikation durch den Benutzer über das UI erforderlich ist (mit dem `VerificationText`, z.B. „Können Sie alle Personen von hier sehen?“), kann `StartVerification()` aufgerufen werden. Das UI Panel erledigt dann den Rest.

Es gibt bereits zwei vorbereitete Skripte, welche für die Logik zur Durchführung eines interaktives Checklistenpunkts verwendet werden können:

- `ObectEnabler.cs` – Dieses Skript kann dem „ChecklistItemX“-GameObject hinzugefügt werden. Es aktiviert die Interaktivität und Physik des SteamVR-Plugins für alle Objekte in der Liste des Skripts bei der Durchführung des Checklistenpunkts, bei dem es hinzugefügt ist.
- `TriggerArea.cs` – Dieses Skript kann einem leeren Child-Object des „ChecklistItemX“ mit einem Collider hinzugefügt werden. Es aktiviert die manuelle Verifikation für den zugewiesenen Checklistenpunkt, wenn sich der Benutzer im Bereich seines Colliders befindet, und deaktiviert die Verifikation, wenn er wieder ausserhalb ist.

Um den Ablauf der Checkliste zu verstehen hilft das Diagramm in [Kapitel 5.4.4, Checklist](#).

7.1.3 Zusätzliche Modelle für WIM-Konfiguration

Falls ein neues 3D-Objekt (z.B. eine Pflanze) hinzugefügt werden soll, welches die Anwender im WIM-Modus bei der Raumkonfiguration platzieren können, orientiert man sich am besten an einem bestehenden Modell (z.B. „OfficeChairBlack“). Es sind dieselben Komponenten und Steam-VR-Skripte für die Interaktion notwendig. Wichtig ist ausserdem, dass die Skalierung des 3D-Modells/Prefabs stimmt sowie dass der Layer und Tag korrekt gesetzt werden. Damit das Element auch auf dem UI ausgewählt werden kann, muss es der Liste „furnishings“ beim „UIController“ hinzugefügt werden.

7.1.4 Neue Räume

Falls ein neuer Raum oder Baucontainer in einer neuen Szene angelegt werden soll, ist darauf zu achten, dass dieser die in [Kapitel 5.4.2, Room](#) beschriebenen Elemente enthält und die beschriebene Struktur übereinstimmt, damit die Applikation korrekt funktioniert. Die Skalierung des Raums sollte gleich sein wie aktuell in der „Main Scene“, damit die platzierbaren Gegenstände und Figuren im Raum auch in einem korrekten Grössenverhältnis erscheinen.

7.2 Schluss

7.2.1 Diskussion der Ergebnisse

Das E-Learning-Konzept

In der Recherchephase wurden verschiedene E-Learning-Konzepte untersucht. Das Zusammenstellen einer Übersicht aller E-Learning-Arten war dabei eine Herausforderung. Trotzdem nehmen wir an, dass die relevanten Bestandteile in einer Tabelle gruppiert werden konnten. Ausgehend von der Zusammenstellung wurde eine Auswertungsmatrix erstellt, um die E-Learning-Formen mit den Vorteilen von VR-Anwendungen zu vergleichen. Diese Auswertungsmatrix wurde auch für das Projekt angewendet (Tabelle 4 Projektspezifische Auswertung der Lernformate) und bildete daher eine gute Ausgangslage für die Entwicklung eines Applikationskonzepts, welches auch geeignete E-Learning-Arten verwendet. Die Auswertungsmatrix der E-Learning-Formen (Tabelle 3 Auswertung der Lernformate im Allgemeinen) kann unserer Meinung nach auch gut bei anderen VR-Projekten angewendet werden, welche ein E-Learning-Konzept brauchen. Wichtig wäre dabei, dass die Vorteile angepasst werden. Es müssten dazu die für die VR-Anwendung relevantesten Vorteile aus deren Zusammenstellung (Tabelle 2 Gruppierte und gewichtete Vorteile von VR im E-Learning) für die Auswertung ausgewählt werden.

Um E-Learning-Anwendungen besonders effektiv einzusetzen ist es sehr wichtig, offene Welten zu gestalten, was uns mit der Applikation gut gelungen ist, da der Raum frei eingerichtet und betrachtet werden kann. Der Verzicht auf die Gamification durch simple Badges oder ein Punktesystem erachten wir als sinnvoll, da uns bei der Konzeptvalidierung bestätigt wurde, dass die Zielgruppe oft wenig Zeit hat und direkte Resultate sehen will. Einen Storytelling-Ansatz finden wir gut und ist im Ausblick beschrieben.

Die Usability

In den Rechercharbeiten wurden verschiedene Usability-Konzepte verglichen, welche sich bereits besonders etabliert haben. Das Abwegen der Vor- und Nachteile einzelner Methoden hat dabei geholfen, für die Zielgruppen die richtige Entscheidung bezüglich Benutzung im virtuellen Raum zu treffen. Das Ziel war ein möglichst intuitives Erlebnis, ohne die ganzen Herausforderungen der virtuellen Welt zuerst erlernen zu müssen. Die Entscheidungen fielen daher mehrheitlich auf natürliche Interaktionsformen wie dem Arm Swing oder der virtuellen Hand. Auch bezüglich UI wurde diese Absicht möglichst durchgängig versucht umzusetzen. So wurde weitgehend auf unnötige UI-Elemente verzichtet, indem beispielsweise stattdessen ein Abfalleimer zur Löschung von Einrichtungsgegenständen dient.

Wo dennoch UI-Panels eingesetzt werden mussten, wurde zu Beginn mit Treffsicherheitsproblemen und einigen störenden Fehler gekämpft. Solche Fehler wurden behoben, indem beispielsweise ein dezenter „Visier-Punkt“ zur Orientierung bei der Navigation implementiert wurde. Solche störenden Fehler zu beheben wurde als sehr wichtig gewichtet, da sie ansonsten einem „smoother“ Erlebnis gegenwirken könnten und so bezüglich Usability und UX schlechter abschneiden.

Die Usability-Tests mit den Probanden haben gezeigt, dass das gesamte Bedienkonzept auch für Benutzer, welche zuvor nie einen virtuellen Raum betreten haben, schnell mit der Bedienung klarkommen. Das Usability-Konzept würden wir deshalb als erfolgreich bezeichnen und könnte entsprechend auch in anderen Lernanwendungen gut angewendet werden.

Erfüllt die Lösung die Problemstellung und was ist der geschaffene Wert?

BIM-Manager können mit unserer Applikation den Raum umkonfigurieren, die Änderungen betrachten und somit die Raumkonfigurationen untersuchen. Zusammen mit der virtuellen Checkliste, welche auch virtuelle Personen im Raum zeigt, gehen wir davon aus, dass dies zu einem Lerngewinn führen wird. Ganz konkret können bereits einige der beschriebenen Probleme mit unserer Applikation gelöst oder zumindest verbessert werden. So zum Beispiel das Problem mit den Sitzplätzen und den Screens im Rücken oder mit der Förderung der Interaktion mit dem Laserpointer. Die BIM-Manager können in VR den Raum umkonfigurieren und mit dem WIM-Ansatz ist dies ausserdem noch sehr bequem machbar. Gegenstände müssen nicht wie in der Realität in ihrer Originalgrösse durch den ganzen Raum verschoben werden. Ausserdem führt die Vogelperspektive zu einer zusätzlichen Übersicht. Der Lerngewinn mit der Checkliste ist aktuell noch gering, da sie nur zwei Punkte prüft. Für einen grösseren Lerngewinn müsste sie wie im Ausblick beschrieben ausgebaut werden.

Was noch fehlt sind die Raumziele und Hilfestellungen für die BIM-Manager, nach welchen Kriterien und wie sie die Räume für die BIM-Workshops einrichten können. Wir denken, dass unsere Applikation ein gutes Konzept präsentiert und auch eine gute Grundlage bildet, um weiter ausgebaut zu werden.

