



OTTO VON GUERICKE  
UNIVERSITÄT  
MAGDEBURG



FAKULTÄT FÜR  
INFORMATIK

Otto-von-Guericke Universität Magdeburg

**Fakultät für Informatik**

Lehrstuhl für Visualisierung

Unterstützung von  
Sicherheitsunterweisungen  
durch Gamification und Virtual Reality

**Masterarbeit**

Autorin:

Thu Ha Claudia Vuong

Studiengang: Computervisualistik

Matrikelnummer: 200808

Gutachter und Betreuer:

Prof. Dr.-Ing. Bernhard Preim

Zweiter Gutachter und betrieblicher Betreuer:

Dr.-Ing. Tina Haase



**Fraunhofer**

**IFF**

Magdeburg, 13.08.2018

**Vuong, Thu Ha Claudia:**

*Unterstützung von Sicherheitsunterweisungen  
durch Gamification und Virtual Reality*

Masterarbeit, Otto-von-Guericke Universität  
Magdeburg, 2018.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>3</b>
<b>Danksagung</b>	<b>5</b>
<b>Kurzfassung</b>	<b>7</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>9</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>11</b>
1.1 Motivation . . . . .	11
1.2 Ziele . . . . .	12
1.3 Struktur der Arbeit . . . . .	12
<b>2 Hintergrund</b>	<b>13</b>
2.1 Arbeitsschutz . . . . .	13
2.2 Elektrische Energietechnik . . . . .	13
2.3 Lernen im Beruf . . . . .	14
2.3.1 Modell der vollständigen Handlung . . . . .	14
2.4 Gamification . . . . .	16
2.4.1 Motivationspsychologische Grundlagen . . . . .	16
2.4.2 Ansätze zur Realisierung von Gamification . . . . .	18
2.4.3 Gamification Framework Octalysis . . . . .	18
2.5 Virtual Reality . . . . .	22
2.5.1 Immersion und Präsenz in virtuellen Umgebungen . . . . .	22
2.5.2 Virtual Reality unterstützende Hardware . . . . .	23
2.5.3 Interaktion in virtuellen Umgebungen . . . . .	24
2.5.4 Grenzen und Potenziale von Virtual Reality . . . . .	26
<b>3 Verwandte Arbeiten</b>	<b>27</b>
3.1 Kombination von Didaktik und immersiver Virtual Reality . . . . .	27
3.2 Kombination von Didaktik und Gamification . . . . .	28
3.3 Kombination von immersiver Virtual Reality und Gamification . . . . .	28
3.4 Weitere Arbeiten . . . . .	29
3.5 Zusammenfassung . . . . .	30
<b>4 Vollständig immersives Virtual Reality Konzept für motiviertes Lernen</b>	<b>31</b>
4.1 Zielstellung . . . . .	31
4.2 Anforderungsanalyse . . . . .	31
4.3 Konzeption . . . . .	33
4.3.1 Vollständige Handlung . . . . .	34
4.3.2 Virtual Reality . . . . .	37

4.3.3	Gamification . . . . .	46
<b>5</b>	<b>Implementation</b>	<b>53</b>
5.1	Hardware . . . . .	53
5.1.1	HTC Vive . . . . .	53
5.1.2	TPCast Erweiterung . . . . .	55
5.1.3	PC Spezifikationen . . . . .	55
5.2	Unity . . . . .	56
5.2.1	Konzepte und Begriffe . . . . .	57
5.2.2	Erweiterungen für Unity . . . . .	57
<b>6</b>	<b>Evaluierung</b>	<b>59</b>
6.1	Formative Evaluation . . . . .	59
6.2	Versuchsaufbau . . . . .	60
6.3	Durchführung . . . . .	61
6.4	Ergebnisse . . . . .	62
6.4.1	Teilnehmerinformationen . . . . .	62
6.4.2	Ergebnisse zur Sicherheit . . . . .	63
6.4.3	Ergebnisse zur Motivation . . . . .	63
6.4.4	Ergebnisse zur Usability . . . . .	64
6.4.5	Ergebnisse zur Echtzeit . . . . .	64
6.4.6	Ergebnisse zur Immersion . . . . .	65
6.5	Zusammenfassung der Ergebnisse . . . . .	66
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>69</b>
7.1	Zusammenfassung . . . . .	69
7.2	Diskussion . . . . .	69
7.3	Ausblick . . . . .	70
<b>Anhang</b>		<b>71</b>
A.	Material zur Nutzerstudie . . . . .	71
B.	Inhalt der DVD . . . . .	79
<b>Literatur</b>		<b>81</b>
<b>Selbstständigkeitserklärung</b>		<b>87</b>

# Abbildungsverzeichnis

2.1	Modell der vollständigen Handlung . . . . .	15
2.2	Überblicksmodell der Motivation im Handlungsverlauf . . . . .	16
2.3	Übersicht des Gamification Frameworks Octalysis . . . . .	19
2.4	Tendenzen der Octalysis Core Drives . . . . .	22
3.1	Eindrücke der Arbeit von Avveduto u.a. . . . .	27
3.2	Screenshots der Laborsimulation . . . . .	28
3.3	Immersives Spiel zur Sicherheit bei der Luftfahrt . . . . .	29
3.4	Betätigung eines Hochspannungsleistungsschalters in einer virtuell interaktiven Umgebung . . . . .	30
4.1	Mittelspannungs-Leistungsschalteranlage . . . . .	32
4.2	Werkzeuginformationen . . . . .	35
4.3	Arbeitsplanerstellung am interaktiven Whiteboard . . . . .	36
4.4	Werkzeugauswahl . . . . .	36
4.5	Aufgaben bei der Durchführung . . . . .	37
4.6	Anwendung der vollständigen Handlung . . . . .	38
4.7	Design des Raumes für das Tutorial . . . . .	39
4.8	Teleportation . . . . .	40
4.9	Objektmanipulation . . . . .	41
4.10	Vergrößerungsfunktion . . . . .	42
4.11	Menü zur Systemkontrolle . . . . .	43
4.12	Information zum inkrementalen Drehgeber . . . . .	44
4.13	Hilfestellung über das Menü . . . . .	45
4.14	Beispielhafte Inhalte des Tutorials . . . . .	47
4.15	Anwendung der Narrative . . . . .	48
4.16	Anwendung der Technik „Soziales Geschenk“ . . . . .	49
4.17	Anwendung der Poison Picker Technik . . . . .	50
4.18	Anwendung von Octalysis . . . . .	51
5.1	Übersicht der HTC Vive Komponenten . . . . .	54
5.2	Übersicht der HTC Vive Controller . . . . .	55
5.3	TPCast Hardwareerweiterung . . . . .	56
6.1	System Usability Skala . . . . .	64
6.2	SUS-Score und Perzentile . . . . .	65
6.3	Präsenzfaktoren im Durchschnitt . . . . .	66
6.4	Präsenzfaktoren pro Proband . . . . .	67



# Danksagung

An dieser Stelle möchte ich meinen tiefsten Dank an meine Betreuerin Tina aussprechen, die mich mit einer Selbstverständlichkeit bei der Kommunikation mit dem Firmenpartner sowie organisatorischen Aufgaben und anderen Kleinigkeiten unterstützt hat. Besonderer Dank gilt auch Steffen Masik, welcher benötigte Ressourcen stets ohne zu zögern bereitgestellt hat.

Zudem möchte ich mich bei Prof. Dr.-Ing. Preim und allen Mitarbeitern an der Universität sowie dem Fraunhofer IFF bedanken, die diese Arbeit erst möglich gemacht haben.

Vielen herzlichen Dank auch an Yu-kai Chou für die freundliche Bereitstellung der Literatur zum verwendeten Gamification Framework und Andreas Reich für die wundervolle L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X-Vorlage.

Da sich mein Studium mit dieser Arbeit dem Ende zuneigt, danke ich zum Schluss allen, die mich auf dem Weg durch das Bachelor- und Masterstudium begleitet haben. Ich habe nicht nur ungeheuer viel lernen dürfen, sondern bin auch unglaublich lieben Menschen begegnet, die mir in schwierigen Situationen zur Seite standen. Ohne diese wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen.



# Kurzfassung

Diese Arbeit schlägt einen Lösungsansatz in einer immersiven virtuellen Umgebung vor, um Sicherheitsunterweisungen in der Industrie attraktiver zu gestalten. Als zusätzliche Option zu klassischen, eintönigen Schulungsseminaren soll diese Lösung zur Reduzierung von Risiken von Arbeitsunfällen beitragen. Die Grundlage für den Lösungsansatz bilden das *Modell der vollständigen Handlung*, das konzeptuelle *Gamification Framework Octalysis* und *Virtual Reality*. Auf Basis dieser drei Konzepte wurde ein prototypisches Lernszenario in der elektrischen Energietechnik entworfen, welches mit der *Unity3D* Engine und der *HTC Vive* praktisch umgesetzt wurde. Dieser Prototyp wurde mit Hilfe von Feldtests im Wesentlichen qualitativ evaluiert. Dabei beweist die Nutzerstudie nicht nur die Anwendbarkeit der Lösung, sondern lässt auch darauf schließen, dass der hier präsentierte Ansatz das Potenzial besitzt, als universell einsetzbare Anleitung zu fungieren. Um den Eindruck zu bestärken, besteht jedoch Bedarf an einer erneuten Evaluation mit einer größeren Anzahl an Probanden.



# Abkürzungsverzeichnis

## Fachbegriffe

VR	Virtual Reality
HMD	Head-Mounted Display
FPS	Frames pro Sekunde
VRTK	Virtual Reality Toolkit
V	Volt
kV	Kilovolt
Hz	Hertz
°	Grad
mAh	Milliamperestunden

## Sonstige

bzw.	beziehungsweise
ca.	ungefähr
#	Nummer
NDH	nicht-dominante Hand
DH	dominante Hand



# 1 Einleitung

Sicherheitsunterweisungen sind Bestandteil einer jeden beruflichen Tätigkeit. Dabei ist es unerheblich, ob im Labor mit gesundheitsgefährdenden Chemikalien gearbeitet oder lediglich ein Bürojob in der IT ausgeübt wird. Die Kenntnis über die Arbeitssicherheit kann in jedem Berufsfeld das Risiko für Arbeitsunfälle deutlich reduzieren.

Besonders schwerwiegende Arbeitsunfälle treten speziell auch in der Industrie auf. Da dort umfassend mit Maschinen gearbeitet wird, die verschiedenste Gefährdungen wie beispielsweise toxische Gase oder elektrostatische Aufladungen mit sich bringen, werden hier besondere Anforderungen an die Mitarbeiter gestellt. Selbst kleinste Fehler dürfen sie sich nicht erlauben, da schon diese zu schwerwiegenden Verbrennungen, Verätzungen oder sogar Explosionen führen können (Schulz 2011).

Die aktive Teilnahme an einer regelmäßigen Sicherheitsunterweisung ist für in der Industrie beschäftigte Mitarbeiter also immens wichtig.

Bis heute werden die Unterweisungen in der Industrie üblicherweise entweder über eine webbasierte Plattform mit Fragebögen oder als klassisches Schulungsseminar mit Powerpoint Präsentationen (Haase 2011) realisiert. Oft sind diese jedoch nicht sehr ansprechend gestaltet, sodass die Mitarbeiter aus Desinteresse wesentliche Informationen nicht ausreichend aufnehmen (siehe Sutcliffe 2003).

## 1.1 Motivation

Um dem entgegenzuwirken, wird in dieser Arbeit ein Lösungsansatz vorgeschlagen, welcher auf den vielversprechenden Konzepten Gamification und Virtual Reality basiert und gleichzeitig didaktische Methoden berücksichtigt.

Dabei wird unter Gamification der Einsatz von Spiel-Design-Elementen in spielefremden Kontexten verstanden (S. Deterding u. a. 2011), welcher positive Auswirkungen haben kann. So soll er laut Kapp (2012) Menschen dazu motivieren, bestimmte Handlungen auszuführen und sie unter anderem auch beim Lernen fördern. Auch Moderne Ansätze mit virtuellen Umgebungen wie beispielsweise die von Avveduto u. a. (2017) haben bereits gezeigt, dass die Benutzung dieser, neben anderen vorteilhaften Effekten, die Beteiligung und Freude an einer solch aufbereiteten Lernanwendung im Gegensatz zu den traditionellen Lehrmethoden steigern können.

Bei diesen Ansätzen ist jedoch nicht immer klar, welche theoretischen Konzepte speziell verwendet wurden, um diese Ergebnisse zu erzielen, was die Übertragung auf andere Anwendungsgebiete erschwert. Auch das Wissen darüber, wie unter anderem eine Sicherheitsunterweisung in der Industrie gamifiziert werden muss, ist bislang limitiert (Dichev und Dicheva 2017).

Obwohl also ähnliche Lösungen existieren, bedarf es hier einer universellen Lösung, welche motivationspsychologische Konzepte und didaktische Herangehensweisen vereint und somit auch über das Themengebiet Sicherheitsunterweisungen in der Industrie hinaus einsetzbar ist.

## 1.2 Ziele

Diese Arbeit soll daher einen Einblick darin verschaffen, ob die Kombination der drei folgenden Konzepte für den Kontext der Sicherheitsunterweisungen geeignet ist:

1. Spiel-Design Elemente nach Yu-Kai Chou (2015)
2. Virtual Reality
3. Das didaktische Konzept der vollständigen Handlung (Hacker 2005)

Beispielhaft soll dabei im Kontext der elektrischen Energietechnik ein prototypisches Lernszenario auf Basis einer vorangegangenen Anforderungsanalyse erarbeitet, konzipiert und praktisch umgesetzt werden, welches anschließend durch geeignete Methoden evaluiert werden soll.

Darüber hinaus soll eine möglichst allgemeine Lösung gefunden werden, die auf andere Anwendungsgebiete übertragbar ist.

## 1.3 Struktur der Arbeit

Diese Arbeit umfasst folgende Kapitel:

[Kapitel 2](#) führt den nötigen Hintergrund zu Sicherheitsunterweisungen ein und beleuchtet relevante Begriffe wie das Lernen, Gamification und Virtual Reality im Detail.

[Kapitel 3](#) legt dar, welche verwandten Arbeiten bereits existieren und als Grundlage für das eigene Konzept verwendet wurden.

[Kapitel 4](#) beinhaltet die erarbeiteten Anforderungen und beschreibt den Prozess der darauf aufbauenden Konzeption.

[Kapitel 5](#) gibt einen detaillierten Einblick in die praktische Umsetzung des Prototypen.

[Kapitel 6](#) beschreibt geeignete Methoden sowie das Set-up zur Evaluation des Prototypen und reflektiert, inwiefern die Anforderungen aus [Kapitel 4](#) erfüllt sind.

[Kapitel 7](#) gibt einen kurzen Überblick über die Arbeit und diskutiert im Ausblick mögliche Ansätze für weiterführende Arbeiten.

## 2 Hintergrund

Das folgende Kapitel enthält Grundlagen für das Verständnis der restlichen Arbeit. Die ersten beiden Abschnitte liefern Erklärungen zur aktuellen Situation im Arbeitsschutz und grenzen den Anwendungsfall ein. Anschließend werden die drei Konzepte, die in dieser Arbeit genutzt werden sollen, genauer erklärt.

### 2.1 Arbeitsschutz

Sicherheit und Gesundheit spielen bei der Arbeit elementare Rollen. Zu diesem Zweck wurde der Begriff *Arbeitsschutz* eingeführt, welcher „Maßnahmen zur Verhütung von Unfällen bei der Arbeit und arbeitsbedingten Gesundheitsgefahren einschließlich Maßnahmen der menschengerechten Gestaltung der Arbeit“ vereint (§2 Abs.1 ArbSchG <sup>1</sup>). Einen Teil dieser Maßnahmen bilden die **Sicherheitsunterweisungen**. Diese umfassen Anweisungen und Erläuterungen, welche auf den Arbeitsplatz oder den Aufgabenbereich der Beschäftigten ausgerichtet sind. Sie müssen „bei der Einstellung, bei Veränderungen im Aufgabenbereich, der Einführung neuer Arbeitsmittel oder einer neuen Technologie vor Aufnahme der Tätigkeit der Beschäftigten erfolgen“ und „erforderlichenfalls regelmäßig wiederholt werden“ <sup>2</sup>. Wie interessant diese Unterweisungen gestaltet werden müssen, ist allerdings nicht festgeschrieben.

### 2.2 Elektrische Energietechnik

Diese Arbeit beschäftigt sich vorrangig mit Unterweisungen zur Sicherheit in der elektrischen Energietechnik, welche sich mit der Wandlung und dem Transport von Energie befasst. Anwendung findet die elektrische Energietechnik unter anderem in der öffentlichen Stromversorgung (z.B. Ampeln im öffentlichen Verkehr), bei der Energieerzeugung (z.B. mittels Windkraftanlagen) sowie der Produktion in der Industrie <sup>3</sup>.

Um den Transport von Energie zu ermöglichen, ist eine Schnittstelle zwischen dem Energieerzeuger und seinen Verbrauchereinheiten nötig. Diese bildet das elektrische Versorgungsnetz, welches im Wesentlichen aus Leitungen, Transformatoren und Schaltanlagen besteht. Leitungen und Kabel dienen dabei dem Energietransport vom einen zum anderen Ort, während Schaltanlagen dazu benötigt werden, diese Leitungen getrennt zu Schalten beziehungsweise den Stromkreis zu unterbrechen oder zu schließen. Leitungen werden in diesem Fall getrennt, damit bei einem Kurzschluss nicht das gesamte Netz darunter leiden muss und ausfällt. Das Versorgungsnetz unterteilt sich in

<sup>1</sup> <https://www.gesetze-im-internet.de/arbschg/> (Aufgerufen am 11.05.2018)

<sup>2</sup> [https://www.gesetze-im-internet.de/arbschg/\\_\\_\\_12.html](https://www.gesetze-im-internet.de/arbschg/___12.html) (Aufgerufen am 11.08.2018)

<sup>3</sup> [https://www.youtube.com/watch?v=z04\\_i6QEaB8](https://www.youtube.com/watch?v=z04_i6QEaB8) (Aufgerufen am 11.08.2018)

die drei Teile Niederspannungsnetz (üblicherweise 230V), Mittelspannungsnetz (meistens 10 kV, 20 kV, 30 kV) und Hochspannungsnetz (110 kV, 220 kV).

Da Elektrizität geschmack- und geruchlos ist sowie erst ab sehr hohen Spannungen Geräusche verursacht, ist beim Arbeiten an elektrischen Anlagen besondere Vorsicht geboten. Hier sind Schulungen unerlässlich (zu diesem Kapitel siehe Marenbach, Nelles und Tuttas 2013).

## 2.3 Lernen im Beruf

Nach Anderson (2000) ist das „Lernen“ im Allgemeinen ein Prozess, der langdauernde Veränderungen im Verhaltenspotenzial als Folge von Erfahrungen bewirkt. Aus den Richtlinien für den berufsbezogenen Unterricht geht hervor, dass im Beruf speziell das *handlungsorientierte* Lernen im Mittelpunkt steht<sup>4</sup>. So soll der Lernende seine *Handlungskompetenz*<sup>5</sup> aufbauen, indem er selbstständig Arbeitsaufgaben plant, durchführt und beurteilt. Dies wird auch als *ganzheitliches Lernen* bezeichnet. Die Handlungskompetenz vereint zum einen eine fachliche Kompetenz, zum anderen die Kompetenz, sich als individuelle Persönlichkeit weiterzuentwickeln, aber auch soziale Kompetenzen. Das Ziel ist es unter anderem dabei, das Selbstvertrauen, die Zuverlässigkeit sowie das Verantwortungs- und Pflichtbewusstsein zu fördern. Eine Theorie, welche eine selbstständige Art zu lernen unterstützt, ist der *Konstruktivismus*. Dewey (1916), einer der bekanntesten Anhänger, äußert dazu:

„even if beliefs happen to be true, they do not constitute knowledge unless they have grown up in and been tested by personal experience“

Wie beim handlungsorientierten Lernen auch, ist demnach der Prozess durch die eigene Erfahrung geprägt. Geeignete Lernaufgaben sollten daher, wie auch von internationalen Normen gefordert (DIN EN ISO 9241-2), neben weiteren Kriterien vor allem Handlungsspielräume hinsichtlich der Vorgehensweise, der Reihenfolge und des Arbeitstempos bieten. Auf diese Weise können Mitarbeiter durch eigenes Erleben aus ihren Fehlern lernen.

Um das Lernen im Beruf in einem Lösungsansatz abzubilden, wird auf Grundlage der vorher genannten Bedingungen das *Modell der vollständigen Handlung* gewählt. Eine Zusammenfassung über die Bestandteile dieses Modells bietet das folgende Kapitel.

### 2.3.1 Modell der vollständigen Handlung

Die Basis für das in der Didaktik bewährte Konzept bildet die Arbeit von Hacker (2005). Schon damals wurden vollständige (beziehungsweise ganzheitliche) Tätigkeitsformen mit einem Zyklus assoziiert, der eine Vorbereitung, Ausführung und Kontrolle erfordert. Mit der Zeit wurde dieses Modell erweitert und hat sich als sechs-Phasen Modell etabliert. Lern- und Arbeitsaufgaben, die mit Hilfe dieses Modells konstruiert werden,

<sup>4</sup> [https://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen\\_beschluesse/2011/2011\\_09\\_23\\_GEP-Handreichung.pdf](https://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2011/2011_09_23_GEP-Handreichung.pdf) (Aufgerufen am 11.08.2018)

<sup>5</sup> Bereitschaft und Befähigung des Einzelnen, sich in beruflichen, gesellschaftlichen und privaten Situationen sachgerecht durchdacht sowie individuell und sozial verantwortlich zu verhalten

setzen Selbstständigkeit voraus und treiben den Lernenden so dazu an, seine beruflichen Aufgaben in eigener Verantwortung zu erfüllen. Ferner bieten sie durch die Ganzheitlichkeit die Möglichkeit, komplexe Prozesse leichter zu überschauen (siehe Haase und Termath 2015). Die erwähnten Phasen und deren Zusammenhänge sind Abbildung 2.1 illustriert und werden nachfolgend im Detail betrachtet.

- 1. Informieren:** Zu Anfang jeder Arbeitsaufgabe müssen Informationen zusammengetragen werden. Unter anderem ist herauszufinden, was das Ziel der Aufgabe ist und welche Arbeitsmittel zur Lösung bereit stehen.
- 2. Planen:** Nachdem sich ein Überblick über die Situation verschafft wurde, muss nach eigenem Ermessen eine oder mehrere Vorgehensweisen erarbeitet und ein entsprechender Arbeitsplan erstellt werden.
- 3. Entscheiden:** In diesem Schritt wird eine Vorgehensweise festgelegt.
- 4. Ausführen:** Hier wird der Arbeitsplan aus dem vorigen Schritt in die Praxis umgesetzt.
- 5. Kontrollieren:** Anschließend wird geprüft, ob die Aufgabe zufriedenstellend gelöst wurde.
- 6. Bewerten:** Rückblickend wird dann der Prozess als Ganzes betrachtet und reflektiert, an welchen Stellen Bedarf an Optimierung existiert. Dies ist der Ausgangspunkt für eine erneute Auseinandersetzung mit der Arbeitsaufgabe. Auf diese Art kann der Lernende sich mit jedem Durchgang verbessern.

**Abbildung 2.1:** Modell der vollständigen Handlung (Quelle: Schöpf 2005)

## 2.4 Gamification

Die Bezeichnung *Gamification* kam erstmals im Jahr 2003 auf, gewann jedoch erst sieben Jahre später an Popularität (Werbach und Hunter 2012). Seitdem hat sich *Gamification* als eigenes Forschungsfeld etabliert (Nacke und C. S. Deterding 2017) und findet als Konzept in vielen Bereichen erfolgreich Anwendung. Darunter zählen beispielsweise das Gesundheitswesen, Marketing und Bildung (Seaborn und Fels 2015). In dieser Arbeit wird, wie bereits erwähnt, unter *Gamification* der Einsatz von Spiel-Design-Elementen in spielefremden Kontexten verstanden (S. Deterding u. a. 2011). Der folgende Abschnitt stellt eine Übersicht über verbreitete Ansätze zur Gamification bereit und zeigt auf, weshalb Yu-Kai Chou's Entwurf für diese Arbeit auserwählt wurde. Angesichts dessen wird vorab ein Exkurs in die Motivationspsychologie geboten, um den Zusammenhang zwischen Motivation und *Gamification* zu verdeutlichen.

### 2.4.1 Motivationspsychologische Grundlagen

Die Motivationspsychologie versucht die Richtung, Dauer und Intensität von zielgerichtetem Verhalten zu erklären. Dabei spielt die **Motivation** selbst eine elementare Rolle und kann definiert werden als ein interner Zustand, der bestimmtes Verhalten hervorruft, lenkt und aufrecht erhält (siehe P. R. Kleinginna und A. M. Kleinginna 1981). Welche Faktoren in dem Sachverhalt beteiligt sind, legt das bekannte Modell zur Motivation im Handlungsverlauf von J. Heckhausen und H. Heckhausen (2010) in Abbildung 2.2 anschaulich dar. Demnach wird die aktuell vorhandene Motivation einer Person, ein bestimmtes Ziel anzustreben, von personbezogenen und situationsbezogenen Einflüssen geprägt.

**Abbildung 2.2:** Überblicksmodell der Motivation im Handlungsverlauf (Quelle: J. Heckhausen und H. Heckhausen 2010)

#### Personenfaktoren

Personenbezogene Einflüsse lassen sich in die drei Arten *Bedürfnisse*, *Motive* und *Ziele* kategorisieren.

**Bedürfnisse** sind dabei zum einen die elementaren physiologischen Bedürfnisse wie sie in der Bedürfnispyramide nach Maslow (1943) beschrieben werden. Hunger, Durst und Schlaf sind Beispiele dafür. Zum anderen gehört das Streben nach primärer Kontrolle der physischen und sozialen Umwelt (White 1959) dazu.

**Motive** sind in der frühen Kindheit gelernte, mit Emotionen verbundene Präferenzen, sich immer wieder mit bestimmten Arten von Anreizen auseinanderzusetzen (McClelland, Koestner und Weinberger 1989). Sie gehen also von der Persönlichkeit und den Gewohnheiten der Person aus.

**Ziele** (oder auch *explizite Motive*) sind bewusste, sprachlich repräsentierbare Selbstbilder, Werte und Ziele, die sich eine Person selbst zuschreibt.

## Situationsfaktoren

Abhängig von der Situation kann die Motivation der Person, etwas zu tun, sehr hoch sein. Dazu müssen die Umstände dem Menschen *Gelegenheiten* und verschiedene *Anreize* bieten.

**Gelegenheiten** sind „geeignete Umstände, um etwas Geplantes auszuführen“<sup>6</sup>. Sind infolgedessen die Chancen, dass etwas Wünschenswertes eintreten kann, sehr wahrscheinlich, ist die Hürde zu handeln kleiner.

**Anreize** stellen alles, was Situationen an Positivem oder Negativem einer Person verheißen, dar. Sie können *intrinsischer* oder *extrinsischer* Natur sein und fordern die Person zu entsprechenden Handlungen auf. Entsteht ein Mehrwert aus der Tätigkeit selbst, entspricht dies einem *intrinsischen* Anreiz. Wird ein Vorteil nur aus den Folgen der Handlung und des Handlungsergebnisses (z.B. materielle Belohnungen) gezogen, so besitzt der Anreiz einen *extrinsischen* Charakter. Während die Handlung und das Handlungsergebnis als *intrinsische* Anreize gelten, bilden die Folgen *extrinsische* Anreize (J. Heckhausen und H. Heckhausen 2010).

## Interaktion zwischen Person und Situation

Abhängig davon wie die Motive einer Person orientiert sind, können ihr objektiv gleichartige Situationen subjektiv grundlegend verschieden erscheinen. Je nachdem, ob ein situativer Gelegenheitsanreiz mit den (*impliziten*) und *expliziten* Motiven der Person übereinstimmt, entsteht hier mehr oder weniger Motivation. Zudem strebt eine Person stets realistisch erreichbare Ziele an, die zu dem aktuellen Zeitpunkt die höchstmöglichen Anreize besitzen (J. Heckhausen und H. Heckhausen 2010).

