

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Grundlage und Datenbasis	3
2.1	Das Cranach Digital Archive	3
2.1.1	Lucas Cranach der Ältere	4
2.1.2	Martin Luther als Junker Jörg	5
2.2	Konzept und Nutzung von Virtual Reality	5
3	Theoretische Einordnung	6
3.1	Aktueller Forschungsstand von Virtual Reality	7
3.1.1	Entstehung	7
3.1.2	Wahrnehmungsaspekte	8
3.1.3	VR-Brillen	10
3.1.4	Native und webbasierte Anwendungen	12
3.1.5	Aktuelle Technologien	14
3.2	Virtual Reality im musealen Kontext	14
3.2.1	Chancen und Risiken	14
3.2.2	Optimierung des Lernprozesses	16
3.2.3	Aktuelle Lösungen und Umsetzung	17
4	Prototyping	18
4.1	Anforderungen an das VR-System	19
4.2	Auswahl der Technologien	20
4.2.1	Unity	21
4.2.2	Unreal Engine	23
4.2.3	React 360	24
4.2.4	A-Frame	24
4.2.5	Three.js	24
4.2.6	Ergebnis	24
4.2.7	Weitere Hilfsmittel	24
4.3	Entwicklung der Prototypen	24
4.3.1	Technischer Prototyp	24
4.3.2	Lucas Cranachs Werkstatt	24
5	Ergebnisse	24
6	Diskussion und Fazit	24

7	Anhang	25
7.1	Abbildungen	25
7.2	Literaturverzeichnis	25
7.3	Abbildungsverzeichnis	26
7.4	Eidesstattliche Erklärung	26

1 Einleitung

Virtual Reality ist nicht mehr nur Zukunftsmusik oder ein Anwendungsbereich für Forscher großer Konzerne; immer mehr kommt Virtual Reality auf den Massenmarkt. Wo zu Beginn leistungsfähige Computer benötigt wurden, entstehen nun All-in-One VR-Brillen¹. Die Anwendungsbereiche von Virtual Reality sind vielfältig: Gaming, Unterhaltung durch VR-Filme oder das Treffen von Freunden in virtuellen Welten². Die Pandemie durch das Virus SARS-CoV-2 hat uns auch gezeigt, dass immer mehr digitale Lösungen benötigt werden. Durch solche Krisen bekommen plötzlich Anwendungsbereiche, die nicht als notwendig betrachtet wurden, völlig neue Relevanz. Durch Virtual Reality ist man nicht mehr an einen Ort gebunden und kann gewisse Aktionen statt in der realen Welt, in einer virtuellen Welt ausführen. Von der realen Welt losgelöst, entstehen so auch völlig neue Möglichkeiten, diese aufzuführen. In dieser Bachelorarbeit wird das digitale Archiv der Cranachs³ als Ressource genutzt, um neue Möglichkeiten der Darstellung für Kunst und Kultur zu erforschen. Dabei sollen aktuelle Entwicklungen, unter anderem aus dem musealen Bereich, miteinbezogen und deren Erkenntnisse berücksichtigt werden. Auf Basis der recherchierten Ergebnisse sollen mehrere Prototypen entwickelt werden, die zeigen, wie Virtual Reality im Bereich Kunst und Kultur angewendet werden kann. Dabei sollen die aktuellsten Technologien miteinbezogen und abgewägt werden, mit welcher die besten Ergebnisse erzielt werden können.

2 Grundlage und Datenbasis

In diesem Kapitel wird auf die Grundlagen von Virtual Reality, auf den Künstler Lucas Cranach der Ältere und auf das Cranach Digital Archive eingegangen. Letzteres stellt die Datenbasis für dieses Projekt dar, welches in der Entwicklung der Prototypen eingesetzt wird. Auf diesem Grundwissen baut das weitere Kapitel auf, welches genauer die allgemeine Technologie von Virtual Reality thematisiert und weitergehend den musealen Anwendungsbereich miteinbezieht.

2.1 Das Cranach Digital Archive

Das Cranach Digital Archive ist eine Initiative und ein visionäres Forschungsprojekt, welches sich zum Ziel gesetzt hat, alle relevanten Informationen, Dokumente und Werke der Cranachs in einer digitalen Datenbank der Forschung und Öffentlichkeit zur Verfügung zu stellen. So konnten bisher über 1600 Gemälde und 14000 Abbildungen digitalisiert und auf der Webseite lucascranach.org veröffentlicht werden, welche frei über das In-

¹Oculus Quest 2 - All-in-One VR-Brille | <https://www.oculus.com/quest-2/> (21.09.2020)

²Mozilla Hubs | <https://labs.mozilla.org/projects/hubs/> (21.09.2020)

³Cranach Digital Archive | <https://lucascranach.org/> (21.09.2020)

ternet zugänglich ist. Bei den digitalisierten Aufnahmen der Werke handelt es sich nicht nur um hochauflösende Gemälde, sondern auch Röntgenaufnahmen, Infrarotreflektogramme und Archivalien. Dadurch lassen sich verschiedene Gemälde der Cranachs aus einer völlig neuen Perspektive betrachten, denn durch die Infrarotreflektogramme lassen sich zum Beispiel Unterzeichnungen eines Gemäldes erkennen, welches das bloße Auge niemals sehen könnte. [Heydenreich u. a., 2017]

2.1.1 Lucas Cranach der Ältere

Lucas Cranach d. Ä. war nicht nur ein erfolgreicher Künstler während der Renaissance, sondern auch ein guter Freund Martin Luthers. Gemeinsam ermöglichten sie eine moderne Auffassung der Kunst. Lucas Cranach d. Ä. wurde 1472 als Sohn des Malers Hans Moller geboren, der ihn in der Zeichenkunst unterrichtete. Obwohl er früh mit dem Malen begonnen hatte, wurde Lucas Cranach d. Ä. erst in Wien um 1502 als Künstler bekannt. Um 1504/05 verließ er Wien und nahm den Beruf des Hofmalers in Wittenberg für Friedrichs III. entgegen, von welchem er auch sein zukünftig verwendetes Wappen verliehen bekommen hatte. Dieses Wappen, eine „geflügelte, bekrönte und einen Ring im Maul tragende Schlange“ [Heydenreich u. a., 2017, S. 15], sollte fortan als Signet von Lucas Cranach und seiner Werkstatt werden. Nach dem Tod von Friedrich III., diente er dessen Sohn und Nachfolger Johann I., welcher das Amt jedoch nur sieben Jahre lang führen konnte und schließlich an seinen Sohn, Johann Friedrich I. abgegeben hat. Bis zu seinem Tod stand Lucas Cranach d. Ä. im Dienst dieser drei Kurfürsten. Lucas Cranach d. Ä. zeichnete sich nicht nur durch die Qualität seiner Gemälde aus, sondern war auch dafür bekannt, produktiv zu arbeiten. Im Gegensatz zu seiner Konkurrenz malte er seine Gemälde nicht in freier Natur, sondern baute sich bereits in Wittenberg eine Werkstatt auf, die es ihm erlaubte, seine Produktivität auf eine neue Ebene zu bringen. Auch die Kunstgattung „Druckgrafik“, die Martin Luther als Graben bezeichnete, erlaubte es Lucas Cranach d. Ä. einzelne Gemälde mehrfach zu drucken. Er war jedoch nicht nur als Künstler erfolgreich, sondern belegte in Wittenburg zwischen 1519 und 1544/45 das Amt des Ratsherren und einige Jahre davon auch als Kämmerer oder Bürgermeister. Die letzten Jahre von Lucas Cranach d. Ä. waren durch den Schmalkaldischen Krieg geprägt und beeinflusst, da Johann Friedrich I. mit seinen Truppen gegen den Kaiser kämpfte. Nach einer Niederlage und Verlusten seines Territoriums, folgte Lucas Cranach d. Ä. Johann Friedrich I. in die Gefangenschaft und verblieb dort von 1547 bis 1552. Nach der Gefangenschaft kehrte Lucas Cranach d. Ä. nach Weimar zurück und starb am 16. Oktober 1553 im Haus seiner Tochter. Zusammenfassend war Lucas Cranach d. Ä. nicht nur ein einfacher Künstler, sondern aufgrund seiner Qualität, Produktivität und humanistischem Denken seiner Zeit voraus. So legte er einen wichtigen Grundstein für die moderne Kunst. [Heydenreich u. a., 2017]

2.1.2 Martin Luther als Junker Jörg

Als Martin Luther 1511 nach Wittenburg zurückkehrte und 1512 die Professur für Bibelauslegung übernommen hatte, traf er zum ersten Mal auf Lucas Cranach d. Ä. Die beiden pflegten nicht nur engen Kontakt zueinander, sondern ergänzten sich auch in ihrer Arbeit. Martin Luthers Gedanken der Reformation konnten nicht nur in Schrift verbreitet werden, sondern auch durch das künstlerische Talent und die Produktivität von Lucas Cranach d. Ä. grafisch unterlegt werden. Martin Luther nahm nachweislich die Dienste von Lucas Cranach d. Ä. für Tiefenholzschnitte entgegen, welche auch für theologische Argumentationen benutzt wurden. Lucas Cranach d. Ä. trug auch dazu bei, dass es ein öffentliches Bild von Martin Luther gab und versuchte dieses zu manifestieren. Als 1521 die Reichsacht über Martin Luther verhängt wurde, musste er aus Schutz seinen Tod durch einen inszenierten Überfall vortäuschen. Sein enger und guter Freund Lucas Cranach d. Ä. war jedoch über die Inszenierung informiert. Als Martin Luther zurück nach Wittenburg kehrte, um die dortigen Unruhen zu besänftigen, trat er unter dem Pseudonym „Junker Jörg“ auf. Auch hier nahm Lucas Cranach d. Ä. eine entscheidende Rolle ein, da er in dieser Zeit Bildnisse von Martin Luther anfertigte. Beispielsweise wurde zu dieser Zeit ein Bildnisholzschnitt von Martin Luther als Junker Jörg gefertigt, welche absichtlich zur Medienstrategie verwendet wurde. So überbrachte Lucas Cranach d. Ä. die Nachricht, dass Martin Luther den inszenierten Überfall überlebte und vermittelte damit auch das Bild eines entschlossenen und visionären Mannes. [Heydenreich u. a., 2017]

In diesem Forschungsprojekt wird sich auf die Datenbasis von Martin Luther als Junker Jörg des Cranach Digital Archive bezogen. Zur Entwicklung einer Antwort auf die Forschungsfrage wird nicht die gesamte Datenbasis des Cranach Digital Archive benötigt, da eine geringe Datenmenge zur Entwicklung von Virtual Reality-Szenen bereits ausreichen. Das Team hinter [lucascranach.org](https://www.lucascranach.org) hat die Daten bereits digitalisiert und aufgearbeitet, sodass Werke und Gemälde, die miteinander verwandt sind oder in Beziehung stehen, bereits zusammenhängend verknüpft sind.