7.2.2 Reflexion

Durch unsere ausführliche Forschungsphase zu Beginn des Projekts haben wir sehr viel über allgemeingültige Lösungen bezogen auf die Usability und E-Learning-Konzepte mit VR gelernt. Dieses Wissen erleichterte es uns dann auch ein gutes Applikationskonzept zu erstellen, welches zur Problemstellung passt. Der Nachteil dieser Forschungsphase war, dass wir entgegen der erlernten agilen Softwareentwicklungsmethode mit der Entwicklung des Unity-Projekts erst etwas später beginnen konnten. Wir denken jedoch, dass die Forschungsphase der richtige Weg war, um ein treffendes Applikationskonzept abzuliefern.

Rückblickend können wir sagen, dass es vielleicht sinnvoll gewesen wäre bei der Projektvereinbarung zu verhandeln, welche Punkte wir umsetzen wollen. So haben wir mit der aktuellen Lösung zwar sehr vieles abgedeckt - was es auch spannend machte - wenn wir jedoch bei einem Thema noch mehr in die Tiefe gehen wollten, hätten wir konkreter sein müssen um aufzeigen, wie viel im Rahmen dieses Projekt erreicht werden kann. So können wir sagen, dass die Recherche bereits mit dem jetzigen Umfang sehr viel Zeit in Anspruch nahm, obwohl in vielen Bereichen noch deutlich mehr dazu recherchiert und gefunden werden kann. Der enge Zeitrahmen machte dies nicht möglich und die Forschungsfragen deckten ein sehr grosses Gebiet ab. Das Schreiben des Berichts am Schluss gestaltete sich als etwas langatmig. Zwar hatten wir die Recherche grösstenteils schon erledigt, trotzdem wären wir froh gewesen, wenn wir auch während der Realisierung mehr Dinge direkt im Bericht nachgeführt hätten.

Während der Recherchearbeit haben wir uns sehr auf verschiedene Literaturquellen verlassen. Es hätte jedoch gut sein können, wenn wir ergänzend noch Fachexperten - zum Beispiel zum E-Learning - befragt hätten. Dies hätte eventuell auch einen leichteren Einstieg in die Thematik ermöglicht, da Fachexperten Tipps geben könnten auf was man achten kann und was gute Quellen wären.

Wir denken, dass unser Ansatz mit der Konzeptvalidierung sehr gut funktioniert hat und für diesen Projektumfang die richtige Vorgehensweise war. Ebenso war es sinnvoll, mehrere Prototypen zwischendurch immer wieder auf die Usability zu prüfen. Das Testen mit Personen, welche nicht

direkt am Projekt mitentwickelt haben, führte immer wieder zu wichtigen Erkenntnissen. So konnte beispielsweise festgestellt werden, dass das Menu beim ersten Prototyp ohne die Hilfe eines Pointers nur schwer bedienbar war. Ein weiteres Beispiel ist, dass die Benutzer oft nicht wussten wo sie sind, wenn sie in den WIM-Modus wechseln, da sie je nach Ausrichtung das Modell nicht direkt sichtbar vor sich hatten. Uns war das wegen der Übung und Bekanntheit mit unserer Lösung gar nicht aufgefallen.

Die Zusammenarbeit im Team hat sehr gut funktioniert. Wichtig dafür war sicher die Kommunikation. So haben wir uns oft miteinander abgesprochen und konnten die andere Person fragen, falls diese mehr zu einem Thema wusste. Auch das gegenseitige Verständnis füreinander war wichtig. Wenn die andere Person jeweils eine sehr stressige Phase mit vielen anderen Prüfungen hatte konnte die andere Person kurzzeitig bestimmte Aufgaben übernehmen, was die andere Person dann später wiederum ausgleichen konnte.

Die Aufgaben konnten wir meistens sehr gut via „GitLab Issue-Board“ planen. Das Testen mit dem VR-Headset stellte sich als zeitaufwändigere Aufgabe dar als ursprünglich angenommen. Dafür gab es mehrere Gründe: Manchmal war der VR-Raum bereits belegt und das Headset war anderweitig in Verwendung, aber manchmal hatten wir auch technische Schwierigkeit mit dem Setup. So kam es mehrmals vor, dass wir eine halbe Stunde benötigten, bis das Headset wie erwartet funktionierte. Aber es ist klar, dass wir für solche Probleme immer auch etwas Extrazeit einplanen müssen, da diese vermutlich nie ganz auszuschliessen sind.

Es bereitete uns sehr viel Spass mit Unity zu arbeiten, da wir schnell viel visuelles Feedback erhielten und direkt gesehen haben was wir umsetzten. Ebenso war es sehr spannend im Bereich der virtuellen Realität Forschung zu betreiben. Die virtuelle Realität ist noch nicht so stark verbreitet und könnte sich in Zukunft sicher noch mehr etablieren. So haben wir aufgrund unserer Recherche den Eindruck, dass gerade im Usability-Bereich für VR noch sehr viel Verbesserungspotenzial vorhanden ist und auch komplett neue Ansätze möglich und nötig sind. Wir gehen davon aus, dass bezogen auf die Usability im Bereich von Apps oder klassischen Desktopanwendungen auch schon deutlich mehr erforscht und entwickelt wurde. Dies macht es für uns zusätzlich interessant.

7.2.3 Ausblick

Als nächsten Schritt zur Weiterentwicklung der Applikation würden wir sicher die Zielauswahl fertig implementieren, damit die BIM-Manager auch auswählen können und sich Gedanken machen, wofür sie den Raum einrichten. Des Weiteren wird die Checkliste dann auch nur noch die für die Zielerreichung relevanten Punkte „abfragen“.

Um die Gebrauchstauglichkeit der Applikation zu verbessern, müssten natürlich noch weitere Gegenstände und weiteres Mobiliar (zum Beispiel gemäss dem in der Ausgangslage zitierten morphologischen Kasten) integriert werden. Ebenfalls sollte die virtuelle Checkliste um weitere sinnvolle Punkte ergänzt werden, damit das „Learning by Interacting“-Konzept noch stärker zum Tragen kommt. Um sinnvolle Checklistenpunkte mit einem nachhaltigen Wissensseffekt für die VR-Applikation zu definieren, wäre es sicher gut, wenn Experten aus anderen Bereichen wie der Psychologie, Meeting-Moderation oder Raumeinrichtung miteinbezogen würden.

Für das E-Learning-Konzept gibt es viele spannende Ideen, die in der aktuellen Applikation ergänzend eingesetzt werden könnten. Die nachfolgend aufgelisteten Vorschläge halten wir aufgrund der vorgenommenen Auswertung in diesem Projekt für geeignet:

- Storytelling wäre bei der virtuellen Checkliste eine gute Ergänzung. Die Checkliste würde dabei in Form eines nachgestellten Meetings die wichtigen Punkte bei einer Raumkonfiguration direkt durchgehen, und dabei die „Geschichte“ eines fiktiven Meetings erzählen. Diese soll dafür sorgen, dass sich die Lernenden Informationen noch besser merken können und später noch mehr Wissen, auf was sie beim Workshop achten müssen. Wir vermuten, dass Storytelling in einer virtuellen Welt sehr gut integriert werden kann. Storytelling passt auch perfekt zum restlichen Konzept, da Interaktion und Multimedia für Storytelling sehr wichtig sind. [15]
- Blended Learning könnte eingesetzt werden: Eine Vermittlung der Theorie für Raumgestaltung durch Experten (z.B. gemäss morphologischem Kasten) und dann das praktische Anwenden in der Präsenzphase zusammen mit Trainer in VR halten wir für sinnvoll. Kollaboration sollte dann allerdings auch von der VR-Anwendung unterstützt werden.
- Ausserdem könnte vermehrt auf Wissensdatenbanken zurückgegriffen werden. So könnten die Kosten für die verschiedenen Einrichtungsgestände hinterlegt sein, BIM-Manager könnten bestimmte Konfigurationen speichern oder bewerten wie gut sie die aktuelle Raumkonfiguration zum Erledigen bestimmter Ziele finden. Anhand dieser Bewertungen könnten dann wiederum Dinge abgeleitet werden; beispielsweise welche Tische wie oft zur Erreichung bestimmter Ziele eingesetzt werden.

