

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	2
2	Grundlage und Datenbasis	2
2.1	Das Cranach Digital Archive	2
2.1.1	Lucas Cranach der Ältere	3
2.1.2	Martin Luther als Junker Jörg	4
2.2	Konzept und Nutzung von Virtual Reality	4
3	Theoretische Einordnung	5
3.1	Aktueller Forschungsstand von Virtual Reality	6
3.1.1	Entstehung	6
3.1.2	Wahrnehmungsaspekte	7
3.1.3	VR-Brillen	9
3.1.4	Native und webbasierte Anwendungen	11
3.1.5	Aktuelle Technologien	13
3.2	Virtual Reality im musealen Kontext	13
3.2.1	Chancen und Risiken	14
3.2.2	Lerneffekt durch Emotionen	15
3.2.3	Umsetzung	16
3.2.4	Aktuelle Lösungen	16
4	Prototyping	16
4.1	Auswahl der Technologie	16
4.2	Umsetzung der Softwareentwicklung	16
5	Ergebnisse	16
6	Diskussion und Fazit	16
7	Anhang	17
7.1	Abbildungen	17
7.2	Literaturverzeichnis	17
7.3	Abbildungsverzeichnis	18
7.4	Eidesstattliche Erklärung	18

1 Einleitung

Virtual Reality ist nicht mehr nur Zukunftsmusik oder ein Anwendungsbereich für Forscher großer Konzerne. Immer mehr rückt Virtual Reality in 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 worden, 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. Da man von der realen Welt losgelöst ist, entstehen 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 ein oder mehrere Prototypen entwickelt werden, die zeigen, wie man Virtual Reality im Bereich Kunst und Kultur anwenden kann. Dabei sollen die aktuellsten Technologien miteinbezogen und abgewägt werden, mit welcher Technologie die besten Ergebnisse erzielt werden können.

2 Grundlage und Datenbasis

In diesem Kapitel werden auf die Grundlagen von Virtual Reality, auf Lucas Cranach der Ältere und auf das Cranach Digital Archive eingegangen. Letzteres stellt die Datenbasis für dieses Projekt dar, welche in der Entwicklung der Prototypen eingesetzt wird. Dieses Grundwissen wird für das nächste Kapitel benötigt, welches sich tiefergründiger mit Virtual Reality und der Kunstwerke von Lucas Cranach beschäftigt.

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 Internet zugänglich ist. Bei den digitalisierten Aufnahmen der Werke handelt es sich nicht

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)

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 und ermöglichten gemeinsam eine moderne Auffassung der Kunst. Lucas Cranach d. Ä. wurde 1472 als Sohn eines Malers namens Hans Moller geboren und wurde auch von ihm in der Zeichenkunst unterrichtet. Obwohl er früh mit dem Malen begonnen hat, wird Lucas Cranach d. Ä. erst in Wien um 1502 als Künstler greifbar. Um 1504/05 rum verlässt er Wien und nimmt den Beruf des Hofmalers in Wittenberg für Friedrichs III. entgegen, von dem er auch sein zukünftig verwendetes Wappen verliehen bekommen hat. 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 seinem 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 Lucas Cranach d. Ä. Tod stand er im Dienst dieser drei Kurfürsten. Lucas Cranach d. Ä. zeichnete sind nicht nur in seiner Qualität der Gemälde aus, sondern war auch dafür bekannt produktiv zu arbeiten. Im Gegensatz zu seiner Konkurrenz malte er nicht einfach nur seine Gemälde an einem einfach Ort, 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 Lucas Cranach d. Ä. einzelne Gemälde mehrfach zu drucken. Er war aber nicht nur als Künstler erfolgreich, sondern belegte in Wittenburg zwischen 1519 und 1544/45 das Amt des Ratsherren, einige Jahre davon auch als Kämmerer oder Bürgmeister. Die letzten Jahre 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 Ranach d. Ä. Johann Friedrich I. in die Gefangenschaft und verblieb dort von 1547 - 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 war aufgrund seiner Qualität, Produktivität und humanistischem Denken, welches sich vor allem in den Gemälden seiner Wiener Zeit widerspiegelt, seiner Zeit voraus und legte 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 Lucas Cranach d. Ä. künstlerischem Talent und Produktivität. Martin Luther nahm sogar nachweislich die Dienste von Lucas Cranach d. Ä. für Tiefenholzschnitte entgegen, welche sogar für theologische Argumentationen benutzt wurden. Lucas Cranach d. Ä. trug aber auch dazu bei, dass es ein öffentliches Bild von Martin Luther gab und versuchte dieses auch 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 auch 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, weswegen Werke und Gemälde, die miteinander verwandt oder in Beziehung stehen, bereits miteinander 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 setzen, 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