2.2 Konzept und Nutzung von Virtual Reality

Virtual Reality stammt aus dem Wissenschaftsgebiet der Computergrafik, denn eine virtuelle Realität besteht immer aus einer dreidimensionalen Simulation [Dörner u. a., 2013, S. 13]. Es gibt mehrere Wege, eine virtuelle Realität zu simulieren. Nicht immer ist eine VR-Brille notwendig, doch ist heutzutage das Nutzen solch einer Brille, um in eine virtuelle Realität einzutauchen, state of the art. Das zeigt auch die schnelle Entwicklung dieser Branche, die vermehrt auf VR-Brillen setzt, welche ohne einen zusätzlichen Computer auskommen. Die gesamte Echtzeitsimulation der virtuellen Realität wird innerhalb der VR-Brille berechnet⁴. Sollte die Leistung der Brille nicht ausreichen, lassen sich diese op-

⁴Oculus Quest 2 - All-in-One VR-Brille | <https://www.oculus.com/quest-2/> (21.09.2020)

tional mit einem Computer verbinden. Bei VR-Displays werden stereoskopische Verfahren angewandt [Dörner u. a., 2013, S. 13], wodurch Objekte, die durch die VR-Brille gesehen werden, einen Tiefeneffekt erhalten. Dieser Tiefeneffekt lässt virtuelle Objekte real erscheinen, da sie erstmals für unser Gehirn eine erkennbare räumliche Position aufweisen. Ein weiterer wichtiger Bestandteil von Virtual Reality ist die blickabhängige Bildgenerierung [Dörner u. a., 2013, S. 13]. Bei der Bewegung des Kopfes, und damit des Blickpunktes des menschlichen Auges, wird die virtuelle Welt aus dem Blickwinkel, in welchen das menschliche Auge in der virtuellen Welt schaut, neu generiert. Da Virtual Reality es erlaubt, Objekte aus verschiedenen Perspektiven zu sehen und auch mit diesen zu interagieren, gibt es vielfältige Einsatzmöglichkeiten. Das Virus SARS-CoV-2 hat gezeigt, dass es immer wichtiger wird von zu Hause aus arbeiten zu können oder Dienstleistungen von zu Hause aus entgegenzunehmen. Auch Museen oder Kunstgalerien können von Virtual Reality profitieren, da so die Kunst auf verschiedenen Wegen übermittelt werden kann. Die Darstellung ist nicht mehr an das klassische Bild eines großen Raumes mit Gemälden an der Wand gebunden, sondern kann räumliche Limitierungen der realen Welt überwinden. Das Cranach Digital Archive ist eine große Datenbank mit vielen Gemälden und Archivalien. Einige Gemälde haben eine Beziehung zu anderen Gemälden, da sie zum Beispiel zur selben Zeit entstanden sind, oder auf dem selben Bildträger angebracht wurden. Virtual Reality kann Forschern, aber auch Kulturinteressierten, dabei helfen, die großen Datenmengen besser aufzunehmen und zu verstehen [Dörner u. a., 2013, S. 9]. Im nächsten Kapitel wird der aktuelle Forschungsstand von Virtual Reality erläutert und aufgezeigt wie dieser aktuell für Museen eingesetzt werden kann.

3 Theoretische Einordnung

In diesem Kapitel wird das Thema Virtual Reality genauer behandelt, auf welchem Forschungsstand sich diese Branche befindet und welche Lösungen bereits auf dem Markt sind. Mit Hilfe von Fachliteratur zu diesem Themenbereich sollen die aufgeworfenen Forschungsfragen beantwortet werden. Dieses Kapitel stellt das wissenschaftliche Fundament für die Entwicklung der Prototypen, die anhand der in diesem Kapitel gewonnenen Fakten entwickelt werden sollen. Zunächst wird der aktuelle Forschungsstand der VR-Branche betrachtet, welche technologischen Möglichkeiten und welche Produkte im musealen Bereich bereits existieren. Durch andere VR-Produkte, die ebenfalls im musealen Bereich entwickelt wurden, lassen sich Fehler vermeiden und etablierte Ideen für das eigene Produkt umsetzen.

3.1 Aktueller Forschungsstand von Virtual Reality

3.1.1 Entstehung

Virtual Reality ist keine neuartige Technologie, sondern existiert bereits seit den 60er Jahren. Ivan Sutherland forschte als Erster an immersiven Technologien und führte so mit seinem Buch „The Ultimate Display“ den Rechner, das Design, die Konstruktion und Navigation virtueller Welten zusammen. In den 80er Jahren entwickelte die NASA erstmals mit dem Projekt VIEW (Virtual Environment Interface Workstations) einen multisensorischen Arbeitsplatz, welcher für die Simulation virtueller Weltraumstationen genutzt wurde. Der Begriff Virtual Reality wurde erstmals 1987 von einem Wissenschaftler namens Jaron Lanier verwendet. Er und Thomas Zimmermann gründeten gemeinsam die Firma VPL, welche am „DataGlove“ arbeitete und diesen verkaufte. Dieser Handschuh konnte mit Hilfe von Glasfasern Fingerdaten erfassen. Neben dem Handschuh verkauften sie auch das „EyePhone“, eine Weiterentwicklung des Head-Mounted-Displays von Ivan Sutherland aus den 60ern. 1989 wurde ein weiterer Meilenstein erreicht, denn die Firma Polhemus entwickelte einen elektromagnetischen Tracker, welcher ein Ziel in bestimmter Entfernung vom Rechner bestimmen konnte. Zeitgleich entstand BOOM (Binocular Omni-Orientation Monitor) von Fake Space Labs. BOOM war ein 3D-Sichtgerät mit einem 1280x1024 Pixel Display, welches 1991 zum ersten Mal Anwendung im „Virtual Windtunnel“ von Steve Bryson fand, einem Bereich der Luft- und Raumfahrt. 1988 kamen mehr und verschieden hochwertige Arbeitsplätze für den Bereich Grafik auf den Markt. Silicon Graphics konnte sich mit ihrer SGI Reality Engine 1995 weltweit durchsetzen und wurde so zum Standard dieser Branche. Damit kamen dann die ersten kommerziellen VR-Softwaresysteme auf den Markt. Die nächste große technologische Innovation wurde daraufhin vom Unternehmen SensAble Technologies Inc. vorgestellt, welches vom Massachusetts Institut of Technologies gegründet wurde. SensAble entwickelte ein haptisches Gerät namens „PHANtom“, welches berührt werden musste, um eine Kraftrückkopplung spüren zu können. Anfang der 90er Jahre, nachdem schon einige technische Innovationen auf dem Markt erschienen sind, wurden viele wichtige Forschungen im Bereich der Virtual Reality unternommen, die sich vor allem auf Stereoleinwände konzentriert haben. Nach den Tracking-Systemen auf Basis von Elektromagnetismus folgten Systeme auf Basis von Ultraschall. Gegen 2000 wurde der Ultraschall jedoch von Infrarot abgelöst. Tracking-Systeme auf Basis von Infrarot finden noch heute Anwendung im Bereich der modernen VR-Brillen. Die von Silicon Graphics entwickelte SGI Reality Engine, welche in vielen VR-Softwaresystemen verwendet wurde, wurde langfristig auch von Computern abgelöst. Die damit einhergehende Preissenkung (circa um $\frac{1}{5}$) erlaubte umfangreichere Forschungen. Historisch betrachtet hat auch Deutschland einige Unternehmen vorzuweisen, die sich bereits seit 1998 mit VR-Systemen beschäftigen. So sind beispielsweise VRCOM, RTT und IC:IDO zu nennen. Ein ständiger Austausch zum Wissenschaftsgebiet Virtual

Reality fand demnach international und auf Länderebene statt. Schließlich konnte sich die IEEE VR Konferenz international durchsetzen und ist jährlich mit etwa 500 Teilnehmern einer der größten Konferenzen zu diesem Thema. Seit 2003 hat zudem die Gesellschaft für Informatik eine Fachgruppe für das Thema Virtual und Augmented Reality. [Dörner u. a., 2013, S. 19–21] — — (Bisschen noch was zum aktuellen Stand schreiben)