Um also *Gamification* als Werkzeug für die Steigerung der Motivation wirksam zu machen, sollte sie an diesen Punkt anknüpfen und dem Nutzer genügend Gelegenheiten sowie lukrative Anreize verschaffen.

<sup>6</sup> <https://www.duden.de/rechtschreibung/Gelegenheit> (Aufgerufen am 06.08.2018)

## 2.4.2 Ansätze zur Realisierung von Gamification

Inzwischen existiert eine Fülle an Grundgerüsten (*Frameworks*), mit deren Hilfe *Gamification* in beliebigen Kontexten eingebettet werden kann. Die „Sechs Schritte zur Gamification“ von Werbach und Hunter (2012) zählen zu den renommiertesten. Einen differenzierten Überblick, worin sich die Ansätze unterscheiden, bieten Mora u. a. (2015). In dieser Arbeit wird das Augenmerk auf das Konzept von Chou (2015) gerichtet. Das liegt nicht nur an der übersichtlichen Gestaltung und am umfangreichen Inhalt, sondern durch den Fokus auf den Menschen vor allem auch an der Nähe zur Motivationspsychologie (siehe Abbildung 2.3).

An dieser Stelle muss erwähnt werden, dass diese Arbeit nicht die Frage beantwortet, ob der Ansatz nach Yu-kai Chou (2015) hinsichtlich der Theorie korrekt und valide ist. Sie ergründet lediglich, warum er erfolgversprechend sein kann, und erprobt sowie evaluiert seine Anwendungstauglichkeit.

## 2.4.3 Gamification Framework Octalysis

Yu-kai Chous im Jahr 2015 entwickelter Gamification Ansatz basiert auf der Annahme, dass der Mensch Gründe und Antriebe braucht, um zu handeln. Dazu hat er sogenannte *Core Drives* verortet, welche seiner Meinung nach das Fundament für die Motivation bilden<sup>7</sup>. Ihnen ordnet er Techniken zur konkreten Umsetzung zu. Was die *Core Drives* ausmachen und wie sie beispielsweise eingesetzt werden können, wird im kommenden Abschnitt präzisiert. Abbildung 2.3 zeigt eine Übersicht der Komponenten des konzeptuellen Frameworks.

### Core Drives

Yu-Kai Chou (2015) plädiert darauf, dass ohne die *Core Drives* keine Handlungen eingeleitet werden. Bezüglich des Modells für Motivation im Handlungsverlauf nach J. Heckhausen und H. Heckhausen (2010) findet sich an dieser Stelle die Parallele zu den intrinsischen und extrinsischen Anreizen, die eine Situation bieten kann. So ist es nicht verwunderlich, dass einige dieser *Core Drives* mehr oder minder bereits in anderen Forschungsgebieten vertreten sind. Yu-kai Chou hat hier lediglich eine übersichtliche Anleitung unter der Zuhilfenahme von etwa zehn Jahren Erfahrung in der digitalen Spielebranche geschaffen.

Da die Erläuterung aller Spiel-Design Techniken den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde, werden nachfolgend beispielhaft einige dieser Techniken und ihre entsprechenden *Core Drives* näher ausgeführt.

1. **Epic Meaning and Calling** („*Höhere Bedeutung und Bestimmung*“)

Dieser *Core Drive* geht davon aus, dass Menschen etwas tun, weil sie der Aktivität eine höhere Bedeutung zuschreiben oder denken, sie seien dazu bestimmt.

Techniken zur möglichen Umsetzungen sind unter anderem:

---

<sup>7</sup> siehe auch <https://www.youtube.com/watch?v=v5Qjuegtiyc> (Aufgerufen am 05.08.2018)

<sup>8</sup> <http://yukaichou.com/gamification-examples/octalysis-complete-gamification-framework/> (Aufgerufen am 26.03.2018)

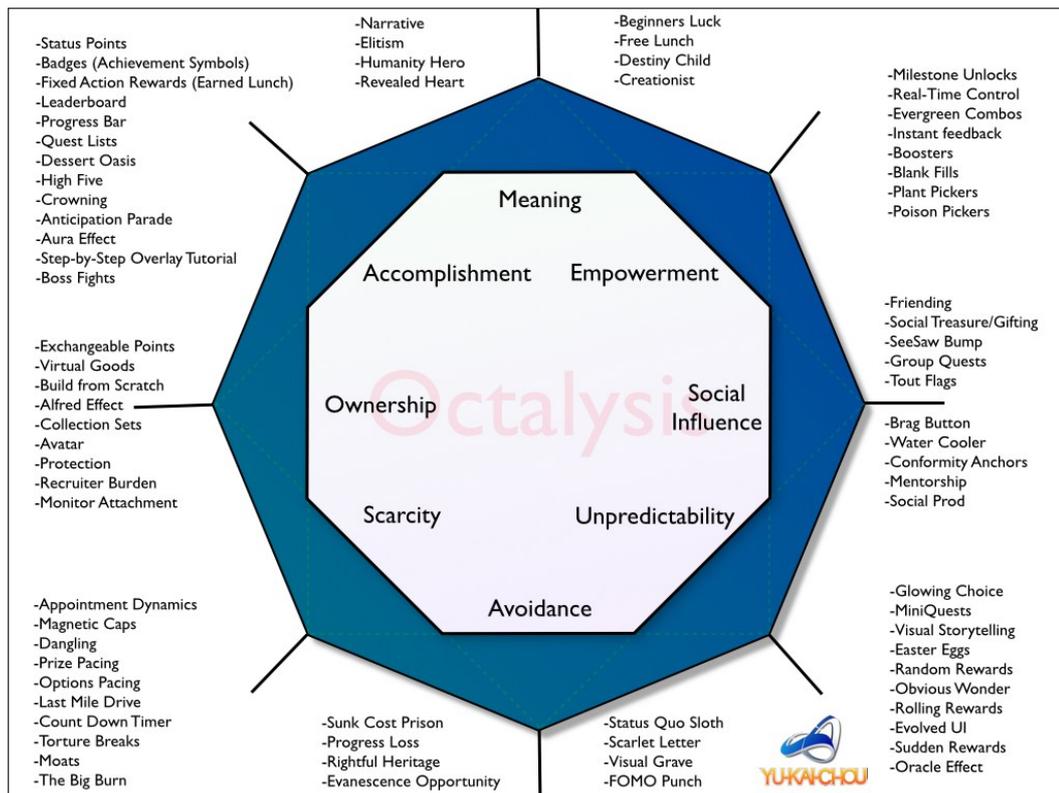


Abbildung 2.3: Übersicht des Gamification Frameworks Octalysis <sup>8</sup>

- ◇ Narrative (#10) <sup>9</sup>: Diese Technik führt eine Geschichte ein, in welcher der Nutzer eine entscheidende Rolle einnehmen kann. So wird eine höhere Bedeutung suggeriert.
- ◇ Beginner's Luck (#23): Durch eine seltene Gabe zu Anfang wird dem Nutzer das Gefühl gegeben, auserwählt worden zu sein.

2. **Accomplishment and Development** („Entwicklung und Errungenschaft")  
 Der zweite Antrieb besagt, dass Menschen handeln, weil sie die Herausforderung suchen und etwas damit erreichen oder sich weiterentwickeln wollen.

Techniken zur möglichen Umsetzungen sind unter anderem:

- ◇ Achievement Symbols (Badges) (#2): Das klassische Einführen von beispielsweise Abzeichen und Trophäen weckt im Nutzer das Verlangen nach materiellen Vorteilen.
- ◇ Progress Bar (#4): Statusanzeigen vermitteln dem Nutzer das Gefühl, etwas erreicht zu haben und dem nächsten Ziel deutlich näher gekommen zu sein.

3. **Empowerment of Creativity and Feedback** („Spielraum für Kreativität und Rückmeldung")  
 Hiernach handeln Menschen, weil allein das Ausprobieren (Versuch und Irrtum) sie unterhält und so ständig ihre Denkprozesse angeregt werden.

<sup>9</sup> Die Nummerierung folgt dem Schema, welches auch in der Literatur verwendet wird. In diesem Fall stellt die Narrative die zehnte Technik dar, welche dem Framework zugeordnet wurde. Einige Techniken weisen jedoch keine Nummerierung auf.

Techniken zur möglichen Umsetzungen sind unter anderem:

- ◇ Plant Picker (Meaningful Choices) (#11): Bedeutsame Entscheidungen führen zu verschiedenen Konsequenzen. So muss der Nutzer intensiv abwägen, wofür er sich entscheidet.
- ◇ Poison Picker (Choice Perception) (#89): Je mehr Entscheidungen zur Auswahl stehen, desto mehr Spielraum zum Nachdenken wird dem Nutzer geboten.

#### 4. **Ownership and Possesion** („*Besitz und Beherrschung*“)

Aus ihrem Besitztrieb heraus oder dem Verlangen nach Kontrolle über etwas, werden Menschen dazu verleitet, etwas zu tun.

Techniken zur möglichen Umsetzungen sind unter anderem:

- ◇ Avatar: Ein Avatar ist eine grafische Darstellung, Animation, Karikatur oder Ähnliches als Verkörperung des Benutzers <sup>10</sup> im virtuellen Raum. Durch die Personalisierbarkeit eines solchen Avatars wird die Wahrnehmung von Besitz verstärkt.
- ◇ Alfred Effect (#83): Diese Technik stellt das Einbinden von Inhalten dar, um die Anwendung an die Bedarfe des Nutzers umfassend anpassen zu können. So entsteht bei ihnen ein Gefühl, dass keine Anwendung geeigneter für sie ist.

#### 5. **Social Influence and Relatedness** („*Sozialer Einfluss und Verbundenheit*“)

Laut diesem *Core Drive* tun Menschen etwas, weil ihre soziale Umgebung sie dazu drängt (z.B. Neid, Konkurrenz), sie soziale Bindungen stärken wollen (z.B. Freundschaft, Gesellschaft) oder sie sich mit der Aktivität aus irgendwelchen Gründen verbunden fühlen.

Techniken zur möglichen Umsetzungen sind unter anderem:

- ◇ Group Quests (#22): Kann eine Aufgabe nur gemeinsam bewältigt werden, kann dies den sozialen Zusammenhalt festigen.
- ◇ Social Treasure (Gifting) (#63): Über Geschenke, die nur eine andere Person dem Nutzer verleihen kann (oder umgekehrt), kann eine Bindung aufgebaut und gestärkt werden.

#### 6. **Scarcity and Impatience** („*Mangel und Ungeduld*“)

Ist etwas sehr selten und nur schwer zugänglich oder ist das Verlangen, etwas sofort haben zu wollen, sehr groß, sind Menschen eher bereit, Handlungen in die Wege zu leiten.

Techniken zur möglichen Umsetzungen sind unter anderem:

- ◇ Torture Breaks (#66): Dem Nutzer wird die Möglichkeit genommen, bestimmte Handlungen auf der Stelle auszuführen, was Unzufriedenheit hervorruft. So wird sein Fokus einige Zeit später weiterhin darauf liegen.

---

<sup>10</sup> <https://www.duden.de/rechtschreibung/Avatar> (Aufgerufen am 12.08.2018)

## 7. **Unpredictability and Curiosity** („Unvorhersehbarkeit und Neugier“)

Menschen werden hiernach zu Handlungen angeregt, weil das Ungewisse sie beschäftigt und ihre Aufmerksamkeit auf sich zieht.

Techniken zur möglichen Umsetzungen sind unter anderem:

- ◇ Easter Eggs (Sudden Rewards) (#30): Unerwartete Überraschungen ziehen sofort die vollständige Aufmerksamkeit auf sich. Sie rufen Glücksgefühle und Aufregung in den Menschen hervor.
- ◇ Glowing Choice (#28): Der Nutzer wird visuell über offensichtlich sichtbare Hinweise, wie Marker für die nächsten Aufgaben, geführt. Dass ihn dabei ständig etwas anderes erwarten kann, macht es für ihn interessant.

## 8. **Loss and Avoidance** („Verlust und Vermeidung“)

Die Angst vor Verlusten oder das Verlangen, diese vermeiden zu wollen, ist der letzte der acht Antriebe.

Techniken zur möglichen Umsetzungen sind unter anderem:

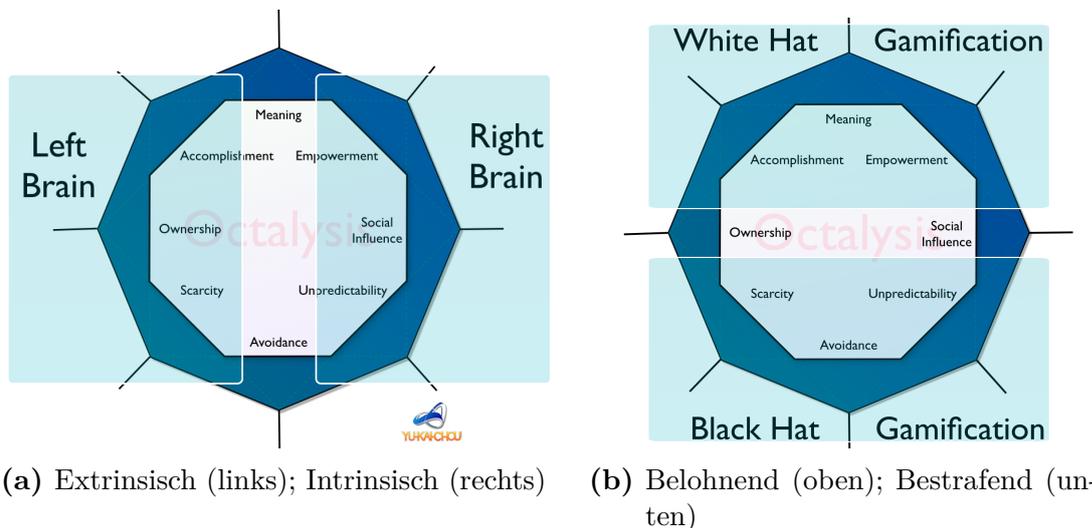
- ◇ Count Down Timer (#65): Countdown Timer sind visuelle Hinweise, die Aufschluss darüber geben, wie viel Zeit verbleibt bis ein Ereignis eintritt oder endet.
- ◇ Evanescent Opportunities (#86): Kurze Chancen, die der Nutzer nicht sofort wahrnimmt und ihm somit entgehen, können als Verluste wahrgenommen werden.

## 9. **Sensation** („Sinneswahrnehmung“)

Dieser *Core Drive* wird meist nicht mit den restlichen angeführt, weil er im Gegensatz zu ihnen einer physischer Natur entspringt. Er ist jedoch ein wesentlicher Bestandteil der Motivation, da Menschen vieles über ihre Sinnesorgane aufnehmen. Nach diesem Antrieb handeln die Menschen, weil ihre Sinne ihnen das Gefühl von Freude vermitteln. In dieser Arbeit wird dieser *Core Drive* vor allem über das Konzept *Virtual Reality* (siehe Kapitel 2.5) ausgelöst.

## **Tendenzen der Core Drives**

Ähnlich der Anreize im Modell der Motivation im Handlungsverlauf können die *Core Drives* eine intrinsische oder extrinsische Tendenz aufweisen. Wie in Abbildung 2.4 (a) deutlich wird, tendieren die Anreize auf der linken Seite des Modells eher zur extrinsischen Natur, während jene auf der rechten Seite intrinsischer Natur sind. Zudem besitzen die oberen Antriebe in Abbildung 2.4 (b) einen eher belohnenden Charakter, die unteren jedoch einen bestrafenden.



**Abbildung 2.4:** Tendenzen der Octalysis Core Drives (Quelle: Angepasste Darstellung von Chou 2015)

## 2.5 Virtual Reality

Der Begriff *virtuelle Umgebung*, auch *virtuelle Realität* (VR) genannt, existiert seit dem Jahr 1989 und wird oft unterschiedlich definiert (M. W. Krueger 1983; Brooks 1999; Burdea und Coiffet 2003). Die Definition von Preim und Dachselt beschreibt den Begriff aber umfassend. Für diese sind virtuelle Umgebungen:

„realistische 3D-Umgebungen, in denen eine virtuelle Welt in Echtzeit interaktiv exploriert und manipuliert werden kann. Dazu werden entsprechende Ein- und Ausgabegeräte benötigt, die möglichst das gesamte Sichtfeld umfassen, die einen Stereoeindruck vermitteln und damit beim Benutzer das Gefühl der Immersion auslösen.“ (Preim und Dachselt 2015)

Der Begriff Echtzeit impliziert hierbei, dass der Nutzer aufgrund der schnellen Aktualisierung der 3D-Umgebung keine Verzögerung bemerkt (Aktualisierung in weniger als 0,1 Sekunden).

Was der Begriff *Immersion* in diesem Zusammenhang bedeutet, welche Ein- und Ausgabegeräte in der Arbeit herangezogen wurden und warum auf das Konzept *Virtual Reality* zurückgegriffen wurde, wird in den folgenden Abschnitten behandelt.

### 2.5.1 Immersion und Präsenz in virtuellen Umgebungen

Obwohl die *Immersion* einen wichtigen Bestandteil von virtuellen Umgebungen darstellt, ist es nicht eindeutig, was mit diesem Terminus gemeint ist. Oft schwimmt er und wird mit Bezeichnungen wie die *Involvement* und *Präsenz* in Verbindung gebracht (z.B. Witmer und Singer 1998; Slater 2003; McMahan 2003; Ermi und Mäyrä 2005). Eine detaillierte Übersicht der verschiedenen Auffassungen ist bei Nilsson, Nordahl und Serafin (2016) zu finden.

Um diese Konzepte aber voneinander zu trennen, wird für diese Arbeit die Definition

von Sherman und Craig (2002) verwendet, da sie mehrere vereint und klare Abgrenzungen aufweist. Danach beschreibt *Immersion* im Allgemeinen das Gefühl, sich in einer Umgebung zu befinden. Dabei kann die *Immersion* einerseits nur *mental*, andererseits zusätzlich *physisch* stattfinden.

**Mentale Immersion** liegt vor, wenn der Nutzer sich intensiv mit der virtuellen Umgebung beschäftigt, weil er in diese eingebunden (bzw. involviert) ist und ihm diese sehr real erscheint. Dieser Begriff ist als Synonym zur subjektiven Wahrnehmung von **Präsenz**, wie sie Witmer und Singer (1998) einführten, zu betrachten.

**Physische Immersion** hingegen wird durch das Anregen körperlicher Sinne über Virtual Reality Technologien erreicht. Sie stellt, wie nach der Auffassung von Slater (2003), objektiv messbare Eigenschaften eines Virtual Reality Systems dar, welche zum Erlebnis der *mentalen* Immersion beitragen.

Virtuelle Umgebungen können in Abhängigkeit davon anhand ihrer Immersionsgrade kategorisiert werden. Dabei existieren Abstufungen von *nicht-immersiven* über *semi-immersiven* bis hin zu (vollständig) *immersiven* Umgebungen (Hoffman und Vu 1997). *Nicht-immersive* VRs zeichnen sich dadurch aus, dass der Nutzer nicht direkt in die dreidimensionale Umgebung eingebunden ist, sondern diese eher von „Außen“ über ein zweidimensionales Display betrachtet und mit ihr über traditionelle Eingabegeräte wie *Maus* und *Tastatur* interagiert. Durch diesen Aufbau, auch *Desktop-VR* (Robertson, Card und Mackinlay 1993) genannt, ist es kaum möglich, dem Nutzer *physische Immersion* zu bieten oder ihm das Gefühl der *Präsenz* zu vermitteln.

*Semi-immersive* VRs oder auch *Fishtank-VR* erlauben hier eine stärkere visuelle Immersion. Durch zusätzliches Verfolgen der Kopfbewegung wird hier ein Stereoeindruck vermittelt (Ware, Arthur und Booth 1993). Beispiele für solche Systeme sind der *zSpace*<sup>11</sup> oder die *Responsive Workbench* (W. Krueger und Froehlich 1994).

Ist bei *semi-immersiven* VRs nur ein Teil des Sichtkegels durch die virtuelle Umgebung abgedeckt, nimmt sie bei *immersiven* VRs das gesamte Sichtfeld ein (Preim und Dachselt 2015). In dem Fall wird meist durch *Head-Mounted Displays* (HMDs) ein sehr hoher Grad an *physischer Immersion* erreicht und somit das Präsenzzempfinden begünstigt.

Da ein ausgeprägtes Gefühl von *Präsenz* den Wissenstransfer fördern soll (z.B. Pausch, Shackelford und Proffitt 1993; Li, Daugherty und Biocca 2002), wird in dieser Arbeit eine *immersive* VR als Medium gewählt.

## 2.5.2 Virtual Reality unterstützende Hardware

In diesem Abschnitt wird diskutiert, inwiefern sich aktuelle Ein- und Ausgabegeräte in dem Kontext dieser Arbeit eignen. Dabei wurden nur Systeme mit einem hohen Immersionsgrad und angemessenen Anschaffungskosten berücksichtigt, um die Akzeptanz bei zukünftigen Anwendern zu erhöhen.

---

<sup>11</sup> <https://zspace.com/technology/> (Aufgerufen am 31.07.2018)

## Ausgabegeräte

Für die Repräsentation der virtuellen Umgebung kamen hauptsächlich *HMDs* in Frage, da sie dazu imstande sind, rundum einen Stereoeindruck<sup>12</sup> zu vermitteln, und im Vergleich zu projektions-basierten Technologien erschwinglich sind. Systeme wie beispielsweise der *Elbedome*<sup>13</sup> (Schoor u. a. 2007) oder die *CAVE* (Cruz-Neira, Sandin und DeFanti 1993) haben darüber hinaus den Nachteil, dass ihr Platzbedarf gegenüber der *HMDs* weitaus größer ausfällt. Nicht immer sind die Kapazitäten für solch ein nicht-mobiles System verfügbar.

Zu den *HMDs*, die sich momentan etabliert haben, gehören die *HTC Vive*, die *Oculus Rift*<sup>14</sup> und die *Sony Playstation VR*<sup>15</sup>. Ausgenommen sind hier die Smartphone-basierten Brillen aufgrund ihrer geringeren Leistungsfähigkeit. Unter anderem sind dies die *Samsung Gear VR*<sup>16</sup>, das *Google Cardboard*<sup>17</sup> und die *Google Daydream View*<sup>18</sup>. Da die *Sony Playstation VR* an die hauseigene Konsole gebunden ist, war diese keine Option. Weil die somit verbliebenen *HMDs* sich in ihren Spezifikationen kaum unterscheiden, wurde an dieser Stelle nach der persönlichen Präferenz die *HTC Vive* gewählt. Ihre einzelnen Komponenten werden in Kapitel 5 ausführlicher erläutert.

## Eingabegeräte

Bedingt durch die Wahl des Ausgabegeräts, bieten sich zwei naheliegende und bequeme Möglichkeiten an. Die erste Wahl fällt auf die *HTC Vive Controller*, welche der *HTC Vive* bereits beiliegen. Die Kopplung und das Erfassen von Position und Rotation der Controller erfolgt hier automatisch. Auf diese Art werden schnell vielseitige Interaktionsmöglichkeiten geboten.

Attraktiv ist jedoch auch die Nutzung eines *Leap Motion Controllers*<sup>19</sup>. Er ermöglicht Freihandinteraktionen, welche unter Umständen, im Gegensatz zur Steuerung über gewöhnungsbedürftige Controller, natürlicher wirken können. Außerdem kann er wie *HTC Vive Controller* mobil mit der VR-Brille genutzt werden. Allerdings deckt der *Leap Motion Controller* nur einen kleinen Bereich ab, in dem die Handgesten verfolgt werden können, und ist daher bislang eher eine Einschränkung.

So fällt die Wahl auf die *HTC Vive Controller*, welche ebenso in Kapitel 5 näher beleuchtet werden.

### 2.5.3 Interaktion in virtuellen Umgebungen

Interaktivität stellt ein Kernelement von virtuellen Umgebungen dar (Sherman und Craig 2002). Damit diese dem Nutzer möglichst authentisch erscheinen, sollten sie auf

---

<sup>12</sup> = Eindruck von Räumlichkeit, der durch das Betrachten von Bildern entsteht, die separate Informationen für das linke und rechte Auge enthalten (Preim und Dachsel 2015)

<sup>13</sup> <https://www.iff.fraunhofer.de/de/geschaeftsbereiche/elbe-dom.html> (Aufgerufen am 16.07.2018)

<sup>14</sup> <https://www.oculus.com/rift> (Aufgerufen am 31.07.2018)

<sup>15</sup> <https://www.playstation.com/de-de/explore/playstation-vr/> (Aufgerufen am 31.07.2018)

<sup>16</sup> <https://www.oculus.com/gear-vr/> (Aufgerufen am 31.07.2018)

<sup>17</sup> <https://vr.google.com/cardboard/> (Aufgerufen am 31.07.2018)

<sup>18</sup> [https://vr.google.com/intl/de\\_de/daydream/smartphonevr/](https://vr.google.com/intl/de_de/daydream/smartphonevr/) (Aufgerufen am 31.07.2018)

<sup>19</sup> <https://www.leapmotion.com/> (Aufgerufen am 31.07.2018)

die Eingaben des Nutzers entsprechend reagieren.

Mittlerweile steht zur Eingabe von Informationen eine Vielzahl an Möglichkeiten zur Verfügung. Je nach Nutzungskontext und *Interaktionsaufgabe* sollte beim Design der Interaktion die Wahl auf eine oder mehrere geeignete *Interaktionstechniken* fallen. Dazu sollte die Entscheidung auf eine hohe Benutzerfreundlichkeit abzielen.

## Universelle Aufgaben

*Interaktionsaufgaben* sind Aktionen, welche in der gleichen oder einer ähnlichen Form im interaktiven System wiederkehren (Preim 1999; Preim und Dachsel 2010; Foley u. a. 2014). Zur Unterstützung von *immersiven VRs* sind dazu laut D. A. Bowman (2002) die folgenden „universellen“ Aufgaben in Betracht zu ziehen:

**Navigation:** Diese Aufgabe beinhaltet eine Wegfindung (= Analyse, Planung und Entscheidung, welcher Weg eingeschlagen wird) sowie die dazugehörige, tatsächliche Ausführung der Bewegung zum Zielpunkt (auch Bewegungskontrolle genannt (Dörner u. a. 2014)), wobei die Position und Orientierung der virtuellen Kamera verändert wird. Bezüglich der Bewegungskontrolle werden zusätzlich die drei Kategorien Exploration, Suchaufgabe und Manövrieren unterschieden (D. A. Bowman, Kruijff u. a. 2001).

**Selektion:** In dieser Aufgabe wird aus einer Menge von Objekten mindestens eines ausgewählt bzw. spezifiziert.

**Manipulation:** Werden Eigenschaften eines Objektes (z.B. Position, Orientierung, Skalierung) verändert, fällt die Aufgabe unter diese Kategorie.

**Systemkontrolle:** Hierzu gehören alle Aktionen, die Systemvariablen oder Systemzustände beeinflussen.

Während die *Interaktionsaufgaben* beschreiben *was* gemacht wird, beschreiben die *Interaktionstechniken* *wie* es realisiert wird (Preim 1999). Genauer sind es Möglichkeiten, wie die Eingabegeräte eingesetzt werden können, um bestimmte *Interaktionsaufgaben* zu erfüllen (Foley u. a. 2014).

Eine Übersicht, welche *Interaktionstechniken* jeweils für die einzelnen Aufgaben eingesetzt werden, findet sich in Kapitel 4.