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

optional mit einem Computer verbinden. Bei VR-Displays werden stereoskopische Verfahren angewandt [Dörner u. a., 2013, S. 13], wodurch Objekte, die man durch die VR-Brille sieht, 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 der Blickpunkt des menschlichen Auges, wird die virtuelle Welt neu generiert und zwar aus dem Blickwinkel, in welches das menschliche Auge in der virtuellen Welt schaut. 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. Gerade Museen oder Kunstgalerien können von Virtual Reality profitieren, da man auf diesem Weg die Kunst auf verschiedene Wege übermitteln kann. Man 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 Kulturinteressierte, 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 wie es aktuell für Museen eingesetzt wird.

3 Theoretische Einordnung

In diesem Kapitel wird sich genauer mit dem Thema Virtual Reality beschäftigt, was der aktuelle Forschungsstand dieser Branche ist und welche Lösungen es bereits auf dem Markt gibt. Mit Hilfe von Fachliteratur zu diesem Themenbereich sollen die aufgeworfenen Forschungsfragen beantwortet werden können. 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

Die Idee Kunst in einer virtuellen Realität darzustellen ist keine einzigartige Idee. Bereits andere Museen wagten sich daran und stellten Konzepte her, sammelten Erfahrungsberichte und entwickelten eigene Produkte⁵. Es ist aber auch ein richtiger und verständlicher Schritt, dass Virtual Reality immer mehr im musealen Bereich Anwendung findet. Denn Museen versuchen Gefühle, Erfahrungen und 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 Interesse an neuartigen Technologien im Museum vorhanden ist [Heidsiek, 2019, S. 34]. Die Besucher erhoffen sich dadurch, dass die Museen unterhaltsamer, lehrreicher und zugänglicher werden [Heidsiek, 2019, S. 34]. Gerade Virtual Reality lässt Museen und Informationen zugänglicher werden, denn die Besucher sind nicht mehr gezwungen das Museum physisch zu besuchen. Der Anwendungsbereich ist vielfältig und die Technologie zwar nicht neu, jedoch noch nicht ausgereizt.

3.1.1 Entstehung

Virtual Reality ist genau genommen 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 NASA erstmals mit dem Projekt VIEW (Virtual Environment Interface Workstations) einen multisensorischen Arbeitsplatz welche 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 verkaufte. Der 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-Oriented 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, ein Bereich der Luft- und Raumfahrt. 1988 kamen mehr und verschieden hochwertige Arbeitsplätze für 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-

⁵Heidsiek, 2019.

Softwaresysteme auf den Markt. Die nächste große technologische Innovation kam vom Unternehmen SensAble Technologies Inc. auf den Markt, welches vom Massachusetts Institut of Technologies gegründet wurde. SensAble entwickelte ein haptisches Gerät namens „PHANtom“ welches man berühren und daraufhin eine Kraftrückkopplung spüren konnte. Anfang der 90er Jahre, nachdem schon einige technische Innovationen auf dem Markt erschienen sind, wurden viele wichtige Forschungen im Bereich der Virtual Reality unternommen, welche sich aber auch vor allem auf Stereoleinwände konzentriert haben. Nach den Tracking-Systemen auf Basis von Elektromagnetismus folgten Systeme auf Basis von Ultraschall. Gegen 2000 wurde auch der Ultraschall 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, was umfangreichere Forschungen erlaubte, da der Preis um ein fünftel gesenkt werden konnte. Historisch betrachtet hat auch Deutschland einige Unternehmen vorzuweisen, die sich bereits seit 1998 mit VR-Systemen beschäftigen. VRCOM, RTT und IC:IDO sind nur ein paar davon. Ein ständiger Austausch zum Wissenschaftsgebiet Virtual Reality fand 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 sogar 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 Sinneseindrücke 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 Technologie 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 visuelle, akustische und haptische 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, Veränderung der räumlichen Position und 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 an die Anzahl der ausführbaren Aktionen innerhalb der virtuellen Welt [Slater, 2009]. Der technologische Fortschritt der heutigen VR-Brillen hilft sehr bei der Entwicklung von virtuellen Welten,