Um die Usability weiter zu verbessern würden wir folgende nächste Schritte empfehlen:

- Eine Möglichkeit zur Implementierung der Arm Swing Methode sollte für SteamVR gefunden werden. Dieses Feature würde besonders das Ziel vervollständigen, ein möglichst intuitives Fortbewegungskonzept zu erhalten.
- Das Interagieren und Platzieren von Objekten konnte gegenüber den ersten Versionen der Applikation wesentlich verbessert werden. Dennoch scheint das präzise Manövrieren den meisten Benutzern eine Eingewöhnungsphase abzuverlangen. Dieser Problematik könnte möglicherweise mit einem Rasterkonzept entgegengewirkt werden. Elemente müssten so nur annähernd an die gewünschte Stelle platziert werden, damit sie am entsprechenden Ort wie gewünscht fixiert werden.
- Die Durchführung weiterer Usability-Tests - insbesondere mit BIM-Manager - wäre sicher sinnvoll, um mit dem Stand der Projektabgabe wieder aktuelles Feedback zu erhalten was verbessert werden soll.

8 Verzeichnisse

8.1 Literaturverzeichnis

- [1] K. Buehler, A. Kohne. „Lernen mit Virtual Reality: Chancen und Möglichkeiten der digitalen Aus- und Fortbildung“ in *Zukunftsfähige Unternehmensführung* (2019). M. Gross, M. Müller-Wiegand, D. Pinnow (eds), Berlin, Heidelberg, Springer Gabler, 2019, pp.209-224.
- [2] „E-Learning.“ *Brockhaus*. Available: <http://brockhaus.de/ecs/enzy/article/e-learning> [Oct. 28, 2019]
- [3] Z. Merchant, E. T. Goetz, L. Cifuentes, W. Keeney-Kennicutt, T. J. Davis. (2014, Jan.). „Effectiveness of virtual reality-based instruction on students’ learning outcomes in K-12 and higher education: A meta-analysis.“ *Computers & Education*. [Online]. 70, pp.29-40. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360131513002108?via%3Dihub> [Oct. 28, 2019]
- [4] G. Siemens. „Categories of eLearning.“ Internet: <http://elearningliteracy.web.id/?p=24>, Oct. 18, 2004 [Nov. 24, 2019]
- [5] M. Aparicio, F. Bacao, T. Oliveira. (2016, Jan). „An e-Learning Theoretical Framework.“ *Educational Technology & Society*. [Online]. 19(1), pp. 292-307. Available: <https://www.jstor.org/stable/jeductechsoci.19.1.292?seq=1> [Oct. 28, 2019]
- [6] B. Gan. (2019, May). „Design and Application Research of VR/AR Teaching Experience System.“ *Journal of Physics: Conference Series*. [Online]. 1187, Available: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1187/5/052079> [Oct. 27, 2019].
- [7] M. Babiuch, P. Foltynek, P. Smutny. „A Review of the Virtual Reality Applications in Education and Training.“ *20th International Carpathian Control Conference*, 2019.
- [8] E. Ai-Lim Lee, K. Wai Wong. (2014, Oct.). „Learning with desktop virtual reality: Low spatial ability learners are more positively affected.“ *Computers & Education*. [Online]. 79, pp.49-58. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360131514001614?via%3Dihub> [Oct. 28, 2019]
- [9] S. Martin, R. McDonnel, K. Zibrek. (2019, Sep.). „Is Photorealism Important for Perception of Expressive Virtual Humans in Virtual Reality?“ *ACM Transactions on Applied Perception*. [Online]. 16(3), Article 14. Available: <https://dl.acm.org/citation.cfm?doid=3360014.3349609> [Nov. 24, 2019]
- [10] K. J. Blom. „Photo-realism is Fine, but Consistency Counts for Presence.“ Internet: <https://virtualorator.com/blog/photo-realism-presence/>, Oct. 12, 2016 [Nov. 24, 2019]
- [11] „Virtual Reality Best Practices.“ Internet: <https://docs.unrealengine.com/en-US/Platforms/VR/DevelopVR/ContentSetup/index.html> [Nov. 24, 2019]
- [12] S. Michalak. „Guidelines for Immersive Virtual Reality Experiences.“ Internet: <https://software.intel.com/en-us/articles/guidelines-for-immersive-virtual-reality-experiences>, July 3, 2017 [Nov. 24, 2019]

- [13] Epignosis LLC (Jan. 2014). *E-Learning – Concepts, Trends, Applications*. San Francisco, California, USA: Epignosis LLC. [Online]. Available: <https://www.talentlms.com/wp-content/uploads/2018/09/elearning-101-concept-trends-applications.pdf> [Nov 24, 2019]
- [14] P. Dash, S. Pattnaik, J. Pattnayak. (2017, May). „Knowledge Management in E-Learning A Critical Analysis.“ *International Journal Of Engineering And Computer Science*. [Online]. 6(5), pp. 21528-21533. Available: https://www.researchgate.net/publication/317287936_Knowledge_Management_in_E-Learning_A_Critical_Analysis [Nov. 24, 2019]
- [15] S. Patel. „The value of storytelling in gamification.“ Internet: <https://near-life.tech/storytelling-in-gamification/> [Nov. 24, 2019]
- [16] „Real Walking Increases Simulator Sickness in Navigationally Complex Virtual Environments“ *ACM Digital Library*. Available: <https://dl.acm.org/citation.cfm?id=1549881> [Dec. 22, 2019]
- [17] M. Funk, F. Müller, M. Fendrich, M. Shene, M. Kolvenbach, N. Dobbertin, S. Günther, M. Mühlhäuser. (2019). *Assessing the Accuracy of Point & Teleport Locomotion with Orientation Indication for Virtual Reality using Curved Trajectories* Available: <http://www.makufunk.de/wp-content/papercite-data/pdf/funk2019assessing.pdf> [Dec 22, 2019]
- [18] H. Gieselmann. „Doom VR umgeht Simulatorkrankheit per Speed-Teleporting“ Internet: <https://www.heise.de/newsticker/meldung/Doom-VR-umgeht-Simulatorkrankheit-per-Speed-Teleporting-3300087.html> [Dec. 22, 2019]
- [19] M. Usoh, K. Arthur, C. M. Whitton, R. Bastos, A. Steed, M. Slater, F. P. Brooks (1999). *Walking > Walking-in-Place > Flying, in Virtual Environments* Available: https://www.researchgate.net/publication/2457602_Walking_Walking-in-Place_Flying_in_Virtual_Environments [Nov 12, 2019]
- [20] Valve Corporation. „SteamVR FAQ“ Internet: https://support.steampowered.com/kb_article.php?ref=7770-WRUP-5951 [Nov. 12, 2019]
- [21] S. Razzaque, Z. Kohn, C. Whitton. (2001). Redirected Walking: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.132.4818&rep=rep1&type=pdf> [Dec 22, 2019]
- [22] „Bending the Curve: Sensitivity to Bending of Curved Paths and Application in Room-Scale VR.“ *IEEE Xplore*. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7833190> [Nov. 28, 2019]
- [23] „Fitts' Gesetz“ Internet: https://de.wikipedia.org/wiki/Fitts%E2%80%99_Gesetz [Nov. 12, 2019]
- [24] R. Dörner, W. Broll, P. Grimm, B. Jung. Virtual und Augmented Reality (VR/AR). Berlin DE: Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg, 2019, pp. 223-232
- [25] P. Renner, N. Luedike (1997). *Ray Casting* Available: https://www.techfak.uni-bielefeld.de/~tpfeiffe/lehre/VirtualReality/interaction/ray_casting.html [Nov. 2, 2019]
- [26] D. Mendes, D. Medeiros, M. Sousa Eduardo, C. A. Ferreira Joaquim, A. Jorge (2017). *Design and evaluation of a novel out-of-reach selection technique for VR using iterative refinement* Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0097849317300778> [Nov. 2, 2019]

