

Bachelorarbeit VR Fresken

Julien Rodewald

Zusammenfassung

Das Projekt VR Fresken setzte sich zum Ziel, mit Hilfe von virtueller Realität im Rahmen einer Museumsausstellung historisch rekonstruierte Räume und deren Deckenfresken interaktiv erlebbar zu machen. In dieser Arbeit werden die eingesetzten Techniken und Technologien beleuchtet, der Anwendungsfall der VR für den Einsatz im Museum untersucht, sowie eine Evaluation der Software im Alltagsbetrieb im Museum durchgeführt.

1. Zielsetzung des Projektes

Für den Zeitraum vom 8. Juni bis zum 30. September 2018 fand im Mittelrheinmuseum Koblenz eine Sonderausstellung mit dem Titel "Das Erbe der Väter. Mit der Malerfamilie Zick durch zwei Jahrhunderte" statt, in deren Rahmen Werke von fünf Mitgliedern der Malerfamilie Zick ausgestellt wurden. Ziel dieser Ausstellung war es, die besondere Bandbreite des Schaffens der Malerfamilie durch mehrere Epochen, Techniken, und Gattungen zu beleuchten. Hierzu werden eine große Zahl von Werken der Familienmitglieder Johann Zick, Januarius Zick, Conrad Zick, Gustav Zick, und Alexander Zick ausgestellt. Neben der Vielzahl an Malereien schufen einige Mitglieder der Familie zahlreiche Deckenfresken. [MRM] Die Ausstellung solcher Fresken ist durch ihre Immobilität und Größe mit besonderen Schwierigkeiten verbunden. Da ein Transport eines Originals nahezu ausgeschlossen ist, bleibt hier nur die Möglichkeit einer Reproduktion. Für die Ausstellung wurde geplant, eine Freske aus dem Dianasaal des Schloss Engers, sowie zwei nicht im Original erhaltene Fresken aus dem Kurfürstlichen Schloss Koblenz für die Öffentlichkeit zu präsentieren. Im Vorfeld bestand also zum Einen die Problematik, die beiden nur fotografisch dokumentierten Fresken aus dem Schloss Koblenz zu rekonstruieren, und zum Anderen, ein geeignetes Medium für die Präsentation zu wählen und die Inhalte dafür zu gestalten. Dabei wurde von Anfang an darauf abgezielt, auch potenziell digitale Medien einzusetzen. Zu diesem Zweck wurde eine Zusammenarbeit mit dem Institut für Computervisualistik und dem Institut für Kunstwissenschaft, Arbeitsbereich Digitale Medien der Universität Koblenz-Landau in die Wege geleitet. Ein frühes Konzept für

die Darstellung der Fresken sah vor, diese als Projektion an die Decke des Treppenhauses abzubilden. Vor Beginn der Projektarbeit wurden verschiedene Medien diskutiert, die zum Einsatz kommen könnten. Dabei wurde auch die Möglichkeit erörtert, die Inhalte dynamisch und Interaktiv zu gestalten, um zusätzliche Informationen abrufbar zu machen. Als Alternative zur Deckenprojektion wurden als andere Medien auch Bildschirme, klassische vertikale Projektionen, und Headmounted Displays in Betracht gezogen. Das Fresko als künstlerisches Medium ist immer gebunden an den architektonischen Kontext, für den es erschaffen wurde. Hieraus wurde geschlossen, dass eine Rekonstruktion nicht nur des Freskos selbst, sondern auch der umliegenden Räume ein wichtiges Element für eine vollständige Wiedergabe ist. Eine räumliche Rekonstruktion bietet weitreichende Möglichkeiten zur Darstellung, da die Perspektive frei gewählt werden kann und somit ein umfassender räumlicher Eindruck vermittelt werden kann. Um die Möglichkeiten einer 3D-Rekonstruktion möglichst auszuschöpfen, wurde eine stereoskopische Darstellung erwogen, etwa über eine Projektion oder einen Monitor. Auch eine Steuerung der Perspektive durch Besucherinnen und Besucher erschien als vorteilhaft. Projektionen wurden für ungeeignet für die Umsetzung empfunden, da vorhandenes Streulicht den Kontrast stark mindert und die Bildqualität beeinträchtigt. Bildschirme haben dieses Problem nicht, jedoch schränkt die durch hohe Anschaffungskosten eingeschränkte Größe potenziell die Bildwirkung ein. HMDs wurden daraufhin als das ideale Medium für die Präsentation der Fresken identifiziert, da sie eine gute Bildqualität liefern, eine große Abdeckung des Blickfeldes ermöglichen, ei-

ne Steuerung der Perspektive durch Betrachter ohne hohe Lernhürden möglich ist, und eine besonders effektive stereoskopische Darstellung der rekonstruierten Räume möglich ist. Damit fiel die Wahl des Mediums auf die virtuelle Realität. Basierend auf dieser Entscheidung wurden die Aufgaben für die Gestaltung des Exponates für das Mittelrheinmuseum wie folgt definiert: zunächst war es notwendig, die koblenzer Fresken anhand des vorhandenen Bildmaterials zu rekonstruieren. Die zugehörigen Räume sollten mit Hilfe von Archivmaterial nach bestem Wissen ebenfalls rekonstruiert werden, um den architektonischen Kontext für die Fresken herzustellen. Weiterhin sollte der Dianasaal des Schloss Engers dokumentiert und ähnlich den anderen Räumen virtuell betrachtbar gemacht werden, hierfür wurden eine vollständige Rekonstruktion und eine einfaches 360° Panorama in Betracht gezogen. Und letztlich sollten die rekonstruierten Inhalte in einer geeigneten Form interaktiv erkundbar durch ein HMD visualisiert werden. Für die Realisierung dieser Vorhaben wurde der Kurs Öpenspace: VR Fresken ins Leben gerufen, in dessen Rahmen unter der Leitung von Dr. Markus Lohoff, Leiter des Bereichs Digitale Medien, die Inhalte erstellt und das gesamte Exponat ausgestaltet werden sollten. Die Gestaltung eines Interaktionskonzeptes und der nötigen Software wurden dem Autor der Arbeit anvertraut und stellen die Grundlage dieser Arbeit dar.

2. Grundlagen der VR-Technik

Virtuelle Realität als Begriff wird für eine Vielzahl unterschiedlicher Technologien und Präsentationsformen verwendet. Im Folgenden soll ein Überblick über die Entwicklung und technische Grundlagen der VR gegeben werden. Weiterhin wird eine Definition von VR festgelegt, die von dieser Arbeit verwendet wird. Der Begriff „Virtuelle Realität“ lehnt sich an den entsprechenden Begriff Virtual Reality aus dem Englischen. Virtuell wird vom Duden definiert als nicht echt, nicht in Wirklichkeit vorhanden, aber echt erscheinend. Entsprechend ist virtuelle Realität definiert eine echt erscheinende Simulation einer Wirklichkeit.

2.1. Historische Entwicklung

Ein früher Versuch, Personen den Eindruck einer nicht tatsächlich vorhandenen Umgebung zu vermitteln, findet sich in Panoramischen Gemälden ab circa 1800.

„At the turn of the eighteenth to the nineteenth century a new form of display, the panorama, was developed by a combination of art and technology in order to achieve a maximum effect of the illusionistic representation of landscapes. Panoramas aimed to depict scenes or objects as accurately as possible by an

application of optical principles such as tilted planes, curved painted backgrounds and modified scales of objects to reinforce the illusion through false perspective of a realistic view of a large scene in a compact space.“([CK15] nach Buddemeyer 1970)

Das ausdrückliche Ziel dieser Einrichtungen war es, einen überzeugenden Eindruck einer nicht tatsächlich vorhandenen Umgebung zu vermitteln. Die Entdeckung des stereoskopischen Sehens durch Charles Wheatstone im Jahr 1838 leistete einen wichtigen Beitrag zu dem, was später virtuelle Realität werden sollte. Das von ihm konstruierte Gerät erlaubt einen Blick auf zwei Bilder mit leicht unterschiedlicher Perspektive mit je einem Auge. Darauf aufbauend wurden Stereoskope entwickelt, die durch den Einsatz von Linsen und Prismen eine kompaktere Bauform ermöglichten. Die Kombination mit der Fotografie ermöglichte es, ein realitätsgetreues, plastisches Bild darzustellen, jedoch mit statischer Perspektive. Viele Arbeiten zitieren das Sensorama als einen wichtigen Vorläufer der VR. Hierbei handelte es sich um ein Gerät, in dem stereoskopische Filmaufnahmen mit einer hohen Abdeckung des Sichtfeldes mit ergänzenden Stimuli wie Wind, Geruch, und Vibrationen kombiniert wurden. [?] Durch das Nutzen zusätzlicher Sinne wurde eine umfassendere Simulation der Umgebung angestrebt, jedoch sind Betrachter*innen hier ebenfalls auf eine fest durch das Medium vorgegebene Perspektive beschränkt. Ivan Sutherland postulierte 1965, dass die Änderung der Perspektive als Reaktion auf die Kopfbewegung der*des Betrachter*in ein wesentlicher Faktor für einen überzeugenden Raumeindruck ist. Während die Panoramen bereits teilweise dieser Anforderung nachkamen, sind Stereoskope, klassische Bildschirme, und auch das Sensorama nicht in der Lage, entsprechende Darstellungen zu liefern. Sutherland konstruierte ein Gerät mit der Bezeichnung „Headmounted three-dimensional display“, das den Anforderungen seiner Hypothese nachkommen sollte. Dabei handelte es sich um ein am Kopf befestigtes Gerät, das dem*der Betrachter*in eine entsprechend der Kopfposition perspektivisch richtige und in Echtzeit aktualisierte Ansicht einer einfachen virtuellen Szene lieferte. Dabei wurde die Position und Orientierung des Headmounted Displays durch ein akustisches Tracking-System ermittelt und an einen Grafikkomputer übermittelt, der dann das entsprechende Bild an das Display lieferte. Diese Form des Displays wurde das Vorbild für etliche weitere Headmounted Displays mit ähnlichem Aufbau. Für lange Zeit blieben Geräte durch ihre Unerschwinglichkeit industriellen Anwendungen und der Forschung vorbehalten. In den 1990er Jahren gab es Versuche, für Endverbraucher erschwingliche Headmounted Displays für Spielkonsolen zu vertreiben, wie zum Beispiel den Nintendo

Virtualboy. Der Erfolg war mäßig, und das Gerät stellte nur eine statische oder durch den Spieler kontrollierte stereoskopische Ansicht dar. Im Jahr 2012 erfuhr die Virtuelle Realität als Konzept ein neu erwecktes Interesse durch die Öffentlichkeit, angetrieben durch eine Kickstarter-Kampagne zur Kommerzialisierung des Oculus Rift HMD. Die gegenüber vorherigen Geräten stark verbesserte Leistung des Gerätes läutete eine Periode intensiver Forschung und Entwicklung ein, die zum Zeitpunkt des Erscheinens dieser Arbeit weiter anhält. Konkurrierende Systeme sind erschienen, und es bestehen durch die Unterstützung der Hardware durch mehrere Game Engines erweiterte Möglichkeiten, Inhalte für diese Plattform zu erstellen. Neben zahlreichen Computerspielen werden auch Anwendungen in diversen anderen Bereichen entwickelt, wie etwa anderweitige Unterhaltung, Lehre, Datenvisualisierung, und zur Behandlung von Phobien. Weitere Entwicklungen wie Rundum-Projektionen, Laufbänder, und Force-Feedback spielen für diese Arbeit keine Rolle und werden nicht weiter behandelt.