## Benutzerfreundlichkeit

Benutzerfreundlichkeit oder auch *Usability* ist ein ausschlaggebender Faktor, welcher beim Design und der Evaluation von Mensch-Computer Interaktionen berücksichtigt werden sollte. Von der *Internationalen Organisation für Normung* (engl. *International Organization for Standardization*; kurz *ISO*) wird er folgendermaßen definiert:

„Extent to which a system, product or service can be used by specified users to achieve specified goals with effectiveness, efficiency and satisfaction in a specified context of use.“ (ISO 9241-11 <sup>20</sup>)

<sup>20</sup> <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9241:-11:ed-2:v1:en> (Aufgerufen am 01.08.2018)

Der Begriff beschreibt in diesem Zusammenhang also das Maß, wie vollständig und genau ein Nutzer mit einem System arbeiten kann (*Effektivität*), wie viele Ressourcen er dabei aufbringen musste (*Effizienz*) und wie sehr die Erwartungshaltung vom Nutzer an jenes System erfüllt wurde (*Zufriedenheit*).

In Kapitel 4 wird genauer beleuchtet, inwiefern Aspekte der *Usability* in der Arbeit einbezogen werden.

#### 2.5.4 Grenzen und Potenziale von Virtual Reality

Dass immersive Virtual Reality bis heute noch auf Ablehnung stößt, ist nicht verwunderlich. So bestehen die Probleme von *HMDs* wie sie Sherman und Craig (2002) verorteten weiterhin. Selbst neuere Hardware kann unbequem zu tragen sein und den Nutzer durch den Konflikt in der Tiefenwahrnehmung oder durch ihr Gewicht über längere Zeit ermüden. Hinzu kommt, dass sie nicht genug Anpassungen für verschiedene Arten von Sehschwächen bereitstellt und die *Cybersickness*<sup>21</sup> nach wie vor ein erhebliches Hindernis darstellt. Darüber hinaus sind *HMDs* und *VRs* sowohl in der Anschaffung als auch in der Entwicklung ein großer Kostenfaktor (Huang, Rauch und Liaw 2010).

Was diesen Problemen jedoch gegenübersteht, sind die attraktiven Vorteile solcher immersiven virtuellen Umgebungen für die Lehre. Beispielsweise kann die Komplexität in diesen virtuellen Lernumgebungen leicht verringert werden. Dadurch wird dem Lernenden weniger kognitive Leistung abverlangt, sodass er seinen gesamten Fokus auf wichtige Lehrinhalte richten kann (Chittaro und Ranon 2007; Antonietti und Cantoia 2000). Darüber hinaus haben Regian Jr, Shebilske und Monk (1993) gezeigt, dass in *VRs* akquiriertes Wissen in Situationen der echten Welt transferiert werden können. In diesem Aspekt steht Virtual Reality traditionellen Lehrmethoden daher nicht nach. Es bietet mitunter sogar Szenarien mit vorteilhafteren Bedingungen.

Weil immersive *VR* vor allem aber räumliche Interaktivität bietet und Lernende so die Möglichkeit erhalten über ihre eigene Erfahrung (siehe Kapitel 2.3) zu lernen und dies zusätzlich in beliebig komplexen Umgebungen zu tun, ist das Konzept für diese Arbeit sehr wertvoll.

---

<sup>21</sup> = Krankheitsbild, welches sich unter anderem durch Kopfschmerzen, Augenreizung und Übelkeit auszeichnet (Kennedy u. a. 1992) und durch die Diskrepanz zwischen der visuellen Bewegung und der vom Gleichgewichtssinn wahrgenommenen Bewegung verursacht werden kann (Dörner u. a. 2014)

## 3 Verwandte Arbeiten

Dieses Kapitel untersucht Werke, welche mehrere Konzepte vereint, auf denen der Fokus der vorliegenden Arbeit liegt. Speziell werden Arbeiten beleuchtet, die *immersive*, virtuelle Umgebungen enthalten, Methoden der Didaktik einsetzen und Gamification-Ansätze heranziehen. Ferner werden Arbeiten mit *nicht-immersiven* VRs präsentiert, bei denen die einzelnen Konzepte erfolgreich zum Einsatz kommen. Dabei werden allgemein Arbeiten im Lernkontext mit Bezug zur Industrie präferiert.

### 3.1 Kombination von Didaktik und immersiver Virtual Reality

Avveduto u. a. (2017) haben ein Virtual Reality System entwickelt, welches die Sicherheit im Feld der Energietechnik erhöhen soll. Dieses ist dazu in der Lage, verschiedene Anwendungsszenarien und somit auch Aufgaben und Situationen wie unter anderem die Wartung von Energieerzeugungsanlagen abzubilden (siehe Abbildung 3.1 (a)). Diese Szenarien werden, wie in Abbildung 3.1 (b) zu sehen, über ein HMD präsentiert. Um ferner die Effektivität des Systems im Vergleich zur traditionellen Schulung zu messen, wurde eine Nutzerstudie mit 24 Teilnehmern, die zwischen 24 und 46 Jahre alt waren und wenig Erfahrung auf dem Themengebiet besitzen, durchgeführt. Dazu wurden die Teilnehmer in zwei Gruppen aufgeteilt und ihre theoretischen und praktischen Kenntnisse geprüft. Faktoren wie das Empfinden von Präsenz wurden zusätzlich anhand von Fragebögen und Beobachtungen ermittelt.

Die Ergebnisse der Studie lassen darauf schließen, dass VR-basierte Schulungsmethoden traditionellen Seminaren mit Videos vorzuziehen wären, da sie ihnen einerseits in der Praxis überlegen sind, und andererseits motivierender wirken.



(a) Beispielhaftes Szenario in der Nieder- und Mittelspannung



(b) Rahmenbedingungen

**Abbildung 3.1:** Eindrücke der Arbeit von Avveduto u. a. (2017) (Quelle: Avveduto u. a. 2017)

Obwohl Avveduto u. a. (2017) eine positiv angenommene, immersive VR-Lösung vorgestellt haben, ist leider nicht klar, ob pädagogische Konzepte wie die vollständige Handlung als Grundlage dienen. Überdies wurden für die Studie Laien wie Studenten anstelle von realen Nutzern rekrutiert. Auch spielt Gamification in dieser Arbeit keine Rolle.

## 3.2 Kombination von Didaktik und Gamification

Eine Kombination von Lehrmethoden sowie Gamification-Elementen stellen Simulationen von Laboren dar. Wie erfolgversprechend solch ein virtuelles Labor jedoch in Bezug auf Lernresultate ist, haben Bonde u. a. (2014) untersucht. Dabei haben sie Anwendungen des Unternehmens *Labster*, welches sich auf die Entwicklung gamifizierter Simulationen spezialisiert, im Biotechnologieunterricht an einer studentischen Einrichtung eingesetzt. Diese umfassen unter anderem Gamification-Elemente wie das *Storytelling*, fiktionale Charaktere, mit denen interagiert werden kann, sowie ein Punktesystem. Auszüge aus dem gamifizierten, virtuellen Labor sind in Abbildung 3.2 veranschaulicht.

Der Einsatz dieser Labore hat gezeigt, dass sowohl der Grad der Motivation als auch Lernresultate im Vergleich zum klassischen Unterricht deutlich gesteigert werden kann. Diese Erkenntnis wird dadurch verstärkt, dass insgesamt 149 Studenten an der Erprobung zur Evaluation teilgenommen haben. Es wird jedoch nicht erwähnt, welche didaktische Methode verwendet wurde. Zudem ist die virtuelle Umgebung *nicht-immersiv*.



Abbildung 3.2: Screenshots der Laborsimulation (Quelle: Bonde u. a. 2014)

## 3.3 Kombination von immersiver Virtual Reality und Gamification

Einen Ansatz zur Verbindung von *immersiven* VRs und Gamification haben Chittaro und Buttussi (2015) entwickelt, welches die Sicherheit während der Luftfahrt über ein immersives Spiel thematisiert. Es gestattet dem Nutzer, eine Gefahrensituation zu erleben und währenddessen bedeutende Entscheidungen (Abbildung 3.3) zu treffen. Um

den Nutzer spielerisch zu binden, werden dazu einerseits überraschende Ereignisse wie Explosionen präsentiert, andererseits werden ihm die Konsequenzen jeder Entscheidung zeitig visuell vermittelt sowie eine Geschichte zu dem Zweck eingeführt.

Auch Chittaro und Buttussi (2015) haben zwei Nutzergruppen zur Evaluation ihrer Lösung herangezogen. Dabei durfte sich die erste Gruppe die Inhalte über das *immersive* Spiel aneignen, während der Kontrollgruppe einzig eine *Safety Instruction Card*, ein Dokument mit Anweisungen bei Notfällen, zur Verfügung stand. Die Evaluation der insgesamt 48 Probanden hat unterdessen gezeigt, dass die Probanden durch das Spiel Informationen länger im Gedächtnis speichern können.



**Abbildung 3.3:** Immersives Spiel zur Sicherheit bei der Luftfahrt (Quelle: Chittaro und Buttussi 2015)

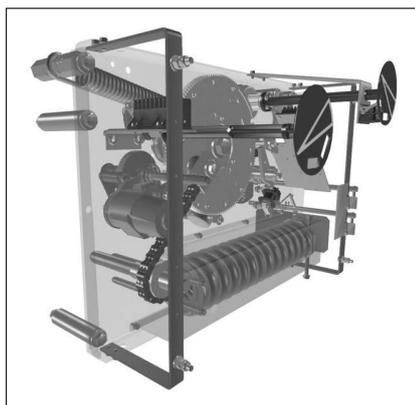
### 3.4 Weitere Arbeiten

In diesem Abschnitt werden Arbeiten vorgestellt, die zwar keine *immersive* VR enthalten, aber im Zusammenhang mit der Didaktik oder Gamification erfolgreiche Ansätze und Umsetzungen darstellen.

Im Bereich der Didaktik haben beispielsweise Haase und Termath (2015) eine virtuell interaktive Lernanwendung zur Unterstützung von Monteuren im Bereich Hochspannung konzipiert. Ihre Arbeit stellt eine praktische Lösung dar, um das Modell der vollständigen Handlung erfolgreich in eine nicht-immersive, virtuelle Umgebung einzubetten. Detailliert ist darin die Vorgehensweise und das Design jeder einzelnen Phase des Modells beschrieben. Dabei wurde als Anwendungsfeld die Montage, Inbetriebnahme und Wartung von Anlagen in der Hochspannung gewählt und anhand einer Studie an realen Anwendern die Akzeptanz und Anwendbarkeit gezeigt. Die Anwendung macht sich besonders die mögliche Reduktion von virtuellen Inhalten zu Nutze, um auch Zusammenhänge, die normalerweise nicht sichtbar sind, zu vermitteln (siehe Abbildung 3.4). So fiel die Rückmeldung der Experten positiv aus.

Im Gegensatz zu dieser Lösung, soll der Ansatz in der vorliegenden Arbeit in einer *immersiven*, virtuellen Umgebung (siehe Kapitel 2.5.1) präsentiert werden. Dazu ist vor allem die Steuerung mittels 3D-Interaktion anzupassen. Hinzu kommt, dass die Arbeit von Haase und Termath (2015) das Konzept der Gamification nicht berücksichtigt.

Eine andere industrielle Lösung, die in der Anwendung Erfolg zeigt, ist der vom *Fraunhofer IFF* virtuell erstellte Großtransformator für Schulungszwecke in der Instandhaltung (Schulz 2011). Darüber hinaus wurden auch im Bergbau Beschäftigte durch eine Nachbildung von begrenztem Areal für potenzielle Gefahren wirksam sensibilisiert (Van



**Abbildung 3.4:** Betätigung eines Hochspannungsleistungsschalters in einer virtuell interaktiven Umgebung (Quelle: Haase und Termath 2015)

Wyk und De Villiers 2009). Weiterhin haben Cardoso u. a. (2017) gezeigt, dass dreidimensionale Simulationen (im Gegensatz zu zweidimensionalen) die Arbeitszeit bei der Bedienung von Umspannstationen drastisch senken können.

Im Bereich der Medizin ist im Lernkontext der *Voxelman* Hohne u. a. 1996, eine *nicht-immersive* VR Anwendung, interessant. Er ermöglicht die Visualisierung von 3D Daten des menschlichen Körpers, wodurch die Vermittlung der Räumlichkeit in der Anatomielehre erleichtert wird. Ein ähnliches Ergebnis kann auch mit dem „virtuellen 3D Puzzle“ von Ritter u. a. (2001) erreicht werden. Dieses ist ein Ansatz zum interaktiven Explorieren anatomischer Strukturen, welcher von 3D Puzzles inspiriert ist.

Dass Gamification wirkungsvoll eingesetzt werden kann, zeigt das experimentelle Computerspiel *FoldIt* (Khatib u. a. 2011), welches die Optimierung von Proteinen durch beispielsweise direkte Manipulationen zum Ziel hat. Nutzer können hierbei durch ausprobieren und „falten“ das Proteins einen höheren Punktestand erreichen. Dabei ist es auch möglich, online gemeinsam mit anderen Nutzern an einem Protein zu „arbeiten“. Da das Computerspiel bereits einige Jahre existiert, wurde hier nicht das konzeptuelle Gamification Framework von Yu-kai Chou (2015) angewendet. Weil es ist mit seinen drei Jahren noch relativ jung ist, existieren hierzu bislang wenig wissenschaftliche Arbeiten, welche diesen Ansatz verfolgen (siehe auch Sanchez-Gordón, Colomo-Palacios und Herranz 2016).

## 3.5 Zusammenfassung

Das Kapitel hat einige Arbeiten vorgestellt, die dem Ziel der Arbeit sehr nahe kommen. Da jedoch keine der bisher existierenden Arbeiten die speziell fokussierten Ausprägungen der drei Konzepte (siehe 1.2) vereint, einzelne von den Konzepten in vielen Arbeiten wohl aber ausführlicher behandelt und erfolgreich eingesetzt wurden, wird der hier präsentierte Lösungsansatz sich an diesen orientieren. Für die Umsetzung der didaktischen Methoden dient vor allem die Arbeit von Haase und Termath (2015) als Grundlage, während die von Avveduto u. a. (2017) als Leitfaden für die Umsetzung der virtuellen Umgebung herangezogen wird.

# 4 Vollständig immersives Virtual Reality Konzept für motiviertes Lernen

Dieses Kapitel setzt sich mit der Konzeption einer Lösung auseinander, die traditionelle Schulungen zum sicheren Arbeiten mit industriellen Anlagen unterstützt. Im Speziellen werden Schaltanlagen in Mittelspannungsnetzen betrachtet.

Zunächst wird kurz an das übergeordnete Ziel der Arbeit erinnert und im Kontext der Wartung und Instandhaltung an gasisolierten Mittelspannungsschaltanlagen die Anforderungen definiert. Anschließend wird beleuchtet, welche Designentscheidungen bezüglich der vollständigen Handlung getroffen wurden. Weiterhin wird das Augenmerk auf Interaktionstechniken und Usability im Zusammenhang mit Virtual Reality gelegt. Zum Schluss wird aufgezeigt, inwiefern die Core Drives aus dem konzeptuellen Gamification-Framework Octalysis Einfluss nehmen.

## 4.1 Zielstellung

Diese Arbeit will einen Lösungsansatz in einer immersiven virtuellen Umgebung schaffen, um Sicherheitsunterweisungen in der Industrie attraktiver zu gestalten. Dabei sollen die Spiel-Design Elemente nach Yu-Kai Chou (2015), Virtual Reality sowie das didaktische Konzept der vollständigen Handlung (Hacker 2005) als Grundlage für diese Lösung dienen. Im Speziellen sollen Unterweisungen in der Wartung und Instandhaltung an Mittelspannungsschaltanlagen unterstützt werden.

Die Zielgruppe besteht also einerseits aus Experten, welche in der Wartung und Instandhaltung an Mittelspannungsschaltanlagen versiert sind, andererseits aber auch aus Einsteigern.

## 4.2 Anforderungsanalyse

Bevor die Lösung erstellt werden kann, müssen Anforderungen an diese festgelegt werden. Um diese identifizieren zu können, werden zunächst die Rahmenbedingungen für die Arbeit in Mittelspannungsnetzen betrachtet.

Das Mittelspannungsnetz versorgt beispielsweise Wohngebiete in Städten mit elektrischer Energie (Detailliertere Informationen zum Thema Energieversorgung in Städten sind im Werk von Marenbach, Nelles und Tuttas 2013 zu finden). Wie in Kapitel 2.2 bereits dargelegt, sind Schaltanlagen ein wesentlicher Bestandteil eines solchen Netzes,

da sie dazu in der Lage sind, die Versorgung zu unterbrechen. Im Mittelspannungsbereich werden dazu üblicherweise Schaltanlagen verwendet, die in Räumen platziert werden können, sogenannte Innenraumschaltanlagen. Zum Einsatz kommen hier Anlagen, deren aktiv leitenden Bauteile so von einem Metallkörper umschlossen sind, dass elektrische Felder darin isoliert bleiben. Bei gasisolierten Schaltanlagen spielt das Gas Schwefelhexafluorid ( $\text{SF}_6$ ) eine wichtige Rolle bei der Isolation. Einige solcher Anlagen sind in Abbildung 4.1 dargestellt.



**Abbildung 4.1:** Mittelspannungs-Leistungsschaltanlage (Quelle: Westnetz)

Obwohl solche Schaltanlagen täglich in Gebrauch sind, müssen sie erst nach mehreren Jahren gewartet werden. So müssen etwa neuere gasisolierte Modelle des Herstellers *Siemens* in Intervallen von acht bis neun Jahren kontrolliert werden <sup>1</sup>. Dies lässt viel Raum für Fehler und Unsicherheiten bei der Ausführung der Wartungsarbeit. Da Mittelspannungsschaltanlagen also nicht ständig begehbar sind, die Arbeit an diesen jedoch durch die Elektrizität besonders gefährlich ist (siehe Marenbach, Nelles und Tuttas 2013), liegt es hier nahe, ein Lernszenario in einer immersiven Umgebung auf dieser Grundlage zu erstellen. Auf diese Weise ist es Mitarbeitern möglich, Schaltanlagen jederzeit virtuell zu betrachten und an ihnen die erforderlichen Aufgaben zu bewältigen. Hier wird den die ersten Anforderungen ersichtlich, die direkt aus dem VR-System entspringen. So ist eine Anforderung von virtuellen Umgebungen, dass sie in *Echtzeit* exploriert werden können. Da die Aktualisierungsfrequenz von 50 Bildern pro Sekunde (auch 50 Frames pro Sekunde (FPS) oder 50 Hertz) als Schwellenwert gilt, bei der eine Abfolge aus Einzelbildern nicht länger wahrnehmbar ist (Bauer u. a. 2009), soll die Anwendung stabil über diesem Wert laufen. Die Latenz <sup>2</sup> sollte also unter 20 Millisekunden (Marks, Estevez und Connor 2014) betragen, um unerwünschte Auswirkungen wie Schwindelgefühle vorzubeugen.

<sup>1</sup> [https://www.energy.siemens.com/hq/pool/hq/services/power-transmission-distribution/switchgear-services/planned-maintenance-and-inspection/fast-fact\\_wartung-und-instandhaltung\\_GIS-8D\\_de.pdf](https://www.energy.siemens.com/hq/pool/hq/services/power-transmission-distribution/switchgear-services/planned-maintenance-and-inspection/fast-fact_wartung-und-instandhaltung_GIS-8D_de.pdf) (Aufgerufen am 12.08.2018)

<sup>2</sup> = Zeitspanne, die ein System für die Reaktion auf eine Eingabe benötigt (Dörner u. a. 2014)

Zusätzlich muss in immersiven VRs eine *Immersion* entstehen, die vor allem auch mentalen Charakter hat, sodass der Nutzer sich in der virtuellen Welt präsent fühlt. Er soll dadurch das in dieser Umgebung Gelernte und Erfahrene auf reale Situationen übertragen können (siehe Kapitel 2.5.1). Dazu sollten sie ein starkes Empfinden von Präsenz nach Schubert (2003) besitzen.

Weiterhin muss das präsentierte System eine hohe *Usability* aufweisen (siehe Kapitel 2.5.3). Um dies zu verifizieren, wird der bekannte Fragebogen von Brooke u. a. (1996) herangezogen.

Da die Anwendung attraktiv erscheinen soll, muss auch eine gewisse *Motivation* erzielt werden. Demnach soll der Nutzer einerseits Freude verspüren, wenn er das System bedient, andererseits sollte er in der Anwendung einen pädagogischen Mehrwert sehen, um aus motivationspsychologischer Sicht einen Anreiz (siehe Kapitel 2.4.1) zu schaffen, die Anwendung auch in Zukunft zu verwenden.

Um dem Nutzer die Angst vor der immersiven virtuellen Umgebungen zu nehmen und die Akzeptanz zu erhöhen, sollte garantiert werden, dass der Nutzer seine Arbeitsaufgaben in einem *sicheren* Umfeld ausführen kann und sich nicht vor Gefahren wie Stromschlägen fürchten muss. Darüber hinaus soll es dem Nutzer möglich sein, unabhängig von der Zeit Routineaufgaben zu trainieren und so mit einem sicheren Gefühl die tatsächlichen Aufgaben anzugehen. Weil beispielsweise Schaltanlagen des Herstellers *Schneider Electric* ferner erst seit wenigen Jahren im Einsatz sind<sup>3</sup>, ist es besonders wichtig, die sich daraus ergebenden, neuen Messverfahren üben zu können.

Aus der vorangegangenen Analyse ergeben sich folglich die nachstehenden Anforderungen:

**Sicherheit:** Der Nutzer kann in einem sicheren Arbeitsumfeld arbeiten und muss keine negativen Konsequenzen fürchten.

**Motivation:** Die Nutzer nutzen die Anwendung gerne und sehen einen Mehrwert darin.

**Usability:** Die Anwendung erzielt einen hohen Wert beim Usability Fragebogen (Brooke u. a. 1996) durch den Nutzer.

**Echtzeit:** Die Anwendung läuft stabil mit 50 Frames pro Sekunde (FPS).

**Immersion:** Die Nutzer besitzen ein starkes Empfinden von Präsenz in der virtuellen Welt nach Schubert (2003).

## 4.3 Konzeption

Die Konzeption der Lösung erfolgte in drei Schritten. Als Basis für das Konzept wurde die vollständige Handlung gewählt. Hier diente die Arbeit von Haase und Termath (2015) als Vorlage. Darauf aufbauend erfolgte das Design von 3D-Interaktionstechniken sowie Aspekten der Usability und die Übertragung in eine virtuelle Umgebung. Abschließend werden erst Gamification Elemente nach Yu-kai Chou 2015 eingebettet.

---

<sup>3</sup> siehe <https://www.youtube.com/watch?v=tZEmoTZFEeU> und <https://www.youtube.com/watch?v=RkvbuuWDE8w> (Aufgerufen jeweils am 10.08.2018)

### 4.3.1 Vollständige Handlung

Die Wartung und Instandhaltung einer gasisolierten Mittelspannungsschalteranlage (MS-GIS) vollzieht sich durch die Ermittlung ihres Zustandes. Dabei werden mechanische Parameter sowie Informationen über die Gasisolierung über bestimmte Messtechniken erfasst, dokumentiert und analysiert <sup>4</sup> sowie Kontrollen und Reinigungen durchgeführt.

Für den Prototypen wird ein kleiner Teil der Messung an einer MS-GIS des Herstellers *Schneider Electric* betrachtet <sup>5</sup>. In der Realität sind Messungen für mehrere Schaltfelder notwendig, wobei diese jeweils verschiedene Antriebe enthalten. Hinzu kommt, dass es bestimmte Vorgehensweisen pro Schaltfeld gibt. Die Vorgehensweisen bestehen jedoch im Wesentlichen aus den Schritten <sup>6</sup>:

- 1 - Die Erlaubnis zur Prüfung über ein Telefonat anmelden.
- 2 - Das Schalteranalysesystem adaptieren, indem beispielsweise Kabel richtig eingesteckt werden.
- 3 - Tests zu mehreren Antrieben (z.B. Dreistellungsschalter) durchführen und eventuell das Schalteranalysesystem erneut adaptieren.
- 4 - Gegebenenfalls eine Reinigung durchführen und abschließend Werte dokumentieren sowie die Prüferlaubnis zurückgeben.

Um den Umfang der prototypischen Anwendung gering zu halten, wird als Schaltfeld das *Abgangsfeld* fokussiert, wobei nur Parameter des *Leistungsschalters*, ein Antrieb im Feld, gemessen werden sollen. Die Aufgabe ist es also, eine Messung vorzubereiten, sie durchzuführen und anschließend zu dokumentieren. Da sich die Vorgehensweisen zu weiteren Schaltfeldern wie dem Quer- oder Längskupplungsfeld analog vollziehen <sup>7</sup>, kann zu diesem Zweck darauf verzichtet werden.

Daran angeknüpft, wird nachfolgend das Design der einzelnen Phasen des Modells zur vollständigen Handlung im Kontext des Szenarios (siehe Abbildung 4.6) beschrieben:

**1. Informieren:** Zu Anfang wird dem Nutzer die Aufgabe erläutert. Danach kann der Nutzer sich mit der Aufgabe oder den Werkzeugen vertraut machen. Dies erfolgt, indem er Dokumente auf einem Medium (etwa ein Tablet) aufruft und liest oder Arbeitsmittel in die Hand nimmt. Im letzten Fall bekommt er sofort eine Information zu ebendiesem Arbeitsmittel (Abbildung 4.2). Dies soll ähnlich wie bei Haase und Termath (2015) entweder in Textform oder über Bilder und Videos geschehen.

Als Werkzeuge und Arbeitsmittel stehen dabei die folgenden zur Verfügung:

- A - Ein Tablet, welches den Arbeitsplan speichern kann
- B - Ein Klemmplans, welcher Anschlussdiagramme für Kabel als technische Zeichnungen enthält

---

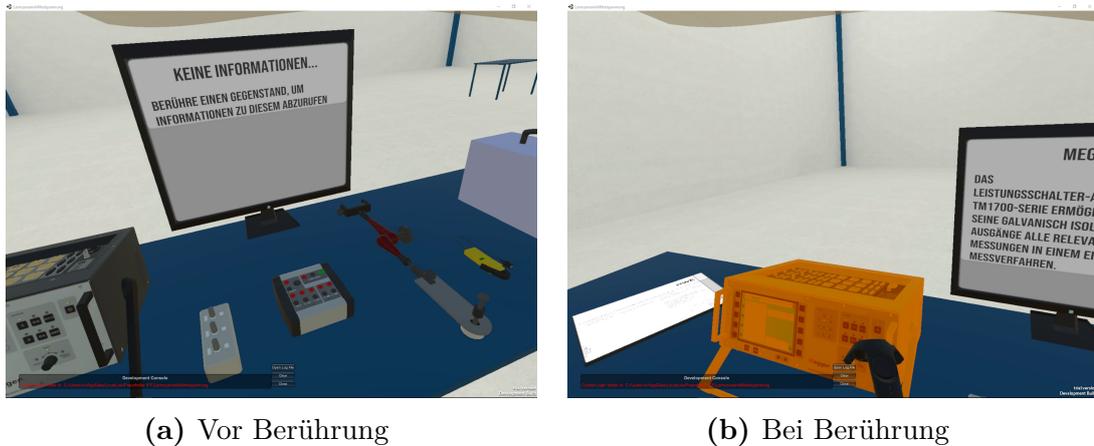
<sup>4</sup> <https://www.innogy.com/web/cms/mediablob/de/3686308/data/0/8/Mittelspannungsschaltgeraete-und-anlagen.pdf> (Aufgerufen am 09.08.2018)

<sup>5</sup> [http://download.schneider-electric.com/files?p\\_enDocType=Catalog&p\\_File\\_Name=GHA\\_DE\\_print.pdf&p\\_Doc\\_Ref=GHA%20PH%20DE](http://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=Catalog&p_File_Name=GHA_DE_print.pdf&p_Doc_Ref=GHA%20PH%20DE) (Aufgerufen am 10.08.2018)

<sup>6</sup> Das Vorgehen ist hier nur auszugsweise geschildert

<sup>7</sup> aus der Dokumentation zu Vorgehensweisen von Westnetz entnommen

C - Verschiedene, für die Messung benötigte Messgeräte (Darunter befindet sich unter anderem ein Leistungsschalter-Analysesystem des Herstellers *Megger*<sup>8</sup>, welches für die Visualisierung der Messwerte eingesetzt wird.)