3.1.2 Wahrnehmungsaspekte

Wie Menschen Informationen wahrnehmen, ist ein wichtiger Aspekt für die Gestaltung von virtuellen Welten. In einer perfekten virtuellen Realität würde der Konsument alle Sinnesindrücke, die er aus der realen Welt kennt, in der simulierten Welt in gleicher Qualität und Quantität empfinden können [Dörner u. a., 2013, S. 17]. Doch so eine perfekte virtuelle Realität zu entwickeln ist nach aktuellem Stand der Technik nicht möglich. Die heutigen VR-Systeme und -Technologien konzentrieren und beziehen sich auf den visuellen, akustischen und haptischen Sinn des Menschen [Dörner u. a., 2013, S. 34]. Dementsprechend nutzt ein ideales VR-System jene Effekte in Kombination mit einem Tracking-System [Slater, 2009]. Die heutige Technologie ist bereits auf dem Stand, dass alle drei genannten Sinne angesprochen und beeinflusst werden können. Die VR-Brillen selbst besitzen ein Tracking-System für das Bewegen des Kopfes sowie die Veränderung der räumlichen Position und mehrere 3D-Eingabegeräte, die das Bewegen der Hände analysieren können. Die Immersion einer VR-Erfahrung wird auch nicht zwingend durch die Bildschirme und das Tracking-System bestimmt, sondern durch die Anzahl der ausführbaren Aktionen innerhalb der virtuellen Welt [Slater, 2009]. So hilft der technologische Fortschritt der heutigen VR-Brillen sehr bei der Entwicklung von virtuellen Welten, jedoch müssen auch die durchführbaren Aktionen gut umgesetzt sein. Denn einer der wichtigsten Aspekte für das Wahrnehmen von virtuellen Welten ist das Gefühl der Präsenz [Slater, 2009].

Die Präsenz beschreibt das Gefühl, in der virtuellen Welt zu sein [Slater, 2009]. Dabei weiß der Benutzer jedoch zu jedem Zeitpunkt, dass er nicht wirklich dort ist [Slater, 2009]. Grundlegend lässt sich der Aspekt der Präsenz in drei Unteraspekte aufteilen: Das Gefühl der Ortsillusion, die Plausibilitätsillusion und die Involviertheit [Dörner u. a., 2013, S. 18–19]. Eine virtuelle Welt sollte immer unter Berücksichtigung dieser drei Gefühle entwickelt werden, da eine gute Umsetzung dieser die beste Nutzungserfahrung für einen Benutzer sicherstellen kann.

Bei der Ortsillusion handelt es sich um die starke Illusion an einem Ort zu sein, mit dem Wissen, dass man nicht wirklich dort ist [Slater, 2009]. Einer der wichtigsten Kriterien, um diese Illusion beim Benutzer zu erreichen, ist die in Kapitel 2.2 erwähnte blickpunktabhängige Bildgenerierung der VR-Brille [Dörner u. a., 2013, S. 18].

Bei der Plausibilitätsillusion handelt es sich um das Gefühl, dass die Geschehnisse innerhalb der virtuellen Welt wirklich passieren, mit dem Wissen, dass dies nicht wirklich passiert [Slater, 2009]. Eine Schlüsselkomponente, um diese Illusion hervorzurufen, sind

Geschehnisse, die nicht vom Benutzer ausgelöst wurden, sich jedoch auf ihn beziehen [Slater, 2009]. Das können beispielsweise auf den Benutzer zufliegende Projektile sein oder ein virtueller Mensch, der den Benutzer anspricht [Dörner u. a., 2013, S. 18–19]. Die Geschehnisse die innerhalb der virtuellen Realität stattfinden müssen jedoch nicht physikalisch realistisch sein [Slater, 2009] und können dementsprechend auch fantasievoll und unrealistisch sein. Als Beispiel kann ein Spiel genommen werden, in welchem der Benutzer von einem Magier mit einem Feuerball angeschossen wird; der Benutzer hat das Ereignis nicht selber ausgelöst, wird jedoch in das Geschehen eingebunden. Eine Plausibilitätsillusion entsteht, obwohl das Szenario unrealistisch ist. So kann diese durch das Einbauen von realistischen Effekten, wie Schatten oder die Darstellung des eigenen Körpers, verstärkt werden [Slater, 2009].

Das Anzeigen des Körpers des Benutzers kann sogar den Effekt der Orts- und Plausibilitätsillusion verstärken, da das Gefühl in der virtuellen Realität zu sein realer erscheint und dementsprechend auch Geschehnisse die den Benutzer betreffen [Slater, 2009]. Genauso können beide Illusionen durch das Ausnutzen der Ängste eines Menschen hervorgerufen werden [Slater, 2009]. Leidet der Benutzer unter Höhenangst, dann wird er ebenfalls in der virtuellen Welt unter Höhenangst leiden, wenn er sich beispielsweise auf einem Hochhaus befindet und die Kante herunterschaut. Demnach verstärkt sich das Gefühl, dass die virtuelle Realität Wirklichkeit sei, obwohl der Benutzer zu jedem Zeitpunkt weiß, dass es sich um eine Simulation handelt. So kann einer immersiven virtuellen Realität gesprochen werden, wenn der Benutzer so handelt und agiert, wie er es in einer realen Welt tun würde („Response-as-if-real“ (RAIR)) [Slater, 2009]. Diese genannten Aspekte (Immersion, Ortsillusion, Plausibilitätsillusion und das Darstellen des eigenen Körpers) stellen ein Framework dar, wonach virtuelle Realitäten entwickelt werden können [Slater, 2009]. Diese Aspekte stellen auch Gefühle dar, welche der Benutzer während seiner Erfahrung empfinden kann und die es gilt gut umzusetzen. Fehlerhafte Darstellungen können die Ortsillusion negativ beeinflussen. Darüber hinaus ist es durch das Beheben der Fehler jedoch möglich, jene Illusion wiederherzustellen [Slater, 2009]. Anders verhält sich die Plausibilitätsillusion, welche schwer zu erreichen ist. Sofern diese einmal gebrochen ist, kann sie in der aktuellen Erfahrung des Benutzers nicht mehr oder nur schwer wieder aufgenommen werden [Slater, 2009]. Ein Beispiel für den Bruch der Plausibilitätsillusion ist ein virtueller Mensch, mit dem kommuniziert werden kann, er aber nur in sehr einfachen Phrasen antwortet [Dörner u. a., 2013, S. 19]. So geht die Glaubwürdigkeit der Illusion verloren. Deshalb sollten virtuelle Realitäten so wenig Raum für Fehler bieten wie nur möglich [Slater, 2009].

Die Involviertheit ist neben der Orts- und Plausibilitätsillusion ein weiteres Gefühl, welches die Qualität der Nutzungserfahrung steigert. Sie beschreibt das Verhältnis der Aufmerksamkeit und des Interesses eines Benutzers zur virtuellen Realität [Witmer und Singer, 1998, S. 227]. Je höher die Aufmerksamkeit und das Interesse des Benutzers, desto

höher ist die Qualität der Nutzungserfahrung. Geräusche aus der realen Umgebung, oder das unbequeme Sitzen der VR-Brille, können bereits die Aufmerksamkeit und das Interesse stark senken und somit die Qualität der Erfahrung beeinträchtigen [Witmer und Singer, 1998, S. 227]. Abgesehen der drei oben genannten Aspekte, lässt sich die Nutzungserfahrung durch Berücksichtigung technischer Aspekte verbessern. Darunter fällt die Bildwiederholungsrate der Anwendung, die Bildschirmauflösung, das Gesamtausmaß und die Latenz des Trackings, der Grad des Sichtfelds und die visuelle Qualität der Umgebung und ihrer Objekte [Slater, 2009]. Unter Berücksichtigung dieser Gesichtspunkte können qualitativ hochwertige virtuelle Realitäten entwickelt werden, welche durch das Ansprechen der richtigen Gefühle des Benutzers eine erfolgreiche Nutzungserfahrung hervorbringen können.

3.1.3 VR-Brillen

(Etwas mehr auf die Technik dahinter eingehen?) Neben den gesamten Aspekten, die es für die Erstellung von Nutzungserfahrungen innerhalb virtueller Welten zu berücksichtigen gibt, muss das technische System ebenfalls jene Aspekte abbilden können. In der heutigen Zeit haben sich VR-Brillen (auch Head-Mounted-Displays genannt) in Kombination mit 3D-Eingabegeräten durchgesetzt. Diese sind mittlerweile sehr kompakt, leistungsstark und preislich erschwinglich. Dadurch, dass Hardware kleiner und günstiger wird, kann der Trend beobachtet werden, dass VR-Brillen auch ohne einen stationären Computer funktionieren. Den Vorteil von VR-Brillen, im Gegensatz zu Projektionssystemen, bildet die Möglichkeit, diese überall anziehen und nutzen zu können [Dörner u. a., 2013, S. 129]. Dementsprechend haben sich Head-Mounted-Displays als VR-Systeme auf dem Massenmarkt durchgesetzt, da diese kompakt sind und nicht zwingend einen Computer benötigen. Zudem ist je nach Anwendungsfall eine VR-Brille nicht notwendig, da heutige mobile Endgeräte, wie Smartphones, bereits genügend Leistung für eine Echtzeit-Simulation mitbringen. So gibt es Aufsätze für das Smartphone, mit welchen es sich in eine VR-Brille umfunktionieren lässt (siehe Abb. 1⁵). Da diese Lösung kostengünstig und einfach umzusetzen ist, gilt dies als gute Einstiegsmöglichkeit für Personen, die gerne VR-Erfahrungen erleben würden, sich jedoch nicht eine autarke VR-Brille leisten möchten. Doch ist durch das Fehlen der 3D-Eingabegeräte bei dieser Lösung, je nach Anwendungsfall, eine Einschränkung festzustellen. Abhängig vom dem jeweiligen Smartphone kann auch eine geringe Bildschirmauflösung die in Kapitel 3.1.2 genannten Aspekte beeinträchtigen und einen Bruch der Illusionen hervorrufen. Projektionssysteme, die die simulierte Umgebung auf ganzen Leinwänden darstellen, haben den Vorteil, dass sich der Benutzer nicht unmittelbar vor dem Bildschirm befindet [Dörner u. a., 2013, S. 134]. Dadurch können keine einzelnen Pixel mit dem Auge erfasst werden. Daraus ergibt sich, dass die

⁵Google Cardboard | <https://arvr.google.com/cardboard/> (18.10.2020)



Abbildung 1: Google Cardboard für Smartphones.