2.2. Definition

Wie bereits erwähnt ist die virtuelle Realität eine Simulation einer Wirklichkeit, die nicht tatsächlich vorhanden ist. Sutherland beschrieb in seiner Veröffentlichung „The Ultimate Display“ einen theoretischen Raum, in dem durch einen Computer das Vorhandensein und den Zustand von Materie steuert. Dieses hypothetische exakte Duplikat der Wirklichkeit beschrieb er als „Das ultimative Display“, also die vollendete Form der Informationsübermittlung vom Computer zum Menschen, mit vollumfänglicher Abdeckung aller menschlichen Sinne (Bis auf den Gleichgewichtssinn, sein Konzept beschrieb nicht die Beeinflussung von Schwerkraft und das simulieren von Beschleunigung). Mit diesem theoretischen System soll eine in allen Punkten überzeugende virtuelle Realität möglich sein. Diese viel zitierte Definition von Sutherland setzt damit ein höchstes zu erreichendes Ziel, beziehungsweise postuliert auch die Sinnhaftigkeit eines solchen Displays, etwa zur Darstellung von Daten über Dinge, die der Mensch nicht mit seinen eigenen Sinnen wahrnehmen kann. Sutherland verspricht sich von einer unseren Sinnen gerechten Darstellung ein tieferes Verständnis für Konzepte, die üblicherweise außerhalb der Reichweite des menschlichen Vorstellungsvermögens liegen, wie etwa Physikalische Prozesse und Kräfte auf der Partikelebene. Neben den wissenschaftlichen Anwendungen sieht er auch die Möglichkeit, mit dem „Ultimativen Display“ die physikalische Realität zu imitieren und erweitern. Lange bevor diese ideale VR beschrieben wurde, versuchten andere Medien Aspekte davon zu realisieren: Die aufgezählten Beispiele im vorherigen Abschnitt versuchten sich

alle daran, den Betrachter in eine künstlich gebaute Welt eintauchen zu lassen. Die frühen Panoramen stechen besonders heraus in ihrer Eigenschaft, mit einer Mischung aus realen Vordergrundobjekten und Gemälden nicht nur einen möglichst räumlichen visuellen Eindruck zu erschaffen, sondern gestatteten Besuchern auch, sich frei umzuschauen und in einem beschränkten Umfeld zu bewegen. Die Illusion gibt nicht eine feste Perspektive vor, sondern bleibt unabhängig von Bewegungen erhalten. Sutherland erklärte dieses Prinzip in seiner Veröffentlichung „A head-mounted three dimensional display“ zur Voraussetzung für eine überzeugende räumliche Wahrnehmung. Dabei merkte er an, dass die Darstellung einer korrekten Perspektive in Abhängigkeit der Bewegungen einen noch wichtigeren Beitrag zur Überzeugungskraft der Darstellung leistet als die stereoskopische Präsentation. Während dieses HMD aus heutiger Sicht eher der AR zugeordnet wird, so legte es doch einen wichtigen technologischen Grundstein für nachfolgende Bemühungen, eine Virtuelle Realität zu erschaffen. Prostka definiert in seiner Arbeit „Immersive training systems: Virtual reality and education and training“ dieses Prinzip der dynamischen Perspektive zum Grundbaustein der Immersion:

„What distinguishes VR from all preceding technology is the sense of immediacy and control created by immersion: the feeling of „being there“ or presence that comes from a changing visual display dependent on head and eye movements.“[4]

Der Begriff der Immersion findet sich auch in anderen Definitionen der virtuellen Realität: „VR is a collection of hardware such as PC or mobile, head mounted displays (HMDs) and tracking sensors, as well as software to deliver an immersive experience.“[MH15]

und

A common definition of VR is „A technology that convinces the participant that he or she is actually in another place by substituting the primary sensory input with data received produced by a computer“[MH15] nach M. Heim, 1998 und M.-S. Yoh, 2001

Immersion definiert Maria Roussou in „Immersive Interactive Virtual Reality in the Museum“ wie folgt:

„Immersion is the illusion of being in the projected world, being surrounded by the image and sound in a way, which makes you believe that you are really there.“[Rou] Die zitierten Definitionen stützen sich demnach insbesondere auf die Erfahrung und den subjektiven Eindruck, die Anwendern der virtuellen Realität zu Teil werden. Alleine über die angewandte Technologie lässt sich virtuelle Realität demnach nicht definieren, es erfordert zusätzlich die Eigenschaft des Systems, Betrachter subjektiv zumindest zu einem ge-

wissen Grad von der Echtheit der virtuellen Umgebung zu überzeugen. Prostka geht in seiner Auffassung der virtuellen Realität noch einen Schritt weiter: „Immersive VR can be defined by its technology and its effects. Its primary effect is to place a person into a simulated environment that looks and feels to some degree like the real world. A person in this synthetic environment has a specific sense of self-location within it, can move her or his head and eyes to explore it, feels that the space surrounds her or him, and can interact with the objects in it.“ [Pro95] Hier wird die Definition erweitert um die Interaktivität. Demnach ist ein weiterer wichtiger Faktor bei der Immersion die Fähigkeit des Anwenders, auf seine Umgebung einzuwirken und mit ihr zu interagieren. Auch andere Definitionen schließen den Faktor der Interaktivität mit ein: Virtual Reality (VR) is popular name for an absorbing, interactive, Computer-mediated experience in which person perceives a synthetic (simulated) environment by means of special human-computer interface Equipment. It interacts with simulated objects in that environment as if they were real. [Man13] Im Artikel „Transfer of learning in Virtual Environments: a new challenge?“ Werden Immersion und Interaktivität zu einem übergeordneten Konzept der Präsenz zusammengefasst: „Therefore this notion of the user’s presence in the virtual environment has two components which are immersion and interaction. To be more complete, a virtual environment does not only ensure this user presence, but something must also „happen“ and not just as the result of a user action. Consequently, the objects of the environment have to evolve using autonomous behaviours. This notion of autonomy is essential in order to associate the multisensory feedback from graphic data processing with the behavioural rendering needed in virtual reality.“ [CB] Die Interaktivität ermögliche demnach, die Erfahrung des Anwenders zu vervollständigen und so auf eine neue Stufe zu heben. Bei der Gestaltung dieser Interaktion in einer simulierten Wirklichkeit besteht das Potenzial, diese Interaktion auch an analoge Interaktionen und Abläufe mit realen Gegenständen und Situationen der Wirklichkeit anzulehnen, und somit die Abstraktion zu verringern:

„Piaget concludes that sensorimotor intelligence manages to solve a set of problems of actions (reaching an object, etc.) by constructing a complex system of assimilation schemas and to organise the real world as per a set of time-space and causal rules. Hence our fundamental postulate of virtual reality: In an interactive virtual environment, a person uses the same approach that he uses in the real world to organise the virtual world as per the set of time-space and causal rules. In case of technical, economic or theoretical difficulties that obstruct the use of an Imported Be-

havioural Schema, we can get around these difficulties by using a „metaphor“. Instead of using a sensorimotor behaviour and the person’s knowledge, we offer him a symbolic image of the action or of the desired perception visually in most cases.“ [Fuc] nach Piaget and Chomsky, 1979

Nach dem Autor des Zitates ist es angebracht, das intuitive Verständnis des Menschen für Abläufe, die den Gesetzen der Kausalität und Physik unterliegen, zu nutzen, um Interaktionen mit möglichst großer Ähnlichkeit zu diesen Abläufen zu gestalten. Auf diese Art würden Interaktionen durch Vorwissen und intuitives Verständnis der Anwender zugänglicher und einfacher zu bedienen. Ein Beispiel hierfür wäre etwa, wenn die Position der Hände nachverfolgt wird und so erlaubt, mit Gesten Objekte zu greifen und zu bewegen. Verhindern technische Beschränkungen eine exakte Reproduktion reeller Abläufe, sei der Einsatz von Metaphern geeignet, die an reelle Prozesse anlehnen, wie etwa das Teleportieren als Metapher für Fortbewegung, wenn der reelle Raum eine Fortbewegung durch Gehen nicht erlaubt. Für den Rahmen dieser Arbeit wird aus den genannten Kriterien folgende Definition abgeleitet: virtuelle Realität beschreibt eine Ansammlung von Hardware und Software bestehend aus einem Rechnersystem mit Software zur Darstellung von virtuellen dreidimensionalen Umgebungen. Ferner existiert ein Display oder Interface, das zumindest dem Sehsinn eines Menschen unabhängig von dessen Bewegung die simulierten Sinnesindrücke aus dem Rechnersystem zuführt, andere Sinne sind optional. Darüber hinaus existiert ein System zur Erfassung von Bewegung und Position des Kopfes, durch das das Rechnersystem und die Software ein in Echtzeit perspektivisch angepasstes Bild liefern können. Und letztens besteht eine Möglichkeit für den Anwender, mit seiner Umgebung zu interagieren und in seiner Präsenz nicht passiv, sondern auch aktiv an der virtuellen Realität Teil zu haben. Die Analogie zwischen den virtuellen und realen Abläufen ist gewünscht, aber nicht zwingend notwendig. Weitere Funktionen wie das Erfassen von Körperhaltung und Simulation von Haptik oder Kraftauswirkungen der virtuellen Realität können den Grad der Immersion oder Präsenz verbessern, sind aber für den Rahmen dieser Arbeit nicht von weiterer Bedeutung.

3. Grundlagen der eingesetzten Technologien

3.1. HTC Vive

Die HTC Vive ist ein VR-System, das aus der Zusammenarbeit von Valve und HTC entstanden ist. Die Ankündigung und Demonstration eines ersten Prototypen erfolgte 2014, die Markteinführung des fertigen Produktes im April 2016. Mit Steam VR stehen

dem System außer der Hardware noch Treiber, eine Steam Home Applikation, und ein web store für dein einfachen Vertrieb von Applikationen an Endkunden. Durch das hohe mediale Interesse an für Consumer zugänglicher VR-Hardware findet die HTC Vive seit ihrer Einführung ein reges Interesse bei Endanwendern und ist eine der führenden Plattformen für VR Inhalte geworden. Die Popularität des Systems hat ein hohes Interesse bei Entwicklern von Inhalten zur Folge, wodurch sich wiederum eine gute Unterstützung durch Game Engines wie Unity und die Unreal Engine entwickelt hat. Neben zahlreichen Spielen finden sich auch etliche Beispiele für Anwendungen der HTC Vive in andern Bereichen. 2018 erschien eine verbesserte Version der HTC Vive, die Vive Pro, mit verbesserter Leistung und Ergonomie. Die Elemente des neuen Systems sind abwärtskompatibel zu den bisherigen und können mit diesen gemeinsam eingesetzt werden. Im Folgenden wird ein Überblick über Hardware und Software der HTC Vive Pro gegeben. Die Daten sind dem offiziellen Handbuch des Herstellers entnommen

3.1.1. Headmounted Display

Das HMD der HTC Vive Pro bietet ein Sichtfeld von 110° horizontal und eine Auflösung von 1440x600 Pixeln pro Auge. Dargestellt werden die Bilder für beide Augen auf einem PenTile OLED-Displaypanel. Um Bewegungsunschärfen zu reduzieren, ist das Display speziell für geringe Persistenz entwickelt, das bedeutet, dass die Pixel nur einen geringen Bruchteil der Dauer eines Frames tatsächlich erleuchtet sind. Ziel dieser Technik ist es, einen schärferen Bildeindruck zu vermitteln. [VAL] Das Display wird durch eine spezielle Optik betrachtet, durch die zum einen die Fokussierung auf das nahe liegende Display ermöglichen, und zum anderen das Bild vergrößern, um das Sichtfeld zu füllen. Die Vive Pro bietet Einstellmöglichkeiten zur individuellen Einstellung der Distanz der Linsen vom Auge, sowie der Distanz zwischen den Linsen, um sie an verschiedene Augenabstände anzupassen. Die Stromversorgung und Datenübertragung werden über ein einzelnes Kabel sichergestellt. Befestigt wird das HMD über ein einstellbares Kopfgestell, das an die Kopfform angepasst werden kann. Weiterhin sind justierbare Kopfhörer montiert.