**Abbildung 4.2:** Anzeigen von Werkzeuginformationen auf dem Bildschirm

**2. Planen:** Hat der Nutzer sich einen Überblick darüber verschafft, was zu tun ist, wird er dazu aufgefordert, seinen Arbeitsplan an einer größeren digitalen Tafel (Abbildung 4.3) zu erstellen und auf dem Tablet zu speichern. Dazu wählt er das durchzuführende Arbeitspaket aus, ordnet vorgegebene Arbeitsschritte an und bestätigt, dass er seinen Plan speichern möchte. Anschließend wird dieser Plan dokumentiert (Abbildung 4.3 (c)).

**3. Entscheiden:** Verläuft die Speicherung ohne Fehler, ist es möglich, die Planung zu korrigieren bevor der Nutzer sich geeignete Werkzeuge aussucht, um den Zustand der Leistungsschalteranlage im nächsten Schritt zu erfassen. Möchte er ein bestimmtes Werkzeug für die Durchführung auswählen, muss er dieses auf einem andersfarbigen Rollwagen platzieren (Abbildung 4.4 (b)).

**4. Ausführen:** Da dies nur ein Prototyp ist, kann der Nutzer in diesem Schritt nur zwei Teilaufgaben erledigen. Er kann einen inkrementalen Drehgeber anschließen und ein Kabel zur Adaptierung des Messsystems stecken. Dazu muss er eine Tür öffnen, welche die Klemmleisten für die Kabel freilegt. Außerdem muss er die Blende zur Seite legen, um den Drehgeber an die richtige Position zu klemmen (Abbildung 4.5 (c)).

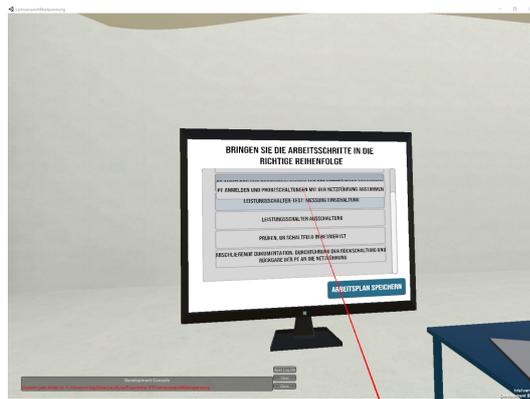
In Zukunft könnte an dieser Stelle die richtige Position des Kabels sowie der passende Klemmplan randomisiert werden, um diverse Situationen zu kreieren und erfahrungsorientiertes Lernen zu fördern (Kapitel 2.3).

**5. Kontrollieren:** Nachdem der Nutzer seine Arbeitshandlung ausgeführt hat, werden ihm, sofern er seine Arbeit richtig gemacht hat, restliche Kabel eingeblendet und oder der Drehgeber an die richtige Position mit der korrekten Ausrichtung gesetzt (Abbildung 4.5 (d)). Das Anzeigen der restlichen Kabel verkürzt die Routinarbeit für den Nutzer, sodass er sich auf seine Denkprozesse konzentrieren kann. Hier wird der Vorteil ausgenutzt, dass die Komplexität in virtuellen Umgebungen reduziert werden kann.

<sup>8</sup> <https://de.megger.com/leistungsschalter-analyse-system-tm1700> (Aufgerufen am 02.08.2018)



(a) Benutzeroberfläche



(b) Drag and Drop Funktion

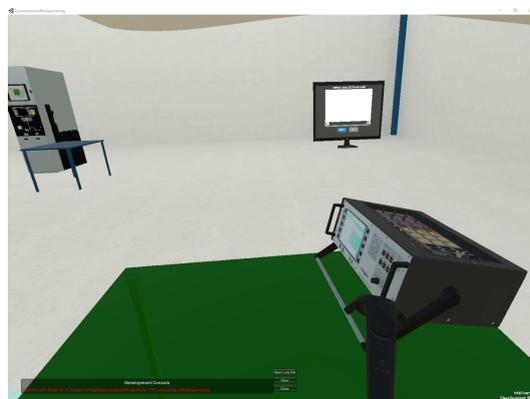


(c) Speicherung des Plans auf dem Tablet

Abbildung 4.3: Arbeitsplanerstellung am interaktiven Whiteboard



(a) Anweisung



(b) Ablage auf grünem Tisch

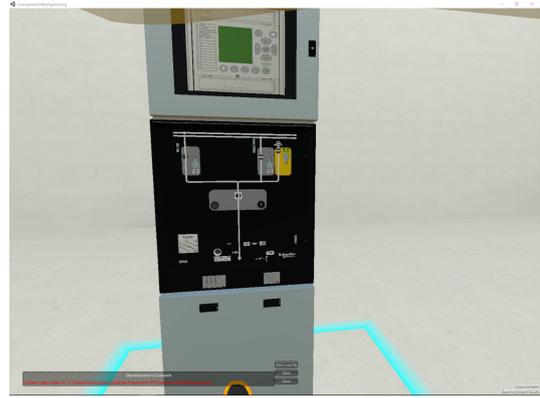
Abbildung 4.4: Werkzeugauswahl

Stellt der Nutzer während der Ausführung fest, dass er ein Werkzeug vergessen hat, kann er in die Entscheidungsphase zurückkehren und dieses Werkzeug zur Auswahl hinzufügen.

**6. Bewerten:** Am Ende darf der Nutzer sich eine Videoaufzeichnung seiner Tätigkeit anschauen und kann auf dieser Basis bewerten, wie effizient er gearbeitet hat. Nach dem Beispiel von Avveduto u. a. (2017) kann an dieser Stelle über einen Fahrstuhl bei Bedarf in ein Tutorial gestartet werden. Es kann jedoch auch die gesamte Tätigkeit erneut ausgeführt werden.



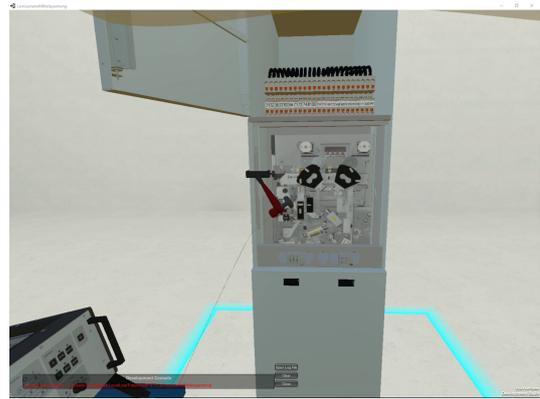
(a) Mitgenommene Werkzeuge und hervorgehobene Objekte für Aufgabe



(b) Schaltanlage aus der Nähe



(c) Festgelegte Drehgeberposition



(d) Erledigte Drehgeberaufgabe

**Abbildung 4.5:** Aufgaben bei der Durchführung

Für die finale Anwendung wäre eine Gegenüberstellung der eigenen Tätigkeit sowie eines fehlerfreien Durchlaufes denkbar. Zusätzlich wären Fehlerraten, wie viele überflüssige und tatsächlich benötigte Werkzeuge ausgewählt wurden, möglich.

### 4.3.2 Virtual Reality

Die virtuelle Umgebung setzt sich aus zwei verschiedenen Räumen zusammen. Im ersten Raum findet die Einführung in alle Funktionalitäten der Steuerung statt. Dazu wurde ein Raum aufgespannt und mit Tischen sowie Tafeln für jede Funktion versehen (Abbildung 4.7). Die Tische besitzen realistische Dimensionen und sind dunkler gehalten, um mögliche Objekte, welche auf ihnen liegen, hervorzuheben. Objekte, mit denen hier interagiert werden können, stellen meist abstrakte geometrische Körper dar. Dadurch kann der Nutzer sich, unabhängig von der Form, gänzlich auf die Funktionalität der Objekte konzentrieren. Was zunächst ein grauer, eher „dunkler“ und durch die Größe „beengender“ Raum war (angelehnt an Avveduto u. a. (2017)), wurde in eine hellere Umgebung verändert. Als Vorbild diente hier die rechteckige Schulungshalle des Partners *Westnetz*, welche ein Satteldach mit gewellter Deckung (Schunck u. a. 2012) besitzt. Die Wände der Halle sind in einem neutralen Weißton gehalten, wobei sich im zweiten Raum zusätzlich dunkelblaue Stützen davon abheben.

Der zweite Raum entspricht auch von seinen Ausmaßen einer Halle und ist durch



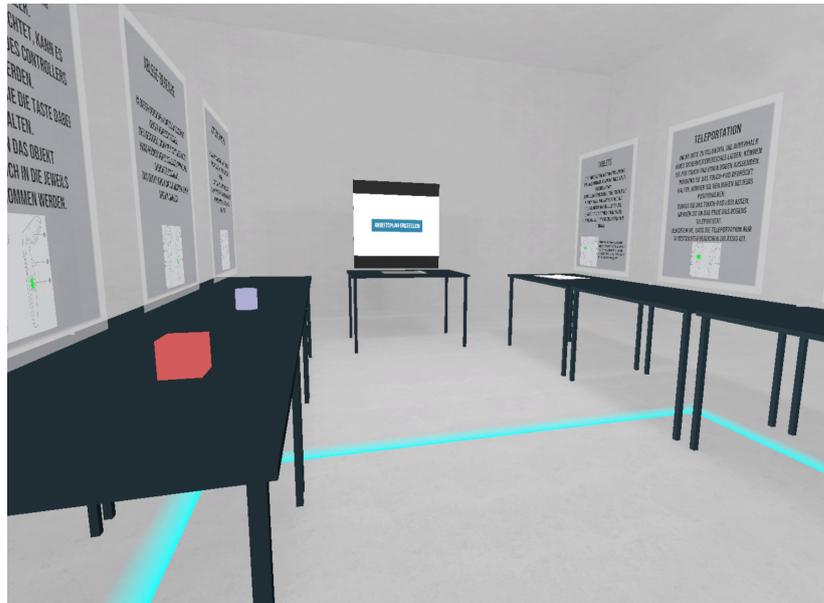


Abbildung 4.7: Design des Raumes für das Tutorial

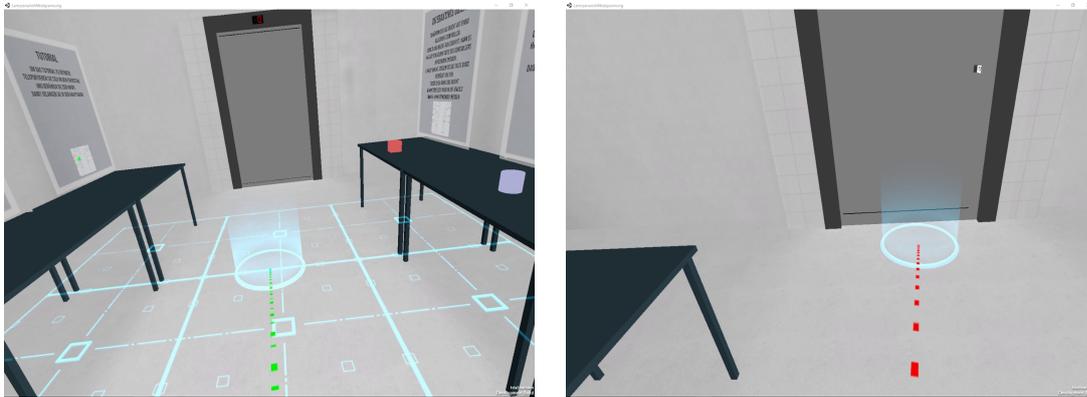
abzulenken. Wie genau die Interaktion für die einzelnen, im Kapitel 2.5.3 erwähnten Interaktionsaufgaben umgesetzt ist, wird im Folgenden näher beleuchtet:

**Navigation:** Zur Unterstützung der *Wegfindung* und somit auch der Entwicklung eines vereinfachten, mentalen Abbildes der virtuellen Umgebung, auch „kognitive Karte“ genannt (O’keefe und Nadel 1978), werden *Landmarken* eingesetzt. Diese sind statische Objekte, welche hervorstechen und auf diese Art als Bezugspunkte im Raum dienen (Ingram und Benford 1995). So kann sich der Nutzer beispielsweise am Fahrstuhl oder der Mittelspannungsschaltanlage orientieren, weil sie sich anhand ihrer Größe von benachbarten Objekten abheben (Vinson 1999). Dass die virtuelle Umgebung im Allgemeinen wenig Objekte enthält, verstärkt dies zusätzlich.

Aus den fünf üblichen Metaphern (D. A. Bowman, Kruijff u. a. 2001) für Interaktionstechniken der *Bewegungskontrolle*, dem zweiten Bestandteil der Navigation, wurde zum einen die *physikalische Bewegung*, zum anderen die *ziel-basierte Bewegung* gewählt. Bei der *physikalischen Bewegung* wird die reale Bewegung des Nutzers, in Form der Position und Orientierung der Kamera, etwa beim Gehen erfasst und in der virtuellen Umgebung wiedergegeben (= *Tracking*). Diese trägt im Gegensatz zu Techniken, die ausschließlich die Richtung der Bewegung steuern (beispielsweise das „Fliegen“), zu einem höheren, subjektiven Präsenzzempfinden bei (Usoh, Arthur u. a. 1999) und ist daher ein günstiger Kandidat.

Die *physikalischen Bewegung* besitzt jedoch gegebenenfalls den Nachteil, dass der Bereich, in dem das System den Nutzer erfassen kann, die virtuelle Umgebung nicht abdecken kann (Mine 1995). Dies liegt in diesem Fall durch den vorliegenden Nachbau der Schulungshalle vor. Eine mögliche Lösung dafür bildet die „Redirected Walking“-Technik von Razzaque, Kohn und Whitton (2001), welche es dem Nutzer weiterhin ermöglicht, durch die gesamte Szene über physikalisches Gehen zu navigieren. Bisher besitzt diese jedoch mitunter die Schwäche, dass der Platzbedarf des Tracking-Bereiches sehr hoch ist (Razzaque, Kohn und Whitton 2001). Daher wird stattdessen ergänzend die *ziel-basierte Bewegung* in Form der Technik

„Point & Teleport“ (Bozgeyikli u. a. 2016) genutzt. Hierbei wird das Zeigen über einen animierten Laserstrahl mit eingekreistem Zielbereich realisiert (Abbildung 4.8). Diese ermöglicht ein „Springen“ (= *Teleportieren*) zur gewünschten Position. Auf Grundlage der Wahrnehmungskonflikt-Theorie nach Reason und Brand (1975) wird durch das Ausbleiben der visuellen Translationsbewegung dabei erhofft, eine *Motion Sickness* oder auch *Cybersickness* zu vermeiden, mit welcher Symptome wie Schwindel und Erbrechen einhergehen (McCauley und Sharkey 1992).



(a) Grüner Strahl bei erlaubter Teleportation (b) Roter Strahl bei nicht erlaubter Teleportation

**Abbildung 4.8:** Teleportation

**Selektion:** Diese Interaktionsaufgabe ist ein entscheidender Teil der inhaltlichen Anwendung. Sie kommt zum Einsatz, wenn der Nutzer sich seinen eigenen Arbeitsplan erstellt und mit sämtlichen Arbeitsmitteln interagieren möchte. Dabei wird nach Poupyrev, Ichikawa u. a. (1998) zwischen *egozentrischen* und *exozentrischen* Techniken unterschieden. Während der Nutzer bei einer *egozentrischen* Interaktion als Teil der virtuellen Umgebung im Mittelpunkt steht, wirkt er durch *exozentrische* Techniken von außerhalb auf diese ein. Damit das Empfinden der Präsenz nicht negativ beeinflusst wird, wird an dieser Stelle auf *exozentrische* Techniken wie die *World-In-Miniature* (Stoakley, Conway und Pausch 1995) verzichtet und der Fokus auf *egozentrische* Ansätze gelegt. Hier wird für die Interaktion mit der digitalen Tafel und anderen Benutzeroberflächen (Abbildung 4.3 (a)) die Metapher des *virtuellen Zeigers* verwendet. Speziell kommt dabei das *Ray-casting* zum Einsatz. Dazu wird ein Strahl von der Position der virtuellen Hand in ihre Zeigerichtung ausgesendet (Poupyrev, Ichikawa u. a. 1998). Sobald dieser Strahl ein interaktives Element der Benutzeroberfläche schneidet, kann dieses ausgewählt werden.

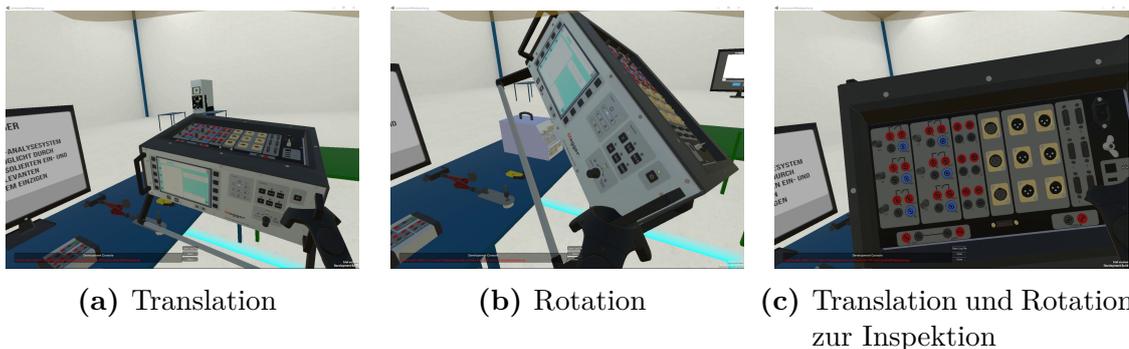
In der realen Welt ist es möglich, Objekte direkt in die Hand zu nehmen, wenn sie sich in Reichweite befinden. Um diese Gegebenheit nachzuahmen, wird auf die „klassische“ *virtuelle Hand* (siehe D. A. Bowman, Kruijff u. a. 2001; Poupyrev, Ichikawa u. a. 1998) zurückgegriffen. Bei dieser Technik wird die virtuelle Umgebung um einen dreidimensionalen Eingabezeiger erweitert, dessen Bewegungen mit denen der realen Hand korrespondiert. Analog zum Greifen realer Gegenstände muss das virtuelle Objekt dabei „berührt“ werden. Diese Berührung wird registriert, wenn die *virtuelle Hand* jenes Objekt schneidet (Abbildung 4.2 (b)). Liegt es also nicht in greifbarer Nähe, kann damit nicht interagiert werden. Demzufolge

sind Selektionstechniken für entfernte Objekte (beispielsweise die „Go-Go“ Technik von Poupyrev, Billinghamst u. a. (1996), welche den Arm künstlich verlängert) in diesem Kontext weniger relevant.

**Manipulation:** Typische Unteraufgaben der Objektmanipulation stellen die Translation beziehungsweise Positionierung, Rotation und Skalierung dar (Nielson und Olsen Jr 1987; Hand 1997; D. Bowman u. a. 2004). Auf Grundlage der ausgewählten Interaktionstechniken zur Selektion werden in den folgenden Absätzen für jede dieser Unteraufgaben passende Techniken in Erwägung gezogen.

**Translation:** Ziel dieser Aufgabe ist es, die Position eines Objektes zu verändern und es so im dreidimensionalen Raum zu platzieren. Relevant ist dies vor allem während der Ausführungsphase (4.3.1), in der Kabel in spezifische Stecker angeschlossen werden sollen. Da in diesem Fall Präzisionsarbeit gefordert ist, sind zur Platzierung zusätzlich Einschränkungen notwendig. Zu diesem Zweck kann das Konzept des *3D Snapping* (Wu u. a. 2003) verwendet werden. Dabei wird als Hilfestellung eine *Ghost Copy* (Tan, Robertson und Czerwinski 2001) geboten, nachdem ein Objekt in die Hand genommen wurde. Sie ist, wie der Name vermuten lässt, eine visuelle Kopie und Vorschau auf die endgültige Position und Orientierung des Objektes, welches zu platzieren gilt. Registriert das System, dass der Nutzer das Objekt ablegen möchte, wird die *Ghost Copy* ausgeblendet und das Objekt gegebenenfalls mit einer Animation entsprechend platziert. Umgesetzt ist diese Technik beispielsweise für die Elemente der interaktiven Tafel, welche die Arbeitsschritte darstellen. Diese lassen sich durch „Drag and Drop“ anordnen (Abbildung 4.3 (b)), wobei die Zielposition durch die Kopie zu jeder Zeit kenntlich gemacht wird. Ein weiteres Beispiel der weißgefärbten Kopie ist auch in Abbildung 4.5 (c) zu sehen.

Weil bei den übrigen Aufgaben keine hohe Präzision erforderlich ist, wird dort die freie Platzierung gewählt. Dadurch soll die Interaktion einen natürlicheren Charakter erhalten.



**Abbildung 4.9:** Objektmanipulation

**Rotation:** Um ein Objekt von allen Seiten betrachten zu können, ist die Veränderung der Orientierung des Objekts hilfreich. Auch hier existiert eine Fülle an Möglichkeiten zur Umsetzung. Unter anderem befindet sich darunter *Bells virtueller Trackball* (z.B. Henriksen, Sporning und Hornbæk 2004), der eine Rotation mittels Ansteuerung einer umhüllenden Kugel ermöglicht. Diese Technik ist jedoch maus-basiert. Da zu Anfang festgelegt wurde, dass als Eingabegeräte die *HTC Vive Controller* zum Einsatz kommen, erscheint eine Kombination mit einer

zusätzlichen Maus nicht sinnvoll. Stattdessen konzentriert sich die Steuerung hier auf das sogenannte *Grabbing* (Robinett und Holloway 1992). In Anlehnung an das reale Greifen eines Gegenstandes wird das virtuelle Objekt dabei in der Hand behalten und kann währenddessen rotiert werden. Zusätzliche Hilfen wie „Handles“ (siehe nächsten Abschnitt) werden dazu nicht benötigt, was auch von Teather und Stuerzlinger (2007) empfohlen wird (Abbildung 4.9).

**Skalierung:** Bei der Skalierung findet eine Verformung eines Objekts statt. Oft wird sie über *3D Widgets* realisiert (D. A. Bowman, Frohlich u. a. 2005). Das sind Werkzeuge, welche aus einer beliebig komplexen, dreidimensionalen Geometrie bestehen und ein bestimmtes Verhalten aufweisen (Conner u. a. 1992). In Form von sogenannten *Handles* werden dabei geometrische Transformationen ermöglicht, die auf bestimmte Achsen beschränkt werden kann. Da jedoch auf *Handles* verzichtet werden soll, kommt auch für diese Aufgabe das bereits genannte *Grabbing* zum Einsatz. Im Gegensatz zu den vorangegangenen Aufgaben, wird hier jedoch eine bimanuelle Eingabemöglichkeit ergänzt. Diese gestattet es, parallel mit beiden Händen unterschiedliche Aktionen auszuführen und gewährt auf diese Art potentiell schnellere und präzisere Ergebnisse (Guiard 1987) als mit einhändigen Techniken wie die *Pointer Orientation-based Resize Technique (PORT)* (D. A. Bowman, Frohlich u. a. 2005). Eine Skalierung mit Hilfe der bimanuellen Eingabe wird für das Lesen von Dokumenten auf virtuellen Tablets eingesetzt. Dazu kann das Tablet beispielsweise mit der nicht-dominanten Hand (NDH) durch *Grabbing* festgehalten und parallel mit der dominanten Hand (DH) zusätzlich durch ein „Ziehen“ entlang einer Achse in positive oder negative Richtung vergrößert beziehungsweise verkleinert werden. Dies ist notwendig, um kleine Texte aus technischen Zeichnungen im Klemmplan lesen zu können (Abbildung 4.10).

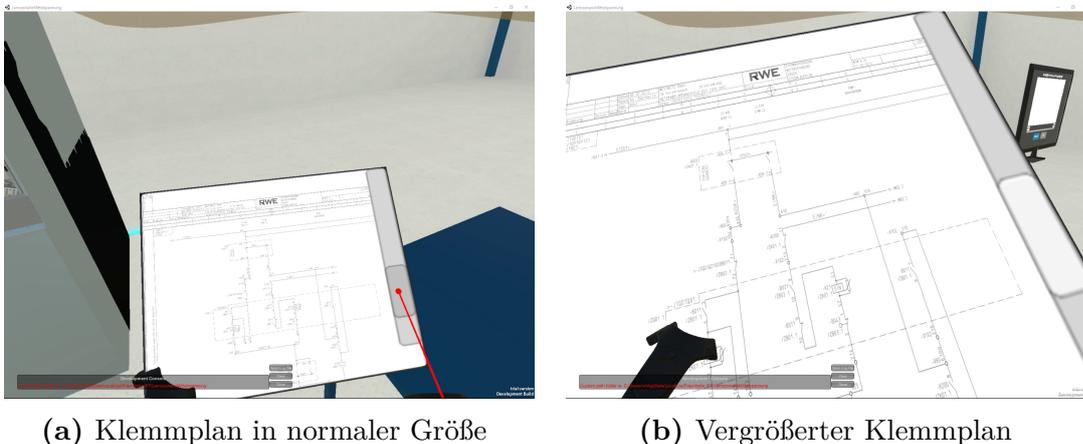


Abbildung 4.10: Vergrößerungsfunktion

**Systemkontrolle:** Zur Steuerung von Systemzuständen oder Variablen existieren Techniken, welche sich in die vier Kategorien *grafische Menüs*, *sprachbasierte Befehle*, *Interaktion durch Gesten* und *virtuelle Objekte mit einer impliziten Funktion* unterteilen lassen (D. A. Bowman, Kruijff u. a. 2001). In dieser Arbeit wird die erste und letzte Kategorie eingesetzt. So ist unter anderem ein Szenenwechsel über einen Fahrstuhl zu Anfang direkt nach dem Tutorial oder am Ende einer vollständigen Handlung möglich. Dazu muss ein virtueller Knopf im Fahrstuhl betätigt

werden. Zusätzlich wird das Wechseln der Phase und somit den Interaktionsbereich über ein grafisches Menü angesteuert, wobei dieses an den Controller der nicht-dominanten Hand angeheftet ist (auch *objekt-fixiertes* Menü genannt (Kim u. a. 2000)) und sich ausblenden lässt (Abbildung 4.11). Durch das Menü erhält der Nutzer zum einen Zugang zur Dokumentation der Steuerung, zum anderen bestätigt er darin durch Selektion, wie sie für Benutzeroberflächen im vorigen Abschnitt definiert ist, den Abschluss einer Phase der vollständigen Handlung. Außerdem kann er auf Wunsch die Aufgabe von vorne beginnen.