jedoch müssen auch die durchführbaren Aktionen gut umgesetzt sein. Denn eins der wichtigsten Aspekte für das Wahrnehmen von virtuellen Welten ist das Gefühl der Präsenz [Slater, 2009]. Die Präsenz beschreibt das Gefühl, dort zu sein [Slater, 2009]. Dabei weiß der Benutzer jedoch zu jedem Zeitpunkt, dass er nicht wirklich dort ist [Slater, 2009]. Der Aspekt Präsenz lässt sich in drei Unteraspekte aufteilen: Das Gefühl der Ortsillusion, Plausibilitätsillusion und 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 sicherstellt. 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 zuvor erwähnte blickpunktabhängige Bildgenerierung der VR-Brille (siehe Kapitel 2.2) [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], 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 selbst ausgelöst, wird jedoch in das Geschehen eingebunden. Eine Plausibilitätsillusion entsteht, obwohl das Szenario unrealistisch ist. Die Plausibilitätsillusion kann 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 dort zu sein realer erscheint, 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 auf einem Hochhaus befindet und die Kante herunterschaut. Dementsprechend verstärkt sich das Gefühl, als würde der Benutzer sich dort befinden und das aktuelle Geschehnisse gerade passieren. Jedoch immer mit dem Wissen, dass die aktuelle Situation simuliert wird. Und dennoch empfinden Benutzer diese Illusionen. Es lässt sich also von einer immersiven virtuellen Realität sprechen, 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 [Sla-

ter, 2009]. Diese Aspekte stellen auch Gefühle dar, welche der Benutzer empfinden kann während seiner Erfahrung und die es gilt gut umzusetzen. Die Ortsillusion kann schnell gebrochen werden, jedoch lässt sich diese wieder schnell aufnehmen [Slater, 2009]. Anders ist die Plausibilitätsillusion, welche schwer zu erreichen ist und ist diese einmal gebrochen, kann diese 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 man kommunizieren kann, welcher aber nur in sehr einfachen Phrasen antwortet [Dörner u. a., 2013, S. 19]. Die Glaubwürdigkeit der Illusion geht 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. Die Involviertheit beschreibt die Höhe der Aufmerksamkeit und des Interesses des 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, Gesamtausmaß und Latenz des Trackings, der Grad des Sichtfelds und die visuelle Qualität der Umgebung und ihrer Objekte [Slater, 2009]. Unter Berücksichtigung dieser Gesichtspunkte lassen sich qualitativ hochwertige virtuelle Realitäten entwickeln, welche durch das Ansprechen der richtigen Gefühle des Benutzers eine erfolgreiche Nutzungserfahrung hervorbringt.

3.1.3 VR-Brillen

(Etwas mehr auf die Technik dahinter eingehen?) Neben den ganzen Aspekten, die es zu berücksichtigen gibt für die Erstellung von Nutzungserfahrungen innerhalb virtueller Welten, muss das technische System auch diese Aspekte abbilden können. In der heutigen Zeit haben sich VR-Brillen in Kombination mit 3D-Eingabegeräte durchgesetzt. Diese sind mittlerweile sehr kompakt, leistungsstark und preislich erschwinglich. Dadurch, dass Hardware kleiner und günstiger wird, kann man den Trend beobachten, dass VR-Brillen auch ohne einen stationären Computer funktionieren. Der Vorteil von VR-Brillen, im Gegensatz zu Projektionssystemen, ist die Möglichkeit diese überall anziehen und nutzen zu können [Dörner u. a., 2013, S. 129]. Dementsprechend haben sich Head-Mounted-Displays als VR-Systeme im Massenmarkt durchgesetzt, da diese kompakt sind und nicht zwingend einen Computer benötigen. Je nach Anwendungsfall ist sogar eine VR-Brille nicht notwendig, da heutige mobile Endgeräte wie Smartphones bereits genügend Leistung für eine Echtzeit-Simulation mitbringen. Dementsprechend gibt es Aufsätze für das Smart-