- [27] A. Rohde. (2018). *Design, Implementierung und Evaluation neuartiger 3D Selektionsmetaphern in Virtual Reality* Available: <https://cgvr.cs.uni-bremen.de/theses/finishedtheses/selektionsmetaphern/Bachelorarbeit.pdf> [Dec 22, 2019]
- [28] F. Steinicke, T. Ropinski, K. Hinrichs. (2004). *Selektion von Objekten in Virtuellen Umgebungen*. Available: http://www.mcm.uni-wuerzburg.de/fileadmin/06110000/user_upload/Paper/IMG/2004/SRH04.pdf [Jan 16, 2020]
mit der Improved Virtual Pointer-Metapher Available: https://www.uni-ulm.de/fileadmin/website_uni_ulm/iui.inst.100/institut/Papers/viscom/2004/steinicke2004selektion.pdf [Dec 22, 2019]
- [29] C. Gottfried, F. Reich, A. Steiner. (2012). *Eye Tracking in Forschung und Lehre. Möglichkeiten und Grenzen eines vielversprechenden Erkenntnismittels* Available: https://www.pedocs.de/volltexte/2013/8301/pdf/Digitale_Medien_2012_Rakoczi_Eye_Tracking.pdf pp. 96 [Dec 22, 2019]
- [30] S. Pierece, C. Stearns, R. Pausch. (1999). *Voodoo Dolls: Seamless Interaction at Multiple Scales in Virtual Environments*: Available: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.468.7629&rep=rep1&type=pdf> [Nov. 28, 2019]
- [31] L. Yang. „Rapid VR prototyping without coding in 2019“ Internet: <https://uxdesign.cc/rapid-vr-prototyping-without-coding-in-2019-94d9ca2b544a> [Nov. 5, 2019]
- [32] D. Rauch (2017). „Usability-Tests im Labor mit Virtual Reality (VR)“ *Forschungsbeiträge der eresult GmbH*. Available: <http://www.eresult.de/ux-wissen/forschungsbeitraege/einzelansicht/news/usability-tests-im-labor-mit-virtual-reality-vr/> [Dec. 22, 2019]
- [33] D. Allcoat, A. von Mühlennen. „Learning in virtual reality: Effects on performance, emotion and engagement“, *RLT*, vol. 26, Nov. 2018.
- [34] L. Suter, „SI 18-20 - Digitaler Wandel Bau - Ergebnisbericht Fallstudie 1 (Losinger Marazzi)“ Fachhochschule Nordwestschweiz, Hochschule für Angewandte Psychologie, Institut für Kooperationsforschung und -entwicklung ifk, Olten. Feb. 25, 2019.
- [35] „Fachhochschule Nordwestschweiz - Digitaler Wandel Bau“ Internet: <https://www.fhnw.ch/de/die-fhnw/strategische-initiativen/bauwesen/digitaler-wandel-bau> [Jan 10, 2020].
- [36] Duchowski, A.T. *Eye Tracking Methodology: Theory and Practice*. London GB: Springer, 2003, pp.
- [37] „VR-Krankheit“ Internet: <https://de.wikipedia.org/wiki/VR-Krankheit> [Dec. 22, 2019]

8.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Screenshots aus der Anwendung: Links die Raumkonfiguration mittels WIM, rechts ist die virtuelle Checkliste aktiv	7
Abbildung 2 Morphologischer Kasten aus dem Ergebnisbericht der Fallstudie	10
Abbildung 3 E-Learning Kategorien nach G. Siemens	14
Abbildung 4 E-Learning Framework	16
Abbildung 5: Screenshot beim Teleportieren https://www.esri.com/arcgis-blog/products/3d-gis/3d-gis/gis2vr-from-cityengine-via-unity-to-htc-vive/	30
Abbildung 6: AngleSelect Teleportation [17].....	30
Abbildung 7: Screenshot beim Selektieren mit Ray Casting [25].....	34
Abbildung 8 Screenshots bei eingesetzter Flashlight-Technik [26].....	35
Abbildung 9 Illustration zu Mr Gadget [24:229]	35
Abbildung 10 Technik der Sticky-Ray-Methode [28].....	36
Abbildung 11 WIM-Methode [24:230]	37
Abbildung 12 Virtuelle Hand [https://seretel-technologies.fr/2017/08/01/les-manettes-a-travers-les-annees-nos-preferences/].....	40
Abbildung 13 Interaktion mit Voodoo-Dolls [30]	41
Abbildung 14 [https://www.procontext.de/aktuelles/2010/03/iso-9241210-prozess-zur-entwicklung-gebrauchstauglicher-interaktiver-systeme-veroeffentlicht.html].....	45
Abbildung 15 Eingesetzte Tools für den 5-Step-Workflow	46
Abbildung 16 Einrichtung in der Draufsicht des physischen Raums für den Usability-Test [32] ...	48
Abbildung 17 Wireframes der Raumkonfiguration	50
Abbildung 18 Wireframes der virtuellen Checkliste.....	52
Abbildung 19 WIM-Tisch mit Modellen auf der Tischfläche.....	59
Abbildung 20 Controller-Konfiguration für SteamVR.....	65
Abbildung 21 MainScene-Hierarchy	67
Abbildung 22 WIM-Tisch in der MainScene	67
Abbildung 23 Rauminnenansicht in der MainScene	67
Abbildung 24 Sequenzdiagramm der Checkliste	71
Abbildung 25 Kartonprototyp für die Raumkonfiguration	74
Abbildung 26 ChecklistItem mit vollständiger Konfiguration	77

8.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 E-Learning Bestandteile	17
Tabelle 2 Gruppierte und gewichtete Vorteile von VR im E-Learning.....	21
Tabelle 3 Auswertung der Lernformate im Allgemeinen.....	23
Tabelle 4 Projektspezifische Auswertung der Lernformate	25
Tabelle 5 Vor-/Nachteile im relativen Vergleich zu Navigations-/Fortbewegungsmethoden	32
Tabelle 6 Vor- und Nachteile im relativen Vergleich zu Selektionsmethoden	39
Tabelle 8 Vor- und Nachteile im relativen Vergleich zu Manipulationsmethoden.....	42
Tabelle 9 Vor- und Nachteile im relativen Vergleich zu Menükonzepten.....	44
Tabelle 10 Übersicht und Begründungen der vorgesehenen E-Learning-Komponenten.....	53
Tabelle 11 Übersicht der Usability-Entscheidungen	55
Tabelle 12 Übersicht der geprüften Methoden für den Moduswechsel.....	61
Tabelle 13 Übersicht der GameObjects der "MainScene"	68

9 Anhang

9.1 Usability Tests

Usability Test «1.Prototyp»

Mit diesem Usability Test soll der Stand des ersten Prototyps getestet werden. Die Ergebnisse werden in diesem Dokument direkt in dem Kapitel «Durchführungsbogen Testperson» dokumentiert.

Fragestellungen

- Wie intuitiv sind Interaktionen und Bewegungen
- Wie wird das Wechseln zwischen Konfigurationsmodus und Betrachtungsmodus/Checklistenmodus wahrgenommen

Persona

- Keine VR-Erfahrung
- 18+
- Mindestens wenig technischer Hintergrund

Testmethode

Probanden testen die aktuelle Version direkt an der VR-Brille. Sie werden dabei aufgefordert ihre Gedankengänge laut auszusprechen. Die Durchführung wird dabei auf Video aufgezeichnet. Im Anschluss wird mittels Fragebogen, die Fragestellungen geklärt.

Für die Durchführung wird gemäss Rechercheergebnisse im Bericht Kapitel «2.6.2.2 Berücksichtigungen bei der Durchführung» eingegangen, um insbesondere betreffend Usability Test im VR-Bereich optimale Ergebnisse erzielen zu können.