3.1.2. Lighthouse Tracking

Das notwendige Tracking des HMD und anderer Geräte wird durch das Lighthouse-System gewährleistet. Die hierfür notwendige Hardware ist aufgeteilt auf die zu trackenden Geräte, sowie zwei oder mehr Laser-Emitter, die als Lighthouses bezeichnet werden. Dabei kombiniert diese Technik Inertialsensoren mit einer absoluten Ortung mit Hilfe von Lasern. Die Inertialsensoren erlauben es, durch Integration über die

gemessenen linearen und angularen Beschleunigungen eine relative Position zu einer vorherigen bekannten Position zu ermitteln. Benachteiligt ist diese Methode jedoch dadurch, dass sich Fehler in den Messungen rasch akkumulieren, wodurch mit fortschreitender Zeit die Genauigkeit der Messung immer weiter abnimmt. Dieser Effekt wird als Drift bezeichnet. ?? Da der entstehende Fehler für eine praktische Anwendung zu groß ist, findet parallel eine Bestimmung der Position und Orientierung, im Folgenden Pose genannt, mit Hilfe der laserbasierten Positionsbestimmung statt. In jedem Zeitabschnitt zwischen den Blitzen wird von den Lighthouses ein Laser Zeilenweise nacheinander in jede Raumrichtung innerhalb eines bestimmten Öffnungswinkels gelenkt. An den anderen Geräten sind eine Reihe von Fotorezeptoren angebracht, die das Auftreffen der Laser registrieren. Durch Kodierung der aktuellen Raumrichtung des Lasers durch Modulation des Laserlichtes kann bestimmt werden, in welcher Raumrichtung sich der Rezeptor von einem Lighthouse aus befindet. Durch die Vielzahl an Rezeptoren mit bekannten Positionen an den Geräten ist für mehrere Punkte mit bekannter Anordnung am Gerät die entsprechende Information verfügbar, wodurch eine Bestimmung der relativen Pose zum Lighthouse über das Lösen des PnP Problems möglich ist. Dies erfordert eine direkte Sichtverbindung zu einem Lighthouse. Aus diesem Grund wird mindestens ein weiteres Lighthouse eingesetzt, um das Potenzial für Verdeckungen, etwa beim Umdrehen der Person, zu verringern. Für eine optimale Sichtverbindung ist ein gegenüberliegender Aufbau von mindestens zwei Lighthouses über Kopfhöhe empfohlen. Mit der Posenbestimmung eines Gerätes zur gleichen Zeit in Relation zu mehreren Lighthouses kann auch die relative Position der Lighthouses zueinander bestimmt werden. Der Idealfall, das Problem als reines PnP Problem lösen zu können, wird gestört durch die Tatsache, dass das Auftreffen der Laser auf dem Rezeptoren zu leicht unterschiedlichen Zeitpunkten geschieht. In Kombination mit den Inertialsensoren kann unter guten Bedingungen jedoch in einem Bereich von 10m x 10m ein hinreichend Präzises Tracking erreicht werden. Das Lighthouse-System erlaubt so eine Positionsbestimmung mit einer Frequenz von 60 Hz. Diese Posenbestimmung ist relativ zu den Lighthouses und erfordert für eine absolute Bestimmung noch Information über die Richtung der Schwerkraft, den Abstand zum Boden, und die Orientierung der Geräte um die Schwerkraftachse. Die Richtung der Schwerkraft kann über die Inertialsensoren gemessen werden. Die Orientierung oder Drehung der Szene um die Schwerkraftachse ist für die meisten Anwendungen nicht von großer Bedeutung und kann beliebig festgelegt werden. Der unbekannte Abstand zum Boden wird in der später beschriebenen Kalibrierung ermittelt. Mit all diesen

Informationen ist ein hinreichend akkurates absolutes Tracking möglich, ohne dass die Pose der Lighthouses getrennt ermittelt werden muss.

3.1.3. Controller

Das HTC Vive System ist darauf ausgelegt, mit zwei identisch aufgebauten Controllern bedient zu werden. Die Controller werden wie das HMD getracked und bieten darüber hinaus mehrere Tasten als Bedienelemente. Damit stehen Anwendungen Informationen über die Pose, sowie der Zustand der ausgewiesenen Tasten zur Verfügung. Ausnahme ist die Systemtaste, die in jedem Fall das Interface der Steam VR Software aufruft. Das Touchpad ist gesondert hervorzuheben, da es nicht nur Informationen über ein Drücken der Fläche liefert, sondern auf Berührungen, sowie die Position der Berührung auf dem Touchpad registriert. Besonders das Tracking der Controller hat den großen Vorteil, dass diese so in der VR visualisiert werden können, wodurch sich die Entwicklung direkterer und intuitiverer Interaktionen anbieten.

3.1.4. Linkbox

Die Linkbox stellt die Funkverbindung mit den Controllern und die Kabelverbindung zum HMD sicher. Der Datenaustausch mit dem PC findet über USB und Displayport für das Bildsignal statt.

3.1.5. Kalibrierung

Die zum Betrieb notwendige Steam VR Software beinhaltet eine Kalibrierungsfunktion, die nach jedem Neuaufbau der Lighthouses durchgeführt werden muss. Die Kalibrierung dient der Ermittlung der in Kapitel 3.1.2 beschriebenen notwendigen Zusatzinformationen für das Tracking, sowie weiterer Informationen über die Umgebung, die einen sicheren Betrieb ermöglichen sollen. Die Software führt den Nutzer durch eine Reihe einfacher Schritte, deren Durchführung mit Texten und Animationen erklärt werden. Beim Start der Kalibrierung wird zunächst sichergestellt, dass alle Geräte aktiviert sind und eine Sichtverbindung zu den Basisstationen besteht. Ist dies gegeben, leitet der nächste Schritt dazu an, einen freien Bereich ohne Hindernisse zu schaffen, in dem die Vive sicher eingesetzt werden kann. Im folgenden Schritt wird man angewiesen, sich in die Mitte des freien Raumes zu stellen und mit einem Controller den Bildschirm seines PCs anzuvisieren. Dies dient dazu, Steam VR die Position des Bildschirms zu übermitteln, damit das Systemmenu an der gleichen Stelle angezeigt werden kann. Dies dient dazu, dass der Nutzer sich bei aufgesetztem HMD orientieren kann, da er nun weiß, dass sich das Menu in der gleichen Richtung wie sein PC Bildschirm befindet. Im darauf folgenden Schritt sollen die aktiven Controller auf den

Boden gelegt werden. Dies dient der Bestimmung der Bodenhöhe für das Tracking. Der letzte Schritt dient der Bestimmung des freien Bereiches, der hindernisfrei und somit auch mit aufgesetztem HMD gefahrlos zu betreten ist. Hierzu wird mit einem Controller der Umriss des freien Bereiches nachgefahren. Dabei wird der Pfad aufgezeichnet und als vereinfachter Linienzug gespeichert. Damit ist die Kalibrierung abgeschlossen und das System kann eingesetzt werden. Nähert sich das HMD zu sehr den ausgemessenen Grenzen des freien Bereiches, so werden in der VR blaue Gitter eingeblendet, die den Träger auf die Grenzen hinweisen. So soll vermieden werden, dass Nutzer mit Wänden oder Gegenständen kollidieren.

3.1.6. Eignung für das Projekt

Die HTC Vive eignet sich nach der Definition aus 2.2 für die den Anwendungsfall Virtuelle Realität. Sie ermöglicht durch das Zusammenspiel von HMD und Tracking eine Darstellung der korrekten Perspektive für jede Haltung des Betrachters und bietet ein hinreichend großes Sichtfeld. Durch die getrackten Controller ist es außerdem möglich, zumindest partiell die Bewegungen der Hände zu nutzen, um eine intuitive Interaktion mit der Umgebung zu ermöglichen. Bildqualität und Preis wurden ebenfalls als geeignet empfunden.

3.2. Unreal Engine

Die Unreal Engine ist eine Game Engine, die seit 1998 von Epic Games entwickelt und veröffentlicht wird. Game Engines sind Frameworks für die Erstellung von Computerspielen, die zum Ziel haben, die Darstellung von Assets (3D Modelle, Texturen, Bilder, andere Mediendaten) und Steuerung von Spielabläufen zu vereinfachen und damit die Entwicklung eines Computerspiels zu erleichtern. Game Engines werden oft für eine Vielzahl an Spielen verwendet, da die bereitgestellte Funktionalität bei den meisten Spielen unverändert oder mit leichten Anpassungen benötigt wird. Hierdurch verringert sich in erheblichem Maße der Programmieraufwand für die Entwicklung von interaktiven grafischen Anwendungen. Die Unreal Engine bietet neben einem fertigen Framework für die Echtzeitdarstellungen von 3D-Grafiken noch zahlreiche Werkzeuge für die einfache Implementation von Animationen und Interaktionen. Durch den von Epic Games bereitgestellten Unreal Editor lassen sich über eine einfache grafische Oberfläche Programme erstellen, die von der Unreal Engine Gebrauch machen. In der verwendeten Version 4.18 bietet die Engine umfassende Unterstützung für das Erstellen von Levels mit statischen und animierten Geometrien, wobei die Shader frei programmiert und dynamisch verändert werden können,

ein umfangreiches System für die realistische Vorberechnung von statischer Beleuchtung mit globaler Illumination, sowie eine grafische Programmiersprache namens Blueprints, mit der Spielverhalten gesteuert werden kann. Das statische Beleuchtungssystem ist mit seinen Möglichkeiten zur Vorberechnung indirekter Beleuchtung besonders geeignet für Architekturvisualisierungen, da hier meist Licht durch Fenster fällt und Innenräume häufig zu weiten Teilen durch indirektes Licht erhellt sind. Architektur enthält häufig einen großen Anteil an nicht beweglichen Objekten, weshalb eine Vorberechnung hier auch überhaupt erst in Frage kommt. Die Blueprints Programmiersprache erleichtert das Hinzufügen von Interaktionen und Animationen zu Objekten. Des Weiteren wird ein System virtueller Akteure unterstützt, mit denen Spielfiguren und die Steuerung von Kameraperspektiven einfach gesteuert werden können. Das Verhalten dieser Pawns kann ebenfalls über Blueprints implementiert werden. Es besteht außerdem von Haus aus eine Unterstützung für Headmounted Displays und das nötige Rendern stereoskopischer Ansichten. Die HTC Vive wird auch unterstützt und kann mit einfachsten Mitteln angewandt werden. Insgesamt ist die Unreal Engine somit als gut geeignet für die Zwecke dieser Arbeit zu betrachten, es lassen sich statische Szenen mit qualitativ hochwertigen Lichteffekten darstellen, das Shader-system lässt sich leicht über eine grafische Oberfläche programmieren, und eine Unterstützung für die verwendete Hardware ist von Haus aus gegeben. Durch ihre weite Verbreitung sind außerdem umfangreiche Lernressourcen für die Arbeit mit der Unreal Engine im Netz frei verfügbar. Die Lizenzierung ist auch geeignet für diese Art von Projekt, da für die angedachte Nutzung keine Lizenzgebühren anfallen.

3.2.1. Zusammenspiel von HTC Vive und Unreal Engine

Das HTC Vive System wird vor der Verwendung durch den Nutzer kalibriert. Hat die Software wie in Kapitel X beschrieben die relativen Positionen der Geräte, den Abstand zum Boden sowie die Orientierung bezüglich der Schwerkraft bestimmt, wird der frei verfügbare Platz vermessen. Hierzu fährt der*die Nutzer*in die Umrisse des freien Platzes mit einem der Controller ab. Aufgrund des Pfades des Controllers wird der Umriss es als sicher zu betreten erachteten Bereichs durch einen vereinfachten linearen Linienzug definiert. Aufgrund der gewonnenen Daten wird auch ein Koordinatenursprung auf Höhe des Bodens in der Mitte des freien Bereichs definiert. Die Angaben über den aktuellen Zustand der Eingabegeräte geschehen relativ zu diesem Ursprung. Der Unreal Engine werden die Positionen und Orientierungen der Endgeräte, der eingestellte Interaxialabstand des HMD, sowie der Linienzug

um den sicheren Bereich in Echtzeit übermittelt. Der Besucher wird innerhalb des Unreal Editors als Pawn repräsentiert. Pawn ist eine speziell für das Implementieren von Spielern vorgesehene Klasse, der durch Vererbung Kindknoten und Funktionen hinzugefügt werden können. Weiterhin können Funktionen durch andere Komponenten der Software und durch Steuereingaben des Besuchers gesteuert werden. Die Werte der Eingabegeräte können auch direkt abgefragt oder an Funktionsaufrufe gekoppelt werden. Dem Pawn ist eine Kamera als Kindknoten untergeordnet. Bei jedem Frame werden die Parameter, Position, und Orientierung des HMD direkt auf die Kamera in Koordinaten des Pawns übertragen. Der Ursprung des Pawns befindet sich in der Szene auf Bodenhöhe, und durch die Modellierung der Szene in korrekten Maßeinheiten sind so keine weiteren Transformationen der virtuellen Kamera nötig. Auf gleichem Wege wird die Position des Controllers auf ein 3D Modell desselben übertragen, wodurch der Besucher den Controller durch das HMD sehen und einfacher handhaben kann. Da prinzipiell eine Fortbewegung durch gehen möglich ist, dient der als sicher gekennzeichnete Bereich dazu, die Grenzen des freien Raumes visuell als Gitter anzuzeigen, wenn sich das HMD nahe am Rand des Bereiches befindet. Dies dient dazu, Kollisionen mit realen Objekten zu vermeiden.