Bildschirmauflösung ein wichtiges Kriterium zur guten Anwendung von VR-Brillen ist [Dörner u. a., 2013, S. 134]. Aktuelle Unternehmen, die sich mit VR-Brillen beschäftigen und diese Technologie maßgeblich vorgeben, sind unter anderem Facebook mit Oculus ⁶, HTC mit Vive ⁷, Playstation mit PlaystationVR ⁸ und Valve Corporation mit der Valve Index ⁹. Samsung beschäftigt sich ebenfalls mit Virtual Reality, jedoch bieten diese nur eine hochwertige Brille ohne Rechenleistung an. Für den vollständigen Funktionsumfang wird zusätzlich ein Samsung Smartphone vorausgesetzt ¹⁰. Auch Nintendo hat mit der Konsole Nintendo Switch den Weg zu Virtual Reality gefunden ¹¹. Das VR-Set für die Nintendo Switch bietet sich hilfreich für Kinder an, um erste Erfahrungen mit Virtual

⁶Oculus | https://www.oculus.com/?locale=de_DE (18.10.2020)

⁷HTC VIVE | <https://www.vive.com/de/> (18.10.2020)

⁸PlaystationVR | <https://www.playstation.com/de-de/explore/playstation-vr/> (18.10.2020)

⁹Valve Index | <https://www.valvesoftware.com/de/index/headset> (19.10.2020)

¹⁰Samsung Gear VR | <https://www.samsung.com/de/wearables/gear-vr-r323/> (18.10.2020)

¹¹Nintendo Labo VR-SET | <https://www.nintendo.de/Nintendo-Labo/Nintendo-Labo-1328637.html> (18.10.2020)

Reality machen zu können. Auch Google ist mit dem Google Cardboard in diesen Markt involviert, bietet jedoch keine VR-Brille mit integrierter Hardware an.

3.1.4 Native und webbasierte Anwendungen

Viele VR-Brillen bedeuten auch viele Software-Development-Kits (SDK) die damit einhergehen. VR-Anwendungen können heutzutage mit Hilfe von vielen Programmen oder Frameworks entwickelt werden. So kann ein Produkt nativ für eine Plattform entwickelt werden oder durch webbasierte Anwendungen plattformunabhängig funktionieren. Beide Ansätze bieten ihre Vor- sowie Nachteile und sind daher vom jeweiligen Anwendungsfall abhängig. Native Lösungen bieten in der Softwareentwicklung eine geeignetere Performance, da diese Anwendungen mit Programmiersprachen entwickelt werden die effizient und maschinennah sind. Je nach Hersteller gibt es auch für das Betriebssystem eigene Programmiersprachen, die dann für das jeweilige Ökosystem optimiert werden können. Webanwendungen, die in der Regel auf Basis von JavaScript laufen, werden nicht kompiliert sondern interpretiert und der Quellcode wird zur Laufzeit vom Browser gelesen und ausgeführt. Durch eine große und aktive Community hat sich JavaScript in den letzten Jahren zu einer universellen Programmiersprache entwickelt und findet Anwendung in fast allen Gebieten der Softwareentwicklung. Diese Entwicklung der letzten Jahre hat gezeigt, dass der Mensch weniger Zeit vor dem PC im Internet verbringt, sondern hauptsächlich mobil darauf zugreift [Ater, 2017, S. 1]. Durch das Betrachten von Internetseiten auf einem mobilen Endgerät wurde der Ansatz mobile-first immer wichtiger [Ater, 2017, S. 1]. Die Vorteile, die native Anwendungen mehrere Jahre mit sich brachten, waren, neben der besseren Leistung, erweiterte Grafikmöglichkeiten, Standortermittlung, Push-Benachrichtigungen, Offlineverfügbarkeit und Startbildschirm-Verknüpfungen [Ater, 2017, S. 3]. Diese Funktionen waren damals notwendig für erfolgreiche Apps, da diese dem Benutzer eine bessere Nutzungserfahrung ermöglichten. Heutzutage hat sich das Web als Plattform weiterentwickelt, sodass jene Funktionen nicht mehr nur nativen Anwendungen vorenthalten sind. Sogenannte Progressive Web Apps erlauben sich an nativen Funktionen der Plattform zu bedienen, bieten jedoch weiterhin die Flexibilität, die das Web mit sich bringt [Ater, 2017, S. 2]. So können webbasierte Anwendungen offlinefähig gestaltet werden. Darüber hinaus können Push-Benachrichtigungen von Webseiten verschickt werden und zudem lassen sich Desktop- und Startbildschirmverknüpfungen über moderne Browser anlegen [Ater, 2017, S. 5–6]. Durch das Ausblenden der URL-Leiste des Browsers und das Ausführen der webbasierten Anwendung im Vollbildmodus, ähneln sich den native Anwendungen [Ater, 2017, S. 6]. Für das Ziel einer Anwendung, diese möglichst zugänglich zu machen, ist die Entwicklung einer webbasierten Lösung vorteilhaft, da plattformunabhängig entwickelt werden kann und der Benutzer direkt am Ziel ist, sobald dieser die Webseite öffnet. Es muss kein zusätzlicher Download oder eine zusätzliche Installation erfolgen und auch das Pflegen mehrerer Versionen in den verschiedenen App Stores entfällt.

So kann der Benutzer unabhängig seiner Plattform und seinem Gerät die Anwendung benutzen. Da der Benutzer demnach an keine Plattform gebunden ist, ist die Möglichkeit höher, ein vielfaches mehr an potenziellen Benutzern zählen zu können [Ater, 2017, S. 3]. Es ist zunehmend schwieriger geworden Benutzer für den Download einer App zu motivieren [Ater, 2017, S. 3]. Die meisten Benutzer gehen bereits auf dem Weg zum jeweiligen Store und der darauffolgenden Installation verloren [Ater, 2017, S. 4]. Application Programming Interfaces (API) wie die Web Share und Web Share Target API sind nur ein Teil der zukünftigen Entwicklung, die immer mehr Funktionen ins Web bringen, welche zuvor nur für native Anwendungen zur Verfügung standen [Ater, 2017, S. 245]. So findet auch Virtual Reality, durch die WebXR-Schnittstelle (ehemals WebVR), Anwendung im Browser [Ater, 2017, S. 245]. In Kombination mit WebGL lassen sich komplexe, rechenintensive und überzeugende VR-Erfahrungen entwickeln [Ater, 2017, S. 245]. Die Schnittstelle WebXR ist kompatibel mit den gängigsten VR-Brillen und kann auch ihre jeweiligen 3D-Eingabegeräte lesen, wodurch der Entwickler Zugang zu allen Informationen bekommt, die auch eine native Desktop-Anwendung mitbringen würde [Ater, 2017, S. 245]. Im Punkt Leistung sind nach wie vor native Anwendungen einige Schritte voraus, doch gibt es jetzt schon bereits Lösungen, die an diesem Problem arbeiten. WebAssembly¹² ist eine niedrigere Programmiersprache, welche wenig Abstraktion zur Befehlssatzarchitektur des Computers bietet [Haas u. a., 2017, S. 185]. Dadurch, dass WebAssembly zu ByteCode kompiliert wird, kann nahezu die native Leistung mit einer webbasierten Anwendung erreicht werden [Haas u. a., 2017, S. 186]. So bleibt weiterhin die Plattformunabhängigkeit geboten, da WebAssembly über den Browser ausgeführt werden kann. Jedoch ist WebAssembly noch nicht so verbreitet wie JavaScript und bietet deshalb weniger Technologien und Möglichkeiten, zur Entwicklung von VR-Anwendungen. Zum aktuellen Zeitpunkt bietet die Unity Engine die Möglichkeit, VR-Anwendungen mit Hilfe ihrer Engine zu entwickeln und diese für moderne Browser zu exportieren¹³. Die Unreal Engine kompiliert den geschriebenen Code ebenfalls zu WebAssembly, hat die HTML5-Entwicklung jedoch als Erweiterung ausgelagert, die durch die Community weiterentwickelt werden soll¹⁴. Da es in der klassischen Softwareentwicklung nicht sinnvoll ist in Assemblersprache zu entwickeln, macht es ebenfalls wenig Sinn selbstständig eine VR-Anwendung in WebAssembly zu entwickeln. Deshalb wird eine höhere Programmiersprache benötigt, die eine höhere Abstraktion bietet. So ist es am einfachsten Unity oder Unreal Engine als Software zu nutzen, um VR-Anwendungen auf Basis von WebAssembly zu generieren. Nach wie vor ist die Entscheidung, ob nativ oder für das Web entwickelt werden soll, abhängig vom Anwendungsfall. Für das Cranach Digital Archive bietet sich eine webbasierte Lösung