Durchführungseigenschaften

- Die Anzahl Testpersonen wird auf Grund des kleinen Umfangs auf 2 beschränkt.
- Pro Testperson sind 20min geplant.

Szenario

Du bist ein BIM-Manger und möchtest für den kommenden BIM-Workshop einen Raum einrichten.

Use Case

1. Mache dich mit dem Raum vertraut, indem du ihn betrachtest. (Rumschauen)
2. Gehe von der einen Seite Raums auf die andere Seite (Walking in Place im Betrachtungsmodus/Checklistenmodus)
3. Gehe zum Laptop, der auf dem Tisch liegt (Walking in Place im Betrachtungsmodus/Checklistenmodus)
4. Nimm den Laptop und platziere ihn an einem anderen Ort (Interaktion im Betrachtungsmodus/Checklistenmodus)
5. Wechsle in den Konfigurationsmodus (Moduswechsel)
6. Laufe einmal um den Tisch (Walking in Place im Konfigurationsmodus)
7. Platziere den 4er Tisch neben der Tür im Raum (Interaktion während Raumkonfiguration)
8. Lösche die Pflanze im Raum (Interaktion während Raumkonfiguration)

Testmetriken

Als Testmetriken werden nach der Durchführung die generelle Zufriedenheit von Interaktion und Bewegung befragt. Dazu wird zum einen eine Zufriedenheitsskala zwischen 1 und 5 benutzt. Zudem werden noch offene Fragen gestellt (Siehe Testmetriken im Durchführungsbogen).

Durchführungsbogen Testperson 1

Use Case Dokumentation während Durchführung

Schritt	Beobachtung des Probanden	Gedanken der Probanden
1	Hat in der ersten Minute keine Probleme mit Motion Sickness. Allerdings verliert er mehrere male die Orientierung nach dem Teleportieren. Teil steht er danach zu nahe an der Wand und versteht danach nicht, was das ist.	Keine notwendigen Gedanken zum kommentieren...
2	Geht zu wenig nah an Objekte heran um mit ihnen interagieren zu können. Bzw. versteht er zwar den Mechanismus, es dauert aber jeweils ca. 5-8 sek. Bis er nahe genug am Objekt ist.	
3	Findet Knopf nicht für den Konfigurationsmodus	

Befragungen nach Durchführung

Folgende «Offene Fragen» können als zusätzliche Inputs dienen, sofern sie nicht während der Durchführung bereits beantwortet wurden.

Bewegen im Raum

Dieser Teil wurde ausgelassen, da Walking in Place zurzeit nicht funktioniert. Die Testperson hat sich stattdessen mittels Teleportation fortbewegt.

Wie beurteilen sie die Fortbewegung im Raum (Sehr gut bis sehr schlecht)

Sehr gut	Gut	Mittel	schlecht	Sehr schlecht

Was halten sie von dieser Fortbewegungsmethode (Geschwindigkeitskontrolle, Tastenbelegung, Einfachheit)

Klicken oder tippen Sie hier, um Text einzugeben.

Könnte man es besser machen?

Klicken oder tippen Sie hier, um Text einzugeben.

Interaktion

Wie war für sie das Interagieren mit Objekten im Betrachtungsmodus (Sehr gut bis sehr schlecht)

Sehr gut	Gut	Mittel	schlecht	Sehr schlecht

	x			
--	---	--	--	--

Könnte man es besser machen?

Mir ist nicht klar wie tief man ein objekt platzieren muss, damit diese genau auf der Fläche aufstehen. Wenn ich zu tief platzieren, hüpfen die Objekte auf. Wenn ich zu hoch platziere, fallen sie zu weit runter.

Wie war für sie das Interagieren mit Objekten im Konfigurationsmodus (Sehr gut bis sehr schlecht)

Sehr gut	Gut	Mittel	schlecht	Sehr schlecht
	x			

Könnte man es besser machen?

Man braucht eine wirklich kurze Eingewöhnungszeit, danach ist es aber ok und funktioniert gut. Das ich mich versehentlich auf den Tisch gebeamt habe, finde ich allerdings schlecht. Das sollte man nicht können.

Wechsel zwischen Konfigurationsmodus und Betrachtungsmodus/Checklistenmodus

Wie war für sie der Wechsel zwischen Raum-Konfigurieren und Raum-Betrachten?
(Orientierungsprobleme, Motion-Sickens...)

Die Buttons auf der Seite des Controllers konnte ich kaum bedienen. Man sollte das wechseln auf einen anderen Button verschieben.

Das Wort «Konfigurationsmodus» hat mich verwirrt. Ich dachte ich komme in ein Menu..., allerdings hat sich die Scene geändert. Es war mir nicht klar, dass ich ab jetzt Dinge konfigurieren kann.

Nach dem wechseln in den Konfigurationsmodus sollte seine Sicht auf den Tisch ausgerichtet werden.

Ergebnisse zusammengefasst

- Das platzieren von Objekten erfordert zu viel «Feintuning». Objekte sollten nicht aufspringen, wenn man sie zu tief platziert. Insgesamt ging das Platzieren allerdings sehr gut.
- Man sollte sich nicht auf den Tisch teleportieren können (sollte aber bei Walking in Place keine Probleme geben)
- Das switchen zwischen Betrachtungsmodus und Konfigurationsmodus wird ausfolgenden Aspekten nicht gut verstanden:
 - o Der Seiten-Button wird nicht gefunden und benötigt zuviel Kraft um ihn zu betätigen
 - o Nach dem switchen in der Konfigurationsmodus sollte man gegen den Tisch ausgerichtet werden

Usability Test «2.Prototyp»

Mit diesem Usability Test soll der Stand des 2ten Prototyps getestet werden. Die Ergebnisse werden in diesem Dokument im Kapitel «Durchführungsbogen Testperson» dokumentiert.

Für diesem Prototypen wurden folgende Ergebnisse aus den Ergebnissen des Usability Test «1.Prototyp» überarbeitet:

- Das Platzieren von Objekten erfordert zu viel «Feintuning». Objekte sollten nicht aufspringen, wenn man sie zu tief platziert. Insgesamt ging das Platzieren allerdings sehr gut.
(Keine Überarbeitung)
- Man sollte sich nicht auf den Tisch teleportieren können (sollte aber bei Walking in Place keine Probleme geben)
Teleportieren zurzeit immer noch als Workaround eingesetzt.
- Das Switchen zwischen Betrachtungsmodus und WIM-Modus wird aus folgenden Aspekten nicht gut verstanden:
 - o Der Seiten-Button wird nicht gefunden und benötigt zu viel Kraft um ihn zu betätigen
(Button versetzt auf: Linker Controller oben Touchpad)
 - o Nach dem Switchen in den WIM-Modus sollte man gegen den Tisch ausgerichtet werden
(Behoben: Benutzer sieht nach dem Switchen immer Richtung Tisch)

Fragestellungen

- Wie intuitiv sind Interaktionen und Bewegungen
- Wie wird das Wechseln zwischen WIM-Modus und Betrachtungsmodus wahrgenommen?
- Ist der Ablauf der Checkliste gut?
- Sind die Checklisten-Punkte Sinnvoll?
- Erzielen sie einen Lerneffekt?

Persona

- Keine oder wenig VR-Erfahrung
- 18+
- Wenig technischer Hintergrund

Testmethode

Probanden testen die aktuelle Version direkt an der VR-Brille. Sie werden dabei aufgefordert ihre Gedankengänge laut auszusprechen. Im Anschluss wird mittels Fragebogen, die Fragestellungen geklärt.

Für die Durchführung wird gemäss Rechercheergebnisse im Bericht Kapitel «2.6.2.2 Berücksichtigungen bei der Durchführung» eingegangen, um insbesondere betreffend Usability Test im VR-Bereich optimale Ergebnisse erzielen zu können.

Durchführungseigenschaften

- Die Anzahl Testpersonen wird auf Grund des kleinen Umfangs auf 1 Person beschränkt.
- Es sind ca. 20min geplant.