3.3. Das Museum und die Virtuelle Realität

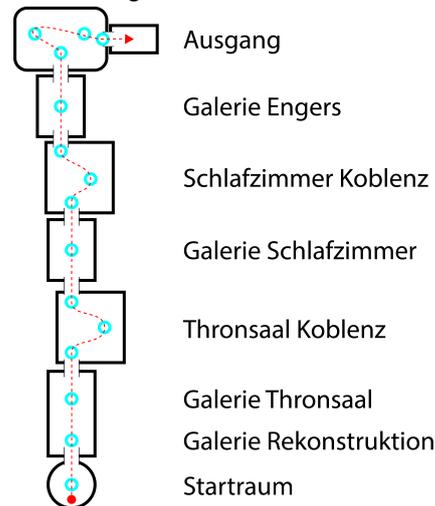
Der Ursprung des Museums findet sich nach [?] in den Sammlungen von Objekten mit künstlerischem Wert, die von den Griechen angelegt wurden. Als Ursprung wird das Große Museum von Alexandria genannt, das auf Befehl von Alexander dem Großen errichtet wurde mit dem Ziel, die Stadt zu einem Zentrum der Hellenischen Kultur zu machen. Die Bibliothek sollte den Musen gewidmet sein und erhielt den Namen „Museum“. Ein mit „Museum“ betitelter Abschnitt des Gebäudes diente Philosophen, Künstlern, und Wissenschaftlern als Zentrum freien Schaffens. Als ein weiterer Vorgänger des modernen Museums werden Kuriositätenkabinette des 16. Jahrhunderts gesehen. Hier sammelten wohlhabende Einzelpersonen diverse Objekte, die dem Prestige und dem sozialen Status des Inhabers dienen sollten. Der Zugang war nur einem kleinen Kreis an Auserwählten möglich. Öffentlich zugänglich wurden Museen erst im 19. Jahrhundert mit dem Aufkommen der Vorstellung von Nationen. Nationalmuseen dienten nun dazu, die Größe des künstlerischen Schaffens der Nationen zu demonstrieren. Die großen Weltausstellungen schufen weiteren Bedarf an Exponaten und führten zur öffentlichen Ausstellungen vormals unzugänglicher Sammlungen. Im 20. Jahrhundert wurde das Museum, getrieben von gesellschaftlichen Entwicklungen, neben einem Ort der

Bildung auch zu einem Ort der Unterhaltung. Mit dem Aufkommen des Tourismus konkurrierten Museen um das Interesse der Besucher. [Puj] Nach heutigem Verständnis ist ein Museum ein Ort, an dem Objekte von kultureller, religiöser, oder historischer Bedeutung aufbewahrt, erforscht, und der Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden. Dies geschieht zum Zweck der Bildung und Unterhaltung. [Ari] Um diesen Zielen zu genügen, schauen sich Museen vermehrt nach neuen Medien um: es wurde geschätzt, dass bereits 2003 35% aller Museen bereits die Entwicklung von 3D-Darstellungen von Objekten begonnen hatten. [RW] Die Virtuelle Realität ist ein seit vielen Jahren in Museen eingesetztes Medium mit zahlreichen Anwendungsbeispielen. [T.P], [Pro95] Es bietet eine Reihe von Möglichkeiten, die den Einsatz in einem Museum attraktiv machen. Einige allgegenwärtige Probleme können umgangen werden: räumliche Beschränkungen, die die Anzahl und Art der Exponate beschränkt, lassen sich so umgehen. Auch können Objekte ausgestellt werden, die durch besondere Empfindlichkeit nicht wirklich ausgestellt werden können. Die VR bietet außerdem die Möglichkeit, Objekte in variablen Kontexten und Umgebungen darzustellen. Und letztendlich sind auch Ausstellungen möglich, die physisch nicht realisierbar wären, etwa mit unbeweglichen oder nicht mehr existenten Exponaten.

Es erschien von Anfang an sinnvoll, den Besuchern nicht nur die Ergebnisse der Rekonstruktionsarbeit zu präsentieren, sondern auch das verwendete Ausgangsmaterial. Da die Räume aus Koblenz ausschließlich aufgrund von spärlichen historischen Dokumenten rekonstruiert sind, ist es nicht zu vermeiden, dass Details nicht exakt den historischen Gegebenheiten entsprechen. Die Einbeziehung des Ausgangsmaterial hilft nicht nur, dies zu verdeutlichen, sondern liefert den Besuchern einen deutlichen Mehrwert an Hintergrundinformation und zudem einen im Gegensatz zu den Rekonstruktionen akkuraten, wenn auch unvollständigen Blick auf die Räume. Um den Blick in den Räumen nicht mit virtuellen Fotoaufstellern zu verdecken, wurde die Präsentation des Bildmaterials auf eigene Räume verlegt, die als virtuelle Bildergalerien gestaltet sind. Diese Erweiterung des Konzeptes bietet nun auch die Möglichkeit, mit weiteren Fotografien und Abbildungen die heutige Situation der beiden Schlösser darzustellen, um Besuchern mehr Kontext zu verschaffen. Zum anderen können die neuen virtuellen Räumlichkeiten auch verwendet werden, um zusätzliches Informationsmaterial über den Rekonstruktionsprozess selbst auszustellen. Die Menge des Archivmaterials bot es an, zumindest für jeden Raum eine eigene Fotogalerie anzulegen. Dadurch wurde die virtuelle Umgebung selbst zu einer Art vollständiger Ausstellung. Damit Besucher zwischen der Vielzahl an

Räumen navigieren können, wurde eine Aneinanderreihung der Räume beschlossen, bei der durch offene Türen alle angrenzenden Räume sichtbar sind. Für eine einfache Orientierung wurde eine einfache lineare Anordnung der Räume umgesetzt, sodass Besucher die Räume in einer vorgesehenen Reihenfolge besuchen können, ohne dabei eine Richtung wechseln zu müssen.

Dianasaal Engers



- Startpunkt
- Wegpunkt
- > Vorgesehener Pfad

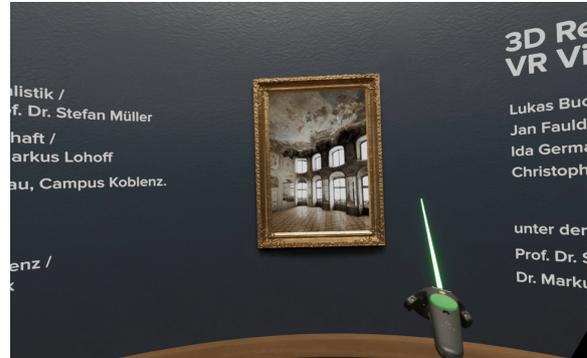
Ergänzend befinden sich noch an Anfang und Ende der virtuellen Ausstellung ein Start- und ein Endraum. Der Startraum hat die Funktion, Besucher zu empfangen und in die Bedienung der Anwendung einzuweisen, ohne gleich von überwältigenden visuellen Eindrücken abgelenkt zu werden. Der Endraum hat nur die Funktion, beim Betreten das Personal auf die Absicht des Verlassens der Anwendung hinzuweisen. Eine Wegführung auf dem Boden mit animierten Pfeilen soll Besuchern bei der Orientierung helfen. So kann ein Besucher die virtuelle Ausstellung wie eine traditionelle Museumsausstellung begreifen und besuchen. Voraussetzung hierfür ist eine Fortbewegungsmöglichkeit, die durch den Besucher gesteuert werden kann. Eine Steuerung der Fortbewegung alleine durch einen Automatismus in der Software oder das Personal würde Besuchern Autonomie entziehen, also wurde entschieden, den Besuchern die Kontrolle zu überlassen. VR bietet von Haus aus die Möglichkeit, den virtuellen Standpunkt zu wechseln. Gerade bei der Darstellung von Architektur ist es bereichernd, sich unterschiedliche Perspektiven anzuschauen, weshalb von dieser

Möglichkeit gebrauch gemacht werden sollte. Die Umgebung in der VR ist nicht auf eine statische begrenzt: sie erlaubt auch neben der Fortbewegung weitere Interaktionen. Die begrenzte Auflösung des HMD lässt auf Entfernungen nicht immer alle Details erkennen, und nicht in allen Fällen kann die Distanz überwunden werden, wie etwa bei Objekten an der Decke des Raumes. Zur genaueren Betrachtung einzelner Details wurde daher eine Möglichkeit des Vergrößerns gesucht. Eine Veränderung der Brennweite der virtuellen Kamera, also ein „Zoom“, kam für VR tendenziell eher nicht in Frage, da hierbei starke Desorientierung und Übelkeit befürchtet wurden. Es lag also nahe, als Alternative die zu betrachtenden Details näher an den Betrachter heran zu holen. Ein Museum beschränkt sich nicht auf das reine Ausstellen von Artefakten: üblicherweise wird auch gleich weiterführende Information angeboten. Der selbe Anspruch bestand bei der virtuellen Ausstellung. Das Verwenden von Text wurde für ungeeignet empfunden, da in Folge der begrenzten Auflösung des HMD eine hohe Textgröße gewählt werden müsste. Als alternative Lösung wurden das aus Museen bekannte Konzept der Audioguides für die VR adaptiert. Dem Besucher werden an einigen Stellen ergänzende Informationen in Form von gesprochenen Texten angeboten, die von Sprecherinnen und Sprechern des Stadttheater Koblenz eingelesen wurden. Für die Umsetzung dieser Möglichkeiten galt es nun, ein intuitives und leicht erlernbares Bedienkonzept zu entwickeln, um möglichst geringe Hürden vor die Nutzung der entsprechenden Möglichkeiten zu stellen. In den folgenden Unterabschnitten werden die Lösungen zu den einzelnen Punkten aufgeführt und diskutiert.

3.4. Selektion

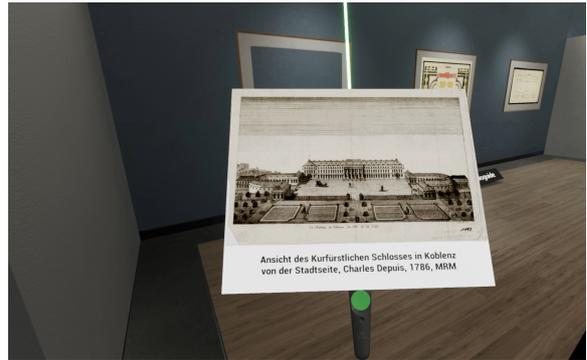
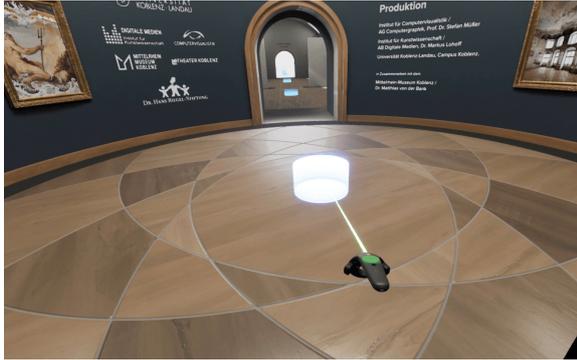
Viele Interaktionen beziehen sich auf Gegenstände, die sich in der virtuellen Umgebung befinden: Objektspezifische Informationsangebote, die Vergrößerungsfunktion, und die Fortbewegung erfordern es, dass der Besucher das Ziel seiner Handlung definiert. Die voll erfassten Controller der HTC Vive bieten hier eine geeignete Lösung: durch die zur Verfügung stehenden Positionsdaten ist eine Visualisierung des verwendeten Controllers in der VR möglich. Hierdurch kann der Besucher intuitiv Gesten durchführen, etwa das Zielen auf Objekte. Dies ist unterstützt durch einen grünen Visierstrahl, der vom vorderen Ende des Controllers aus geht und auf Objekte gerichtet werden kann. Damit kann das Ziel einer Interaktion durch den Besucher auf einfachste Weise bestimmt werden, ohne langwierig Menüs zu durchsuchen. Bieten die anvisierten Objekte Interaktionsmöglichkeiten an, so werden sie durch ein Highlighting visuell gekennzeichnet. Eine Interaktion mit Objekten wird durch einen Druck auf

das Touchpad, das in der Visualisierung des Controllers grün hinterlegt ist, bestätigt. Interaktionen sind so entworfen, dass eine vollständige Nutzung nahezu aller Möglichkeiten nur über die Verwendung der grünen Taste möglich ist. Damit soll der Komplexitätsgrad der Interaktion auf ein Minimum reduziert werden.