¹²Offizielle WebAssembly Webseite | <https://webassembly.org/> (02.11.2020)

¹³WebAssembly in Unity | <https://blogs.unity3d.com/2018/08/15/webassembly-is-here/> (02.11.2020)

¹⁴Unreal Engine Dokumentation für HTML5 Development | <https://docs.unrealengine.com/en-US/Platforms/HTML5/index.html> (02.11.2020)

an, da die Darstellung von Gemälden und Archivalien keine hochkomplexen Berechnungen benötigt. Das aktuelle Archiv ist über das Internet zu erreichen und lässt sich auf Desktop-PCs und mobilen Endgeräten betrachten. Das Archiv ist bereits über die größte Plattform aufzurufen, dementsprechend sollte die VR-Lösung ebenfalls über das Web zugänglich sein. So können auch Kunstinteressierte, die sich keine hochwertige VR-Brille leisten möchten, die Gemälde und Archivalien mit ihrem Smartphone erkunden. Durch eine plattformunabhängige Lösung ist weniger Wartung notwendig und das Bereitstellen in die jeweiligen App Stores entfällt, sodass viel Zeit und Ressourcen gespart werden können [Ater, 2017, S. 248]. Webbasierte Anwendungen benötigen die wenigsten Ressourcen für eine hohe Zugänglichkeit, wodurch sich dieser Entwicklungsansatz auch für das Forschungsprojekt anbietet, da die vorhandenen Ressourcen gering sind.

3.1.5 Aktuelle Technologien

3.2 Virtual Reality im musealen Kontext

Die Idee Kunst in einer virtuellen Realität darzustellen, ist keine neue Idee. Immer wieder wagten sich Museen daran, stellten Konzepte auf, sammelten Erfahrungsberichte und entwickelten eigene Produkte [Heidsiek, 2019]. Es ist ein wichtiger und verständlicher Schritt, dass Virtual Reality im musealen Bereich vermehrt und umfangreich Anwendung findet. Museen versuchen Gefühle, Erfahrungen sowie Emotionen zu übermitteln und durch den Einsatz von Virtual Reality besteht die Möglichkeit, den Besucher in Szenarien zu versetzen, die in der Vergangenheit geschehen sind. Der Besucher kann auch Fantasiewelten der Künstler wahrnehmen, um ein besseres Verständnis für ihre Kunst zu erlangen. Umfragen ergaben, dass ein generelles Interesse an neuartigen Technologien im Museum vorhanden ist [Heidsiek, 2019, S. 34]. Die Besucher erhoffen sich dadurch, dass Museen unterhaltsamer, lehrreicher und zugänglicher werden [Heidsiek, 2019, S. 34]. Gerade Virtual Reality lässt Museen und Informationen für die breite Masse zugänglicher werden, denn die Besucher sind nicht mehr gezwungen das Museum physisch zu besuchen. Der Anwendungsbereich ist vielfältig und die Technologie noch nicht ausgereizt. Doch bergen neue Technologien neben ihren Chancen auch Risiken, die berücksichtigt und diskutiert werden müssen. Deshalb wird in diesem Kapitel auf die Risiken und auch auf die Chancen eingegangen, die ein Museum bei einem Einsatz von Virtual Reality erwarten kann. Da das Cranach Digital Archive nicht das erste Museum ist, welches Kunst digitalisiert, sollen bereits entwickelte Produkte analysiert werden, deren Erkenntnisse und Ideen dabei helfen, bereits begangene Fehler zu vermeiden und geeignete Prototypen zu entwickeln.

3.2.1 Chancen und Risiken

Museen sind Stätten des Wissens. Ihre Aufgabe besteht darin, Menschen Wissen zu vermitteln. Meist über vergangene Erfahrungen oder Geschehnisse. Durch die Digitalisierung

und das Internet war es erstmals möglich, historische Gegenstände oder Gemälde mit der ganzen Welt zu teilen, unabhängig des Standortes eines Betrachters. Dementsprechend liegt der Mehrwert von digitalen Museen darin, eine erhöhte Vervielfältigung und Verbreitung von Wissen zu betreiben [Hünnekens, 2002, S. 17]. Auch das Anwendungsgebiet Virtual Reality bietet nach dem Internet und der Digitalisierung eine neue Möglichkeit Informationen innovativ zu übermitteln [Heidsiek, 2019, S. 52]. So wird das Museum als Stätte des Wissens effizienter gestaltet und ermöglicht mehr Menschen zu erreichen, als es vorher möglich war. Das Cranach Digital Archive geht hier mit gutem Beispiel voran und bietet eine umfangreiche Datenbank zu den Werken und Archivalien der Cranachs. Im Vergleich zu statischen Objekten, wie hängende Gemälde an Wänden, lassen sich durch digitale Lösungen verschiedene und neue Darstellungen ermöglichen [Hünnekens, 2002, S. 17]. Gerade Virtual Reality bietet hier eine sehr interessante Möglichkeit, völlig neue Perspektiven zu erschaffen, die niemals in der realen Welt erreicht werden können. Ein Vorteil in Virtual Reality liegt darin, dass die Gesetze von Raum und Zeit nicht in einer virtuellen Realität gelten [Hünnekens, 2002, S. 140]. So kann der Mensch seiner Begierde, alltägliche Erfahrungen zu überschreiten, nachkommen [Hünnekens, 2002, S. 140]. Diese unendlichen Möglichkeiten bringen jedoch auch eine ethische Verantwortung zur Präsentation musealer Gegenstände mit sich. Das Loslösen von Raum und Zeit kann sich negativ auf die historischen Inhalte auswirken [Hünnekens, 2002, S. 141]. So könnte sogar von Entweihung der historischen Gegenstände gesprochen werden [Hünnekens, 2002, S. 141]. Deshalb liegt es in der Verantwortung der Museen die historische Integrität eines Gegenstandes oder einer Erfahrung nicht zu verletzen [Heidsiek, 2019, S. 38]. Dies kann vermieden werden, indem kenntlich gemacht wird, was original ist und was selbstständig hinzugefügt wurde [Heidsiek, 2019, S. 38]. Sobald virtuelle Realitäten erfundene Aspekte beinhalten, und diese nicht als solche gekennzeichnet wurden, handelt es sich nicht mehr um eine historische Überlieferung, sondern um persönliche und subjektive Wahrnehmungen [Heidsiek, 2019, S. 38]. Fotorealistische Darstellungen von unwahren Ereignissen oder Objekten können verstärkt dazu führen, dass der Benutzer von der fälschlichen Tatsache überzeugt wird [Heidsiek, 2019, S. 39]. So hat jedes Museum, dass Virtual Reality als Möglichkeit zur Betrachtung kunstrelevanter Objekte anbieten möchte, die ethische Verantwortung, dem Benutzer zu jedem Zeitpunkt kenntlich zu machen, was eine historische Übermittlung und was virtuelle Realität ist. Zudem besteht durch Virtual Reality die Gefahr, dass Museen, auf lange Sicht betrachtet, obsolet werden und alles über eine VR-Brille erforscht werden kann [Hünnekens, 2002, S. 142–143]. Besucher die Virtual Reality in Museen genutzt haben, betrachten diese Technologie jedoch als Ergänzung zum Museum und nicht als einen vollständigen Ersatz, da der Hauptgrund eines Museumsbesuchs die Betrachtung der Originalobjekte sei [Heidsiek, 2019, S. 79]. Originale Ausstellungsstücke haben demnach weiterhin einen nicht reproduzierbaren Charakter, welcher sich nicht in einer virtuellen Realität darstellen lässt [Heidsiek, 2019, S. 93]. So schwächt die

Darstellungen von Originalobjekten als Kopie in einer virtuellen Welt die Authentizität dieser [Heidsiek, 2019, S. 93]. Besucher, die vorher eine Online-Ausstellung eines Museums gesehen haben, entschieden sich sogar aufgrund dessen für das Besuchen des Museums in der realen Welt [Halpern und Katz, 2015, S. 777–778]. So kann eine VR-Erfahrung, die über das Web zu erreichen ist, nicht als Ersatz für das Museum gesehen werden, sondern auch als innovatives und modernes Marketingwerkzeug. Dementsprechend ist nach aktuellem Stand nicht davon auszugehen, dass die Technologie Virtual Reality das Museum in naher oder mittlerer Zukunft obsolet macht. Die Museumslandschaft sieht in Virtual Reality die Chancen, neue und andere Geschichten zu vermitteln, langfristig für Besucher attraktiv zu bleiben und auch eine neue Zielgruppe zu erreichen [Heidsiek, 2019, S. 34–35]. Da Emotionen Teil eines Museumsbesuchs sind, lassen sich durch den Einsatz von Virtual Reality neue und intensivere Emotionen hervorrufen. Empfundene Emotionen steigern bei einem Lernprozess nachweislich den erhöhten Lernerfolg [Heidsiek, 2019, S. 29]. So konnte nachgewiesen werden, dass VR-Erfahrungen bei musealen Ausstellungen zu erhöhtem Interesse, erhöhter Zufriedenheit und Vergnügen geführt haben [Heidsiek, 2019, S. 69–72]. Dadurch können schwer verständliche Themen leichter übermittelt werden und der Informationsaustausch zwischen Museum und Mensch optimiert werden. Das deckt sich auch mit der Chance, langfristig für Besucher attraktiv zu bleiben und eine neue Zielgruppe anzusprechen, die vorher nichts mit Museen anfangen konnte. Aber auch die aktuelle Zielgruppe eines Museums kann, unabhängig des Alters, etwas mit Virtual Reality anfangen [Heidsiek, 2019, S. 75]. Dadurch wird keine bestimmte Zielgruppe ausgeschlossen.