Abbildung 1: Google Cardboard für Smartphones

phone, womit es sich in eine VR-Brille umfunktionieren lässt (siehe Abb. 1) ⁶. Da diese Lösung sehr kostengünstig und einfach umzusetzen ist, gilt dies als gute Einstiegsmöglichkeit für VR-Interessierte oder Personen, die gerne VR-Erfahrungen erleben würden, sich jedoch nicht eine autarke VR-Brille leisten möchten. Doch ist man durch das Fehlen der 3D-Eingaberäte bei dieser Lösung, je nach Anwendungsfall, etwas eingeschränkt. Je nach 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. Deshalb ist eins der kritischsten Kriterien bei einer VR-Brille die Bildschirmauflösung [Dörner u. a., 2013, S. 134]. Aktuelle Unternehmen die sich mit VR-Brillen beschäftigen und diese Tech-

⁶Google Cardboard | <https://arvr.google.com/cardboard/> (18.10.2020)

nologie maßgeblich vorgeben, sind unter anderem Facebook mit Oculus⁷, HTC mit Vive⁸, Playstation mit PlaystationVR⁹ und Valve Corporation mit der Valve Index¹⁰. Samsung beschäftigt sich ebenfalls mit Virtual Reality, jedoch bieten diese nur eine hochwertige Brille an ohne Rechenleistung. Für den vollständigen Funktionsumfang wird ein Samsung Smartphone vorausgesetzt¹¹. Auch Nintendo hat mit ihrer Konsole Nintendo Switch den Weg zu Virtual Reality gefunden¹². Das VR-Set für die Nintendo Switch bietet sich gut für Kinder an, um erste Erfahrungen mit Virtual Reality machen zu können. Aber auch Google ist in diesem Markt involviert, wie man an der zuvor erwähnten Google Cardboard (siehe. Abb. 1) sehen kann, bieten jedoch keine VR-Brille mit integrierter Hardware.

3.1.4 Native und webbasierte Anwendungen

Viele VR-Brillen bedeuten auch viele SDKs die damit einhergehen. VR-Anwendungen können heutzutage mit Hilfe von vielen Programmen oder Frameworks entwickelt werden. Dabei bestehen die Möglichkeiten, nativ für eine Plattform zu entwickeln oder auf webbasierte Anwendungen zurückzugreifen, die plattformunabhängig funktionieren. Beide Wege bieten ihre Vor- und Nachteile, sind deshalb vom jeweiligen Anwendungsfall abhängig. Native Lösungen bieten in der Softwareentwicklung eine bessere 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 auf das jeweilige Ökosystem optimiert sind. 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 jedoch zu einer universellen Programmiersprache entwickelt und findet Anwendung in fast allen Gebieten der Softwareentwicklung. Die Entwicklung der letzten Jahre hat gezeigt, dass der Mensch weniger Zeit im Internet vor dem PC verbringt, sondern hauptsächlich mobil [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. Diese Funktionen sind nicht mehr nur nativen Anwendungen

⁷Oculus | https://www.oculus.com/?locale=de_DE (18.10.2020)

⁸HTC VIVE | <https://www.vive.com/de/> (18.10.2020)

⁹PlaystationVR | <https://www.playstation.com/de-de/explore/playstation-vr/> (18.10.2020)

¹⁰Valve Index | <https://www.valvesoftware.com/de/index/headset> (19.10.2020)

¹¹Samsung Gear VR | <https://www.samsung.com/de/wearables/gear-vr-r323/> (18.10.2020)

¹²Nintendo Labo VR-SET | <https://www.nintendo.de/Nintendo-Labo/Nintendo-Labo-1328637.html> (18.10.2020)