Szenario

Du bist ein BIM-Manger und möchtest für den kommenden BIM-Workshop einen Raum einrichten.

Use Case

1. Mache dich mit dem Raum vertraut, indem du ihn betrachtest. (Rumschauen)
2. Gehe von der einen Seite Raums auf die andere Seite («Teleportation»)
3. Wechsle in den WIM-Modus (Moduswechsel Wahrnehmung)
4. Laufe einmal um den Tisch («Teleportation im WIM-Modus»)
5. Richte den Raum nach deinen Wünschen ein (Interaktion mit Objekten im WIM)
6. Wechsle wieder in den Checklistenmodus (Moduswechsel Wahrnehmung)
7. Starte die Checkliste (Checkliste finden und Interaktion mit Checkliste)
8. Folge den Anweisungen des Checklisten-Ablaufs (Checkliste)

Testmetriken

Als Testmetriken werden nach der Durchführung die generelle Zufriedenheit von Interaktion und Bewegung befragt. Dazu wird zum einen eine Zufriedenheitsskala zwischen 1 und 5 benutzt. Zudem werden noch offene Fragen gestellt (Siehe Testmetriken im Durchführungsbogen).

Durchführungsbogen Testperson 1

Use Case Dokumentation während Durchführung

Schritt	Beobachtung des Probanden	Gedanken der Probanden
1	Feingefühl betreffend Interaktion von Objekten in den ersten 10min eher schlecht. Gegen den Schluss wurde es aber merklich besser.	

Befragungen nach Durchführung

Folgende «Offene Fragen» können als zusätzliche Inputs dienen, sofern sie nicht während der Durchführung bereits beantwortet wurden.

Bewegen im Raum

Dieser Teil wurde ausgelassen, da Walking in Place zurzeit nicht funktioniert. Die Testperson hat sich stattdessen mittels Teleportation fortbewegt.

Wie beurteilen sie die Fortbewegung im Raum (Sehr gut bis sehr schlecht)

Sehr gut	Gut	Mittel	schlecht	Sehr schlecht

Was halten sie von dieser Fortbewegungsmethode (Geschwindigkeitskontrolle, Tastenbelegung, Einfachheit)

Klicken oder tippen Sie hier, um Text einzugeben.

Könnte man es besser machen?

Klicken oder tippen Sie hier, um Text einzugeben.

Interaktion

Wie war für sie das Interagieren mit Objekten im Betrachtungsmodus (Sehr gut bis sehr schlecht)

Sehr gut	Gut	Mittel	schlecht	Sehr schlecht
x				

Könnte man es besser machen?

Obwohl es mir schwierig viel, finde ich es gut. Es braucht halt etwas Übung... ich wüßte aber nicht was man da besser machen soll. Es ist ja so intuitiv wie es nur gehen kann.

Wie war für sie das Interagieren mit Objekten im WIM-Modus (Sehr gut bis sehr schlecht)

Sehr gut	Gut	Mittel	schlecht	Sehr schlecht
x				

Könnte man es besser machen?

Selbes wie beim Betrachtungsmodus

Wechsel zwischen WIM-Modus und Betrachtungsmodus/Checklistenmodus

Wie war für sie der Wechsel zwischen WIM-Modus und Betrachtungsmodus?
(Orientierungsprobleme, Motion-Sickness...)

Ich hatte gar keine Probleme. Weder mit Sickness noch mit Orientierungsprobleme

Checkliste

Waren die Checklisten-Punkte unmissverständlich ausgedrückt?

Sehr gut	Gut	Mittel	schlecht	Sehr schlecht
x				

Hatten die Checklisten-Punkte eine positiven Lerneffekt auf dich? Hast du Verbesserungsvorschläge?

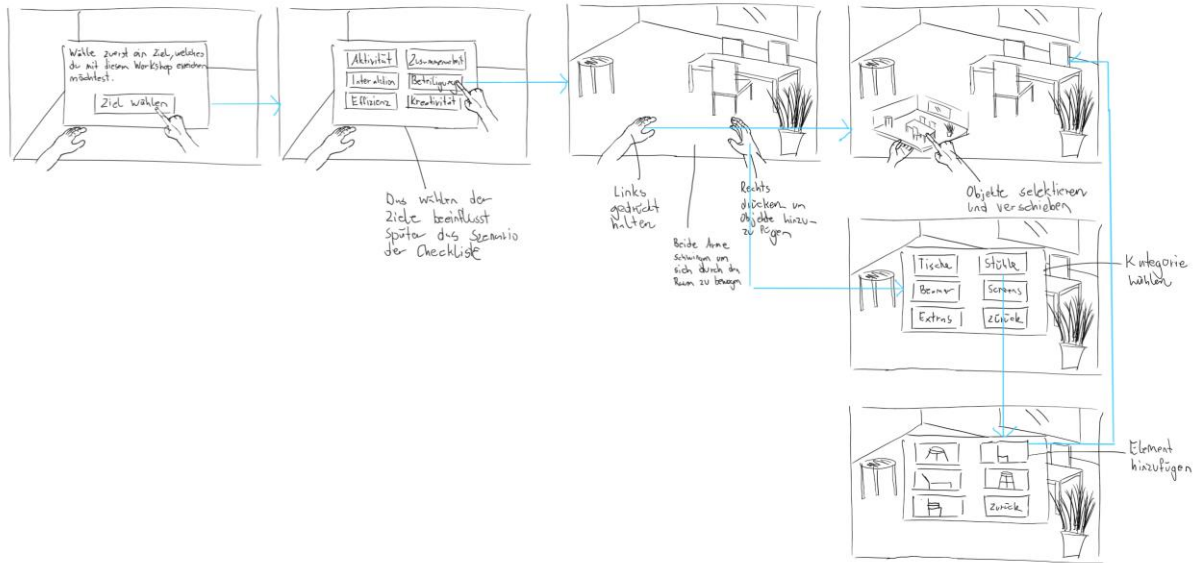
Ja sie hatten positiven Effekt. Ich denke auch, dass diese Punkte Sinnvoll gewählt wurden. Ich kann dazu nichts Negatives sagen.

Ergebnisse zusammengefasst

- Die Testperson war insgesamt sehr zufrieden und hatte nahezu keine negativen Aspekte erwähnt.
- Wünschenswert von der Testperson wäre: Beschreibungen, die einem besser in das Geschehen einführen. Beispielsweise wie die Tastenbelegung der Controller zu verstehen ist. Oder wie man im WIM-Modus interagiert...
- Beobachtet wurde wieder, wie schon im Ersten Prototyp, dass das Platzieren der Objekte im WIM-Modus viel Feinmotorik erfordert. Das Problem mit dem zu tiefen Platzieren und deren Folge, aufspringende Objekte tauchte oft auf.

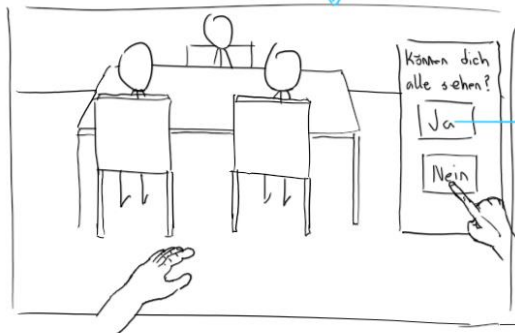
9.2 Wireframes

Raum-Konfiguration

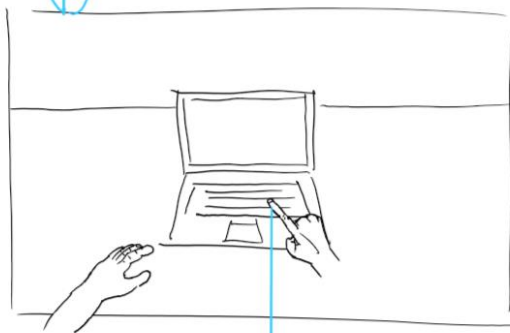
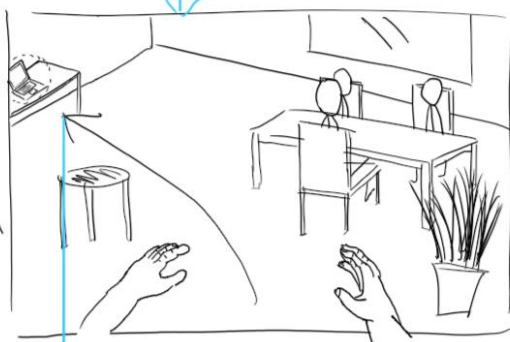