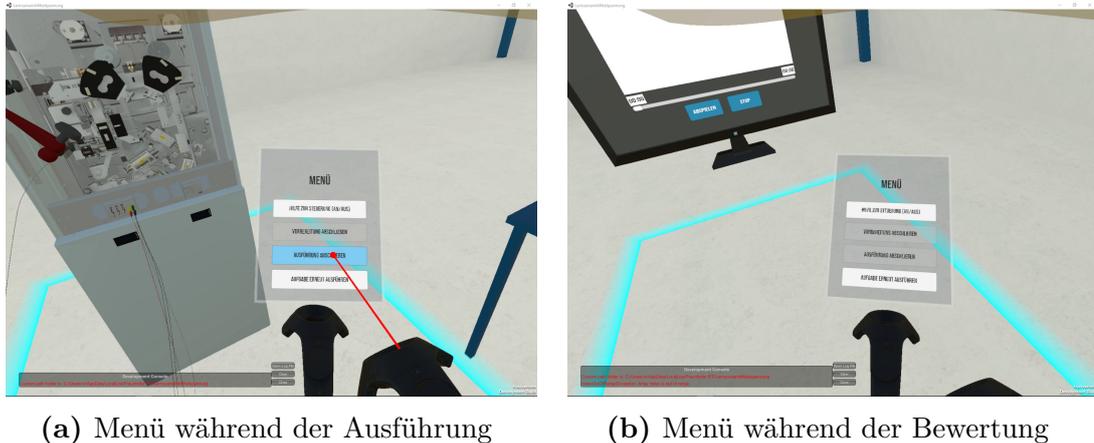


Abbildung 4.11: Menü zur Systemkontrolle

## Usability Design

Im Kontext der Usability wurden die verbreiteten Heuristiken nach Nielsen (1995) (auf Grundlage von Molich und Nielsen (1990)) berücksichtigt. Sie stellen insgesamt zehn Aspekte dar, die bei der Entwicklung von Mensch-Computer-Interaktionen einfließen sollten. Welche genau dies sind und welchen Stellenwert sie in dieser Arbeit haben, wird folgend erläutert:

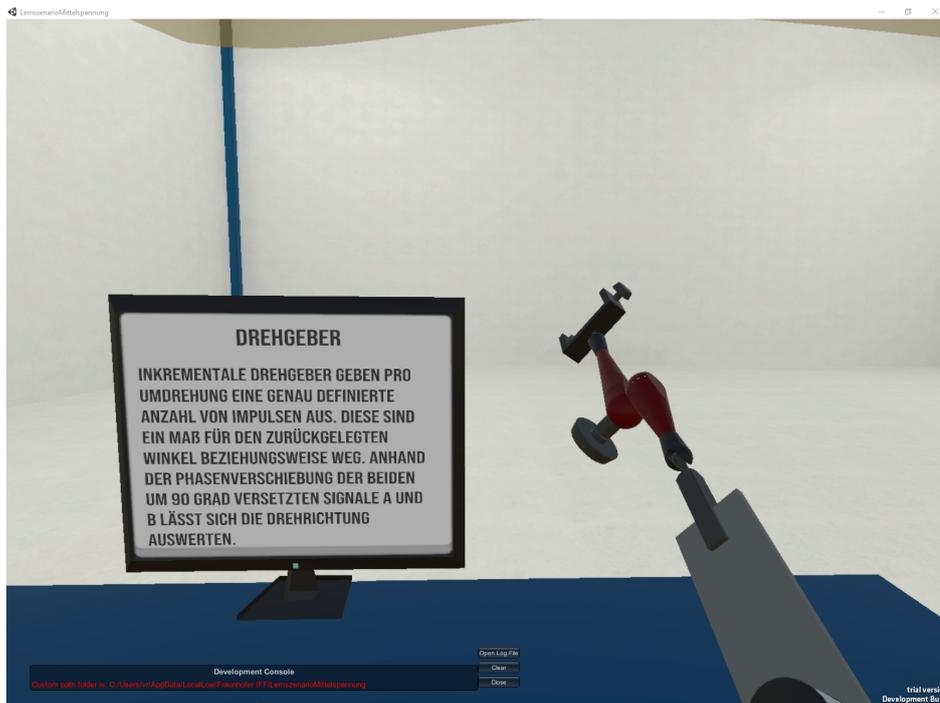
**1. Erkennbarkeit des Systemstatus:** (= Das System sollte den Nutzer stets über den aktuellen Status informieren und zu sinnvollen Zeitpunkten geeignete Rückmeldungen geben.)

Um den Nutzer fortwährend über den Systemzustand zu informieren, wird sowohl visuelles, auditives als auch haptisches Feedback (= Rückkopplung) eingesetzt. So kommt beim Teleportieren eine kurze Überblendung in einen schwarzen Hintergrund zum Einsatz, welche den Beginn und das Ende der Interaktion markiert. Des Weiteren wird ein Laserstrahl in Form einer Kurve mit Zielpunkt eingeblendet, wobei farblich unterschieden wird, ob eine Teleportation zu dem Zielpunkt zulässig ist (Abbildung 4.8). Objekte werden generell bei einer Berührung farblich hervorgehoben (Abbildung 4.3 (b)). Visuelles Feedback wird auch bei der Ausführungsphase bereitgestellt. Dort erscheinen die restlichen Kabel, wenn der Nutzer die Aufgabe korrekt ausgeführt hat, während diese ansonsten unsichtbar bleiben (Abbildung 4.17 (b) und (c)). Zudem erscheinen *Ghost Copies* als halb-durchsichtige Abbilder oder Silhouetten von Objekten, wenn eine präzise Platzierung möglich ist (Abbildung 4.5 (c)). Für auditives Feedback werden spezielle Soundeffekte bei

korrekten Ausführungen als Reaktion abgespielt. Wurde eine Teilaufgabe falsch ausgeführt, vibrieren die Controller.

**2. Parallelen zwischen dem System und der realen Welt:** (= Das System sollte sich an der Sprache der Nutzer orientieren sowie Wörter und Konzepte aus der realen Welt zur Erklärung nutzen.)

Hierzu wurden die Informationstexte sachlich geschrieben und möglichst einfach gehalten. Dabei wurden geläufige Fachbegriffe aus der Arbeit mit und an gasisolierten Mittelspannungsschaltanlagen (MS-GIS) sowie der allgemeinen Energietechnik verwendet. Ein Beispiel dafür findet sich in Abbildung 4.12.



**Abbildung 4.12:** Information zum inkrementalen Drehgeber

**3. Kontrolle und Freiheit des Nutzers:** (= Für den Fall, dass das System durch einen Fehler des Nutzers einen unerwünschten Zustand erreicht, sollte eine Funktion existieren, welche Handlungen rückgängig machen kann.)

Haben Nutzer in der Planungsphase ein Werkzeug vergessen, können sie über das Menü am Controller, welches sie stets zur Hand haben, in diese zurückkehren. Sie bekommen dort die Möglichkeit, zusätzliche Werkzeuge auszuwählen und auf Wunsch ihren Arbeitsplan zu aktualisieren. Anschließend dürfen sie dann erneut in die Ausführungsphase zurückkehren.

**4. Konsistenz und Standards:** (= Die Nutzer sollen nicht von unterschiedlichen Ausgängen bei gleicher Ausführung überrascht werden.)

Um Verwirrungen vorzubeugen, wird festgelegt, dass die Teleport-Funktion sowie der Zeiger für die Benutzeroberflächen stets über dieselbe Taste aktiviert wird. Dabei wird das Teleportieren im Gegensatz zum Zeigen stets mit der nicht-dominanten Hand gestartet. Linkshänder steuern den Teleport also auf dem rechten Controller an, während Rechtshänder zur Bedienung den linken Controller nutzen (siehe Abschnitt 5.1.1). Zur Gewährleistung von Konsistenz wurden zudem gleiche Töne bei gleichen Handlungen abgespielt.

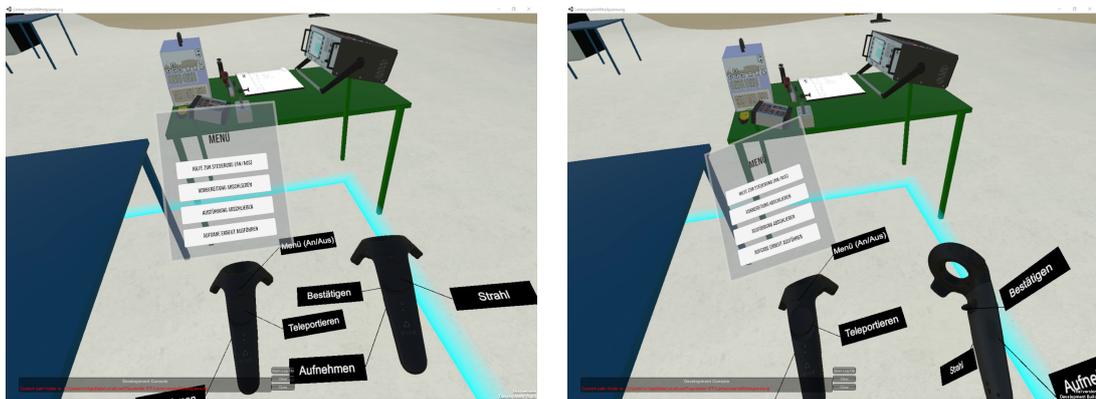
**5. Vermeidung von Fehlern:** (= Auf mögliche Fehler sollte schon beim Design geachtet werden, damit sie bestenfalls gar nicht erst auftreten.)

Damit dies sichergestellt ist, können beispielsweise Objekte in der Ausführungsphase durch *Snapping* (siehe Abschnitt 4.3.2) nur an bestimmten Punkten im Raum abgelegt werden, sodass sie nicht in der Ferne durch physikalische Gegebenheiten verschwinden können. Auch kann die Tür der Schaltanlage nur zwei Zustände annehmen, sodass das Stecken von Kabeln erst möglich ist, wenn diese geöffnet wurde (Abbildung 4.5 (d)). Ist diese noch verschlossen (Abbildung 4.5 (b)), kann wie in der realen Welt kein Objekt im Innenraum der Anlage angebracht werden.

Nachdem die Ausführungsphase abgeschlossen wurde, ist es weiterhin nicht mehr möglich, in die Planungsphase überzugehen. Ein Neustart der Aufgabe ist dazu erforderlich. So wird sichergestellt, dass das die vollständige Handlung komplett und in der richtigen Reihenfolge durchlaufen wird. Darüber hinaus ist die Bewegung über das Teleportieren auf bestimmte Bereiche beschränkt, um unerwartete Kollisionen und unrealistische Zustände zu erreichen. Wie in Abbildung 4.6 erkennbar ist, besteht die virtuelle Umgebung dazu aus vier Bereichen, welche farblich türkis umrahmt sind. Diese stellen valide Orte dar, zu denen der Nutzer per *Teleport* gelangen kann.

**6. Wiedererkennung statt Erinnerung:** (= Die kognitive Belastung des Nutzers soll so gering wie möglich gehalten werden, indem Informationen und Anweisungen stets schnell zugänglich gemacht werden.)

Eine Entlastung für den Nutzer stellt zunächst der erstellte Arbeitsplan dar. Er kann analog zur realen Anwendung als Arbeitsmittel in die nächste Phase mitgenommen werden und muss daher nicht zusätzlich abgespeichert werden (Abbildung 4.3 (c)). Zudem ist es über das Controllermenü jederzeit möglich, die Funktionen der einzelnen Tasten zur Steuerung einzusehen (Abbildung 4.13).



(a) Eingblendete Hilfe zur Steuerung (b) Einblendung aus einer anderen Perspektive

**Abbildung 4.13:** Hilfestellung über das Menü

**7. Flexibilität und Effizienz bei der Nutzung:** (= Es sollte für erfahrene Benutzer möglich sein, Funktionen schneller zu erreichen oder ausführen zu können.) Da dies nur ein Prototyp mit kleinem Umfang ist und er primär für Einsteiger konzipiert wird, wurde dieser Aspekt nicht berücksichtigt.

**8. Ästhetisches und minimalistisches Design:** (= Informationen sollten kurz und bündig präsentiert werden sowie keine irrelevanten Informationen enthalten.) Da alle Informationen, die eingeblendet werden, auf eine Hilfestellung zur Steuerung oder zur Aufgabe beschränkt sind, werden keine unnötigen Informationen dargestellt. An einigen Stellen war es jedoch nicht möglich, die Information in Textform kurz zu halten. Aus diesem Grund ist es bisher nötig, dem Nutzer beispielsweise die Hauptaufgabe und ihren groben Aufbau zusätzlich zu vermitteln. In weiterführenden Arbeiten könnte dies durch Schritt-für-Schritt Anleitungen oder alternativ durch das Präsentieren von erklärenden Bildern oder Animationen gelöst werden.

**9. Den Nutzern helfen, Fehler zu erkennen, sie zu analysieren und diese zu beheben:** (= Fehlermeldungen sollten in einfacher Sprache verfasst sein und sinnvolle Lösungsmöglichkeiten vorschlagen.)

Dieser Aspekt wurde zunächst nicht betrachtet, da im aktuellen Prototypen die Vermeidung von Fehlern stärker im Fokus steht. Bei einer zukünftigen Erweiterung des Prototypen um zusätzliche Aufgaben bei der Ausführung sind solche Fehlermeldungen jedoch sinnvoll.

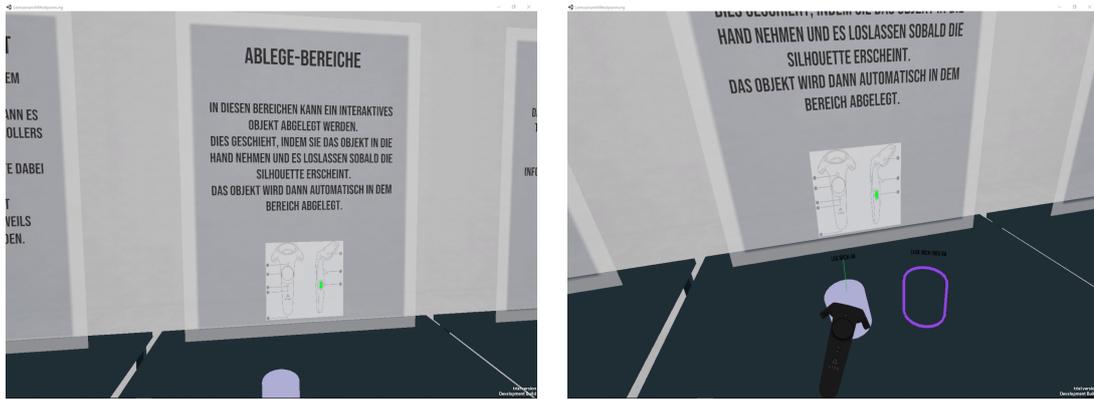
**10. Hilfestellung und Dokumentation:** (= Um sichergehen zu können, dass jeder Nutzer in der Lage ist, das System zu nutzen, sollte es dem Nutzer Hilfestellungen und eine Dokumentation bieten.)

Als Hilfestellung fungiert ein Tutorial, welches vorab durchgespielt werden kann (siehe zum Aufbau Kapitel 4.3.2). Dazu ist sowohl in Textform als auch bildlich dokumentiert, welche Tasten mit den jeweils einzelnen Funktionen korrespondieren. Es beinhaltet eine Hilfe zu den Interaktionen *Greifen* von Objekten, Ablegen eines Objekts an einer bestimmten Position (oder auch *Platzieren mit Snapping*) (Abbildung 4.14), *Teleportieren* als Bewegungskontrolle, Bedienung von dreidimensionalen *Benutzeroberflächen* und Verwendung vom *Menü*. Das Tutorial selbst besitzt einen explorativen Charakter. Anhand der vorliegenden Objekte, ist es dem Nutzer möglich, die einzelnen Funktionen uneingeschränkt oft zu erproben. Zudem ist es ihm selbst überlassen, in welcher Reihenfolge er das Tutorial abschließt und wie viel Zeit er dafür aufwendet. Hierbei hat der Nutzer zu Beginn und nach Abschluss der Hauptaufgabe die Wahl, ob er das Tutorial wiederholen oder die Aufgabe erneut bearbeiten möchte.

Als weitere Unterstützung kann der Nutzer außerdem zusätzlich die Steuerungshilfe über textuelle Informationen (= *Annotationen*) (Preim und Dachsel 2015) abrufen (Abbildung 4.13), die als dreidimensionale Objekte darstellen, welche ihre Ausrichtung an die Interaktion mit dem Controller angepasst wird (Pick u. a. 2010).

### 4.3.3 Gamification

Hinsichtlich der Gamification auf Basis des konzeptuellen *Octalysis Frameworks* (siehe Kapitel 2.4) wird eine Tendenz zur belohnenden Natur („White Hat Gamification“) angestrebt, um den Nutzer nicht zu frustrieren. Dabei liegt der Fokus weniger auf der extrinsischen Motivation. Vielmehr soll das Nutzen der Anwendung selbst eine bereichernde Erfahrung darstellen („Right Brain“). Ferner werden Techniken bevorzugt, die



(a) Informationstafel für das Snapping

(b) Freies Ausprobieren

Abbildung 4.14: Beispielhafte Inhalte des Tutorials

auch im Kontext der übrigen Konzepte (Pädagogik und Virtual Reality) sinnvoll erscheinen oder den Nutzer bei der Wahrnehmung der *mentalen Immersion* unterstützen. So könnten plötzlich erscheinende Abzeichen und Trophäen (*Core Drive* Entwicklung und Errungenschaft) beispielsweise auffallend künstlich wirken und eignen sich zu diesem Zweck daher nicht.

Die Gamification Elemente und Techniken, die in der Arbeit verwendet wurden, sind in Abbildung 4.18 in einem Netzdiagramm übersichtlich visualisiert. Jeder *Core Drive* besitzt demnach eine Achse mit einem bestimmten Wert, der veranschaulicht, wie stark dieser in der Anwendung ausgeprägt ist. Liegt ein Wert eher außerhalb, ist daraus zu schließen, dass eine größere Anzahl an Gamification-Techniken in die Anwendung einbezogen sind, um ebenjenen *Core Drive* zu fördern. Welche Techniken speziell zum Einsatz kommen, ist jeweils am Ende einer Achse vermerkt. Zu beachten ist an dieser Stelle, dass nur die Techniken in Betracht gezogen wurden, die in der Literatur und online zur Verfügung standen. Kostenpflichtige Inhalte wurden nicht einbezogen. Nachfolgend werden die einzelnen Gamification-Techniken im Detail erläutert:

**Narrative:** („*Höhere Bedeutung und Bestimmung*“)

Wird von der konstruktivistischen Annahme ausgegangen, dass das Lernen durch die eigenen Erfahrungen geprägt ist (siehe Kapitel 2.3), spielt die Situation, in welcher der Prozess des Lernens stattfindet, eine zentrale Rolle. In diesem Zusammenhang ist der Begriff „*situiertes Lernen*“ bedeutsam. Ihm liegt die Auffassung zugrunde, dass Wissen nicht einfach übertragen werden kann, sondern in jeder Situation stets individuell vom Lernenden konstruiert werden muss (Mandl, Gruber und Renkl 1995). Eine Lernumgebung mit narrativem Format kann an dieser Stelle Interesse erzeugen und so bei der Identifikation und dem Verstehen von Problemen helfen (Cognition und Vanderbilt 1990; Mandl, Gruber und Renkl 1995). In der hier eingeführten Geschichte übernimmt der Nutzer in diesem Fall die Arbeit eines Kollegen, der spontan verhindert ist. Aufgrund dessen sendet dieser dem Nutzer gelegentlich Hinweise und Dankesgrüße (Abbildung 4.15).

**Social Gifting:** („*Sozialer Einfluss und Verbundenheit*“)

*Soziale Bedürfnisse* spielen nach Maslow (1943) eine beachtliche Rolle in der Bedürfnishierarchie. Auch im Kontext des *situierten Lernens* wird insbesondere empfohlen, „*kooperatives Lernen*“ zu fördern (Mandl, Gruber und Renkl 1995). Zu



(a) Dankesgruß für die Hilfe

(b) Abschluss der Narrative

**Abbildung 4.15:** Anwendung der Narrative

diesem Zweck wird das *Social Gifting* eingesetzt. Dabei „schenkt“ der Kollege dem Nutzer ein wenig Zeit, indem er ihm einige Werkzeuge bereitgelegt hat (Abbildung 4.16). Speziell sind dies einige Kabel und ein Drehgeber. Dies kann als gemeinsames Problemlösen aufgefasst werden und stärkt die Bindung zwischen dem Nutzer und dem fiktiven Kollegen.

**Beginner’s Luck:** („*Höhere Bedeutung und Bestimmung*“)

Ähnlich wie beim *Social Gifting*, wird dem Nutzer eine Gabe überreicht (Abbildung 4.16). Diese zeichnet sich jedoch zusätzlich dadurch aus, dass sie zu Anfang geschieht und nur *selten* vorkommt. Dies soll dem Nutzer das Gefühl vortäuschen, besonders *wertgeschätzt* zu werden, und spricht somit direkt einen der Individualbedürfnisse des Menschen an (Maslow 1943). Die seltene Gabe stellt hierbei das Bereitlegen der Werkzeuge dar, welche vor Beginn der Werkzeugauswahl mitgeteilt wird. Dieses Ereignis findet nicht bei jedem Durchgang statt.

**Free Lunch:** („*Höhere Bedeutung und Bestimmung*“)

Bei dieser Technik wird nur ausgewählten Personen oder Gruppen etwas verliehen, das normalerweise mit Aufwand verbunden ist. Dass der Nutzer persönliche Nachrichten und Hilfestellungen vom fiktiven Kollegen erhält, führt dabei zu der Annahme, dass er dem Kollegen *wichtig* ist (Abbildung 4.16). Der Wunsch nach *Wichtigkeit* ist dabei ein weiterer Bestandteil der Individualbedürfnisse (Maslow 1943).

**Step-by-Step Overlay Tutorial:** („*Entwicklung und Errungenschaft*“)

Bevor mit der Aufgabe begonnen werden kann, muss der Nutzer ein Tutorial absolvieren, welches verschiedene Funktionen, die bereits im Kapitel 4.3.2 behandelt wurden, bereitstellt. Jedoch ist dieses Tutorial kein klassisches „Overlay“ Tutorial. Es ist lediglich eine Hilfestellung zum Funktionsumfang, welche dennoch schrittweise durchlaufen werden kann. Dabei ist der Fortschritt für den Nutzer jeder Zeit visuell zu sehen. Auf diese Art soll auch der Wunsch nach *Erfolg* und somit ein Individualbedürfnis (Maslow 1943) befriedigt werden.

**Plant Picker:** („*Spielraum für Kreativität und Rückmeldung*“)

Bei dieser Technik werden bedeutsame Entscheidungen in den Fokus gestellt, welche in verschiedene Konsequenzen resultieren. Wählt der Nutzer in der Planungs-



Abbildung 4.16: Anwendung der Technik „Soziales Geschenk“

phase ein Werkzeug nicht aus, welches in der nächsten Phase benötigt wird, so steht es ihm, wie auch in der Arbeit von Haase und Termath (2015), nicht zur Verfügung.

**Poison Picker:** („Spielraum für Kreativität und Rückmeldung“)

Diese Technik bietet dem Nutzer ein breites Spektrum an Entscheidungsmöglichkeiten, um ihn zum intensiveren Nachdenken anzuregen. Dass das Aufzeigen von mehreren Möglichkeiten Lernende motiviert und sie dazu verleitet, sich eindringlicher mit dem zu lösenden Problem auseinanderzusetzen, haben dabei bereits Cordova und Lepper (1996) gezeigt. Zur Umsetzung dieser Technik, hat der Nutzer mehrere Auswahlmöglichkeiten, um bestimmte Kabel an der Mittelspannungsschaltanlage anzuschließen (Abbildung 4.17 (a)). Wählt der Nutzer die falsche Möglichkeit, wird ihm der Fehler durch eine haptische und visuelle Rückmeldung signalisiert. Er kann diesen Fehler jedoch korrigieren, indem er das Kabel erneut in die Hand nimmt und den Vorgang wiederholt. So kann der Nutzer die Aufgabe durch das Analysieren seiner Fehler lösen.

**Glowing Choice:** („Unvorhersehbarkeit und Neugier“)

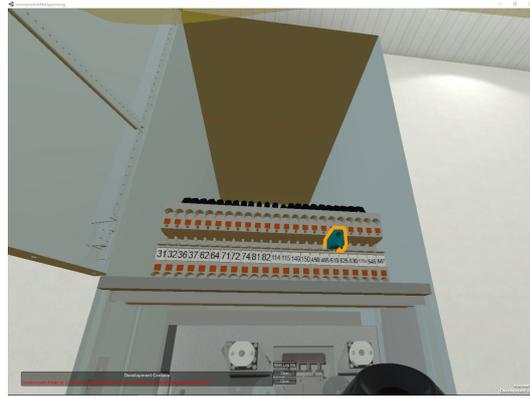
Bei der Ausführungsphase wird die Aufmerksamkeit des Nutzers auf die zwei bisher verfügbaren Aufgaben gelenkt, indem die relevanten Objekte eine orangefarbene Silhouette erhalten (Abbildung 4.5 (a)). Diese hebt sich sehr deutlich vom restlichen Farbschema ab und signalisiert dem Nutzer auf diese Weise eine gewisse Wichtigkeit. Wird die Anwendung in Zukunft um weitere Aufgaben ergänzt, so kann die Hervorhebung von anderen anzuschließenden Kabeln genutzt werden, um im Sinne des *situierten Lernens* verschiedene Situationen und Ausgangsprobleme zu präsentieren. Auf diese Art ist für den Nutzer nicht von Vornherein einsehbar, welche Aufgabe ihn erwartet.

**Avatar:** („Besitz und Beherrschung“)

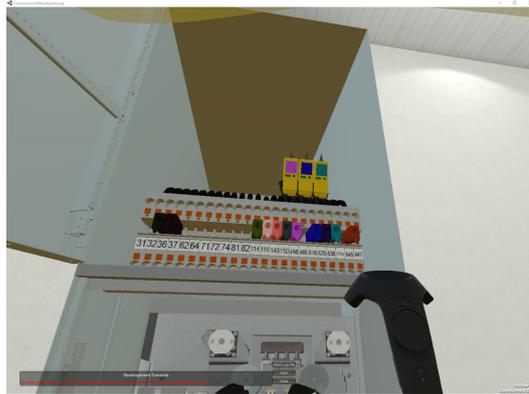
Avatare sind virtueller Repräsentanten der Nutzer (siehe Kapitel 2.4.3), welche vielfältige Vorteile mitbringen. Um einen Avatar mit möglichst geringem Aufwand in die virtuelle Umgebung zu integrieren, wird er an dieser Stelle nur mit einem gelben Schutzhelm angedeutet. In Abbildung 4.3 (c), welches einen Ausschnitt



(a) Alternativen



(b) Falsche Auswahl

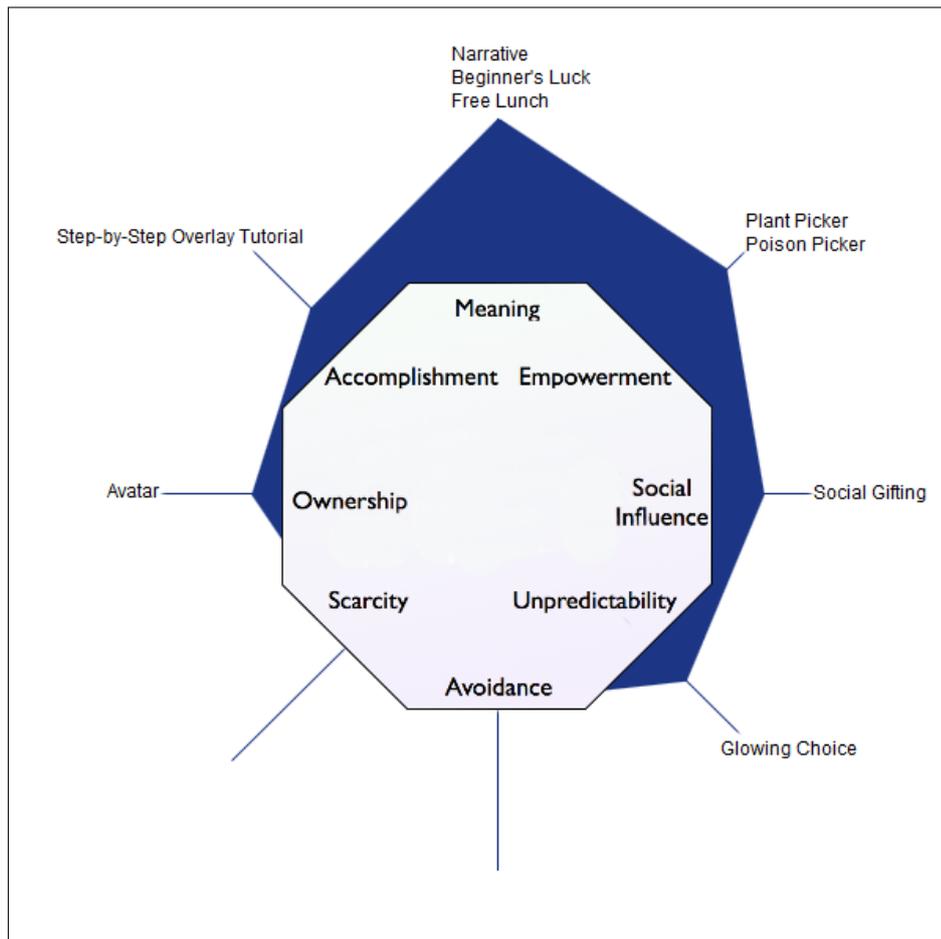


(c) Korrekte Auswahl

**Abbildung 4.17:** Anwendung der Poison Picker Technik

einer Videoaufnahme zeigt, ist dieser etwas transparent dargestellt. Innerhalb der Anwendung ist er jedoch kaum wahrnehmbar, weil er nur am oberen Rand des Bildes zu sehen ist (z.B. Abbildung 4.3 (a)). Üblicherweise wird die Erscheinung eines solchen Avatars in vollständig immersiven virtuellen Umgebungen über die Metapher des *virtuellen Spiegels* vermittelt (z.B. Slater u. a. 2010; Spanlang u. a. 2014). Dazu könnte die Möglichkeit gegeben werden, die Kopfbedeckung zu wechseln oder ihre Farbe zu verändern. Durch diese Personalisierung kann das subjektive Empfinden von Präsenz signifikant erhöht werden (Waltemate u. a. 2018). Da jedoch nicht genügend Zeit vorhanden war, könnte dies in einer weiterführenden Arbeit implementiert werden.