3.2.2 Optimierung des Lernprozesses

Wie bereits im vorherigen Unterkapitel erwähnt, tragen Emotionen nachweislich zum Lernerfolg bei. Um diese Emotionen bei Besuchern zu aktivieren und entsprechende Gefühle hervorzurufen, bietet es sich an, Lebensräume der darzustellenden Personen oder Objekte in der virtuellen Welt nachzustellen [Heidsiek, 2019, S. 35–36]. Anhand dessen kann sich der Benutzer noch besser in die Situation hineinbegeben und komplexe Gefühle und Emotionen besser wahrnehmen. Storytelling stellt hierbei eine mögliche Methode dar [Heidsiek, 2019, S. 35–39]. Bei VR-Erfahrungen im Museum lassen sich zwei Emotionen beobachten: Die erfahrungsbezogene und inhaltsbezogene Emotion [Heidsiek, 2019, S. 69]. Erstere beschreibt die empfundene Emotion, die während der gesamten Nutzungserfahrung entstanden ist und letztere die Emotion, die empfunden wird, während sich mit einem genauen Ausstellungsstück beschäftigt wird. Virtual Reality ruft vermehrt die erfahrungsbezogenen Emotionen hervor [Heidsiek, 2019, S. 69], was im Hinblick auf die Technologie logisch erscheint. Denn durch Virtual Reality liegt der Fokus nicht nur auf genau einem einzigen Objekt, sondern meist auf einer ganzen Szene und die Erfahrung innerhalb dieser. Die erfahrungsbezogenen Emotionen sind diejenigen, die einen besseren Lerneffekt mit sich bringen, sodass Museen dadurch als unterhaltsamer und aufregender

bezeichnet [Heidsiek, 2019, S. 69]. Traditionelle Museen rufen hauptsächlich inhaltsbezogene Emotionen hervor [Heidsiek, 2019, S. 69], da der Fokus bei Ausstellungen oft auf einzelnen Ausstellungsstücken liegt. Immersive Umgebungen, die Virtual Reality in hoher Form bieten kann, tragen ebenfalls zu einem optimierten Lernprozess bei, da der Lernende den Inhalt selbstständig steuern und manipulieren kann [Halpern und Katz, 2015, S. 777]. Ebenso kann der Lernende die Lerngeschwindigkeit eigenmächtig bestimmen [Halpern und Katz, 2015, S. 777], was die Konzentration erhöht. Nichtsdestotrotz muss berücksichtigt werden, dass nicht jeder Anwender sofort perfekt mit der virtuellen Umgebung agieren kann. So kann durch zu komplizierte Interaktionen und Darstellungen eher eine negative Erfahrung hervorgerufen werden, die dem Lernprozess eher schadet [Halpern und Katz, 2015, S. 777]. An dieser Stelle ist die Studie des Deutschen Auswandererhauses zu erwähnen, welche eine einfache Bedienung durch blickgesteuerte Interaktion gewährleistet [Heidsiek, 2019, S. 38]. Dadurch müssen die Benutzer lediglich eine Brille aufsetzen und können sofort innerhalb der Anwendung navigieren, da keine Tasten der Eingabegeräte auswendig gelernt werden müssen. Auch das Gefühl der Präsenz, welches bereits in Kapitel 3.1.2 behandelt wurde, trägt dazu bei, wie gut der Lernende Informationen aufnimmt [Halpern und Katz, 2015, S. 777].

3.2.3 Aktuelle Lösungen und Umsetzung

Da es viele unterschiedliche Technologien und Hardware für die Umsetzung von VR-Ausstellungen gibt, lassen sich auch viele verschiedene Wege fassen, solche VR-Erfahrungen zu entwickeln. Das Deutsche Auswandererhaus beispielsweise entschied sich für das Samsung Odyssey Virtual Reality Headset, welches ohne Controller funktioniert und intuitiv bedienbar ist [Heidsiek, 2019, S. 35]. Sie entwickelten eine VR-Erfahrung, die durch Storytelling vermittelt wurde [Heidsiek, 2019, S. 35–39]. Dabei konnten zwei VR-Erfahrungen erlebt werden. Eine der beiden bestand aus einer auditiven und blickgesteuerten Interaktion, während sich die Andere aus einem 360-Grad-Video zusammensetzte [Heidsiek, 2019, S. 38]. Aufgrund der positiven Studienergebnisse und Bewertungen der Probanden, scheint die Entwicklung einer VR-Erfahrung mit blickgesteuerter Interaktion sinnvoll, da keine Einarbeit in die Eingabegeräte der VR-Brille notwendig ist. Dadurch erhält die Anwendung eine intuitive Steuerung. Auch das Vermitteln einer Geschichte innerhalb der VR-Erfahrung fördert das Interesse der Benutzer [Heidsiek, 2019, S. 35–39]. Google bietet ebenfalls eine simple Anwendung, die über ein Google Daydream kompatibles Smartphone ausgeführt werden kann¹⁵. Hierbei lassen sich Gemälde aus verschiedenen Perspektiven betrachten, so zum Beispiel durch Heranzoomen. Besondere Funktionen oder ein Storytelling weist diese App nicht auf. Sie imitiert letztlich einen Museumsbesuch in einer virtuellen Welt. Das Archäologische Museum in Hamburg bietet ebenfalls einen Rundgang

¹⁵Google Arts & Culture VR | <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.google.vr.museums&hl=de> (04.11.2020)

durch das Museum in 3D und Virtual Reality an¹⁶. Dabei handelt es sich auch über eine Webanwendung, welche mit einem Smartphone und Google Cardboard erkundet werden kann. Wer eine vollwertige VR-Brille besitzt, unabhängig vom Hersteller, kann dieses VR-Erlebnis ebenfalls über einen VR-Browser erfahren. Somit spricht das Archäologische Museum aus Hamburg die größtmögliche Nutzerzahl an. Die Umsetzung relativ simpel, da es sich um eine einfache Museumsrundführung ohne bestimmte Funktionen handelt. Das Deutsche Museum in München bietet ein VRlab an, in dem Besucher in die Vergangenheit reisen und dort mit Objekten interagieren können¹⁷. Auch eine Fahrt über den Mond ist möglich. Das Deutsche Museum in München zeigt an dieser Stelle, dass die Möglichkeiten von Virtual Reality vor allem zur Erkundung physikalisch unmöglicher Szenarien genutzt werden sollten. An diesem Beispiel lässt sich gut erkennen, dass Virtual Reality nicht als Ersatz, sondern als Ergänzung zu einem klassischen Museumsbesuch genutzt werden kann. Das Städel Museum bietet auch eine Zeitreise an, mit der das Museum im 19. Jahrhundert betrachtet werden kann¹⁸. Die entwickelte Lösung wurde in Kooperation mit Samsung entwickelt, weshalb die App nur mit einem Samsung Smartphone oder einer VR-Brille von Oculus betrachtet werden kann. So schränkt das Städel Museum ihre Zielgruppe enorm ein. Darüber hinaus bieten sie jedoch den Benutzern, durch das Veröffentlichen der App in einem Store, die Möglichkeit, die Erfahrung auch von zu Hause aus zu erleben. Eine weitere Möglichkeit, um den Inhalt einer VR-Erfahrung verständlicher zu übermitteln ist der Einsatz von Museumsführern. Entweder durch eine einfache Vertonung oder das zusätzliche Einbauen eines Avatars. Virtuelle Museumsführer können nachweislich zu einem höheren Engagement und höherer Aufmerksamkeit des Betrachters führen, da der Inhalt verständlicher wird [Carrozzino u. a., 2018, S. 299–300]. Den Ansatz, mit Vertonung zu arbeiten, hat das Deutsche Auswandererhaus ebenfalls in ihrer Studie durchgeführt. Soll ein ideales VR-System entwickelt werden, muss, wie in Kapitel 3.1.2 bereits erwähnt, auch der akustische Sinn miteinbezogen werden. Je mehr Sinne miteinbezogen werden, desto besser sei die VR-Erfahrung für den Benutzer.

4 Prototyping

Das Prototyping ist eine Methode in der Softwareentwicklung, um schnell und mit wenig Ressourcen an Ergebnisse zu gelangen. Diese Ergebnisse können als frühzeitiges Feedback zur Eignung eines Lösungsansatzes und der genutzten Technologien dienen. Diese Methode wird im vorliegenden Forschungsprojekt angewandt, um mehrere Ergebnisse im Hinblick auf technische Möglichkeiten der Darstellung erzielen und erörtern zu können.

¹⁶Archäologisches Museum Hamburg | <https://amh.de/digitales-angebot/google-art-project/> (05.11.2020)

¹⁷Deutsches Museum | <https://www.deutsches-museum.de/ausstellungen/sonderausstellungen/vr-lab/> (05.11.2020)

¹⁸Zeitreise Städel Museum | <https://zeitreise.staedelmuseum.de/vr-app/> (05.11.2020)

Diese Ergebnisse können weiterführend verwendet werden, um eine vollwertige Software in diesem Anwendungsbereich entwickeln zu können. Zu Beginn müssen die Anforderungen des VR-Systems analysiert und gestellt werden. Da die Forschungsfrage keine eindeutige Lösung fordert, sondern herausfinden möchte, wie solch ein System für das Cranach Digital Archive entwickelt werden kann, werden die Anforderungen auf Basis von Erfahrungen der bereits entwickelten Produkte und der Literaturergebnisse festgelegt. Zunächst muss dazu eine geeignete Technologie gewählt werden, um eine VR-Anwendung entwickeln zu können. So werden die aktuellsten und populärsten Frameworks und Librarys in Betracht gezogen und kritisch hinterfragt, welche sich für den vorliegenden Anwendungsfall am besten eignen. Sobald die genutzten Technologien feststehen, werden die ersten Prototypen entwickelt und mit einer VR-Brille getestet. Sofern diese die festgelegten Ziele erfüllen, können anhand dieser Erkenntnisse die Prototypen entwickelt beziehungsweise weiterentwickelt werden. Die Ergebnisse werden, basierend auf den fertigen Prototypen, im nächsten Kapitel vorgestellt und analysiert.