3.5. Highlighting

Damit selektierbare Objekte erkannt werden können, erhält der Betrachter eine visuelle Kennzeichnung des Objektes beim anvisieren. Ist der Visierstrahl auf ein selektierbares Objekt gerichtet, so wird das Objekt durch eine Verstärkung der Helligkeit und eine blaue Umrahmung hervorgehoben. Diese Effekte basieren auf sogenanntem post-processing der Unreal Engine, bei dem auf dem fertig gerenderten Bildpuffer Bildverarbeitungsoperationen durchgeführt werden. Das Postprocessing wird gesteuert durch einen zusätzlichen Renderpass (customDepth), der optional von der UE angeboten wird. Alle Objekte mit einem entsprechenden Flag werden als Tiefenbild in eine zusätzliche Textur gerendert. Die übrigen Pixel der Textur bleiben schwarz. Das Postprocessing geschieht durch ein zusätzliches Programm, das für jedes Pixel des Buffers mit dem finalen Bild ausgeführt wird, wobei dem Programm zugriff auf jeden Kanal des Bildpuffers ermöglicht ist. Hier wird zunächst der Wert aus dem customDepth Pass durch einen Schwellwert binarisiert, um eine reine Schwarz/Weiß Maske für das aktuell gehighlightete Objekt zu erhalten. Innerhalb dieser Maske wird die Belichtung des fertigen Bildes geändert, indem die RGB Werte mit dem konstanten Wert zwei multipliziert werden. Für die farbige Umrahmung wird ein Weichzeichner auf die Objektmaske angewandt und dann mit der inversen Objektmaske maskiert. Dadurch entsteht eine neue Maske für einen weich auslaufenden Rahmen um das Objekt herum. Diese Maske wird dann verwendet, um zwischen dem eigentlichen Farbwert des Bildes und der Selektionsfarbe linear zu überblenden. Als Auswahlfarbe dient in diesem Fall Blau. Der Weichzeichner erwies sich als teuer und hatte durch den relativ



3.8. Vergrößerung

Für Bilder und Details von Fresken wurde eine Vergrößerungsfunktion vorgesehen, um eine genauere Betrachtung zu ermöglichen. Hierfür ist eine eigens vorgesehene Klasse von selektierbaren Objekten angelegt worden, die eine bewegliche Bildebene für die nähere Betrachtung enthalten. Wird solch ein Collectable ausgewählt, so fliegt diese Bildebene vom Objekt an den Controller und ist fest mit diesem verbunden. Der Besucher kann nun durch bewegen des Controllers das Bild so halten, wie er es wünscht. Bei einem erneuten Druck auf die grüne Taste kehrt die Bildebene an den ursprünglichen Ort zurück. Hat das angewählte Objekt eine zugewiesene Audiodatei, so wird diese, falls der erweiterte Informationsmodus aktiv ist, bis zum Zurücklegen des Bildes abgespielt. Auf diese Art werden die Bilder in den Galerien sowie einzelne Fragmente der Deckenfresken vergrößerbar gemacht.

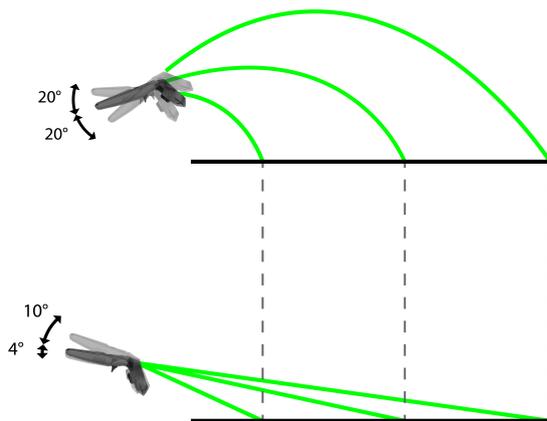


3.9. Audiodetails

Einige Objekte bieten keine Vergrößerung an, sondern nur weitere Informationen in Form von eingesprochenen Texten. Hat der Besucher den Audioguide für einen Raum aktiviert, so werden diese Objekte selektierbar. Nach Anwählen des Objektes wird die Audiodatei wiedergegeben. Das Highlighting des Objektes bleibt für die Dauer der Wiedergabe aktiv. Durch erneutes Anwählen des Objektes wird die Wiedergabe unterbrochen. Diese Art der Interaktion ist für Möbel gedacht, bei denen eine Heranholen ungeeignet erscheint. Sich rasch nähernde massive Gegenstände wurden für potenziell erschreckend befunden.

3.10. Freie Teleport-Methode

Als Ergänzung zu der Waypoint-Methode mit ihren starr vorgegebenen Positionen kann der Betrachter für einen Teleport einen frei wählbaren Zielpunkt definieren. Hierzu wird die Trigger-Taste verwendet. Wird sie gedrückt, wird der grüne Anvisierstrahl abgelöst durch einen speziellen Strahl für das Anvisieren von Zielpositionen. Dabei ist dieser Strahl nicht wie der andere linear, sondern parabolisch nach unten gekrümmt. Das Ziel dieser Herangehensweise ist, auf große Abstände ein genaueres anvisieren der Zielposition zu ermöglichen.



Dieser neue Visierstrahl ist hervorgehoben durch einen größeren Durchmesser und seine auffallend parabolische Form. Ist der Strahl auf eine valide Zielposition gerichtet, so leuchtet der Strahl grün auf. Durch Bestätigung mit der grünen Taste wird der Teleport an die Zielposition ausgeführt. Ist die anvisierte Stelle ungültig, wird beim bestätigen keine Aktion durchgeführt. Eine Zielstelle gilt als gültig, wenn die Normale des getroffenen Punktes nicht mehr als 30° von der gerade nach oben gerichteten Achse abweicht. Hierdurch wird vermieden, dass ein Teleport an Wände möglich wird.



3.11. Navigationsmenu

Ergänzend zum Teleportieren über Waypoints und dem freien Teleporten können Besucher außerdem über den Controller ein Navigationsmenu aufrufen, das bei Knopfdruck auf die gelbe Taste erscheint. Das Menu ist ein rechteckiges Fenster, das circa 50cm vor dem Besucher erscheint. Die Position des Menus wird bestimmt durch die Richtung, in die der Controller

beim Tastendruck zeigt. Beim Erscheinen ist das Menu außerdem stets dem Betrachter zugewandt. Auf dem Menu befindet sich ein Raumplan der gesamten virtuellen Ausstellung mit der Bezeichnung jedes Raumes. Die Räume können direkt mit dem Visierstrahl anvisiert und durch Druck auf die grüne Taste ausgewählt werden. Beim Auswählen eines Raumes wird der Betrachter in die Mitte des Raumes teleportiert. Das Menu teleportiert mit dem Besucher mit und behält seine relative Position bei. Durch erneuten Druck auf die gelbe Taste wird es wieder geschlossen, unabhängig, ob es verwendet wurde oder nicht. Diese Methode der Fortbewegung dient dazu, den Weg zu bestimmten räumen abzukürzen, sollte ein Besucher einen Raum erneut besuchen wollen, oder wenn wenig Zeit zur Verfügung steht und nur die Rekonstruktionen besucht werden sollen.

3.12. Tutorial

Die ersten beiden Räume der virtuellen Ausstellung sind Schauplatz einer automatischen Einführung in die Bedienung der Software. Im Startraum wird der Besucher zunächst begrüßt und dann nacheinander in die grundlegenden Interaktionsmöglichkeiten eingewiesen. Im Anfangsraum befinden sich ein Wegpunkt und Bilder, die mit der Vergrößerungsfunktion aufgesammelt werden können. Zunächst wird der Besucher angewiesen, den ersten Wegpunkt vor sich auf dem Boden anzuwählen. Hierzu ist der Wegpunkt durch ein blaues pulsieren gekennzeichnet. Kommt der Besucher der Aufforderung nicht nach, wiederholt sich die Anweisung alle zehn Sekunden. Ist der erste Teleport erfolgt, wird der Besucher angewiesen, eines der Bilder aufzusammeln. Ähnlich wie beim vorherigen Schritt wird eines der Bilder optisch gekennzeichnet, und die Anweisung wiederholt sich, bis die entsprechende Aktion durchgeführt wurde. Nach Abschluss dieses Schrittes wird eine Wegführung aktiviert, die mit Pfeilen auf dem Boden die Richtung des Rundganges durch die Ausstellung kennzeichnet. Der Besucher wird aufgefordert, der Markierung zum nächsten Wegpunkt im ersten Galerieraum zu folgen. Kommt er der Aufforderung nach, erhält er noch einen Hinweis auf den neben ihm befindlichen Audioguide, mit einem Hinweis auf die Funktion und Bedienung der gesamten Audioguides. Ab hier ist der Besucher dann selbstbestimmt unterwegs und kann selbst wählen, in welcher Abfolge er welche Interaktionen aufruft. Betritt der Besucher den letzten Raum erstmalig, so erhält er einen gesprochenen Hinweis darauf, dass nun das Ende der Ausstellung erreicht ist. Es erfolgt ebenfalls ein Hinweis auf die mit „Ausgang“ gekennzeichnete Tür, durch die der Ausgangsraum betreten werden kann. Wählt der Besucher die Ausgangstür an, so wird er direkt davor teleportiert und erhält einen Hinweis auf

die Funktion des Ausganges. Durch Druck auf die Grüne Taste kann der Ausgangsraum betreten werden, wodurch eine Mitteilung an das Museumspersonal auf dem angeschlossenen Monitor erscheint, mit der Aufforderung, beim Abnehmen des HMD behilflich zu sein. Für den Fall, dass der Besucher dies noch nicht wünscht, wird auch noch auf die Funktion des Navigationsmenüs hingewiesen. Der Besucher kann auch durch einen Teleport zu einem anderen Wegpunkt wieder den Ausgang verlassen und weiter in der Anwendung verbleiben. Als einzige Interaktionsmethode wird der freie Teleportmodus nicht erklärt, dieser ist für Besucher gedacht, die gut mit der Software umgehen können, und kann bei Bedarf durch das Betreuungspersonal erklärt werden.

4. Rekonstruktion

Die drei eigentlichen Räume aus den Schlössern Engers und Koblenz, die den inhaltlichen Kern der virtuellen Ausstellung bilden, mussten in einer für Echtzeitanwendung geeigneten Komplexität modelliert und texturiert werden, um in der Unreal Engine mit genügender Performanz visualisiert zu werden. Dies war die hauptsächliche Aufgabe der Kursteilnehmenden des OpenSpace: VR Fresken Kurses unter der Leitung von Dr. Markus Lohoff. Die Kursteilnehmer lieferten 3D Modelle, Texturen, und teilweise Szenen und Materialien in Form von 3D Daten im FBX Format, Texturen in diversen Bildformaten, aber teilweise auch Szenen und Materialien in nativen Formaten der Unreal Engine geliefert. Entscheidungen bezüglich der Rekonstruktionen wurden in wöchentlichen Plenumsitzungen des Kurses beschlossen.

4.1. Kurfürstliches Schloss Koblenz

Das Schloss Koblenz erlitt im zweiten Weltkrieg weitreichende Zerstörungen, durch die weite Teile der Innenausstattung zerstört wurden. Bei dem Wiederaufbau in der Nachkriegszeit wurden Raumanordnung und Innenausstattung nicht originalgetreu wiederaufgebaut. Der Thronsaal und das Schlafzimmer mit ihren Deckenfresken existieren nicht mehr und mussten aufgrund historischer Quellen rekonstruiert werden. Der Autor war an den Schritten zur Rekonstruktion der beiden Räume nicht beteiligt, diese Arbeit fiel auf die anderen Kursteilnehmer. Für die Rekonstruktion war es zunächst nötig, möglichst viel Dokumentation der ursprünglichen Situation der Räume zu beschaffen. Einen Teil der Dokumentation lieferten Mitarbeiter des Mittelrheinmuseums. Ergänzend dazu fanden noch unter eigener Initiative weitere Recherchen in Archiven statt, teils durch Kursteilnehmer, teils auch durch den Leiter des Projektes Dr. Markus Lohoff. Die zusammengetragenen Materialien bestanden zum Teil

aus originalen Architekturplänen und Entwürfen, bei denen nicht an jeder Stelle klar identifiziert werden konnte, ob die Entwürfe auch so wie abgebildet umgesetzt wurden. Historische Abbildungen aus späteren Zeiten in Form von Kupferstichen und Fotografien konnten ebenfalls beschafft werden, wobei die Räumlichkeiten teilweise schon in umgebauter Form abgebildet waren. Insbesondere das kurfürstliche Schlafzimmer wurde unter preussischer Herrschaft zweckentfremdet und zu einem Salon umgebaut. Fotografien von aus der Zeit kurz vor der Zerstörung boten vor allem beim Thronsaal Aufschluss über Details der Ausstattung. Die Fresken aus den beiden Räumen wurden kurz vor der Zerstörung auf Farbfilm dokumentiert. Von diesen Farbbildern standen digitale Kopien zur Verfügung, auf denen die Fresken in überlappenden Einzelaufnahmen nahezu vollständig abgebildet sind. Einige Möbelstücke aus den Räumen des Schloss Koblenz sind erhalten geblieben und konnten fotografisch dokumentiert werden. Auch von den Gemälden konnten aktuelle Fotografien beschafft werden.