vorenthalten, sondern auch das Web als Plattform hat sich weiterentwickelt. Sogenannte Progressive Web Apps erlauben sich an native Funktionen der Plattform zu bedienen, bieten jedoch weiterhin die Flexibilität die das Web mit sich bringt [Ater, 2017, S. 2]. ServiceWorker machen es möglich, webbasierte Anwendungen offlinefähig zu gestalten, Push-Benachrichtigungen können auch von Webseiten verschickt werden und über jeden modernen Browser lassen sich Desktop- oder Startbildschirmverknüpfungen anlegen [Ater, 2017, S. 5–6]. Durch das Ausblenden der URL-Leiste des Browsers und Ausführen der webbasierten Anwendung im Vollbildmodus, fühlen sie sich wie native Anwendungen an [Ater, 2017, S. 6]. Ist das Ziel einer Anwendung diese möglichst zugänglich zu machen, ist die Entwicklung einer webbasierten Lösung vorteilhaft, da man plattformunabhängig entwickeln kann und, sobald der Benutzer auf der Webseite ist, dieser direkt am Ziel ist. Es muss kein zusätzlicher Download oder eine zusätzliche Installation erfolgen und das Pflegen mehrerer Versionen in den verschiedenen App Stores entfällt. Der Benutzer kann unabhängig seiner Plattform und Gerät die Anwendung benutzen. Da der Benutzer an keine Plattform gebunden ist, gibt es dementsprechend auch ein vielfaches mehr an potenziellen Benutzern [Ater, 2017, S. 3]. Es ist zunehmend schwieriger geworden Benutzer zu einem Download einer App zu motivieren [Ater, 2017, S. 3]. Die meisten Benutzer gehen bereits auf dem Weg zum jeweiligen Store und die darauffolgende Installation verloren [Ater, 2017, S. 4]. APIs 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]. Selbst Virtual Reality findet Anwendung im Browser durch die WebXR-Schnittstelle (ehemals WebVR) [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. WebAssembly¹³ 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 man nahezu native Leistung mit einer webbasierten Anwendung erreichen [Haas u. a., 2017, S. 186]. Da WebAssembly über den Browser ausgeführt werden kann, bleibt weiterhin die Plattformunabhängigkeit geboten. Jedoch ist WebAssembly noch nicht so verbreitet wie JavaScript und bietet deshalb weniger Technologien und Möglichkeiten, damit VR-Anwendungen zu entwickeln. Zum aktuellen Zeitpunkt bietet die Unity Engine die Möglichkeit, unter anderem VR-Anwendungen mit Hilfe ihrer Engi-

¹³Offizielle WebAssembly Webseite | <https://webassembly.org/> (02.11.2020)

ne zu entwickeln und diese für moderne Browser zu exportieren¹⁴. Unreal Engine ist noch nicht auf WebAssembly umgestiegen, kompiliert den Code weiterhin zu JavaScript und hat die HTML5-Entwicklung sogar als Erweiterung ausgelagert, die durch die Community weiterentwickelt werden soll¹⁵. Da es in der klassischen Softwareentwicklung nicht sinnvoll ist in Assemblersprache zu entwickeln, macht es genau so 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 als Software zu nutzen, um VR-Anwendungen auf Basis von WebAssembly zu generieren. Nach wie vor ist die Entscheidung, ob man nativ oder für das Web entwickelt, abhängig vom Anwendungsfall. Für das Cranach Digital Archive bietet sich eine webbasierte Lösung an, da die Darstellung von Gemälden und Archivalien keine hochkomplexen Berechnungen benötigen. Das aktuelle Archiv ist über das Internet zu erreichen und lässt sich auf Desktop-PCs und mobile Endgeräte betrachten. Das Archiv ist bereits über die größte Plattform zu erreichen, dementsprechend sollte die VR-Lösung ebenfalls zugänglich über das Web 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 ebenfalls, was oft viel Zeit und Ressourcen in Anspruch nimmt [Ater, 2017, S. 248]. Da webbasierte Anwendungen die wenigsten Ressourcen für eine hohe Zugänglichkeit benötigen, bietet sich dieser Entwicklungsansatz auch für das Forschungsprojekt an, 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 einzigartige Idee. Bereits andere Museen wagten sich daran und stellten Konzepte her, sammelten Erfahrungsberichte und entwickelten eigene Produkte. Es ist aber auch ein richtiger und verständlicher Schritt, dass Virtual Reality immer mehr im musealen Bereich Anwendung findet. Denn Museen versuchen Gefühle, Erfahrungen und 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 Fantasiewelten der Künstler wahrnehmen, um ein besseres Verständnis für ihre Kunst zu erlangen. Umfragen ergaben, dass ein Interesse an neuartigen Technologien im Museum vorhanden ist [Heidsiek, 2019, S. 34]. Die Besucher erhoffen sich dadurch, dass die Museen unterhaltsamer, lehrreicher und zugänglicher werden [Heidsiek, 2019, S. 34]. Gerade Virtual Reality lässt

¹⁴WebAssembly in Unity | <https://blogs.unity3d.com/2018/08/15/webassembly-is-here/> (02.11.2020)

¹⁵Unreal Engine Dokumentation für HTML5 Development | <https://docs.unrealengine.com/en-US/Platforms/HTML5/index.html> (02.11.2020)