4.1 Anforderungen an das VR-System

Das aktuelle Cranach Digital Archive ist bereits eine Webanwendung und kann über jedes browserfähige Gerät aufgerufen werden. Somit soll dieser Ansatz der maximalen Zugänglichkeit im vorliegenden Forschungsprojekt weiterhin aufgegriffen werden. Zudem sollte das Ziel eines Museums, dem Verbreiten von Wissen, keiner Zielgruppe durch die Technologieauswahl verwehrt werden. Deshalb ist die erste Anforderung an das VR-System die Zugänglichkeit über das Web als webbasierte Anwendung. Diese Anwendung, welche unter Umständen vom Benutzer auch auf einem Smartphone aufgerufen werden möchte, muss dementsprechend ohne 3D-Eingabegerät funktionieren. Darüber hinaus ist durch eine blickorientierte Steuerung die Anwendung für den Benutzer zugänglicher und kann daher, wie bereits in Kapitel 3.2.2 und 3.2.3 erwähnt, ohne erschwerte Einarbeitung genutzt werden. So ist eine blickorientierte Steuerung intuitiv und benötigt weniger Hardware. Dies stellt auch die zweite Anforderung an das VR-System dar. Um dem Benutzer eine immersive und interessante VR-Erfahrung zu ermöglichen, sollen möglichst viele Sinne miteinbezogen werden. In Kapitel 3.1.2 wurde festgehalten, dass ein perfektes VR-System alle Sinne des Menschen miteinbezieht. Da dies aktuell technisch jedoch nicht möglich ist, sollen so viele Sinne wie möglich angesprochen werden. Deshalb soll, neben dem visuellen Sinn der bei einer VR-Erfahrung immer verwendet werden muss, zusätzlich der akustische Sinn angesprochen werden. Das Cranach Digital Archive ist neben kunstinteressierten Benutzern auch für Forscher und Mitarbeiter des Teams zugänglich. In diesem Kontext soll der Fokus der Prototypen nicht nur auf den visuell schönen VR-Erfahrungen liegen, sondern auch auf der Verbesserung des generellen Datenverständnisses. Wie bereits in Kapitel 2.2 erwähnt wurde, kann Virtual Reality dabei helfen, komplexe Datenstrukturen besser

zu verstehen. Demnach gibt es zwei Arten von VR-Systemen: Jene die für die Zielgruppe eines Museums entwickelt werden und sich daher auf immersive und visuell ansprechende VR-Erfahrungen fokussieren und Andere, die versuchen das Verständnis für die Daten zu verbessern. Jedoch ist zu erwähnen, dass beide Ansätze der VR-Systeme auch von beiden Zielgruppen angenommen werden können. So kann die Zielgruppe eines Museums ebenfalls das Bedürfnis für ein besseres Verständnis der Daten empfinden.

Die folgende Auflistung fasst alle Anforderungen der zu entwickelnden VR-Systeme zusammen:

Die Anforderungen

- Webbasierte Anwendung
- Blickorientierte Steuerung
- Bezug auf den akustischen Sinn
- VR-System mit Fokus auf die Zielgruppe der Museumsbesucher
- VR-System mit Fokus auf besseres Verständnis von Daten

4.2 Auswahl der Technologien

In diesem Kapitel werden die Vor- und Nachteile der einzelnen Frameworks, Librarys oder Softwares gegenübergestellt, die zur Umsetzung des Forschungsprojektes genutzt werden sollen. Anhand der zuvor aufgelisteten Anforderungen sowie der vorhandenen Ressourcen dieses Projektes wird eine entsprechende Technologielösung ausgewählt. Die Technologien werden durch eine einfache Internetrecherche über WebVR gesucht. Damit eine Technologie in Betracht gezogen werden kann, muss diese eine gewisse Verbreitung und Community mit sich bringen, denn Software, die regelmäßig erweitert und von einer Community unterstützt wird, bringt viele Vorteile mit sich. Durch die umfangreiche Nutzung durch eine Community ist es einfacher Lösungen für auftretende Entwicklungsprobleme zu finden. Zudem erleichtert eine große Anzahl an bereits geschriebener Code-Pakete die Entwicklung des vorliegenden Forschungsprojektes.

Unity¹⁹ und die Unreal Engine²⁰ sind Softwarelösungen, hinter welchen zwei große Firmen stehen, die diese seit Jahren entwickeln. Beide Spiele-Engines bieten eine große Community und zudem eine ausführliche Dokumentation. So werden jene Softwarelösungen in die Auswahl der Technologie des vorliegenden Forschungsprojektes miteinbezogen.

¹⁹Unity | <https://unity.com/de> (09.11.2020)

²⁰Unreal Engine | <https://www.unrealengine.com/en-US/> (09.11.2020)

Ein weiteres populäres Framework ist React 360²¹ (8.400 Stars auf GitHub²²) und wird von Facebook weiterentwickelt. Zusätzlich zu dem React-Ökosystem bietet dieses in Kombination mit WebGL und WebXR die Möglichkeit, VR-Systeme für das Web zu entwickeln. Da das React-Ökosystem sehr beliebt und verbreitet ist, wird dieses ebenfalls in die Auswahl der vorliegenden Entwicklung miteinbezogen.

Das nächste Framework, welches laut GitHub (12.000 Stars²³) populärer als React 360 ist, ist A-Frame²⁴ von Mozilla und Supermedium. Mit A-Frame lassen sich ebenfalls dank WebGL und WebXR VR-Systeme für das Web entwickeln. A-Frame ist für seine große und hilfsbereite Community bekannt und hat eine sehr ausführliche und umfangreiche Dokumentation. Da dies wichtige Kriterien für eine Entwicklung darstellen, wird auch dieses Framework in die Auswahl miteinbezogen.

Als letzte Library wird Three.js²⁵ in Betracht gezogen. Three.js bietet eine umfangreiche Library für das Entwickeln von 3D-Anwendungen im Web. Virtual Reality wird ebenfalls unterstützt. Da Three.js sehr mächtig ist, wird diese Library sogar von React 360 und A-Frame genutzt, um komplexe Berechnungen und Darstellungen im Browser möglich zu machen. Three.js ist mit fast 65.000 Stars²⁶ auf GitHub die populärste der auf GitHub vorhandenen Librarys / Frameworks, um WebXR-Anwendungen zu entwickeln. Dementsprechend groß ist auch die Community von Three.js. Deshalb fällt auch diese Library in die engere Auswahl zur Entwicklung des vorliegenden Forschungsprojektes.

In den folgenden Kapiteln wird genauer auf die einzelnen Technologien eingegangen sowie deren Vor- und Nachteile erörtert.

4.2.1 Unity

Unity ist eine Laufzeit- und Entwicklungsumgebung für Spiele der Firma Unity Technologies. Dem Namen zufolge bedeutet dies jedoch nicht, dass damit hauptsächlich Spiele entwickelt werden können. Durch den großen Funktionsumfang von Unity lassen sich auch Anwendungen entwickeln, welche sinnvoll für Industrie aber auch Museen sind. (Crossplattform-Portierung eingehen) Die Entwicklungsumgebung bietet viele grafische Oberflächen, womit sich ganze 3D-Szenen per Maus gestalten lassen (siehe Abb. 2). Zudem bietet Unity nicht nur eine grafische Benutzeroberfläche, sondern auch viele weitere Funktionen, die im Folgenden aufgelistet werden:

- Grafik gemäß dem aktuellen Stand der Technik
- Animationen, um Charaktere oder andere Modelle animieren zu können

²¹React 360 | <https://facebook.github.io/react-360/> (09.11.2020)

²²React 360 auf GitHub | <https://github.com/facebook/react-360> (09.11.2020)

²³A-Frame auf GitHub | <https://github.com/aframevr/aframe> (09.11.2020)

²⁴A-Frame | <https://aframe.io/> (09.11.2020)

²⁵Three.js | <https://threejs.org/> (09.11.2020)

²⁶Three.js auf GitHub | <https://github.com/mrdoob/three.js/> (09.11.2020)