Abbildungen: Beispiele für das vorhandene Ausgangsmaterial

4.1.1. Fresken

Von den koblenzer Fresken standen für die Rekonstruktion einige überlappende Farbfotografien mit Nahezu vollständiger Abdeckung, sowie proportional richtige Skizzen zur Verfügung. Diese Skizze (Abb.) diente als Grundlage für eine richtige Anordnung der Fotografien zu einem vollständigen Farbbild der Freske. Hierzu mussten Artefakte wie Vignettierung, Unterschiede in der Belichtung, Objektivverzerrung, und Unterschiede in der Farbwiedergabe kompensiert werden. Durch die Tatsache, dass die Bilder aus unterschiedlichen Perspektiven aufgenommen waren, musste ebenfalls die Perspektive korrigiert werden. Ein kleiner Bereich der Freske war nicht mit abgebildet und wurde ergänzt, da keine wichtigen Bildelemente fehlten. Die Rekonstruktion fand in Adobe Photoshop statt und wurde von einem Teammitglied durchgeführt.

4.1.2. Räume

Die Geometrien der Räume wurden in der Open Source 3D Software Blender modelliert. Grundlage für die Abmessungen waren die originalen Pläne, und es wurde darauf geachtet, alle Elemente in realen Maßeinheiten zu erstellen, um aufwändige Angleichungen im späteren Verlauf zu vermeiden. Details der Innenarchitektur wurden wo möglich den Fotografien nachempfunden. Nicht dokumentierte Bereiche wurden nach bestem Wissen möglichst plausibel, aber künstlerisch frei ergänzt. Gegenstände der Inneneinrichtung wurden sofern sie erhalten und erreichbar sind photogrammetrisch dokumentiert und nach den gewonnenen Daten und Fotos modelliert, und in übrigen Fällen entweder nach den vorhandenen historischen Fotografien oder den erhaltenen Originalplänen gestaltet. Für die Gestaltung der Materialien wurde anhand der historischen Fotografien die Beschaffenheit der originalen Materialien abgeschätzt und nachgebildet. Die Basistexturen hierzu stammen aus Textursammlungen und mitgelieferten Materialien der Quixel-Suite, einem Photoshop Plugin für die Gestaltung von 3D Materialien. Details wie Vergoldungen und Dekorationen wurden als Vektorgrafiken gezeichnet und mit Hilfe des Quixel-Plugins in Normalmaps überführt und durch Maskierung verschiedener Basismaterialien zu Materialien kombiniert, die durch die Texturen lokal unterschiedliche Materialeigenschaften ermöglichen. An einzelnen Stellen wurden auch Texturen aus den Schwarzweiß-Fotografien entnommen und perspektivisch entzerrt, um eine originalgetreue Basis für die Gestaltung der Texturen zu erhalten. Auf diesem Wege wurde auch aus den Fotografien Ausgangsmaterial für die Rekonstruktion der aufwändigen Malerei um das Fresko herum gewonnen. Die Farbgebung ist nicht an allen Stellen dokumentiert, weswegen die

Farbgestaltung nach bestimmten Annahmen teilweise frei gestaltet wurde. So konnte die Farbgebung der Wandbespanne im Schlafzimmer nicht zweifelsfrei bestimmt werden. Die Wahl der Farbe erfolgte daher unter Absprache mit Mitarbeitern des Mittelrheinmuseums. Grundlage für die Musterung des Wandbespanns war eine Abbildung eines erhaltenen Fragments. Für die Vorhänge in beiden Räumen kam das Stoffsimulationssystem von Blender zum Einsatz, um möglichst natürliche Faltenbildung beim hängenden Stoff nachzubilden. Durch Zusammenarbeit mehrerer Kursteilnehmenden bei der Recherche, Modellierung, und Texturierung entstanden so möglichst realitätsgetreue, aber durch freie Ergänzungen auch vollständige Rekonstruktionen der beiden Räume. Eine historische Korrektheit ist nicht in allen Punkten garantiert, die Räume sind also als künstlerische Interpretation der Originale anzusehen. Da ihr Zweck vorrangig ist, den architektonischen Kontext für die Deckenfresken herzustellen, wurde diese Lösung als vereinbar mit dem Ziel einer erfolgreichen Wissensvermittlung und Unterhaltung der Besucher angesehen.



Abbildungen: Bildschirmaufnahmen des Thronsaals, wie er in der Applikation zu sehen ist



Abbildung: Aussicht aus dem Fenster mit Landschaftspanorama



Abbildung: Blick in das rekonstruierte Schlafzimmer

4.2. Dianasaal Schloss Engers

Der Dianasaal des Schloss Engers erlaubte den Einsatz gänzlich anderer Methoden, da er im Gegensatz zu den Koblenzer Räumen im original erhalten ist und besichtigt werden kann. Es lag also nahe, das Original so gut wie möglich zu dokumentieren, um den Aufwand der Rekonstruktion zu verringern. Fotografien als Referenzmaterial erschienen naheliegend, da aus ihnen auch Texturinformation gewonnen werden kann. Eine direkte Erfassung der Raumgeometrie erschien von Anfang an wünschenswert, um die Konstruktion eines Modells zu erleichtern. Hierfür standen zwei Technologien zur Verfügung: zum Einen bestand die Möglichkeit, einen Laserscan durchzuführen, und zum Anderen war Photogrammetrie ebenfalls eine praktikable Option. Beide Möglichkeiten werden hier kurz beschrieben, bevor der Rekonstruktionsprozess selbst dokumentiert wird.

4.2.1. Laserscan

Ein Laserscanner ist ein Gerät, das durch Aussenden von Lichtstrahlen und Messung der Reflektion eine Entfernungsmessung von Oberflächen durchführen kann. Üblicherweise sind diese darauf ausgelegt, eine

Vielzahl solcher Messungen in rascher Abfolge in unterschiedlichen Richtungen vorzunehmen. Die resultierende Menge an Abstandswerten mit zugehörigen Richtungsangaben lassen sich in Form einer Punktwolke repräsentieren, die Oberflächenpunkte der abgetasteten Umgebung repräsentiert. Hieraus lässt sich ebenfalls eine Rekonstruktion von Oberflächen erreichen, wobei Laserscanner im Gegensatz zu Fotogrammetrien nicht auf unterscheidbare Merkmale angewiesen sind. Die Anfälligkeit für Reflektionen teilen sie allerdings mit Derselben.

4.2.2. Photogrammetrie

Photogrammetrie beschreibt ein Verfahren zur Erfassung geometrischer Formen aus Fotografien. Hierzu werden Techniken des Rechnersehens verwendet: eine Software analysiert Bildmaterial und identifiziert Bereiche in den Bildern, auch Features genannt, die in mehreren Aufnahmen sichtbar sind. Aus einer genügenden Anzahl von solcher Features ist es möglich, Rückschlüsse auf die relative Positionierung der Kamera zum Zeitpunkt der einzelnen Aufnahmen zu ziehen und damit eine Position für jedes dieser Features abzuschätzen. Lassen sich genug Features auf einer Oberfläche bestimmen, lassen die daraus bestimmten Positionen eine Abschätzung der Lage und Orientierung an jedem Punkt zu. Aus einer hinreichenden Anzahl von Aufnahmen mit starker Überlappung lassen sich so Objekte mit einer geschlossenen Oberfläche gut erfassen und rekonstruieren. Voraussetzung hierfür ist das Vorhandensein geeigneter Merkmale am Fotografierten Objekt. Das Objekt sollte an genügenden Stellen deutlich erkennbare und einzigartige Merkmale haben. Transparenzen und sich wiederholende Muster sind hier ungeeignet, ebenso sind Glanz und Spiegelungen oft ein Problem, da sie Features vortäuschen oder verdecken können. Es ist jedoch unabdingbar, dass genug der Features zueinander rigide verbunden sind, um erfolgreich die Position zu bestimmen. Bewegte Objekte sind unbedingt bei den Aufnahmen zu vermeiden. Ein begrenzter Anteil an Spiegelungen und anderen fehlerhaften Features kann durch die Software als solche erkannt und aus der Berechnung ausgeschlossen werden. Um möglichst nützliche Features zu erhalten, empfiehlt es sich, die Aufnahmen mit einem weitwinkligen Objektiv zu machen. Dies erhöht die Chancen, Teile des Objektes aus möglichst vielen Perspektiven abzubilden. Auch begünstigen weitwinklige Aufnahmen eine hohe Parallaxenverschiebung zwischen den einzelnen Aufnahmen, die die Positionsbestimmung unterstützt. Der erfolgreiche Einsatz der Photogrammetrie hängt also maßgeblich von den Umständen und der Natur des zu erfassenden Objektes, sowie der Qualität und Beschaffenheit der Aufnahmen ab. Sind die Voraussetzungen

erfüllt, kann neben der Geometrie auch eine Texturierung berechnet werden. Wenn Kamerapositionen und Oberflächenpunkte im Raum bekannt sind, können die Oberflächenpunkte in die Koordinaten der aufgenommenen Bilder transformiert werden. Im Bildraum können dann die Farbwerte der Pixel bestimmt und den Oberflächenpunkten zugewiesen werden. Um eine höhere Robustheit gegen Rauschen und Beleuchtungsänderungen zu erhalten, können die Farbwerte über mehrere Bilder gemittelt werden.

4.2.3. Rekonstruktionsprozess

Die Beschaffenheit des Spiegel/Dianasaals in Engers wurde als geeignet für eine photogrammetrische Erfassung erachtet. Dennoch wurde der Raum ergänzend von mehreren Positionen aus mit einem Laserscanner erfasst. Für die Photogrammetrie wurden ca. 800 Fotoaufnahmen getätigt, wobei der Großteil dieser mit besonderem Hinblick auf die Anforderungen der Photogrammetrie aufgenommen wurden. So wurden die meisten Aufnahmen mit einer gleichbleibenden, möglichst kurzen Brennweite aufgenommen, und es wurde mit besonderer Sorgfalt darauf geachtet, jeden Bereich des Raumes von möglichst vielen Positionen aus zu fotografieren. Dies soll sicherstellen, dass die räumliche Anordnung durch eine möglichst hohe Parallaxe zwischen den Merkmalen des Raumes zwischen den Einzelaufnahmen möglichst eindeutig bestimmt ist. Zu diesem Zweck wurden Aufnahmen nicht nur von Bodenhöhe gemacht, sondern auch von erhöhten Positionen auf Leitern. Zusätzlich wurden von allen Wänden noch frontal aufsichtige Aufnahmen gemacht, um geeignetes Fotomaterial für Texturen zu gewinnen. Auch die Fresken an der Decke wurden gesondert bildfüllend mit längeren Brennweiten fotografiert, um eine möglichst gute Auflösung für eine Betrachtung aus der Nähe zu ermöglichen. Die Fotoaufnahmen wurden mit der Software Agisoft Photoscan verarbeitet, einem spezialisiertes Werkzeug für das Anfertigen von Photogrammetrien. In einem ersten Arbeitsgang wurden durch die Software die relativen Positionen und Verzerrungsparameter der Kamera für jede einzelne Aufnahme berechnet. Auf Grund dieser initialen Kalibrierung konnte dann eine dichte Punktwolke von detektierten Oberflächenpunkten generiert werden, durch die die Raumgeometrie dreidimensional erfasst wurde.

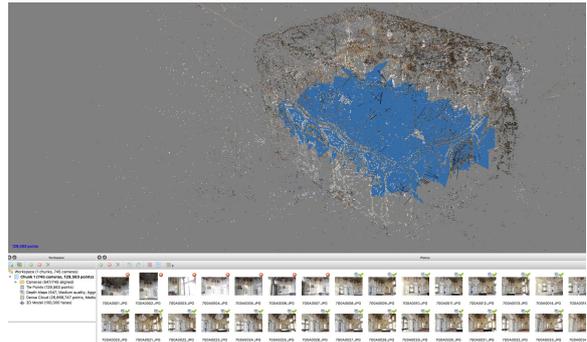
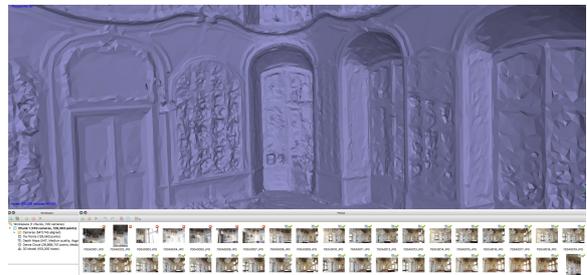


Abbildung: Screenshot aus Agisoft Photoscan, Punktwolke
Diese dichte Punktwolke mit circa 20 Millionen Punkten diente dann als Ausgangsbasis für die Generierung eines polygonalen Modells des Raumes. Die Genauigkeit des Modells gab guten Aufschluss über die Details der Architektur, jedoch war sie stark von Artefakten behaftet, die besonders an Fenstern und Spiegeln auftreten.