<sup>9</sup> Erstellt mit: <https://www.yukaichou.com/octalysis-tool/> (Aufgerufen am 26.03.2018)



**Abbildung 4.18:** Anwendung von Octalysis. Zuordnung der eingesetzten Techniken zu ihren Core Drives. <sup>9</sup>



# 5 Implementation

Dieses Kapitel widmet sich der praktischen Umsetzung des erarbeiteten Konzepts und stellt die in der Arbeit genutzte Hard- und Software vor. Dabei werden Designentscheidungen, welche die beiden Komponenten speziell betreffen, näher beleuchtet.

## 5.1 Hardware

In diesem Abschnitt werden die physischen Komponenten des Systems aufgezeigt. Dazu wird zunächst die *HTC Vive* mit ihren wichtigsten Komponenten vorgestellt. Im Zuge dessen wird die implementierte Steuerung aufgezeigt sowie die Erweiterung durch den *TPCast* kurz skizziert. Abschließend folgt eine Auflistung der Spezifikationen des verwendeten Rechners.

### 5.1.1 HTC Vive

Wie eingangs in Kapitel 2.5.2 erwähnt, wird als Hardware für die Präsentation der immersiven virtuellen Umgebung die *HTC Vive* verwendet <sup>1</sup>. Die wichtigsten Komponenten der *HTC Vive* bestehen dabei aus dem Headset selbst, zwei Basisstationen und zwei Controllern (Abbildung 5.1).

Das Headset bietet eine Auflösung von 1080 x 1200 Pixel pro Auge <sup>1 2</sup>, eine hohe Bildwiederholrate von 90 Hz und gestattet dem Tragenden ein Sichtfeld von 110°. Weiterhin ist es mit verschiedenen Sensoren ausgestattet, welche über die Basisstationen verfolgt werden. Positiv anzumerken ist, dass die *HTC Vive* Sicherheitsmerkmale aufweist. Speziell besitzt sie zusätzlich eine Front-Kamera und visualisiert auf Wunsch die vorher ausgemessenen Grenzen des Spielbereichs (= *Chaperones*). Überdies können verschiedene Einstellungen, wie beispielsweise die Anpassung der Pupillendistanz oder des Objektivabstands, vorgenommen werden, um die Brille individuell zu adaptieren. Jede Basisstation hat ein Sichtfeld von 120°. Zusammen können die Stationen jedoch 360° abdecken. Als Spielbereich wurde in diesem Fall das „ganze Zimmer“ (oder auch *room scale* Spielbereich) gewählt <sup>2</sup>, da die *physikalische Bewegung* als Navigationsmöglichkeit dienen soll (Kapitel 4.3.2). Hierbei spannen die Basisstationen eine Fläche von ungefähr 2,3 x 2,3 Metern auf. Die geforderte Mindestgröße des Raumes beträgt 2 x 1,5 Meter, wobei die Basisstationen maximal fünf Meter voneinander entfernt platziert sein dürfen.

<sup>1</sup> <https://www.vive.com/de/product/> (Aufgerufen am 13.08.2018)

<sup>2</sup> [https://dl4.htc.com/Web\\_materials/Manual/Vive/Vive\\_User\\_Guide\\_DEU.pdf](https://dl4.htc.com/Web_materials/Manual/Vive/Vive_User_Guide_DEU.pdf) (Aufgerufen am 13.08.2018)

<sup>3</sup> <https://www.vive.com/de/setup/vive/> (Aufgerufen am 13.08.2018)



Abbildung 5.1: Übersicht der HTC Vive Komponenten <sup>3</sup>

## Steuerung

Die Steuerung in der virtuellen Welt und das haptische Feedback wird über die beiliegenden *HTC Vive* Controller bewerkstelligt (Abbildung 5.2). Die Einzelheiten zur Tastenbelegung werden nachstehend aufgezeigt:

- 1. Menü Taste:** Diese Taste öffnet und schließt das entworfene, objekt-fixierte Menü. Dabei ist diese Taste nur am Controller für die nicht-dominante Hand belegt.
- 2. Trackpad:** Je nachdem, in welcher Hand der Controller gehalten wird, ermöglicht das Trackpad zum einen das Teleportieren (nicht-dominante Hand), zum anderen die Interaktion mit Benutzeroberflächen (dominante Hand).
- 3. Systemtaste:** Mit der Systemtaste ist es möglich, in das interne Menü von *SteamVR* zu gelangen. Diese hat für den Prototypen jedoch keinen Nutzen.
- 4. Statuslampe:** Diese Leuchten zeigen lediglich an, in welchem Ladezustand sich der Controller befindet.
- 5. Micro-USB-Anschluss:** Mit Mikro-USB-Kabeln ist es möglich, den Energiezustand des Controllers über diesen Anschluss aufzuladen.
- 6. Verfolgungssensoren:** Ein Controller enthält zur Erfassung der Lage und Beschleunigung einen Gyrosensor, einen Accelerometer und einen Photosensor.
- 7. Trigger:** Mit dieser Taste kann bei der Interaktion mit einer Benutzeroberfläche eine Auswahl initiiert (Selektion) oder aber ein Objekt (beispielsweise die Tür des Schaltschranks, welche sich danach öffnet) benutzt werden.
- 8. Griff Taste:** Mit dieser seitlichen Taste soll das natürliche Greifen simuliert werden. Wird die Taste gedrückt gehalten, so verbleibt ein Objekt, das in die Hand genommen wurde, in ebendieser. Wird zusätzlich der zweite Controller verwendet, so kann das Objekt an diese Hand übergeben werden. Die Manipulation eines Objektes (siehe Kapitel 4.3.2) wird dadurch ermöglicht.

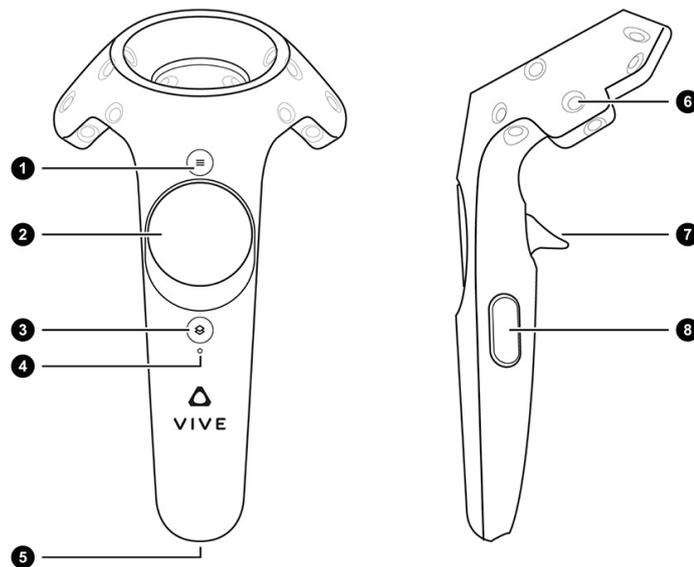


Abbildung 5.2: Übersicht der HTC Vive Controller <sup>4</sup>

### 5.1.2 TPCast Erweiterung

Mithilfe der *TPCast*-Erweiterung <sup>5</sup> (Abbildung 5.3) ist die Nutzung des HMD über Funksignale möglich, sodass das Risiko, über Kabel zu stolpern, reduziert werden kann. Weil die Sicherheit der Nutzer gewährleistet sein soll, liegt es nahe, dieses Setup zu wählen.

Die Erweiterung enthält als Komponenten unter anderem einen *PC Transmitter*, einen *Router* und einen *HMD Receiver* (Abbildung 5.3). Zusammen ersetzen diese Komponenten das „3-in-1 Kabel“ des *HTC Vive* Headsets und ermöglichen das *Tracking* über eine Funkverbindung. Dabei überträgt der *PC Transmitter* Video- und Audioinformationen an den *HMD Receiver*, welcher diese wiederum an das *HTC Vive* Headset und dessen Kopfhörer weiterleitet. Eine *Power Box* mit zugehörigem, austauschbarem Akkumulator dient an dieser Stelle als Stromversorgung und wird während der Nutzung über einen Gürtel mitgeführt. Hier erlaubt die Akkumulatorkapazität von 20100 mAh eine Laufzeit von bis zu fünf Stunden, was für den Umfang des Prototypen ausreichend ist. Allerdings stellt die benötigte Aufladezeit von neun bis zwölf Stunden einen kleinen Nachteil dar.

### 5.1.3 PC Spezifikationen

Um den Systemanforderungen der *HTC Vive* gerecht zu werden, wurde die Anwendung mit einem leistungsstarken Computer entwickelt. Dazu wurde der kompakte *MAGNUS EN1080K* <sup>7</sup> vom Hersteller *ZOTAC* verwendet. Seine Gerätespezifikationen sowie Systeminformationen sind im Folgenden aufgelistet:

<sup>4</sup> [https://dl4.htc.com/Web\\_materials/Manual/Vive/Vive\\_User\\_Guide\\_DEU.pdf](https://dl4.htc.com/Web_materials/Manual/Vive/Vive_User_Guide_DEU.pdf) (Aufgerufen am 12.08.2018)

<sup>5</sup> <https://www.tpcastvr.com/> (Aufgerufen am 13.08.2018)

<sup>6</sup> Eigene Erweiterung der Darstellung aus [https://docs.wixstatic.com/ugd/ebb63f\\_c446e6bfb73b40aeb726b72b64bc9431.pdf](https://docs.wixstatic.com/ugd/ebb63f_c446e6bfb73b40aeb726b72b64bc9431.pdf) über <https://www.tpcastvr.com/support> (Aufgerufen am 13.08.2018)

<sup>7</sup> [https://www.zotac.com/us/product/mini\\_pcs/magnus-en1080k](https://www.zotac.com/us/product/mini_pcs/magnus-en1080k) (Aufgerufen am 11.08.2018)

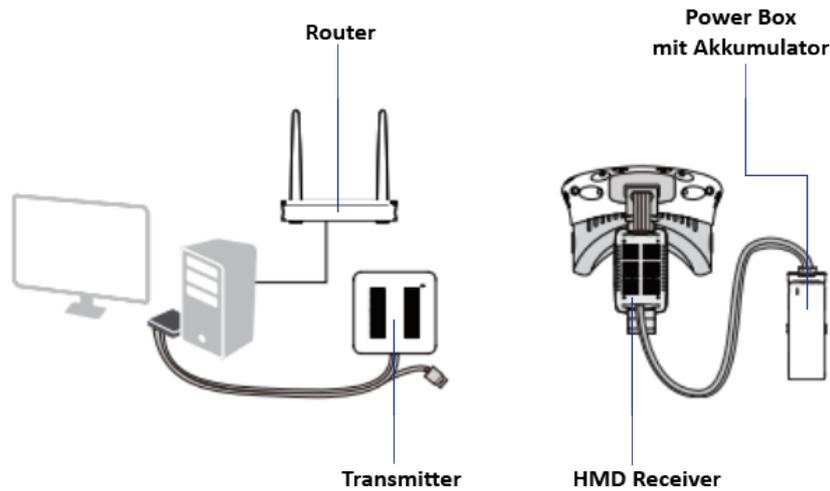


Abbildung 5.3: TPCast Hardwareerweiterung <sup>6</sup>

**Prozessor:** Intel<sup>®</sup> Core<sup>™</sup> i7-7700 @3,6 GHz  
**Grafikkarte:** NVIDIA GeForce GTX<sup>®</sup> 1080  
**Arbeitsspeicher:** 32 GB  
**Betriebssystem:** Windows 10 Enterprise  
**Systemtyp:** 64-Bit-Betriebssystem  
**DirectX-Laufzeitversion:** 12.0

## 5.2 Unity

Um die hier vorgestellte Lösung möglichst universell einsetzbar zu machen, wurde zur Entwicklung der Virtuellen Umgebung die *Unity* Spiel-Engine <sup>8</sup> des Unternehmens *Unity Technologies* verwendet, weil sie viele Vorteile vereint.

Zum einen ist die *Unity* Spiel-Engine interessant, weil sie mehr als 25 Plattformen für beispielsweise Desktop-, VR- oder Webanwendungen unterstützt <sup>9</sup>. Zum anderen bietet sie sowohl zahlreiche Anlaufstellen zur Unterstützung der Entwicklung als auch eine Palette an leicht einzubindenden Inhalten. Dazu ist eine umfangreiche Dokumentation zu einzelnen Komponenten jederzeit abrufbar und der Austausch von selbst erstellten Inhalten über den *Unity Asset Store* möglich. Sollte die Dokumentation nicht genügen, sind zusätzlich über *Unity Antworten* und einem Forum mit reger Nutzeraktivität spezifische Lösungen zu finden.

Entgegen der Bezeichnung ist *Unity* nicht auf die Entwicklung von Anwendungen zur Unterhaltung beschränkt. Sie ist die meistbenutzte Entwicklungsplattform <sup>10</sup> für Virtual Reality Lösungen und hat sich damit bewährt. Die Engine wird etwa von großen Unternehmen wie *Google* oder der *NASA* verwendet. Mittlerweile existieren zahlreiche

<sup>8</sup> <https://unity3d.com/de> (Aufgerufen am 26.03.2018)

<sup>9</sup> <https://unity3d.com/de/unity> (Aufgerufen am 26.03.2018)

<sup>10</sup> <https://unity3d.com/de/unity/features/multiplatform/vr-ar> (Aufgerufen am 26.06.2018)

Versionen der Engine <sup>11</sup>. In der Arbeit wird auf die Version 2017.4.6f1 zurückgegriffen.

## 5.2.1 Konzepte und Begriffe

Da im anschließenden Abschnitt auf einige Erweiterungen des Funktionsumfangs der *Unity* Engine eingegangen wird, müssen zunächst grundlegende Konzepte und Begriffe differenziert werden. Diese sind in der Dokumentation der Engine beispielsweise unter dem Glossar näher definiert <sup>12</sup>.

**Asset:** Alle Medien oder Daten, welche im Projekt Verwendung finden, werden als „Assets“ bezeichnet. Dabei kann ein *Asset* extern angelegt werden. Beispiele hierfür wären 3D-Modelle, an Audiodateien oder Bilder. Dagegen werden unter anderem *Szenen* intern angelegt.

**Scene:** Eine „Szene“ ist ein Container, der mit Objekten gefüllt werden kann. So kann jede *Szene* auf eine andere Art angepasst werden.

**GameObject:** Ein „Spielobjekt“ ist ein elementares Objekt in einer *Unity Szene* und kann sich zum Beispiel in Form eines Charakters, einer Requisite oder Kamera äußern. Dabei geben die *Komponenten* des Objekts seine Funktionalitäten vor.

**Component:** Ein *GameObject* kann aus einer unterschiedlichen Anzahl von „Komponenten“ bestehen, wobei jede *Komponente* einen anderen eine andere Funktionalität oder Eigenschaft einführt. Solche *Komponenten* können über *Scripts* selbst angelegt werden.

**Script:** Programmcodeteile werden „Skripte“ genannt, wenn sie Ereignisse anstoßen, weitere *Komponenten* erschaffen oder sie manipulieren können.

**Prefab:** Dieser ist ein bestimmtes *Asset*, welches als Container für andere *GameObjects* inklusive ihrer *Komponenten* und Eigenschaften dient. Anders als bei normalen *GameObjects* kann ein neues Objekt als Instanz des *Prefabs* erstellt werden.

## 5.2.2 Erweiterungen für Unity

Wie zuvor in Kapitel 5.2 genannt, ist ein großer Vorteil der *Unity* Spiel-Engine die meist problemlose Anbindung von verschiedenen Erweiterungen und Funktionalitäten aus dem *Unity Asset Store*. Nachfolgend sind die für die Arbeit relevanten Zusatzmodule (*Plugins*) aufgelistet:

---

<sup>11</sup> <https://unity3d.com/de/get-unity/download/archive> (Aufgerufen am 26.06.2018)

<sup>12</sup> <https://docs.unity3d.com/Manual/Glossary.html> (Aufgerufen am 13.08.2018)

Das **SteamVR** Plugin <sup>13</sup> bildet die Grundlage zur Entwicklung von VR Anwendungen, welche die *HTC Vive* unterstützen. Es wurde von der Firma *Valve* entwickelt und bietet zusammen mit *OpenVR* <sup>14</sup> eine Schnittstelle, die mit den gängigen VR Headsets und ihrem Zubehör kompatibel ist <sup>15</sup>. Dabei können durch *SteamVR* nicht nur allgemeine Einstellungen wie die Einrichtung des Spielbereichs vorgenommen werden, sondern es wird auch der Zugriff auf die Controller gewährt.

Das **Virtual Reality Toolkit** <sup>16</sup> <sup>17</sup> (*VRTK*) von *Sysdia Solutions LTD* liefert dabei zusätzlich eine Vielzahl von vorgefertigten Interaktionsmöglichkeiten in VR. Auf diese Art ist es möglich, eine Virtual Reality Lösung in kürzester Zeit prototypisch umzusetzen. Unter anderem stehen hier *Scripts* zur Verfügung, mit denen verschiedene Bewegungsmöglichkeiten im virtuellen Raum ermöglicht werden. Darüber hinaus sind Interaktionen wie das Berühren, Greifen und Benutzen von dort befindlichen Objekten ausführbar. Auch das Verhalten von spezifischen Gegenständen wie Türen ist unter vielen anderen Beispielen als Hilfestellung enthalten. Weiterhin ist das Verwenden von dreidimensionalen Benutzeroberflächen beispielsweise über virtuelle Zeiger im Funktionsumfang eingeschlossen.

Neben einzelnen *Scripts* verfügt das Toolkit auch über nützliche *Prefabs*. Dank des *FramesPerSecondCanvas Prefabs* ist, wie die Bezeichnung vermuten lässt, etwa die Anzahl der angezeigten Bilder pro Sekunde visuell sichtbar.

Hilfreich ist außerdem, dass das *VRTK SteamVR* unterstützt und einen integrierten Simulator enthält, mit dem auch über die klassische „Maus und Tastatur“ Eingabe interagiert werden kann. So können kleinere Funktionen getestet werden, ohne den Akkumulator des *TPCasts* zu strapazieren. Alles in allem ist das *VRTK* also eine offensichtliche Wahl.

**VR Capture** <sup>18</sup> von *RockVR* ermöglicht es, Videos aus der virtuellen Umgebung unkompliziert aufzuzeichnen. Diese Funktion ist vor allem für die Bewertungsphase der vollständigen Handlung relevant. Dort kann die Videoaufzeichnung, welche die Phasen von *Informieren* bis zum Abschluss des *Ausführens* einschließt, mit Hilfe eines in *Unity* integrierten Videoplayers betrachtet werden.

Im Gegensatz zu *SteamVR* und *VRTK* gibt es von diesem *Plugin* eine kostenpflichtige Version <sup>19</sup>, welche die Performanz stärker berücksichtigt. Mit Hilfe von *VR Capture PRO* kann die Bildqualität der Videoaufnahme erhöht werden, jedoch ist die Qualität der frei verfügbaren Version für den Prototypen ausreichend. Das bestätigt auch die Bildrate, welche während der Aufnahme zwar gelegentlich auf 45 Bildern pro Sekunde (bei Ausführung im *Unity Editor*) gefallen ist, aber keine gravierenden Probleme verursacht hat.

---

<sup>13</sup> <https://assetstore.unity.com/packages/templates/systems/steamvr-plugin-32647> (Aufgerufen am 09.08.2018)

<sup>14</sup> <https://github.com/ValveSoftware/openvr/wiki/API-Documentation> (Aufgerufen am 09.08.2018)

<sup>15</sup> [https://support.steampowered.com/kb\\_article.php?ref=1131-WSFG-3320](https://support.steampowered.com/kb_article.php?ref=1131-WSFG-3320) (Aufgerufen am 09.08.2018)

<sup>16</sup> <http://github.com/thestonefox/vrtk> (Aufgerufen am 09.08.2018)

<sup>17</sup> <https://assetstore.unity.com/packages/tools/vrtk-virtual-reality-toolkit-vr-toolkit-64131> (Aufgerufen am 09.08.2018)

<sup>18</sup> <https://assetstore.unity.com/packages/tools/video/vr-capture-75654> (Aufgerufen am 09.08.2018)

<sup>19</sup> <https://assetstore.unity.com/packages/tools/video/vr-capture-pro-96007> (Aufgerufen am 09.08.2018)

# 6 Evaluierung

Zur Evaluierung des Prototypen wurden sowohl quantitative, als auch qualitative Daten erfasst. Allerdings liegt der Fokus hierbei stärker auf den empirischen, qualitativen Erkenntnissen, was unter anderem dem Umfang des Prototypen geschuldet ist. Folglich sind die quantitativen Ergebnisse nur als Tendenzen zu betrachten und sollen unterstützend wirken. Quantitative Daten wurden aus Fragebögen gewonnen und legen das Augenmerk auf die Usability und Immersion beziehungsweise das Präsenzerleben. Qualitative Daten hingegen gehen aus Beobachtungen und Interviews hervor.

Es wurden einerseits vorzeitige Evaluationen während der Entwicklung, andererseits Tests mit realen Anwendern (Feldtest) durchgeführt.

Die nächsten Kapitel befassen sich näher mit dem Versuchsaufbau, der Durchführung und der Bewertung einzelner Ergebnisse.

## 6.1 Formative Evaluation

Eine informelle Evaluation durch Studenten machte es möglich, schon sehr früh Rückmeldungen zum Prototypen zu erhalten. So ergab sich zu Anfang in der Phase, in welcher noch grundlegende Interaktionen implementiert wurden, dass die Navigation über ein Schweben per *Trackpad* Schwindelgefühle hervorrief. So wurde diese Funktion durch das Teleportieren über eine Kurve zu einem bestimmten Zielpunkt ausgetauscht. Zusätzlich gab es merkliche Schwierigkeiten bei der Steuerung. Beispielsweise war den Probanden teilweise nicht bewusst, dass ein „Ducken“ oder „Bücken“ erforderlich ist, um etwa Gegenstände vom Boden aufzuheben. Es zeigte sich, dass schlicht eine ausgiebige Erläuterung aller Funktionen der Hardware (*HTC Vive*) vor dem Aufsetzen der Brille nötig ist. Vor allem waren hier die Positionen der einzelnen Tasten entscheidend. Problematisch waren insbesondere die Seitentasten der *HTC Vive* Controller.

Darüber hinaus bestand die Möglichkeit, eine weitere informelle Evaluation auf dem internen Trans-Work Symposium des Fraunhofer IFF Anfang Juli 2018 <sup>1</sup> durchzuführen. Dazu wurde die Anwendung unter anderem inhaltlich an das Arbeiten in einem Stahlwerk angepasst und die vorher freie Navigation dem Umfang der Demonstration entsprechend eingeschränkt. An bestimmte Orte zu gelangen, war dann nur noch über eine Karte im Menü möglich. Das Design zur Manipulation und Selektion sowie Systemkontrolle blieb unverändert. Außerdem wurden Gamification und das Modell der vollständigen Handlung nicht berücksichtigt. Ausschließlich die Usability konnte über Beobachtungen untersucht werden. Die Probanden äußerten währenddessen, dass die Bedienung „leichter als gedacht“ sei und zeigten sich deutlich beeindruckt von den räumlichen Dimensionen in der virtuellen Umgebung. Obwohl es den Anschein hatte, dass die Steuerung schon nach kurzer Zeit verinnerlicht werden kann, wurde darauf

---

<sup>1</sup> <https://www.transwork.de/index.php/event/transwork-symposium/> (Aufgerufen am 08.08.2018)

plädiert, ein „simples Tutorial zur Steuerung, bis man sie verinnerlicht hat“ bereit zu stellen.

Insgesamt war die formative Evaluation sehr aufschlussreich und trug maßgeblich zur Verbesserung des eigentlichen Prototypen bei.

## 6.2 Versuchsaufbau

Während des Tests muss der Versuchsteilnehmer die HTC Vive tragen, beide Controller in der Hand halten und darf sich in einem sichtbar markierten Feld frei in der virtuellen Umgebung bewegen und mit ihr nach Belieben interagieren. Die Anwendung selbst besteht dabei aus mehreren Phasen. Die erste Phase bildet das *Tutorial*. Hier kann der Nutzer sich mit der Steuerung vertraut machen. Die zweite Phase beinhaltet die Arbeitsaufgabe mit Fokus auf die Handlungsorientierung. Diese Arbeitsaufgabe setzt sich wiederum aus den Phasen Planung, Ausführung und Evaluation gemäß des Modells der vollständigen Handlung zusammen.

Was das den Aufbau der Evaluation betrifft, enthält der Fragebogen im Anhang A auf der ersten Seite eine Anleitung zur Erstellung eines anonymen Codes zur Zuordnung der Daten (siehe auch Kandel 1973; Kearney u. a. 1984). Die zweite Seite erfasst allgemeine Angaben zur Person. Dazu gehört zunächst die Händigkeit, welche in der Anwendung eine entscheidende Rolle spielt. Zusätzlich wurden Sehschwächen erfragt, da diese die Nutzung beeinträchtigen oder sogar unmöglich machen können. Zuletzt wird vermerkt, wie erfahren die Nutzer mit dem Thema der Anwendung und im Umgang mit ähnlichen Systemen und Geräten sind. Weil zu Zeiten der Implementierung des Prototyps bereits bekannt war, dass sich für den Feldtest nur wenige Probanden vorfinden lassen, wurden an dieser Stelle Angaben zu Merkmalen, die leicht auf eine Person in einem kleinen Kreis rückschließen lassen, aus dem Fragebogen entfernt. Schließlich ist die Anonymität zu wahren.

Darauf folgen geschlossene Fragen bezüglich der Usability und der Präsenz der Anwendung. Zur Beurteilung der Usability wird auf der dritten Seite der SUS (System Usability Scale) von Brooke u. a. (1996) erfasst, da durch ihn mit wenig Aufwand zuverlässige Ergebnisse erzielt werden können. Die beispielsweise beliebte Methode über den *AttrakDiff* Fragebogen (Hassenzahl, Burmester und Koller 2003) wurde ausgeschlossen, da sie mit 28 siebenstufigen Einträgen den Rahmen übersteigt und teilweise Fragen enthält, die nicht relevant für immersive VR sind.

Als Präsenzfragebogen, welcher auf Seite vier folgt, wurde die Methode von Schubert (2003) gewählt, da sie eine anerkannte Möglichkeit zur Erfassung ebendieser Präsenz bietet und überschaubar ist<sup>2</sup>. Der klassische Fragebogen von Witmer und Singer (1998), welcher auch in der Arbeit von Avveduto u. a. (2017) zur Anwendung kam, schien zu umfangreich und teilweise zu kompliziert für den Inhalt des Prototypen. Hier wurde unter anderem auch der Ansatz von Usoh, Catena u. a. (2000) betrachtet, da dort nur sechs Fragen benötigt werden. Er wurde jedoch schnell wieder verworfen, da die fünfte Frage zu lang war und daher nicht angemessen erschien.