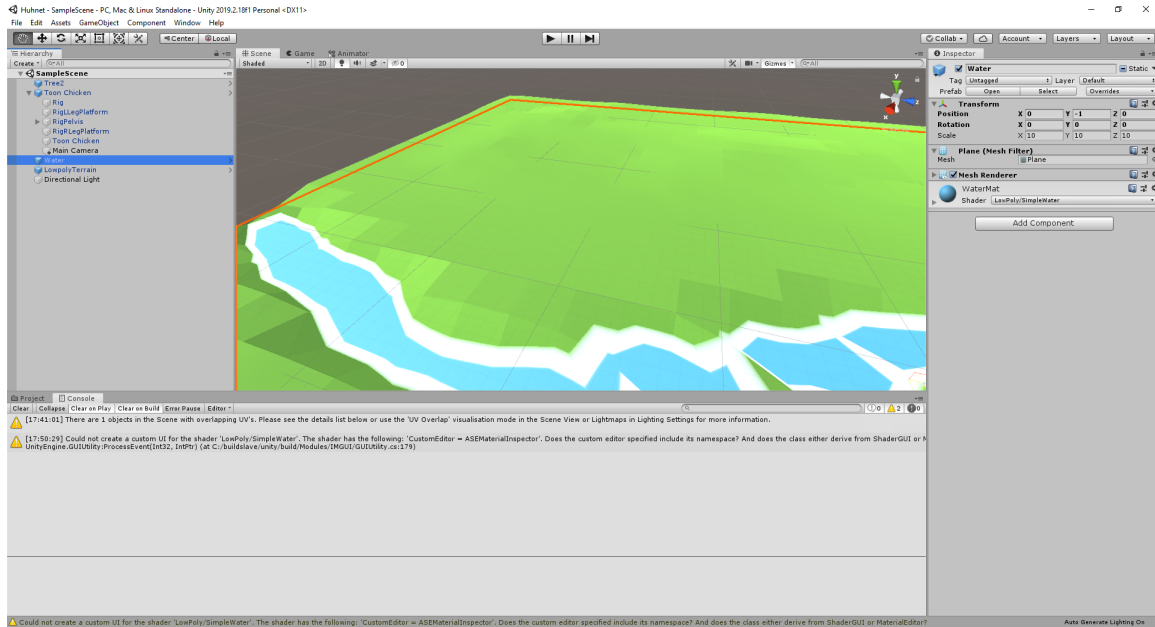


Abbildung 2: Unity Entwicklungsumgebung.

- Physik für das Verhalten von Objekten in einer Welt
- Musik und Geräusche, welche Stereophonie ermöglichen
- Programmierung, um die einzelnen Entitäten durch eigene Skripte zu erweitern
- Toolkits für User Interfaces
- Unterstützung für Netzwerk- und Multiplayer-Anwendungen

Unity bietet eine umfangreiche Dokumentation für jede dieser Funktionen. Entwickelt werden die sogenannten Skripts, welche dann in der Programmiersprache C# zu verschiedenen Entitäten hinzugefügt werden können. Dementsprechend ist eine gewisse Erfahrung in dieser Programmiersprache notwendig, um effektiv Prototypen entwickeln zu können. Unity stellt zusätzlich zu ihrem 3D-Editor die Entwicklungsumgebung MonoDevelop zur Verfügung, mit welcher die Skripte geschrieben sowie Fehlersuche und -beseitigung betrieben werden können. Durch die umfangreiche Benutzeroberfläche und den Funktionen benötigt Unity jedoch eine lange Einarbeitungszeit. Im Rahmen dieses Forschungsprojektes werden jedoch nicht alle Funktionen, die Unity überliefert, benötigt.

Die vorliegende Tabelle stellt zusammenfassend die Vor- und Nachteile der Nutzung von Unity für das eigene Forschungsprojekt dar (siehe Tabelle 1).

Vorteile	Nachteile
Stetige Weiterentwicklung	Lange Einarbeitungszeit
Umfangreicher Funktionsumfang	Überladung an Funktionen
Grafische Benutzeroberfläche inklusive Editor	
Mitgelieferte Entwicklungsumgebung	

Tabelle 1: Vor- und Nachteile der Unity Engine.

4.2.2 Unreal Engine

Die Unreal Engine ist, verglichen mit den anderen Technologien, ähnlich zur Unity Engine. Dennoch hat diese Software einige andere Ansätze. Was sehr ähnlich zur Unity Engine ist, ist der weitläufige Funktionsumfang und die grafische Benutzeroberfläche. Auch mit Hilfe dieser Technologie lassen sich über einen 3D-Editor Entitäten bearbeiten und in Szenen positionieren. Zusätzlich verfügt die Unreal Engine, für Personen die nicht programmieren können, über ein sogenanntes Blueprint-System. Damit lassen sich per Drag and Drop Algorithmen grafisch zusammenstellen. Somit ist Unreal Engine einsteigerfreundlich für Nicht-Entwickler. Wenn jedoch komplexere Algorithmen gewünscht sind, muss die Programmiersprache C++ angewandt werden. Dazu sollten Kenntnisse im Bereich C++ mitgebracht werden. Auch dabei muss, wie bereits bei der Unity Engine aufgezeigt wurde, eine gewisse Einarbeitungszeit berücksichtigt werden.

Das Endprodukt einer Software kann daraufhin sowohl auf viele verschiedene Plattformen als auch in das Web portiert werden. Die Entwicklung von Webanwendungen in der Unreal Engine ist jedoch nur über eine Erweiterung möglich, welche von der Community entwickelt wird. Darin zeichnet sich nicht unbedingt ein Nachteil ab, kann aber unter Umständen problematisch sein. Dies ist von der Aktivität der Community abhängig, die an dieser Erweiterung arbeitet.

4.2.3 React 360

4.2.4 A-Frame

4.2.5 Three.js

4.2.6 Ergebnis

4.2.7 Weitere Hilfsmittel

4.3 Entwicklung der Prototypen

4.3.1 Technischer Prototyp

4.3.2 Lucas Cranachs Werkstatt

5 Ergebnisse

- Hier verwendet man beschriebene Methoden an
- Beschreiben, wie Untersuchung verlaufen ist
- Ergebnisse analysieren

6 Diskussion und Fazit

- Folgen und Ursache der Ergebnisse beschreiben
- Limitationen und Vorschläge für zukünftige Projekte darlegen

-

- Auf wichtigste Ergebnisse eingehen
- Geht auf Einleitung ein, da auf Forschungsfrage eingeht
- Füge keine neuen Informationen und Interpretationen
- Füge keine Beispiele und Zitate ein, bleibe bei den Fakten
- Dein Ergebnis ist immer wertvoll
- Ergebnisse deiner Forschung werden im Präsens geschrieben

7 Anhang

7.1 Abbildungen

7.2 Literaturverzeichnis

Literatur

- Ater, Tal (2017). *Building Progressive Web Apps - Bringing the Power of Native to the Browser*. United States of America, 1005 Gravenstein Highway North, Sebastopol, CA 95472: O'Reilly Media, Inc. ISBN: 978-1-491-96165-0. URL: <https://www.oreilly.com/library/view/building-progressive-web/9781491961643/>.
- Carrozzino, Marcello u. a. (2018). „Comparing Different Storytelling Approaches for Virtual Guides in Digital Immersive Museums“. In: *Augmented Reality, Virtual Reality, and Computer Graphics*. Hrsg. von Lucio Tommaso De Paolis und Patrick Bourdot. Cham: Springer International Publishing, S. 292–302. ISBN: 978-3-319-95282-6.
- Dörner, Ralf u. a. (2013). *Virtual und Augmented Reality (VR/AR)*. Berlin, Deutschland: Springer Vieweg. ISBN: 978-3-662-58860-4. DOI: [10.1007/978-3-662-58861-1](https://doi.org/10.1007/978-3-662-58861-1). URL: <https://www.springer.com/gp/book/9783662588604>.
- Haas Andreas und Rossberg, Andreas u. a. (Juni 2017). „Bringing the web up to speed with WebAssembly“. In: *Proceedings. of the 38th ACM SIGPLAN Conference. on Programming. Language. Design. and Implementation*. 52.6, S. 185–200. ISSN: 0362-1340. DOI: [10.1145/3062341.3062363](https://doi.org/10.1145/3062341.3062363).
- Halpern, Daniel und James Katz (2015). „Can Virtual Museums Motivate Students? Toward a Constructivist Learning Approach“. In: *Journal of Science Education and Technology* 24, S. 776–788. ISSN: 1573-1839. DOI: [10.1007/s10956-015-9563-7](https://doi.org/10.1007/s10956-015-9563-7). URL: <https://doi.org/10.1007/s10956-015-9563-7>.
- Heidsiek, Katie (2019). *Berührt es mich? Virtual Reality und ihre Wirkung auf das Besuchserlebnis in Museen – eine Untersuchung am Deutschen Auswandererhaus*. Deutsches Auswandererhaus Bremerhaven, edition DAH. ISBN: 978-3-9817-8619-4. URL: <https://dah-bremerhaven.de/beruehrt-es-mich-virtual-reality-und-ihre-wirkung-auf-das-besuchserlebnis-in-museen-eine-untersuchung-am-deutschen-auswandererhaus/>.
- Heydenreich, G. u. a. (2017). *Lucas Cranach der Ältere: Meister, Marke, Moderne*. Museum Kunstpalast. ISBN: 978-3-777-42744-7. URL: https://www.hirmerverlag.de/de/titel-87-2/lucas_cranach_der_aeltere-1463/.
- Hünnekens, Annette (2002). *Expanded Museum - Kulturelle Erinnerung und virtuelle Realität*. Bielefeld: transcript. ISBN: 978-3-8394-0089-0. URL: <https://www.transcript-verlag.de/978-3-933127-89-1/expanded-museum/>.

- Slater, Mel (2009). „Place illusion and plausibility can lead to realistic behaviour in immersive virtual environments“. In: *Phil. Trans. of the Royal Society B* 364: 3549–3557. DOI: <http://doi.org/10.1098/rstb.2009.0138>.
- 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. DOI: [10.1162/105474698565686](https://doi.org/10.1162/105474698565686). eprint: <https://doi.org/10.1162/105474698565686>. URL: <https://doi.org/10.1162/105474698565686>.

7.3 Abbildungsverzeichnis

7.4 Eidesstattliche Erklärung