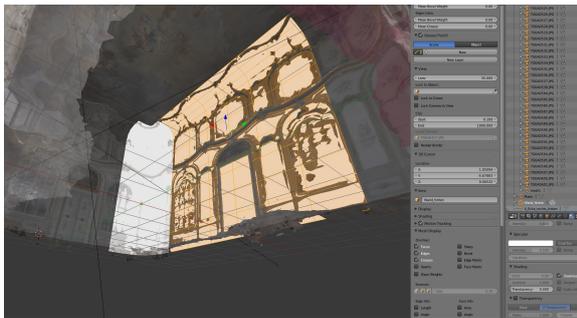


Die Verrauschtheit und hohe Polygondichte machten das generierte Modell ebenfalls ungeeignet für eine Echtzeitdarstellung in der Unreal Engine. Das Modell sollte also nur als Ausgangspunkt für ein geeignetes Modell dienen. Trotzdem wurde in einem weiteren Schritt eine Textur für das Modell aus den Bildern berechnet, um die Arbeit mit dem generierten Modell zu vereinfachen. Durch die Textur ist es einfacher, die Fotos bestimmten Regionen des Modells zuzuordnen.

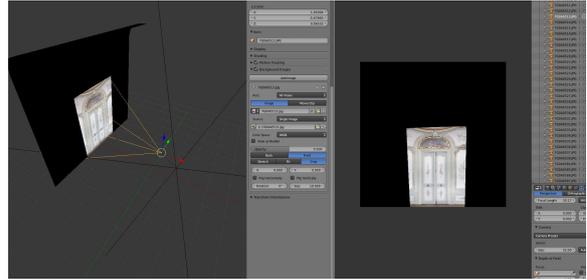


Die Daten wurden aus dem Programm exportiert, um in Blender 3D weiter verarbeitet zu werden. Dabei wurden außer dem Modell und der Textur noch die berechneten Kamerapositionen als virtuelle Kameras exportiert, und die Fotos anhand der bestimmten

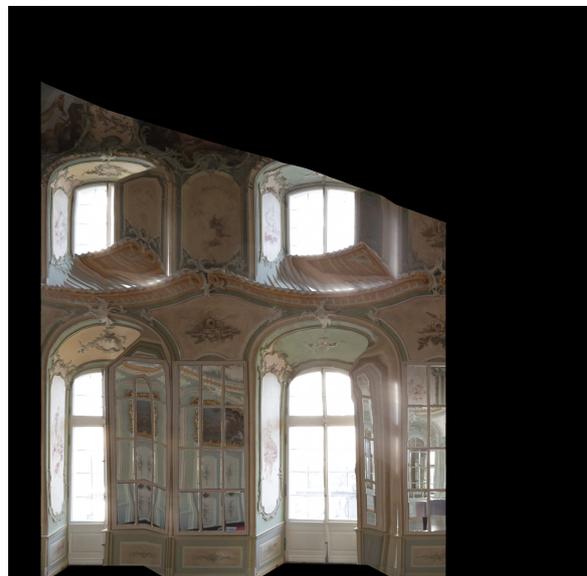
Verzerrungsparametern entzerrt. Hierdurch standen in Blender 3D zu jedem Foto eine virtuelle Kamera zur Verfügung, die exakt der Perspektive auf das rekonstruierte Raummodell entspricht. Dies sollte bei der Generierung der Textur für das optimierte Modell helfen. Auf Basis des importierten Modells wurde eine niedrig aufgelöste Geometrie konstruiert. Der Raum wurde in ein Deckensegment, das nur die Hauptfreske enthält, und Wandabschnitte aufgeteilt, die auch den abgerundeten Übergang zur Decke beinhalten. Die Unterteilung in Abschnitte dient dazu, beim Rendern der Geometrie nicht sichtbare Teile auszublenden, um Rechenleistung zu sparen. So wird vermieden, dass stets der gesamte Raum mit allen Texturen von der Unreal Engine verarbeitet werden muss. An den Anschlussstellen zu benachbarten Geometrien wurde dafür gesorgt, dass alle benachbarten Polygone exakt aufeinander liegende Kanten haben, um Artefakte beim Rendering und Probleme bei der Lichtberechnung zu vermeiden.

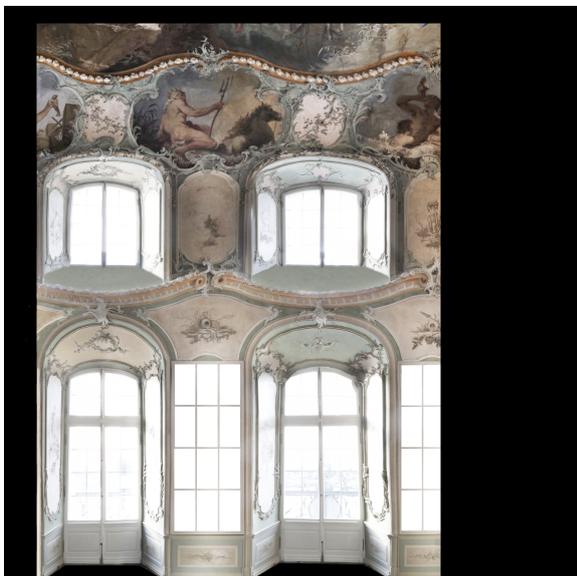
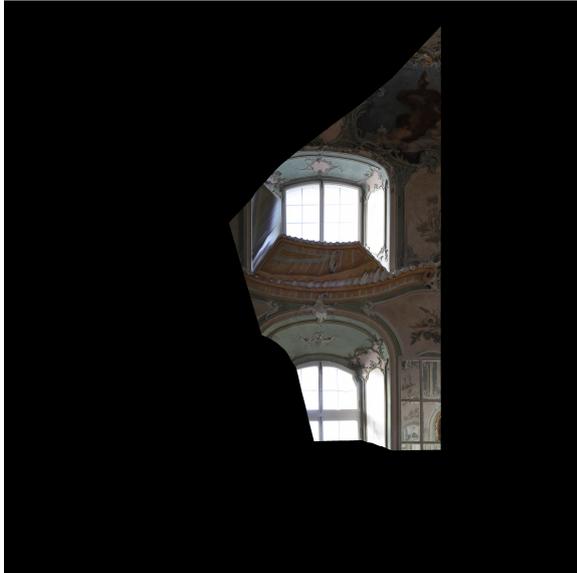


Alle Wandelemente erhielten einheitliche UV Koordinaten mit möglichst geringen Verzerrungen. Entsprechend der gewählten Quad-Topologie mit möglichst exakt orthogonalen Kanten erhielten die Modelle auch vollständig orthogonale Texturkoordinaten mit exakt eingehaltenen Kantenlängenverhältnissen. Hierdurch sollte sichergestellt werden, dass beim erstellen der Texturen aneinander angrenzende Wandstücke auch Texturen haben, die nahtlos aneinander gelegt werden können. So sollte es vereinfacht werden, unsichtbare Übergänge beim erstellen der Texturen sicher zu stellen. Für die Texturen wurde ein Feature von Blender genutzt, das es erlaubt, von virtuellen Kameras aus Bilder als Texturen auf Geometrie zu projizieren. Dabei wird das Bild entsprechend den Texturkoordinaten der Geometrie verzerrt, damit es als Textur gleich erscheint, als wäre es mit einem Projektor aus der Kameraposition auf das Objekt geworfen würde.



Da meistens keine Bilder ein gesamtes Wandsegment in geeigneter Qualität zeigen, wurden für jedes Segment mehrere Bilder auf die Geometrie projiziert. Die resultierenden Texturen wurden nachträglich in Photoshop kombiniert, um eine Textur in bestmöglicher Qualität zu erhalten.





Abbildungen: Zwei projizierte Texturfragmente und eine fertig kombinierte Textur

Zusätzlich zu der Farbtextur wurden mit dem Tool Crazybump aus den kombinierten Texturen mit Hilfe von Filtern zusätzliche Normal Maps und Specular Maps generiert. Die Fensterscheiben wurden händisch maskiert, um die entsprechenden Bereiche im Shader als transparent markieren zu können. Auf gleiche Art wurden die Spiegel ebenfalls maskiert, um dort über die Materialeigenschaften Spiegelungen zu simulieren. Als Quelle der Reflektionen dient eine Cubemap des fertigen Raumes. Die Planung und weite Teile des Rekonstruktionsprozesses für den Dianasaal wurden durch den Autor dieser Arbeit vorgenommen,

beim Projizieren und verarbeiten der Texturen war ein weiteres Mitglied des Kurses behilflich und übernahm einen großen Teil der Retuschierung und Kombination der projizierten Texturen.



4.3. Galerieräume

Die Galerieräume sowie der Startraum wurden von einem Kursteilnehmer entworfen, modelliert, und Texturiert. Das Ziel des Designs war es, einen gewohnten Eindruck eines etwas altmodischen Museums zu vermitteln. Hierdurch sollte unterstützt werden, dass Besucher ihre Umgebung begreifen und zum eigenständigen Erforschen der Umgebung animiert werden.

4.4. Lichtsituation

Da alle Räume in einem Level nebeneinander angeordnet sind, wurde eine einheitliche Beleuchtung für die gesamte Ausstellung gestaltet. Neben einem globalen ambienten Licht wurde eine Sonnenlichtquelle verwendet. Wo nötig wurden zusätzliche Flächenlichter gesetzt, um die Räume heller zu beleuchten. In den Galerieräumen gibt es neben dem einfallenden Licht durch die Fenster noch Spotlights, die die ausgestellten Bilder einzeln beleuchten. Die rekonstruierten Räume werden ausschließlich durch indirektes Licht beleuchtet. Alle Lichtquellen wurden als statische Lichtquellen eingestellt, und die gesamte Beleuchtung wurde vorberechnet und in Texturen gespeichert. So ist eine vollständige realistische indirekte

Illumination möglich, ohne, dass Beleuchtungseffekte aufwändig in Echtzeit berechnet werden müssen.

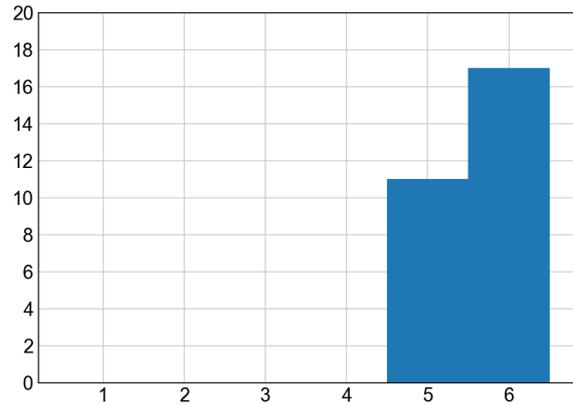
5. Evaluation

Um den Erfolg der Softwareentwicklung zu bewerten, wurde ein TestszENARIO entwickelt, bei dem festgestellt werden sollte, ob die Ziele der Unterhaltung des Besuchers, des Wissenstransfers, und einer möglichst leichten Bedienung erreicht worden sind. Für die Bewertung des Erfolges wurde ein Fragebogen entwickelt, der mit Besuchern des Mittelrheinmuseum Koblenz als Interview durchgegangen werden sollte. Zusätzlich zu den Antworten der Besucher sollten einige Daten durch Beobachtung erhoben werden. Da nicht alle Funktionen im Museumsbetrieb Anwendung fanden, wurden von den 19 Evaluationen sechs nicht mit Besuchern des Museums, sondern mit Probanden an der Uni Koblenz durchgeführt. Um die Daten möglichst vergleichbar mit denen aus dem Museum zu halten, wurde der Testdurchlauf möglichst ähnlich einem typischen Besuch aus dem Museum gehalten. Dabei wurde Besuchern und Probanden nach einer kurzen Einführung in die Funktionalität entweder durch Personal oder durch das Tutorial keine weiteren Vorgaben gemacht. Die Besucher und Probanden konnten frei wählen, welche Räume sie besuchen und welche Interaktionsmöglichkeiten wahrgenommen werden. In einem zehnminütigen Interview wurden subjektive Eindrücke der Besucher erfasst, während durch Beobachtung des Verhaltens noch einige Daten über die genutzten Interaktionsmöglichkeiten, Verweildauer, und eventuelle Fehlbedienungen oder Schwierigkeiten erfasst wurden. Die Fragen und Ergebnisse sind im Folgenden präsentiert und die Ergebnisse diskutiert.