Museen und Informationen zugänglicher werden, denn die Besucher sind nicht mehr gezwungen das Museum physisch zu besuchen. Der Anwendungsbereich ist vielfältig und die Technologie zwar nicht neu, jedoch noch nicht ausgereizt. Doch birgen neue Technologien neben ihren Chancen aus 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 erwartet. Da das Cranach Digital Archive nicht das erste Museum ist, welches Kunst digitalisiert, sollen bereits entwickelte Produkte analysiert und werden deren Erkenntnisse und Ideen dabei helfen, bereits begangene Fehler zu vermeiden 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 Standorts des 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 wieder eine neue Möglichkeit Informationen innovativ zu übermitteln [Heidsiek, 2019, S. 52]. So wird das Museum als Stätte des Wissens effizienter und ermöglicht mehr Menschen zu erreichen, als es vorher möglich war. Das Cranach Digital Archive geht hier mit gutem Beispiel voran und bietet eine riesige und strukturierte Datenbank an Wissen 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]. Durch diese schier unendlichen Möglichkeiten kommt jedoch auch eine ethische Verantwortung mit sich, wie man kunsthistorische Gegenstände präsentiert. Das Loslösen von Raum und Zeit kann sich negativ auf die historischen Inhalte auswirken [Hünnekens, 2002, S. 141]. Man spricht hier sogar von Entweihung der historischen Gegenstände [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]. Das kann aber vermieden werden, in dem kenntlich gemacht wird, was wirklich war oder 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]. Durch fotorealistische Darstellungen von unwahren Ereignissen oder Objekte können verstärkt dazu führen, dass der Benutzer überzeugt von der fälschlichen Tatsache 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. Doch 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 Museumsbesuch die Originalobjekte sind [Heidsiek, 2019, S. 79]. Originale Ausstellungsstücke haben nach wie vor einen nicht reproduzierbaren Charakter, welcher sich in einer virtuellen Realität darstellen lässt [Heidsiek, 2019, S. 93]. Im Gegenteil, Darstellungen von Originalobjekten als Kopie in einer virtuellen Welt schwächt sogar die Authentizität dieser [Heidsiek, 2019, S. 93]. Deshalb 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 Museumsbesuch sind, lassen sich durch den Einsatz von Virtual Reality neue und intensivere Emotionen hervorrufen. Empfundene Emotionen bei einem Lernprozess tragen nachweislich zu einem erhöhten Lernerfolg bei [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 konnten.

3.2.2 Lerneffekt durch Emotionen

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 ist hierbei eine effektive Methode [Heidsiek, 2019, S. 35–39]. Bei VR-Erfahrungen 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 jedoch logisch erscheint. Denn durch Virtual Reality liegt der Fokus nicht nur auf genau einem einzigen Objekt, sondern meist auf eine ganze Szene. Doch die erfahrungsbezogenen Emotionen sind diejenigen, die einen besseren Lerneffekt mit sich bringen und Museen werden 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 Ausstellungsstücke liegt. Selten werden mehrere Ausstellungsstücke gemeinsam in Szene gesetzt.

3.2.3 Umsetzung

3.2.4 Aktuelle Lösungen

4 Prototyping

Das Prototyping ist eine Methode in der Softwareentwicklung, um schnell an Ergebnisse zu gelangen. Anhand eines Prototypen kann schnell erkannt werden, ob eine Idee technisch umsetzbar ist und was noch benötigt wird, um das Produkt zu verbessern. Je nach Fortschritt des Prototypen können auch schon Nutzererfahrungen und Feedback gesammelt werden. Diese Methode wird in diesem Forschungsprojekt angewandt, um mehrere Ergebnisse zu erzielen und zu erörtern, welche technischen Möglichkeiten heutzutage existieren. [Bertsche und Bullinger, 2007]

4.1 Auswahl der Technologie

4.2 Umsetzung der Softwareentwicklung

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/>.
- Bertsche, Bernd und Hans-Jörg Bullinger (2007). *Entwicklung und Erprobung innovativer Produkte — Rapid Prototyping*. Berlin, Deutschland: Springer. ISBN: 978-3-540-69879-1. DOI: [10.1007/978-3-540-69880-7](https://doi.org/10.1007/978-3-540-69880-7). URL: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-540-69880-7>.
- 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).
- 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