Daran angeknüpft, gibt es abschließende Fragen zur allgemeinen Erfahrung und negativen Begleiterscheinungen wie Übelkeit.

Zusätzlich zum Fragebogen wurde auch auf Log-Informationen und Beobachtungen

---

<sup>2</sup> <http://www.igroup.org/pq/ipq/index.php> (Aufgerufen am 08.08.2018)

sowie Interviews zurückgegriffen. Dabei enthält das Interview offene Fragen und soll tiefere Einblicke in die Usability und in die implementierten Features ermöglichen (siehe Anhang A. Seite sechs). Zu diesem Zweck wurde als erstes in Erfahrung gebracht, welche Funktionen am meisten im Gedächtnis geblieben sind und wo es Verbesserungsmöglichkeiten gibt. Ebenso soll die Sinnhaftigkeit und Übertragbarkeit auf weitere Anwendungsbereiche ermittelt werden (Frage 17). Zur Evaluation der vollständigen Handlung wurde erfragt, wie sehr der Ablauf dem realen Arbeitsablauf nahe kommt (Frage 19). Die restlichen Fragen beziehen sich auf Elemente des Gamification Frameworks Octalysis. Abschließend wird rückblickend die Haltung zur Anwendung erfasst, um zu sehen, welchen Einfluss die Anwendung auf die Nutzer geübt hat.

## 6.3 Durchführung

Die Probandentests wurden während eines Seminars zur Schulung mit dem Thema „Wartung und Instandhaltung von gasisolierten Mittelspannungsschalteranlagen“ durchgeführt. Es hat sich über zwei Tage erstreckt und verlangte eine Gebühr von den Teilnehmern. Die Schulung besteht einerseits aus einem theoretischen, andererseits einem praktischen Teil, in dem die Teilnehmer einzelne Wartungsaufgaben an echten gasisolierten Mittelspannungsschalteranlagen zu erfüllen hatten. Um die Schulung nicht zu beeinträchtigen und die Bereitschaft, sich als Proband zur Verfügung zu stellen, zu erhöhen, wurden zu Anfang die Rahmenbedingungen klargestellt. Im Zuge dessen wurde betont, dass der Test auf freiwilliger Basis geschieht und die erhobenen Daten der Geheimhaltungspflicht unterliegen sowie anonym behandelt werden. Zu Anfang des Seminars wurde als Einführung die Demonstration bzw. die angepasste Anwendung vom Trans-Work Symposium des Fraunhofer IFF gezeigt, um die Hemmschwelle der Teilnehmer zu senken. Dies sollte ihnen die Angst nehmen, ins kalte Wasser geworfen zu werden.

Während die Teilnehmer primär im Seminar eingebunden waren, konnten sie in Pausen bereits die ersten beiden Seiten des Fragebogens (Anhang A.) ausfüllen. Der Rest folgte dann in der Praxisphase. Dadurch, dass die Praxisaufgaben in Gruppen erledigt wurden, konnten nach und nach Teilnehmer, die ihre Aufgaben bereits abgeschlossen haben oder nicht beschäftigt waren, die Testung durchführen.

Damit gewährleistet ist, dass jeder Teilnehmer denselben Bedingungen während des Experiments ausgesetzt ist, fand das Experiment stets am selben Ort, einem Konferenzraum, statt. Dieser war neben dem Seminarraum gelegen und durch eine Tür davon getrennt. Weiterhin wurden Töne im Experiment durchgehend mit der mittleren Lautstärke des Rechners abgespielt.

Bevor der Proband jedoch in die virtuelle Welt entlassen wurde, wurden ihm das Thema sowie die Funktionalität der Brille und ihrer Controller aufgezeigt. Dabei wurde aufgrund der Rückmeldungen der formativen Evaluation vor allem die Steuerung und das Aktivieren der Controllerseitentasten in den Vordergrund gestellt. Hier durften die Probanden die Controller ohne die Brille in die Hand nehmen und ein Gefühl dafür erhalten. Daran anschließend, wurden die Probanden darüber belehrt, dass das Phänomen der Cybersickness existiert und das Experiment bei Unwohlsein jederzeit abgebrochen werden kann. Die Dauer der Einweisung belief sich auf knapp fünf Minuten.

Weitere fünf Minuten wurden für das Tutorial veranschlagt. Hier durfte der Proband

sich so lange wie nötig aufhalten, um den Umgang mit der Steuerung zu verinnerlichen. Hat er dies aus seiner Sicht erreicht, so gelangt er über einen Fahrstuhl in den nächsten Raum, wo die Hauptphase beginnt. Diese startet mit der Planung des Arbeitsplans sowie dem Aussuchen von Werkzeugen. Dem Proband wurde zu dem Zeitpunkt bekannt gemacht, dass die Sortierung der Arbeitsschritte nicht zwingend erledigt werden muss, um fortfahren zu können. Bei der Ausführung angelangt, war es die Aufgabe das Ende eines eingesteckten Kabels mit dem richtigen Kontakt zu verbinden sowie den Drehgeber anzuschließen. Hat der Proband das geschafft kann er im letzten Schritt, das Ergebnis seiner Handlung einsehen. Da die Videofunktion in der Anwendung selbst nicht abrufbar war, wurde dem Probanden die Aufnahme im Nachgang auf dem Desktop gezeigt. Die Hauptaufgabe erforderte an die zehn Minuten, das Video wurde knapp zwei Minuten lang präsentiert. Der Proband musste die gesamte Zeit über stehen, da die Anwendung raumfüllend ausgelegt ist.

Anschließend wurde der Proband darum gebeten, die Seiten drei bis fünf des Fragebogens im Anhang A. auszufüllen. Bei Verständnisproblemen war es ihm freigestellt, Nachfragen zu stellen. Zum Schluss wurde der Proband zu einem lockeren Interview eingeladen, welches sich um die zehn Minuten erstreckte.

Insgesamt benötigte die Testung, je nach Aufenthalt im Tutorial, ca. 35 Minuten.

## **Zeitlicher Rahmen im Überblick**

**Einweisung:** ca. 5 Minuten

**Tutorial:** ca. 5 Minuten

**Hauptaufgabe:** ca. 10 Minuten

**Präsentation der Videoaufnahme:** ca. 2 Minuten

**Fragebogen zur Anwendung:** ca. 3 Minuten

**Interview:** ca. 10 Minuten

**Insgesamt:** ca. 35 Minuten

## **6.4 Ergebnisse**

### **6.4.1 Teilnehmerinformationen**

Insgesamt gab es sechs männliche Teilnehmer im Alter von 23 bis 53 Jahren. Insgesamt war die Erfahrung im Anwendungsbereich sehr durchwachsen. Für einige Probanden war das alles sehr neu, wogegen andere schon etwas fortgeschrittener waren. Dies lag zum Teil auch daran, dass die Schaltanlagen erst seit wenigen Jahren im Betrieb eingeführt wurden und das Messverfahren, welches geschult werden soll, speziell von einer Firma entwickelt wurde. Eine Gemeinsamkeit aller Teilnehmer war, dass sie alle einen Beruf im Bereich der elektrischen Energietechnik ausüben. Weiterhin war allen der Umgang mit Computern bekannt, wenige sind aber tatsächlich mit Virtual Reality in Berührung gekommen. Zusätzlich hatte die Hälfte der Probanden keine Erfahrung mit 3D-Eingabegeräten.

Während der Testung war bei einem Probanden schon nach kurzer Zeit im Tutorial ein Abbruch nötig. Dies kann stark mit den Faktor zusammenhängen, dass er eine sehr geringe Erfahrung mit Computern besitzt und zudem auch „nur das Nötigste“ damit

erledigt. Zusätzlich kann die Weitsichtigkeit die Wahrnehmung beeinflusst haben, weshalb alle Informationen für ihn „schlecht lesbar“ waren. Ein weiterer Grund könnte auch die Zimmertemperatur gewesen sein, die bei ungefähr 30°Celsius lag. So stellte das Set-up für ihn „im echten Arbeitsleben eher eine Belastung“ dar. Dies zeigt, dass die in der Arbeit vorgeschlagenen Lösung nicht für jede Person geeignet ist und daher nur eine zusätzliche Option zur Schulung bieten kann.

## 6.4.2 Ergebnisse zur Sicherheit

Anforderung: *Der Nutzer kann in einem sicheren Arbeitsumfeld arbeiten und muss keine negativen Konsequenzen fürchten.*

Beschrieben durch den Versuchsaufbau (siehe Kapitel 6.2) konnte der Proband in einem visuell begrenzten Bereich (von ca. 2.3 x 2.3 Metern) sicher agieren. Auf diese Weise war seine physische Sicherheit garantiert. Außerdem war zu beobachten, dass sich die Probanden tatsächlich an dem auf dem Boden eingeblendeten Bereich orientiert haben. Ein vielfach gewünschtes Szenario für diese Anwendung war zudem das „Erlangen der Schaltberechtigung“, welches mit sehr viel Unsicherheit und negativen Konsequenzen verbunden zu sein schien. Die Nutzer haben die virtuelle Umgebung teilweise auch als „sicherer“ als die reale Anwendung wahrgenommen. Zusätzlich wurde ein hoher Wert für Eintrag 7i. im Fragebogen (Anhang A.) registriert, welcher besagt, dass die Probanden sich bei der Nutzung des Systems sicher fühlten.

Insgesamt ist diese Anforderung also als erfüllt zu betrachten.

## 6.4.3 Ergebnisse zur Motivation

Anforderung: *Die Nutzer nutzen die Anwendung gerne und sehen einen Mehrwert darin.*

Zunächst ist positiv zu sehen, dass die Probanden allgemein einen hohen Grad der Freude aufweisen (Frage 11; Anhang A.). Es wurde unter anderem geäußert, dass die Anwendung „zu kurz“ war. Dies zeugte von Motivation, mit dem System weiterarbeiten zu wollen.

Nur einer von fünf Probanden hatte im Vergleich etwas weniger Freude an der Anwendung, was jedoch damit einhergehen könnte, dass ihm währenddessen „schwummerig“ wurde. Es wurde auch berichtet, dass die Umgebung „sehr hell“ ist, was seine Augen zu sehr strapaziert und dadurch Begleiterscheinungen ausgelöst haben könnte (Dörner u. a. 2014).

Die Anwendung erschien den Probanden außerdem als sinnvoll. So wurde mitunter das Potenzial der Anwendung gesehen „als Vorbereitung oder nachträgliches Training“ zu dienen oder auf „Schaltberechtigung“ übertragen werden zu können (Frage 17; Anhang A.).

Was das Octalysis Framework nach Chou (2015) betrifft, haben nur zwei von fünf Probanden die eingeführte Geschichte aktiv wahrgenommen. Diese berichteten jedoch, dass diese die Anwendung interessanter machen würden. Die Geschichte sei gut und eine solche Anwendung „sollte Spaß machen“. Dies lässt darauf schließen, dass das Element der Narrative potenziell gewünscht ist und nur Anpassungen benötigt. Da sie mit

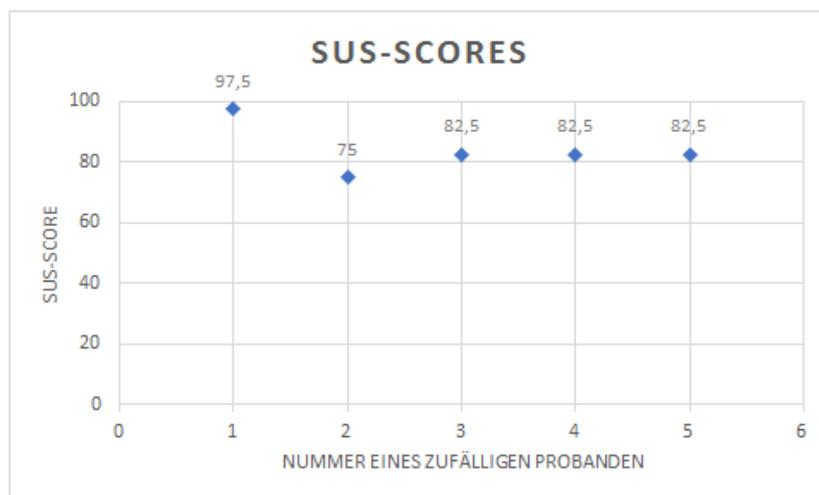
zeitlicher Begrenzung implementiert worden ist und Kameraausfälle zu ungünstigen Zeiten eintraten, muss dies erneut getestet werden.

Insgesamt sind an dieser Stelle Kleinigkeiten anzupassen und der Inhalt zu erweitern, um das Erlebnis des Nutzers noch angenehmer zu gestalten.

#### 6.4.4 Ergebnisse zur Usability

Anforderung: *Die Anwendung erzielt einen hohen Wert beim Usability Fragebogen (Brooke u. a. 1996) durch den Nutzer*

Die Abbildung 6.1 zeigt den durchschnittlichen Wert, den jeder einzelne Proband verteilt hat. Wie daraus entnehmbar ist, zeigt sich eine Tendenz zu einer hohen Usability. Dies bestätigt auch der durchschnittliche SUS-Score, welcher bei 84 liegt. Das korrespondierende Perzentil (Abbildung 6.2) liegt dabei über 80%. Dies deutet laut Brooke (2013) auf eine „gute“ bis „excellente“ Usability hin. Obwohl dieses Ergebnis nur als Tendenz zu betrachten ist, muss betont werden, dass Antworten aus dem Interview den Eindruck bekräftigt. So wurden die Bedienung und Handhabung sehr häufig als Antwort auf die Frage genannt, was den Probanden insgesamt am meisten gefallen hat (Frage 13; Anhang A.). Tendenziell wurde diese Anforderung also erfüllt.



**Abbildung 6.1:** System Usability Skala. Werte wurden mit dem Faktor 2.5 multipliziert, um eine Abstufung von 0 bis 100 zu erhalten. Der maximale Rohwert liegt nur bei 40, der minimale bei 0.

#### 6.4.5 Ergebnisse zur Echtzeit

Anforderung: *Die Anwendung läuft stabil über 50 Frames pro Sekunde (FPS)*

Um die Stabilität zu prüfen, wurden Logdateien während der Anwendung aufgezeichnet, welche sich im *Profiler*<sup>3</sup>, dem Unity internen Optimierungswerkzeug, analysieren lassen. Diese Logdateien wurden bei der Testung fehlerhaft ausgegeben, sodass sie nicht

<sup>3</sup><https://docs.unity3d.com/Manual/ProfilerWindow.html> (Aufgerufen am 13.08.2018)

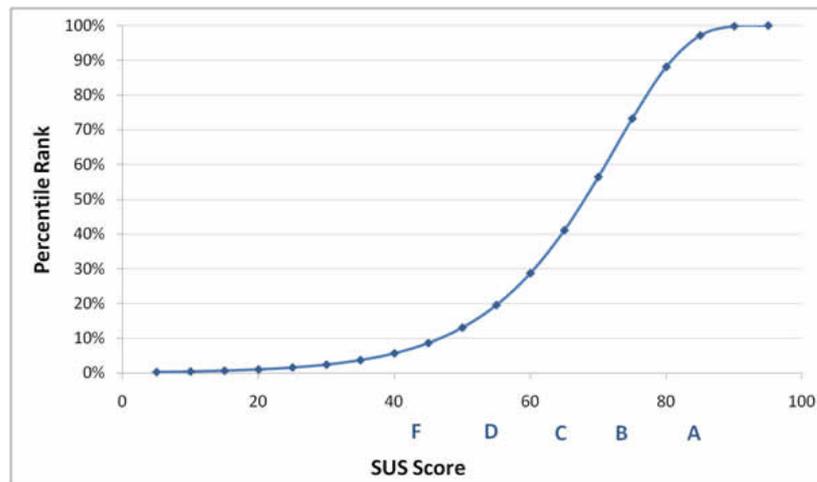


Abbildung 6.2: SUS-Score und Perzentile (Quelle: Brooke 2013)

einlesbar und analysierbar sind.

Einen Blick in die Videoaufnahmen lässt jedoch darauf schließen, dass die Anwendung abgesehen von den Zeitpunkten, in denen eine der beiden Kameras ausgefallen sind, flüssig zu laufen schien. Auch lief die Anwendung bei Tests im Unity Editor stets über 45 FPS. Bei einer exportierten Anwendung erhöht sich diese Zahl meist über 60 FPS, sodass diese Anforderung dennoch als erfüllt anzusehen ist.

Ob die Ausfälle der Hitze, die dort herrschte, geschuldet waren, ist bislang unklar. Hier bedarf es einer erneuten Evaluation und Weiterentwicklung der Hardware.

## 6.4.6 Ergebnisse zur Immersion

Anforderung: *Die Nutzer besitzen ein starkes Empfinden von Präsenz in der virtuellen Welt nach Schubert (2003).*

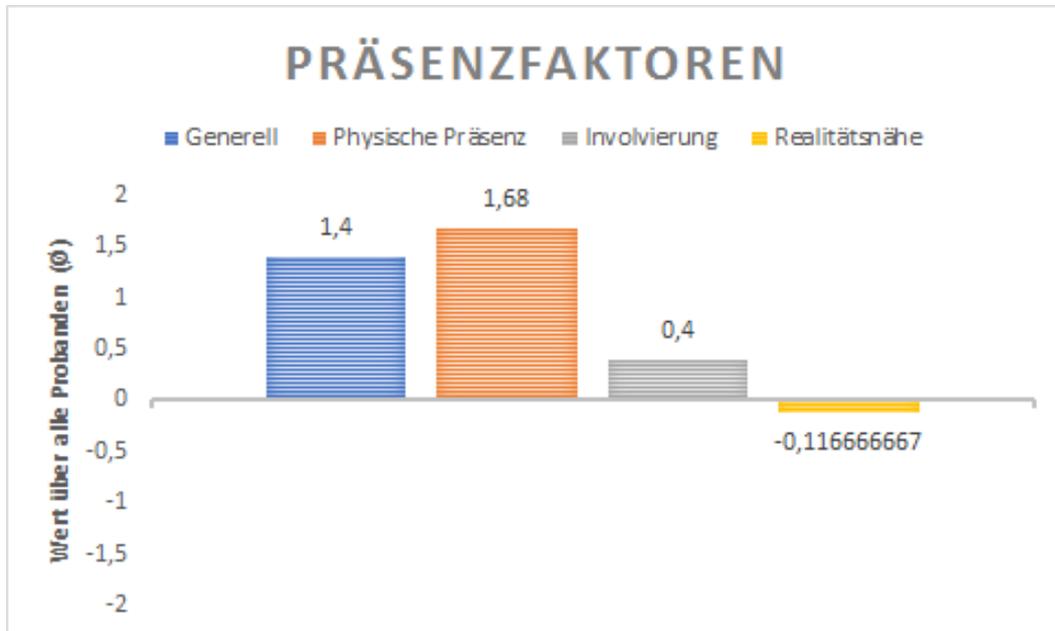
Der blaue Balken in der Abbildung 6.3 zeigt, dass sich insgesamt ein starkes Gefühl von allgemeiner sowie von physischer Präsenz in den Teilnehmern abgezeichnet hat. Letzteres liegt wahrscheinlich wieder an der positiv aufgenommenen Steuerung. Die Ergebnisse der einzelnen Präsenzfaktoren nach der *igroup*<sup>4</sup> sind je Proband sehr durchwachsen. Dass Proband Nummer eins die virtuelle Umgebung als eher unrealistisch wahrgenommen hat, kann daraus folgen, dass der Proband diese zu sehr als „Spiel“ und damit als etwas Nicht-reales betrachtet hat. So hat sich in seinem Verhalten gezeigt, dass die Anwendung allgemein eher als „Spaßfaktor“ angesehen hat. Eine weitere Ursache könnte die Auflösung von Texturen oder die eher kahle Umgebung sein.

Die Aufmerksamkeit, welche der Umgebung geschenkt wurde (Involvierung), zu erwähnen ist an dieser Stelle, dass bei der Evaluierung zwei Fehler vorhanden sind. Zum einen wurde eine Antwortmöglichkeit im Fragebogen falsch übernommen. So wurde aus den Antworten „hatte nicht das Gefühl - - hatte das Gefühl“ „trifft gar nicht zu - - trifft völlig zu“ (Frage 8d.; Anhang A.). Dies wurde bei der Auswertung jedoch berücksichtigt und stellt kein weiteres Problem dar. Zum anderen wurde statt der 7-Likert Skala des Fragebogens eine 5-Likert-Skala verwendet. Dies führt dazu, dass es weniger feine Abgrenzungen zwischen den Antworten gibt. Weil diese Studie jedoch

<sup>4</sup> <http://www.igroup.org/pq/ipq/index.php> (Aufgerufen am 13.08.2018)

nur als Vorab Eindruck dient, ist der Fehler zu verschmerzen.

Es kann dennoch gesagt werden, dass die Probanden zu einem hohen Grad an Präsenzepfinden tendieren, wenn ihnen kein Gefühl von Übelkeit aufkam (siehe Abbildung 6.4; Teilnehmer Nummer zwei). Ein Erfahrungstransfer wird an dieser Stelle also begünstigt.



**Abbildung 6.3:** Präsenzfaktoren im Durchschnitt. Ein Wert von -2 bedeutet, dass ein Faktor gar nicht wahrgenommen wurde, während ein Wert von +2 suggeriert, dass ein Faktor sehr stark wahrgenommen wurde.

## 6.5 Zusammenfassung der Ergebnisse

Dieser Abschnitt gibt einen kurzen Überblick darüber, welche eingangs in Kapitel 4.2 formulierten Anforderungen erfüllt sind.

**Sicherheit:** Diese Anforderung ist erfüllt.

**Motivation:** Diese Anforderung ist teilweise erfüllt.

**Usability:** Diese Anforderung ist tendenziell erfüllt.

**Echtzeit:** Diese Anforderung ist erfüllt.

**Immersion:** Diese Anforderung ist tendenziell erfüllt.

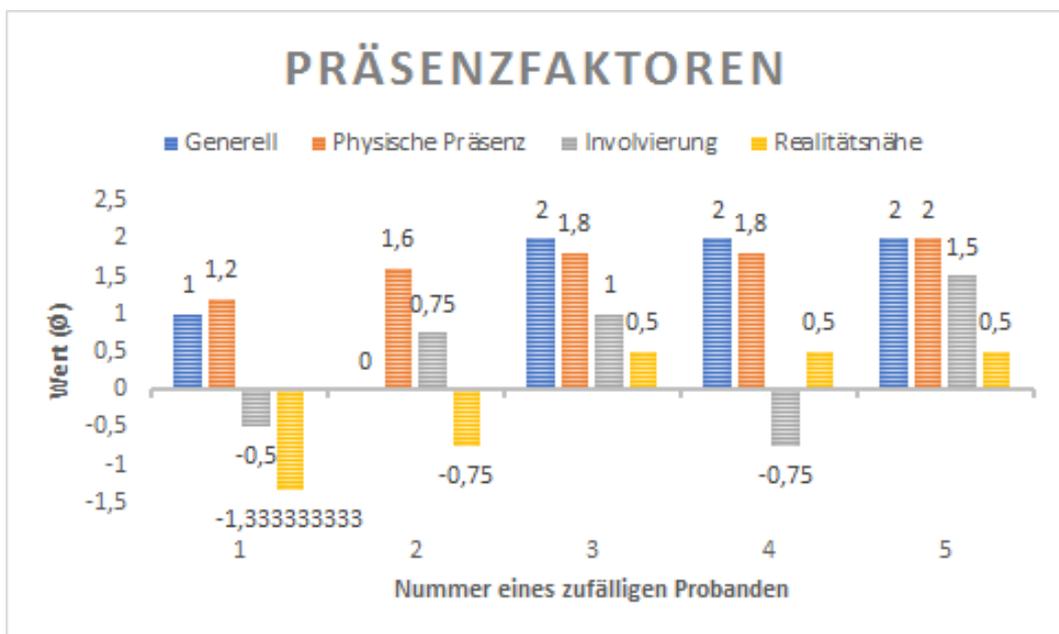


Abbildung 6.4: Präsenzfaktoren pro Proband



# 7 Zusammenfassung und Ausblick

## 7.1 Zusammenfassung

Die Arbeit hat einen Lösungsansatz vorgeschlagen, um Sicherheitsunterweisungen in der Industrie attraktiver zu gestalten. Die Vision war es nicht nur, dadurch Risiken bei der tatsächlichen Arbeit signifikant zu verringern, sondern auch eine klare, auf mehrere Anwendungsfelder der Industrie übertragbare Anleitung zu bieten.

Dazu wurde zu Anfang die Relevanz von handlungsorientiertem Lernen im Beruf aufgezeigt und der Fokus auf das *Modell der vollständigen Handlung* gelegt. Ferner wurde das *Gamification Framework Octalysis* vorgestellt und mit Grundlagen aus der Motivationspsychologie untermauert. Darauffolgend wurden Komponenten und Potenziale von *Virtual Reality* präsentiert.

Auf Basis dieser drei Konzepte wurde ein prototypisches Lernszenario in der elektrischen Energietechnik entworfen, welches mit der *Unity3D* Engine und der *HTC Vive* praktisch umgesetzt wurde. Anschließend wurde der Prototyp mit Hilfe von Feldtests evaluiert.

## 7.2 Diskussion

Die Studie hat ergeben, dass die Nutzer insbesondere eine hohe Usability und Sinnhaftigkeit im Ablauf wahrgenommen haben. Durch den Test mit realen Anwendern hat sie außerdem vor allem die Anwendbarkeit der hier vorgestellten Lösung gezeigt.

Nichtsdestotrotz besteht hier viel Spielraum für Verbesserungsmöglichkeiten. So kann etwa der Umfang der Inhalte erweitert werden, wobei allgemein mehr Elemente vom Gamification Framework Octalysis in geeigneter Weise mit einbezogen werden. Zusätzlich können grafische Anpassungen vorgenommen werden, um den Nutzer nicht durch zu helle Räume oder schlecht lesbare Texte zu beeinträchtigen. Ferner könnten Hardwareprobleme wie Kameraausfälle studiert und in Zukunft vermieden werden.

Eine wertvolle Erkenntnis dieser Arbeit stellt auch die Tatsache dar, dass dieser Ansatz nicht für jede Person gleichermaßen geeignet ist. Es sollte davon ausgegangen werden, dass sie lediglich eine Option bietet, die nicht jedem aufgezwungen werden soll.

Wie jedoch die Studie und erfüllten Anforderungen beweist, hat der Ansatz durchaus Potenzial als übertragbare Anleitung zu fungieren und so durch attraktivere Unterweisungen Risiken von Arbeitsunfällen zu reduzieren.

## 7.3 Ausblick

Unter der Annahme, dass Prototyp durch Verbesserungsvorschläge angepasst und erweitert wird, könnte, im Hinblick auf die geringe Stichprobe, eine erneute Evaluation durchgeführt werden, welche auch den Langzeitnutzen und dem damit verbundenen Ermüdungsgrad erfasst. Desweiteren könnten die Lernförderlichkeit und Gamification stärker in den Fokus gerückt werden. Bisher wird der Erfahrungstransfer nur begünstigt. Ob tatsächlich höhere Lernergebnisse erzielt werden, hat diese Arbeit nicht behandelt.

Vorstellbar ist auch eine Übertragung auf Unterweisungen in anderen Bereichen der Industrie, die dem Nutzer sinnvoller erscheinen. So könnten Inhalte dabei stärker mit Nutzern diskutiert und entwickelt werden, um die Anwendbarkeit zu erweitern. Zusätzlich könnten die Ergebnisse zur Realitätsnähe detaillierter betrachtet und daraus Schlussfolgerungen gezogen werden, wie viel für den Zweck tatsächlich notwendig ist. Schließlich besteht hier stets ein Trade-Off mit der Performanz, welche insbesondere in immersiven virtuellen Umgebungen nicht vernachlässigt werden darf.