Checkliste

Checklisten-Punkt 1: Begrüßung



Checklisten-Punkt 2: Sicht auf Beamer



Gehen durch Schwingen der Arme

9.3 Kartonprototyp



9.4 Projektausschreibung

19HS_IIT03: BIM Workshop VR

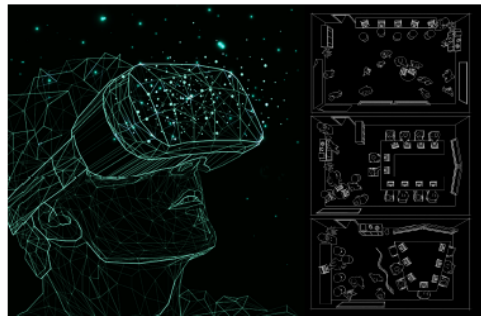
Betreuer: [Doris Agotai](#)
[Kathrin Koebel](#)

	Priorität 1	Priorität 2
Arbeitsumfang:	P5 oder P6	---
Teamgrösse:	1er oder 2er Team	---

Sprachen: Deutsch oder Englisch

Ausgangslage

In der Planungs-, Bau- und Immobilienindustrie ist im Zuge der Digitalisierung und der damit verbundenen Einführung des "Building Information Modelling" (BIM) ein Paradigmenwechsel im Gange. Statt mit 2D-Plänen wird zunehmend mit 3D-Modellen gearbeitet, welchen eine zentrale, objektbasierte Verwaltung von Projektinformationen zugrunde liegt. In etlichen Unternehmungen wird die BIM-Methode bereits im Planungs- und Umsetzungsprozess eingesetzt, doch mit der neuen Arbeitsweise sind auch neue Herausforderungen und neue Rollen verbunden, beispielsweise dieser des BIM-Managers. Dieser hat u.a. die regelmässig stattfindenden BIM-Workshops zu leiten, an welchen die Planungskoordination zwischen den verschiedenen Fachplanern erfolgt. Abhängig vom Projektstadium und Ziel, das an einem solchen BIM-Workshop verfolgt wird, sind unterschiedliche Raumkonfigurationen empfohlen.



Ziel der Arbeit

Ziel der Arbeit ist die Entwicklung einer VR Simulation, mit welcher zukünftige BIM-Manager die Auswirkungen von unterschiedlichen Raumsettings eines BIM-Workshops erlernen können. Intuitive Interaktionsformen sollen es auch in VR unerfahrenen Benutzern erlauben, die Konfiguration dieses virtuellen BIM-Workshopraumes zu verändern. Die resultierende Anwendung soll sich zudem durch gute Usability auszeichnen.

Problemstellung

Folgende und ähnliche Fragen sollen durch die Arbeit beantwortet werden:

- Was für eLearning Konzepte eignen sich für VR-Anwendungen?
- Wie können Benutzer intuitiv im virtuellen Raum interagieren?
- Wie kann die Usability und User Experience einer solchen Anwendung getestet werden?

Technologien/Fachliche Schwerpunkte/Referenzen

- Unity
- 3D Modelling
- eLearning
- Spatial Interface- und Interaction Design

Bemerkung

Dieses Projekt wird im Rahmen der Strategischen Initiative "Digitaler Wandel Bau" der FHNW durchgeführt. Mehr Informationen unter www.fhnw.ch/de/die-fhnw/strategische-initiativen/bauwesen/digitaler-wandel-bau

9.5 Projektvereinbarung

V4

Projektvereinbarung

Projekttitle:	BIM Workshop VR Simulation
Projektteam:	Linus Kohler, Manuel Riedi
Projektauftraggeberinnen:	Kathrin Koebel, Doris Agotai
Projektkundin:	Livia Suter (FHNW Digitaler Wandel Bau)
Projektdauer:	Geplanter Beginn: 16. September 2019 Geplantes Ende: 17. Januar 2020
Ausgangssituation und Problembeschreibung:	Für das Arbeiten in sogenannten „BIM-Workshops“ müssen sich die Teilnehmer, insbesondere die BIM-Manager, mit neuen Herausforderungen betreffend Planungscoordination und Durchführung auseinandersetzen. Abhängig vom beabsichtigten Ziel des Workshops, wirken sich unterschiedliche Raumsettings (Anordnung von Mobiliar, Screens, Zonenbildung, usw.) auf die Effizienz und Effektivität der Durchführung aus.
Aufgabenstellung:	Beinhaltet die Entwicklung einer VR-Simulation, welche es für BIM-Manager und Teilnehmer ermöglicht verschiedene Raumsettings so vorzunehmen, dass sie die Auswirkungen auf den Workshop untersuchen und erlernen können. Mit der Entwicklung wird dabei auch möglichst intuitive Usability, gutes UX-Design sowie ein effektives eLearning-Konzept beabsichtigt.
Projektvision:	Eine VR-Simulation, mit welcher BIM-Manager die Auswirkungen unterschiedlicher Raumsettings untersuchen und so für die Durchführung künftiger BIM-Workshop einen Lerngewinn erzielen können.

27.09.2019

1/2



Methodik und Vorgehen:	<p>Wir wollen agil vorgehen, dabei die Methodik allerdings an unsere Arbeitsweise zu zweit anpassen. Die Kunden- und Projektanforderungen, sowie die Meilensteine werden wir via GitLab als Issues in einem „Backlog“ verwaltet.</p> <p>Die Ergebnisse der Research- und Konzept-Phase werden zuerst in der Konzeptvalidierung überprüft. Erst danach beginnen die Arbeiten mit den programmierten Prototypen.</p> <p>Geplante Meilensteine:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Meilensteine:</th> <th>Datum:</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>Projektvereinbarung unterschrieben</td> <td>15. Oktober 2019</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>Research und Konzept abgeschlossen</td> <td>29. Oktober 2019</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>Konzeptvalidierung (Mit Kunde)</td> <td>15. November 2019</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>1. Prototyp</td> <td>29. November 2019</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>2. Prototyp (Mit Kunde)</td> <td>20. Dezember 2019</td> </tr> <tr> <td>F</td> <td>Finales Produkt fertiggestellt</td> <td>07. Januar 2020</td> </tr> <tr> <td>G</td> <td>Abgabe Projekt und Bericht</td> <td>17. Januar 2020</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th colspan="4">Okt</th> <th colspan="4">Nov</th> <th colspan="3">Dez</th> <th>Ja</th> </tr> <tr> <th>KW</th> <th>41</th> <th>42</th> <th>43</th> <th>44</th> <th>45</th> <th>46</th> <th>47</th> <th>48</th> <th>49</th> <th>50</th> <th>51</th> <th>2</th> <th>3</th> </tr> <tr> <th>Meilensteine</th> <th colspan="2">A</th> <th colspan="2">B</th> <th colspan="2">C</th> <th colspan="2">D</th> <th colspan="3">E</th> <th>F</th> <th>G</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Konzept Skizzieren</td> <td colspan="4">█</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Research betreiben</td> <td colspan="4">█</td> <td colspan="4">█</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Konzeptvalidierung</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td colspan="4">█</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Code Umsetzung</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td colspan="4">█</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Testen / Auswerten</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td colspan="2">█</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Bericht bearb.</td> <td colspan="4">█</td> <td></td> <td></td> <td colspan="2">█</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>█</td> </tr> </tbody> </table>		Meilensteine:	Datum:	A	Projektvereinbarung unterschrieben	15. Oktober 2019	B	Research und Konzept abgeschlossen	29. Oktober 2019	C	Konzeptvalidierung (Mit Kunde)	15. November 2019	D	1. Prototyp	29. November 2019	E	2. Prototyp (Mit Kunde)	20. Dezember 2019	F	Finales Produkt fertiggestellt	07. Januar 2020	G	Abgabe Projekt und Bericht	17. Januar 2020		Okt				Nov				Dez			Ja	KW	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	2	3	Meilensteine	A		B		C		D		E			F	G	Konzept Skizzieren	█													Research betreiben	█				█									Konzeptvalidierung					█									Code Umsetzung						█								Testen / Auswerten							█							Bericht bearb.	█						█						█
	Meilensteine:	Datum:																																																																																																																																																				
A	Projektvereinbarung unterschrieben	15. Oktober 2019																																																																																																																																																				
B	Research und Konzept abgeschlossen	29. Oktober 2019																																																																																																																																																				
C	Konzeptvalidierung (Mit Kunde)	15. November 2019																																																																																																																																																				
D	1. Prototyp	29. November 2019																																																																																																																																																				
E	2. Prototyp (Mit Kunde)	20. Dezember 2019																																																																																																																																																				
F	Finales Produkt fertiggestellt	07. Januar 2020																																																																																																																																																				
G	Abgabe Projekt und Bericht	17. Januar 2020																																																																																																																																																				
	Okt				Nov				Dez			Ja																																																																																																																																										
KW	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	2	3																																																																																																																																									
Meilensteine	A		B		C		D		E			F	G																																																																																																																																									
Konzept Skizzieren	█																																																																																																																																																					
Research betreiben	█				█																																																																																																																																																	
Konzeptvalidierung					█																																																																																																																																																	
Code Umsetzung						█																																																																																																																																																
Testen / Auswerten							█																																																																																																																																															
Bericht bearb.	█						█						█																																																																																																																																									

Projektrisiken	Risiko:	Gegenmaßnahme:
	<p>Verlust von Projektdaten: Sämtliche Projektdaten werden mit GitLab verwaltet. Ein Problem oder Ausfall dessen Server hätte den Verlust sämtlicher Projektdaten zur Folge.</p> <p>Der Zeitraum für die Entwicklung beträgt nur wenige Monate. Die Qualität betreffend Usability und eLearning-Konzept könnten darunter leiden.</p>	<p>Backups des gesamten Repositories werden einmal wöchentlich erstellt und lokal auf unseren Rechnern abgelegt.</p> <p>Um in jedem Fall ein gewinnerbringendes Ergebnis gewährleisten zu können wird zuerst gemäss Rechercheergebnissen unser Konzept validiert. Zudem wird nach jeder Fertigstellung eines Prototyps ein Testing eingeplant. Dieses wird anschließend ausgewertet sodass die Ergebnisse in die weitere Projektentwicklung einbezogen werden können.</p>

Datum und Unterschrift Betreuer:

21.10.2019 
 28.10.19 


Datum und Unterschriften Projektteam:

29.10.2019 
 29.10.2019 

9.6 Container Flyer

Conducta

Raumsysteme



Container Typ AR

- ISO-Norm-Container
- Dreifach stapelbar
- Einrichtung nach Wunsch
- Verschiedene Grössen

Conducta AG, Stegackerstrasse 6, CH-8409 Winterthur, Telefon +41 (0)52 234 51 51, Fax +41 (0)52 234 51 50, info@conducta.ch

Container Typ AR



Durch Zusammenfügen einzelner Module können beliebig grosse Gebäude gebildet werden.

ISO-Norm-Container

Dreifach stapelbar, mit Statik. Container mit umlaufendem Stahlrahmen, Aussenverkleidung Profilstahlblech, verzinkt und lackiert. Kunststoff-Dreh-/Kipp-Fenster, isolierverglast, mit Rollläden.

Boden, Dach und Wände komplett isoliert, Innenverkleidung weiss beschichtete Spanplatten, pflegeleichter PVC-Bodenbelag.



Grössen

3.00 m x 2.43 m
4.88 m x 2.43 m
6.05 m x 2.43 m
7.33 m x 2.43 m
9.10 m x 2.43 m

Raumhöhe 2.34 m,
auf Wunsch 2.54 m.

Möblierungen nach Ihrer Wahl für alle Nutzungsarten, z.B.:

- Mannschaftsräume
- Bauleitungsbüros
- Temporäre Grossraumbüros
- Unterkünfte und Garderoben



01.10./3000

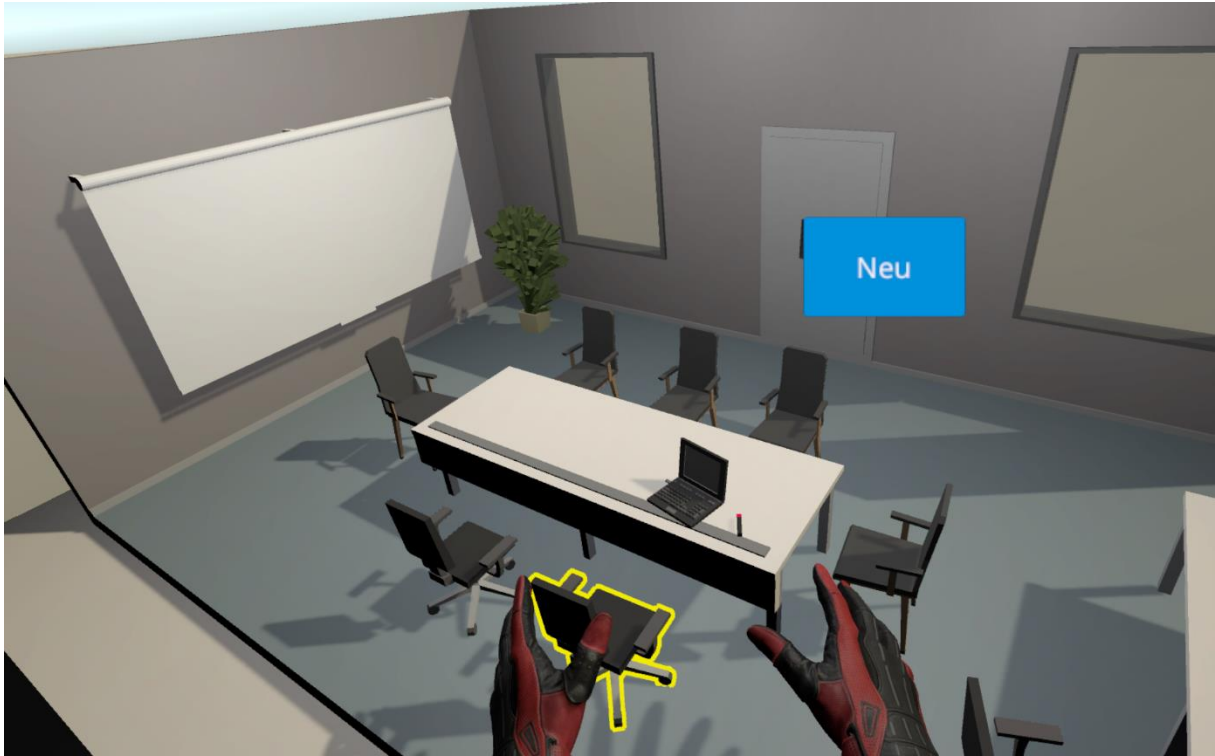
Conducta AG, Stegackerstrasse 6, CH-8409 Winterthur, Telefon +41 (0)52 234 51 51, Fax +41 (0)52 234 51 50, info@conducta.ch

www.conducta.ch

9.7 Screenshots der finalen Lösung

Nachfolgend einige Screenshots aus der finalen Lösung:







A1. Ehrlichkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, den vorliegenden Bericht selbständig, ohne Hilfe Dritter und nur unter Benutzung der angegebenen Quellen verfasst zu haben.

Ort und Datum

Unterschrift