# Anhang

## A. Material zur Nutzerstudie

Dieser Anhang beinhaltet folgende Dokumente:

- Evaluationsbogen zur Nutzerstudie

# Evaluationsbogen

## *Sicherheitsunterweisung in der virtuellen Realität*

Diese Studie wird im Rahmen des Forschungs- und Entwicklungsprojektes *StahlAssist*, welches vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert wird, durchgeführt. Das Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF ist dabei ein geförderter Partner. Weitere Informationen erhalten Sie über die Webseite: <https://stahlassist.de/>

*Anmerkung: Die erhobenen Daten dienen lediglich wissenschaftlichen Zwecken und werden vollkommen anonym behandelt sowie ausschließlich dem Fraunhofer IFF zugänglich gemacht.*

### Erstellung des anonymen Codes (Teilnehmer ID)

Sehr geehrter Teilnehmer/sehr geehrte Teilnehmerin,

unten sehen Sie fünf leere, nummerierte Felder für Ihren Zuordnungscode. Er wird benötigt, um Ihre Anonymität zu gewährleisten. Da er aus persönlichen Informationen generiert wird, die nur Ihnen bekannt sind, kann er von uns nicht nachvollzogen und zurückverfolgt werden. Der Code erlaubt uns lediglich eine korrekte Zuordnung der Antworten aus diesem Fragebogen zu denen aus dem Interview.

Wir bitten Sie an dieser Stelle Ihren eigenen fünfstelligen Zuordnungscode nach dem folgenden Schema zu erstellen und in die Felder einzutragen:

- Feld Nr.1: Der 3. Buchstabe Ihres Geburtsortes (z.B. Magdeburg)
- Feld Nr.2: Der 5. Buchstabe Ihrer Straße Ihres Aktuellen Wohnortes (z.B. Hafenstraße)
- Feld Nr.3: Der 2. Buchstabe vom Vornamen der Mutter (z.B. Alinde)
- Feld Nr.4: Der 3. Buchstabe vom Vornamen des Vaters (z.B. Rüdiger)
- Feld Nr.5: Die letzte Ziffer des Geburtsjahres der Mutter (z.B. 1951)

Der generierte Code aus dem Beispiel lautet: **GNLD1**

<input type="text"/>				
1	2	3	4	5

---

## Allgemeine Angaben

1. Ihre Händigkeit:     Linkshänder     Rechtshänder
  
2. Welche Sehschwächen haben Sie und wie stark sind diese ausgeprägt?  
 \_\_\_\_\_  
 Keine
  
3. Schätzen Sie Ihre Erfahrung im Umgang mit Computern ein.  
keine ———— sehr fortgeschritten
  
4. Schätzen Sie Ihre Erfahrung im Umgang mit Virtual Reality Anwendungen ein.  
keine ———— sehr fortgeschritten
  
5. Schätzen Sie Ihre Erfahrung im Umgang mit 3D-Eingabegeräten ein.  
keine ———— sehr fortgeschritten
  
6. Schätzen Sie Ihre Erfahrung im Umgang mit Zustandsermittlungen und Wartung von gasisolierten Mittelspannungs-Leistungsschalteranlagen ein.  
keine ———— sehr fortgeschritten

## Anwendungsspezifisches

Bewerten Sie folgende Aspekte der Anwendung.

7a. Ich kann mir sehr gut vorstellen, das System regelmäßig zu nutzen.

stimme gar nicht zu ———— stimme voll zu

7b. Ich empfinde das System als unnötig komplex.

stimme gar nicht zu ———— stimme voll zu

7c. Ich empfinde das System als einfach zu nutzen.

stimme gar nicht zu ———— stimme voll zu

7d. Ich denke, dass ich technischen Support brauchen würde, um das System zu nutzen.

stimme gar nicht zu ———— stimme voll zu

7e. Ich finde, dass die verschiedenen Funktionen des Systems gut integriert sind.

stimme gar nicht zu ———— stimme voll zu

7f. Ich finde, dass es im System zu viele Inkonsistenzen gibt.

stimme gar nicht zu ———— stimme voll zu

7g. Ich kann mir vorstellen, dass die meisten Leute das System schnell zu beherrschen lernen.

stimme gar nicht zu ———— stimme voll zu

7h. Ich empfinde die Bedienung als sehr umständlich.

stimme gar nicht zu ———— stimme voll zu

7i. Ich habe mich bei der Nutzung des Systems sehr sicher gefühlt.

stimme gar nicht zu ———— stimme voll zu

7j. Ich musste eine Menge Dinge lernen, bevor ich mit dem System arbeiten konnte.

stimme gar nicht zu ———— stimme voll zu

**8a. In der computererzeugten Welt hatte ich den Eindruck, dort gewesen zu sein.**

überhaupt nicht  sehr stark

**8b. Ich hatte das Gefühl, daß die virtuelle Umgebung hinter mir weitergeht.**

trifft gar nicht zu  trifft völlig zu

**8c. Ich hatte das Gefühl, nur Bilder zu sehen.**

trifft gar nicht zu  trifft völlig zu

**8d. Ich hatte nicht das Gefühl, in dem virtuellen Raum zu sein.**

trifft gar nicht zu  trifft völlig zu

**8e. Ich hatte das Gefühl, in dem virtuellen Raum zu handeln statt etwas von außen zu bedienen.**

trifft gar nicht zu  trifft völlig zu

**8f. Ich fühlte mich im virtuellen Raum anwesend.**

trifft gar nicht zu  trifft völlig zu

**8g. Wie bewußt war Ihnen die reale Welt, während Sie sich durch die virtuelle Welt bewegten (z.B. Geräusche, Raumtemperatur, andere Personen etc.)?**

extrem bewusst  unbewusst

**8h. Meine reale Umgebung war mir nicht mehr bewusst.**

trifft gar nicht zu  trifft völlig zu

**8i. Ich achtete noch auf die reale Umgebung.**

trifft gar nicht zu  trifft völlig zu

**8j. Meine Aufmerksamkeit war von der virtuellen Welt völlig in Bann gezogen.**

trifft gar nicht zu  trifft völlig zu

**8k. Wie real erschien Ihnen die virtuelle Umgebung?**

vollkommen real  gar nicht real

**8l. Wie sehr glich Ihr Erleben der virtuellen Umgebung dem Erleben einer realen Umgebung?**

überhaupt nicht  vollständig

**8m. Wie real erschien Ihnen die virtuelle Welt?**

wie eine vorgestellte Welt  nicht zu unterscheiden von der realen Welt

**8n. Die virtuelle Welt erschien mir wirklicher als die reale Welt.**

trifft gar nicht zu  trifft völlig zu

---

## Sonstiges

9. Schätzen Sie den Grad der Übelkeit ein, den Sie beim Nutzen der Applikation erlebten.

keine ○—○—○—○—○ unerträgliche Übelkeit

10. Schätzen Sie den Grad der Ermüdung ein, den Sie beim Nutzen der Applikation erlebten.

keine ○—○—○—○—○ vollkommene Erschöpfung

11. Schätzen Sie Grad der Freude ein, den Sie bei der Nutzung der Applikation hatten.

keine ○—○—○—○—○ große Freude

12. Weitere Bemerkungen:

---

---

---

---

---

Vielen Dank für Ihre Teilnahme an der Studie!



---

**Vollständige Handlung und Gamification**

18. Wie beurteilen Sie das Tutorial? War es unnötig oder eher hilfreich?

19. Wie beurteilen sie die einzelnen Phasen der Anwendung nach dem Tutorial?  
Sehen Sie einen Mehrwert darin? Würden Sie es anders strukturieren?

20. Beurteilen Sie die eingeführte Geschichte.

21. Hatten Sie das Gefühl, sinnvolle Entscheidungen treffen zu müssen?

22. Hatten Sie das Gefühl, viele Entscheidungsmöglichkeiten zu haben?

**Sonstiges - Weitere Kritik, Anregungen und Ideen?**

23. Wie war Ihre Einstellung zur Anwendung bevor Sie diese ausprobiert haben?

## B. Inhalt der DVD

### Stammverzeichnis

- LaTeX (*Masterarbeit im LaTeX-Format*)
- Nutzerstudie (*Alle relevanten Dokumente für die Nutzerstudie*)
- Unity (*Projektdateien des Unity-Prototypen*)
- 📄 Masterarbeit\_Vuong\_200808\_digital.pdf



# Literatur

- Anderson, John Robert (2000). *Learning and memory: An integrated approach*. John Wiley & Sons Inc.
- Antonietti, Alessandro und Manuela Cantoia (2000). „To see a painting versus to walk in a painting: an experiment on sense-making through virtual reality“. In: *Computers & Education* 34.3-4, S. 213–223.
- Avveduto, Giovanni u. a. (2017). „Safety Training Using Virtual Reality: A Comparative Approach“. In: *International Conference on Augmented Reality, Virtual Reality and Computer Graphics*. Springer, S. 148–163.
- Bauer, Frank u. a. (2009). „Gamma flicker triggers attentional selection without awareness“. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106.5, S. 1666–1671.
- Bonde, Mads T u. a. (2014). „Improving biotech education through gamified laboratory simulations“. In: *Nature biotechnology* 32.7, S. 694.
- Bowman, Doug A (2002). „Principles for the design of performance-oriented interaction techniques“. In: *Handbook of Virtual Environments*, S. 277.
- Bowman, Doug A, Bernd Frohlich u. a. (2005). „New Directions in 3D User Interfaces“. In: *New Directions in 3D User Interfaces*. IEEE.
- Bowman, Doug A, Ernst Kruijff u. a. (2001). „An introduction to 3-D user interface design“. In: *Presence: Teleoperators & Virtual Environments* 10.1, S. 96–108.
- Bowman, Doug u. a. (2004). *3D User interfaces: theory and practice*. Addison-Wesley.
- Bozgeyikli, Evren u. a. (2016). „Point & teleport locomotion technique for virtual reality“. In: *Proceedings of the 2016 Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play*. ACM, S. 205–216.
- Brooke, John (2013). „SUS: a retrospective“. In: *Journal of usability studies* 8.2, S. 29–40.
- Brooke, John u. a. (1996). „SUS-A quick and dirty usability scale“. In: *Usability evaluation in industry* 189.194, S. 4–7.
- Brooks, Frederick P (1999). „What’s real about virtual reality?“. In: *IEEE Computer graphics and applications* 19.6, S. 16–27.
- Burdea, Grigore C und Philippe Coiffet (2003). *Virtual reality technology*. John Wiley & Sons.
- Cardoso, Alexandre u. a. (2017). „A virtual reality based approach to improve human performance and to minimize safety risks when operating power electric systems“. In: *Advances in Human Factors in Energy: Oil, Gas, Nuclear and Electric Power Industries*. Springer, S. 171–182.
- Chittaro, Luca und Fabio Buttussi (2015). „Assessing Knowledge Retention of an Immersive Serious Game vs. a Traditional Education Method in Aviation Safety.“ In: *IEEE Trans. Vis. Comput. Graph.* 21.4, S. 529–538.
- Chittaro, Luca und Roberto Ranon (2007). „Web3D technologies in learning, education and training: Motivations, issues, opportunities“. In: *Computers & Education* 49.1, S. 3–18.

- Chou, Yu-Kai (2015). „Actionable gamification: Beyond points“. In: *Badges, and Leaderboards, Kindle Edition, Octalysis Media (Eds.)*
- Cognition und Technology Group at Vanderbilt (1990). „Anchored instruction and its relationship to situated cognition“. In: *Educational Researcher* 19.6, S. 2–10.
- Conner, Brookshire D u. a. (1992). „Three-dimensional widgets“. In: *Proceedings of the 1992 symposium on Interactive 3D graphics*. ACM, S. 183–188.
- Cordova, Diana I und Mark R Lepper (1996). „Intrinsic motivation and the process of learning: Beneficial effects of contextualization, personalization, and choice.“ In: *Journal of educational psychology* 88.4, S. 715.
- Cruz-Neira, Carolina, Daniel J Sandin und Thomas A DeFanti (1993). „Surround-screen projection-based virtual reality: the design and implementation of the CAVE“. In: *Proceedings of the 20th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*. ACM, S. 135–142.
- Deterding, Sebastian u. a. (2011). „From game design elements to gamefulness: defining gamification“. In: *Proceedings of the 15th international academic MindTrek conference: Envisioning future media environments*. ACM, S. 9–15.
- Dewey, J. (1916). *Democracy and Education: An Introduction to the Philosophy of Education*. Text-book series in education. Macmillan. URL: <https://books.google.de/books?id=8P0AAAAAYAAJ>.
- Dichev, Christo und Darina Dicheva (2017). „Gamifying education: what is known, what is believed and what remains uncertain: a critical review“. In: *International journal of educational technology in higher education* 14.1, S. 9.
- Dörner, Ralf u. a. (2014). *Virtual und augmented reality (VR/AR): Grundlagen und Methoden der Virtuellen und Augmentierten Realität*. Springer-Verlag.
- Ermi, Laura und Frans Mäyrä (2005). „Fundamental components of the gameplay experience: Analysing immersion“. In: *Worlds in play: International perspectives on digital games research* 37.2, S. 37–53.
- Foley, James D u. a. (2014). *Computer graphics: principles and practice*. Pearson Education.
- Fribourg, Rebecca u. a. (2018). „Studying the Sense of Embodiment in VR Shared Experiences“. In: *IEEE Virtual Reality and 3D User Interfaces*, S. 1–8.
- Guiard, Yves (1987). „Asymmetric division of labor in human skilled bimanual action: The kinematic chain as a model“. In: *Journal of motor behavior* 19.4, S. 486–517.
- Haase, Tina (Dez. 2011). „Arbeiten unter Hochspannung“. In: *IFFFOCUS* 2, S. 32–35. ISSN: 1862-5320.
- Haase, Tina und Wilhelm Termath (2015). „A Virtual Interactive Training Application for Supporting Service Technicians in the Field of High Voltage Equipment“. In: *Procedia Computer Science* 77. ICTE in regional Development 2015 Valmiera, Latvia, S. 207–214. ISSN: 1877-0509. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.12.372>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187705091503882X>.
- Hacker, Winfried (2005). „Allgemeine Arbeitspsychologie, 2“. In: *Auflage. Bern ua: Huber*, S. 251–258.
- Hand, Chris (1997). „A survey of 3D interaction techniques“. In: *Computer graphics forum*. Bd. 16. 5. Wiley Online Library, S. 269–281.
- Hassenzahl, Marc, Michael Burmester und Franz Koller (2003). „AttrakDiff: Ein Fragebogen zur Messung wahrgenommener hedonischer und pragmatischer Qualität“. In: *Mensch & Computer 2003*. Springer, S. 187–196.

- Heckhausen, Jutta und Heinz Heckhausen (2010). *Motivation und Handeln*. Bd. 4, S. 550. ISBN: 3540254617. DOI: [10.1017 / CBO9781107415324.004](https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004). eprint: [arXiv: 1011.1669v3](https://arxiv.org/abs/1011.1669v3). URL: <http://www.springer.com/de/book/9783642126925>.
- Henriksen, Knud, Jon Sporring und Kasper Hornbæk (2004). „Virtual trackballs revisited“. In: *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 10.2, S. 206–216.
- Hoffman, Helene und Dzung Vu (1997). „Virtual reality: teaching tool of the twenty-first century?“ In: *Academic medicine: journal of the Association of American Medical Colleges* 72.12, S. 1076–1081.
- Hohne, Karl-Heinz u. a. (1996). „A virtual body model for surgical education and rehearsal“. In: *Computer* 29.1, S. 25–31.
- Huang, Hsiu-Mei, Ulrich Rauch und Shu-Sheng Liaw (2010). „Investigating learners’ attitudes toward virtual reality learning environments: Based on a constructivist approach“. In: *Computers & Education* 55.3, S. 1171–1182.
- Ingram, Rob und Steve Benford (1995). „Legibility enhancement for information visualisation“. In: *Proceedings of the 6th conference on Visualization’95*. IEEE Computer Society, S. 209.
- Kandel, Denise (1973). „Adolescent marijuana use: Role of parents and peers“. In: *Science* 181.4104, S. 1067–1070.
- Kapp, Karl M (2012). *The gamification of learning and instruction: game-based methods and strategies for training and education*. John Wiley & Sons.
- Kearney, Kathleen A u. a. (1984). „Self-generated identification codes for anonymous collection of longitudinal questionnaire data“. In: *Public Opinion Quarterly* 48.1B, S. 370–378.
- Kennedy, Robert S u. a. (1992). „Profile analysis of simulator sickness symptoms: Application to virtual environment systems“. In: *Presence: Teleoperators & Virtual Environments* 1.3, S. 295–301.
- Khatib, Firas u. a. (2011). „Crystal structure of a monomeric retroviral protease solved by protein folding game players“. In: *Nature structural & molecular biology* 18.10, S. 1175.
- Kim, Namgyu u. a. (2000). „Multimodal Menu Presentation and Selection in Immersive Virtual Environments.“ In: *vr*, S. 281.
- Kleinginna, Paul R und Anne M Kleinginna (1981). „A categorized list of motivation definitions, with a suggestion for a consensual definition“. In: *Motivation and emotion* 5.3, S. 263–291.
- Krueger, Myron William (1983). *Artificial reality*. Bd. 126. Addison-Wesley Reading, MA.
- Krueger, Wolfgang und Bernd Froehlich (1994). „Responsive Workbench“. In: *Virtual Reality’94*. Springer, S. 73–80.
- Li, Hairong, Terry Daugherty und Frank Biocca (2002). „Impact of 3-D advertising on product knowledge, brand attitude, and purchase intention: The mediating role of presence“. In: *Journal of advertising* 31.3, S. 43–57.
- Mandl, Heinz, Hans Gruber und Alexander Renkl (1995). „Situierendes Lernen in multi-medialen Lernumgebungen“. In:
- Marenbach, Richard, Dieter Nelles und Christian Tuttas (2013). „Elektrische Energietechnik“. In: *Teubner, Stuttgart*.
- Marks, Stefan, Javier E Estevez und Andy M Connor (2014). „Towards the Holodeck: fully immersive virtual reality visualisation of scientific and engineering data“. In:

- Proceedings of the 29th International Conference on Image and Vision Computing New Zealand*. ACM, S. 42–47.
- Maslow, Abraham H (1943). „A theory of human motivation.“ In: *Psychological review* 50.4, S. 370.
- McCauley, Michael E und Thomas J Sharkey (1992). „Cybersickness: Perception of self-motion in virtual environments“. In: *Presence: Teleoperators & Virtual Environments* 1.3, S. 311–318.
- McClelland, David C, Richard Koestner und Joel Weinberger (1989). „How do self-attributed and implicit motives differ?“ In: *Psychological review* 96.4, S. 690.
- McMahan, Alison (2003). „Immersion, engagement and presence“. In: *The video game theory reader* 67, S. 86.
- Mine, Mark R (1995). „Virtual environment interaction techniques“. In: *UNC Chapel Hill CS Dept.*
- Molich, Rolf und Jakob Nielsen (1990). „Improving a human-computer dialogue“. In: *Communications of the ACM* 33.3, S. 338–348.
- Mora, Alberto u. a. (2015). „A literature review of gamification design frameworks“. In: *2015 7th International Conference on Games and Virtual Worlds for Serious Applications (VS-Games)*. IEEE, S. 1–8.
- Nacke, Lennart E und Christoph Sebastian Deterding (2017). „The maturing of gamification research“. In: *Computers in Human Behaviour*, S. 450–454.
- Nielsen, Jakob (1995). „10 usability heuristics for user interface design“. In: *Nielsen Norman Group* 1.1.
- Nielson, Gregory M und Dan R Olsen Jr (1987). „Direct manipulation techniques for 3D objects using 2D locator devices“. In: *Proceedings of the 1986 workshop on Interactive 3D graphics*. ACM, S. 175–182.
- Nilsson, Niels Christian, Rolf Nordahl und Stefania Serafin (2016). „Immersion revisited: A review of existing definitions of immersion and their relation to different theories of presence“. In: *Human Technology* 12.
- O’keefe, John und Lynn Nadel (1978). *The hippocampus as a cognitive map*. Bd. 3. Oxford University Press.
- Pausch, Randy, M Anne Shackelford und Dennis Proffitt (1993). „A user study comparing head-mounted and stationary displays“. In: *Virtual Reality, 1993. Proceedings., IEEE 1993 Symposium on Research Frontiers in*. IEEE, S. 41–45.
- Pick, Sebastian u. a. (2010). „Automated positioning of annotations in immersive virtual environments“. In: *Proceedings of the 16th Eurographics conference on Virtual Environments & Second Joint Virtual Reality*. Eurographics Association, S. 1–8.
- Poupyrev, Ivan, Mark Billinghurst u. a. (1996). „The go-go interaction technique: non-linear mapping for direct manipulation in VR“. In: *Proceedings of the 9th annual ACM symposium on User interface software and technology*. ACM, S. 79–80.
- Poupyrev, Ivan, Tadao Ichikawa u. a. (1998). „Egocentric object manipulation in virtual environments: empirical evaluation of interaction techniques“. In: *Computer graphics forum*. Bd. 17. 3. Wiley Online Library, S. 41–52.
- Preim, Bernhard (1999). „Interaktionsaufgaben, -techniken und -stile“. In: *Entwicklung interaktiver Systeme: Grundlagen, Fallbeispiele und innovative Anwendungsfelder*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 117–138. ISBN: 978-3-662-07054-3. DOI: [10.1007/978-3-662-07054-3\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-662-07054-3_6). URL: [https://doi.org/10.1007/978-3-662-07054-3\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-662-07054-3_6).

- Preim, Bernhard und Raimund Dachsel (2010). *Interaktive Systeme: Band 1: Grundlagen, Graphical User Interfaces, Informationsvisualisierung*. Springer-Verlag.
- (2015). *Interaktive Systeme: Band 2: User Interface Engineering, 3D-Interaktion, Natural User Interfaces*. Springer-Verlag.
- Razzaque, Sharif, Zachariah Kohn und Mary C Whitton (2001). „Redirected walking“. In: *Proceedings of EUROGRAPHICS*. Bd. 9. Citeseer, S. 105–106.
- Reason, James T und Joseph John Brand (1975). *Motion sickness*. Academic press.
- Regian Jr, JW, Wayne L Shebilske und John M Monk (1993). *A preliminary empirical evaluation of virtual reality as a training tool for visual-spatial tasks*. Techn. Ber. ARMSTRONG LAB BROOKS AFB TX TECHNICAL TRAINING RESEARCH DIV.
- Ritter, Felix u. a. (2001). „Virtual 3d puzzles: A new method for exploring geometric models in vr“. In: *IEEE Computer Graphics and Applications* 21.5, S. 11–13.
- Robertson, George G, Stuart K Card und Jock D Mackinlay (1993). „Three views of virtual reality: nonimmersive virtual reality“. In: *Computer* 26.2, S. 81.
- Robinett, Warren und Richard Holloway (1992). „Implementation of flying, scaling and grabbing in virtual worlds“. In: *Proceedings of the 1992 symposium on Interactive 3D graphics*. ACM, S. 189–192.
- Sanchez-Gordón, Mary-Luz, Ricardo Colomo-Palacios und Eduardo Herranz (2016). „Gamification and Human Factors in Quality Management Systems: Mapping from Octalysis Framework to ISO 10018“. In: *Systems, Software and Services Process Improvement*. Hrsg. von Christian Kreiner u. a. Cham: Springer International Publishing, S. 234–241. ISBN: 978-3-319-44817-6.
- Schoor, Wolfram u. a. (2007). „Elbe Dom: 360 Degree Full Immersive Laser Projection System“. In:
- Schöpf, Nicolas (2005). *Ausbilden mit Lern- und Arbeitsaufgaben*. Bertelsmann.
- Schubert, Thomas W (2003). „Präsenzerleben in virtuellen Umgebungen: Eine Skala zur Messung von räumlicher Präsenz, Involviertheit und Realitätsurteil.“ In: *Zeitschrift für Medienpsychologie*.
- Schulz, Torsten (Dez. 2011). „Gefahren stets im Blick: Mehr Sicherheit mit Virtual Reality“. In: *IFFFOCUS* 2, S. 20–23. ISSN: 1862-5320.
- Schunck, Eberhard u. a. (2012). *Dach Atlas : Geneigte Dächer*. Bd. 4th ed. Birkhäuser. ISBN: 9783764364793. URL: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=nlebk&AN=642047&site=ehost-live>.
- Seaborn, Katie und Deborah I Fels (2015). „Gamification in theory and action: A survey“. In: *International Journal of human-computer studies* 74, S. 14–31.
- Sherman, William R und Alan B Craig (2002). *Understanding virtual reality: Interface, application, and design*. Elsevier.
- Slater, Mel (2003). „A note on presence terminology“. In: *Presence connect* 3.3, S. 1–5.
- Slater, Mel u. a. (2010). „First person experience of body transfer in virtual reality“. In: *PloS one* 5.5, e10564.
- Spanlang, Bernhard u. a. (2014). „How to build an embodiment lab: achieving body representation illusions in virtual reality“. In: *Frontiers in Robotics and AI* 1, S. 9.
- Stoakley, Richard, Matthew J Conway und Randy Pausch (1995). „Virtual reality on a WIM: interactive worlds in miniature“. In: *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*. ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., S. 265–272.

- Sutcliffe, Alistair (2003). *Multimedia and virtual reality: designing multisensory user interfaces*. Psychology Press.
- Tan, Desney S, George G Robertson und Mary Czerwinski (2001). „Exploring 3D navigation: combining speed-coupled flying with orbiting“. In: *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*. ACM, S. 418–425.
- Teather, Robert J und Wolfgang Stuerzlinger (2007). „Guidelines for 3D positioning techniques“. In: *Proceedings of the 2007 conference on Future Play*. ACM, S. 61–68.
- Usoh, Martin, Kevin Arthur u. a. (1999). „Walking> walking-in-place> flying, in virtual environments“. In: *Proceedings of the 26th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*. ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., S. 359–364.
- Usoh, Martin, Ernest Catena u. a. (2000). „Using presence questionnaires in reality“. In: *Presence: Teleoperators & Virtual Environments* 9.5, S. 497–503.
- Van Wyk, Etienne und Ruth De Villiers (2009). „Virtual reality training applications for the mining industry“. In: *Proceedings of the 6th international conference on computer graphics, virtual reality, visualisation and interaction in Africa*. ACM, S. 53–63.
- Vinson, Norman G (1999). „Design guidelines for landmarks to support navigation in virtual environments“. In: *Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in Computing Systems*. ACM, S. 278–285.
- Waltemate, Thomas u. a. (2018). „The Impact of Avatar Personalization and Immersion on Virtual Body Ownership, Presence, and Emotional Response“. In: *IEEE transactions on visualization and computer graphics* 24.4, S. 1643–1652.
- Ware, Colin, Kevin Arthur und Kellogg S Booth (1993). „Fish tank virtual reality“. In: *Proceedings of the INTERACT'93 and CHI'93 conference on Human factors in computing systems*. ACM, S. 37–42.
- Werbach, K. und D. Hunter (2012). *For the Win: How Game Thinking Can Revolutionize Your Business*. Wharton Digital Press. ISBN: 9781613630235. URL: <https://books.google.de/books?id=abg0SnK3XdMC>.
- White, Robert W (1959). „Motivation reconsidered: The concept of competence.“ In: *Psychological review* 66.5, S. 297.
- Witmer, Bob G und Michael J Singer (1998). „Measuring presence in virtual environments: A presence questionnaire“. In: *Presence: Teleoperators and virtual environments* 7.3, S. 225–240.
- Wu, S-T u. a. (2003). „Picking and snapping for 3d input devices“. In: *Computer Graphics and Image Processing, 2003. SIBGRAPI 2003. XVI Brazilian Symposium on*. IEEE, S. 140–147.

# Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Masterarbeit selbstständig und ausschließlich unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Stellen sind als solche kenntlich gemacht.

Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form weder einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt oder noch anderweitig veröffentlicht.

---

Unterschrift

---

Datum