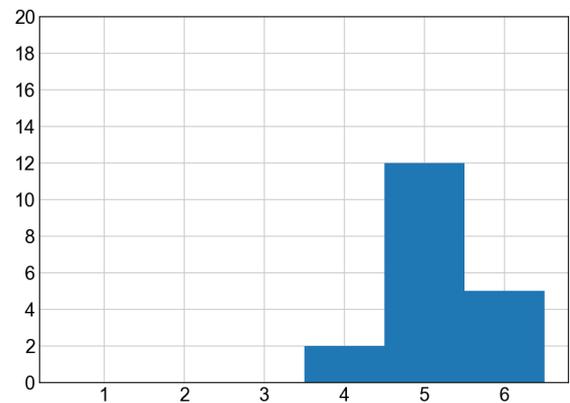
5.1. Subjektiver Gesamteindruck und Unterhaltungswert

Diese fünf Fragen dienen dazu, den Subjektiven Eindruck der Besucher zu erfassen und ein grundlegendes Stimmungsbild wiedergeben. Besucher können hier ihren Gesamteindruck und den wahrgenommenen Unterhaltungswert ausdrücken.

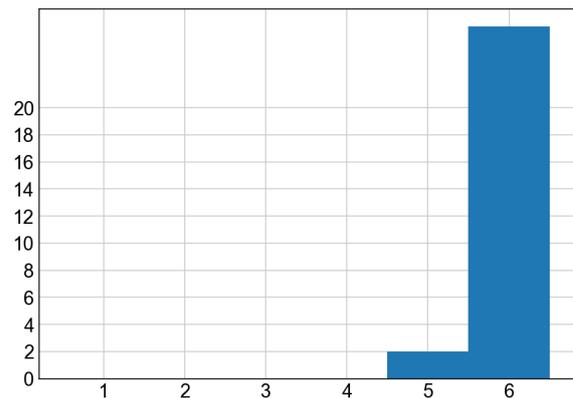
Frage: Wie hat Ihnen das Erkunden der Räume gefallen? 1 = gar nicht, 6 = sehr gut



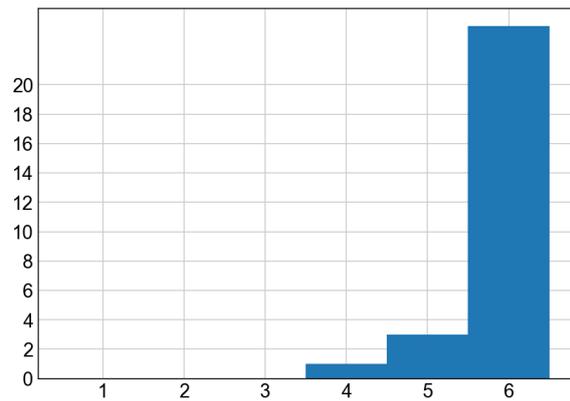
Frage: Bitte bewerten Sie, wie realistisch Ihnen die VR erschien/wie immersiv. Hatten Sie das Gefühl, Sie stehen wirklich in einem Raum?



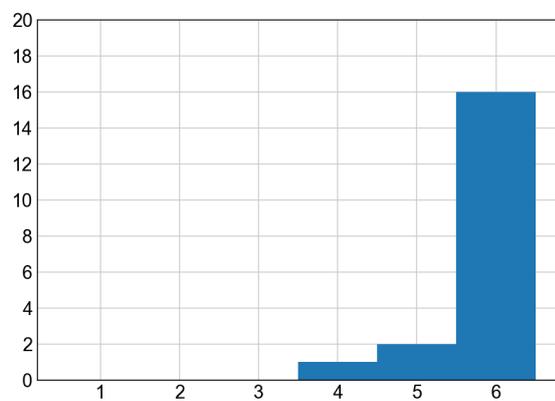
Frage: Empfanden Sie die VR als eine Bereicherung der Ausstellung? 1 = gar nicht, 6 = trifft voll zu



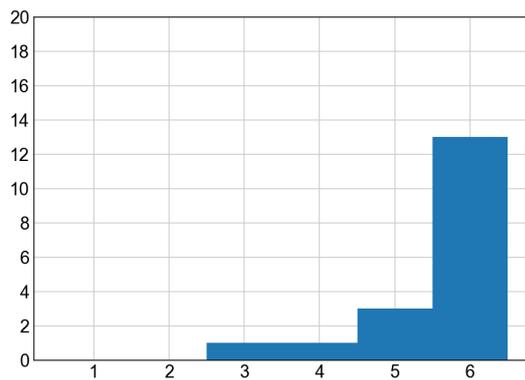
Frage: Würden Sie den Besuch der VR weiterempfehlen? 1 = gar nicht, 6 = uneingeschränkt



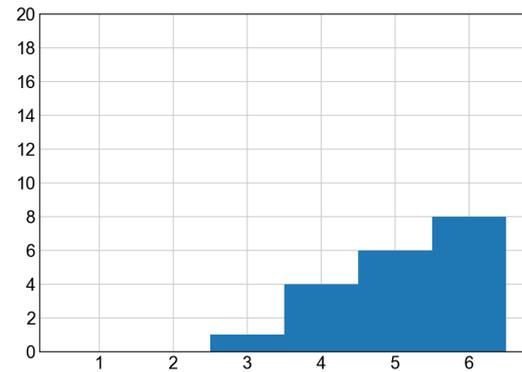
Frage: Würden Sie ähnliche Applikationen in der Zukunft ebenfalls besuchen? 1 = gar nicht, 6 = auf jeden Fall



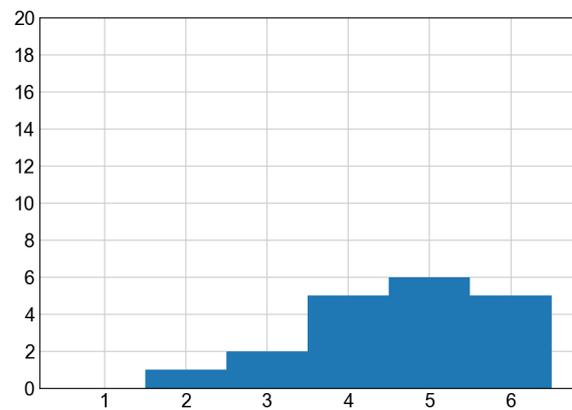
Frage: Sollten Museen Ihrer Meinung nach in Zukunft vermehrt auf VR setzen? 1 = gar nicht, 6 = auf jeden Fall



Frage: Wie realitätsnah erschienen Ihnen die Rekonstruktion/Die Raumgestaltung? 1 = gar nicht, 6 = sehr realistisch



Frage: Fanden Sie den Einsatz der Musik angebracht? 1 = gar nicht, 6 = sehr angebracht

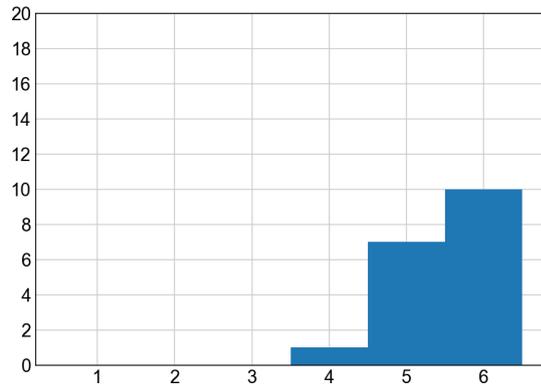


Die Ergebnisse zeigen, dass die befragten Personen einen überwiegend positiven Gesamteindruck beschrieben haben. Auch Beschreibungen des Betreuungspersonals lassen vermuten, dass zumindest bei einem Teil der Besucher das Ziel einer guten Unterhaltung erreicht werden konnte. Auch die Immersion wurde deutlich positiv bewertet. Einzig bei der Musik lässt sich auch feststellen, dass einige Besucher sie weniger bereichernd empfanden.

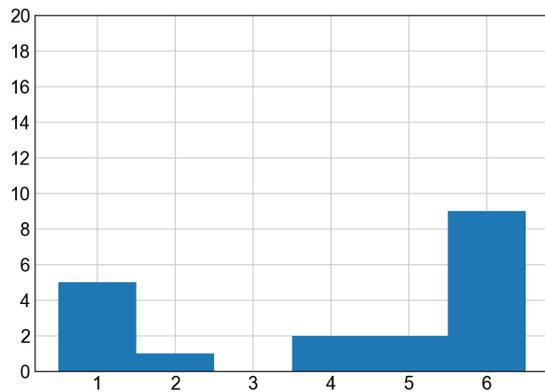
5.2. Wissenstransfer

Mit den folgenden Fragen soll ermittelt werden, ob Besucher die Inhalte wahrgenommen haben und ein bleibender Eindruck hinterlassen wurde. Dieser Punkt ist durch eine Befragung schwierig zu erfassen. Zusätzlich zu den Bewertungsskalen wurden noch eine freiere Frage gestellt, ob sich die Besucher an Details erinnern können. Circa 2/3 der Antwortenden nannten auf die Frage sehr allgemeine Eindrücke wie die Qualität der Beleuchtung, allgemein toller Raumeindruck etc. Nur wenige Befragte nannten spezifische Gegenstände wie zum Beispiel Öfen, einzelne Bilder oder Gemälde, oder andere Ausstattungsgegenstände.

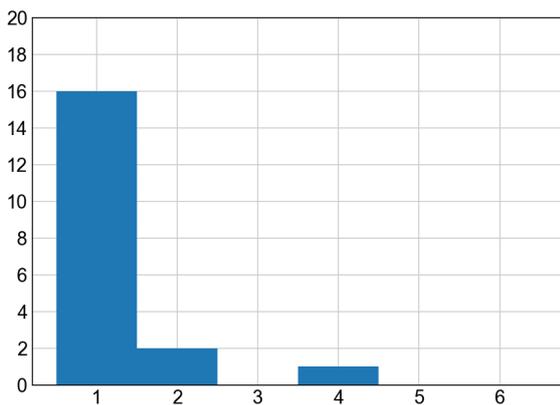
Frage: Können Sie sich vorstellen, dass die Räume tatsächlich so aussahen? 1 = gar nicht, 6 = sehr gut



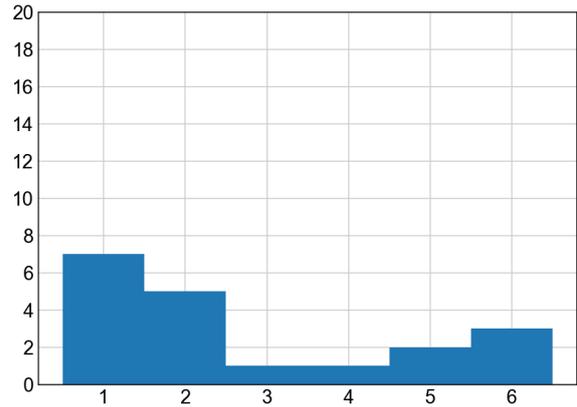
Frage: Ist Ihnen beim Besuch bewusst gewesen, dass die Gestaltung teilweise auch frei ergänzt wurde? 1 = gar nicht, 6 = trifft voll zu



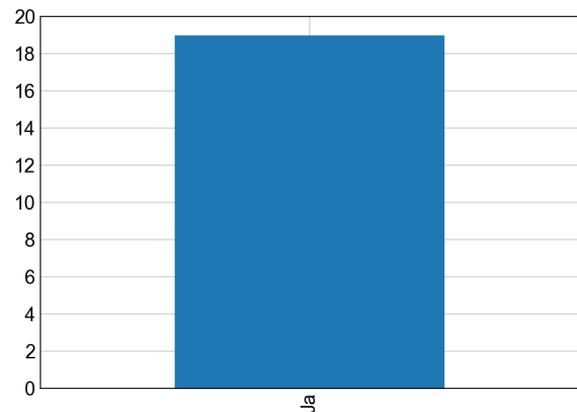
Frage: Sind Ihnen Probleme bei der Rekonstruktion aufgefallen? 1 = gar nicht, 6 = deutliche Probleme



Frage: Haben Sie in den Galerien abgebildete Gegenstände in den Galerien wiedererkannt? 1 = gar nicht, 6 = sehr gut



Haben Sie den Standort gewechselt, um einen besseren Blick auf ein Detail zu werfen? Ja O Nein O

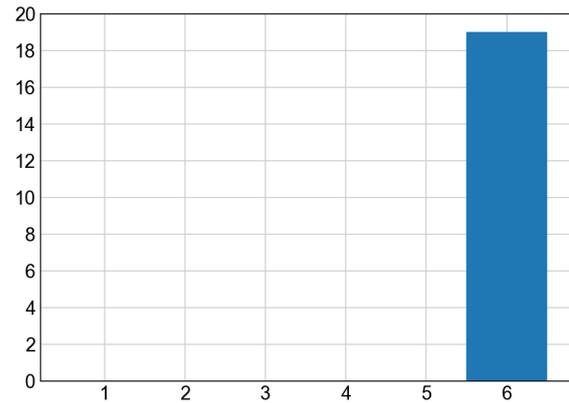
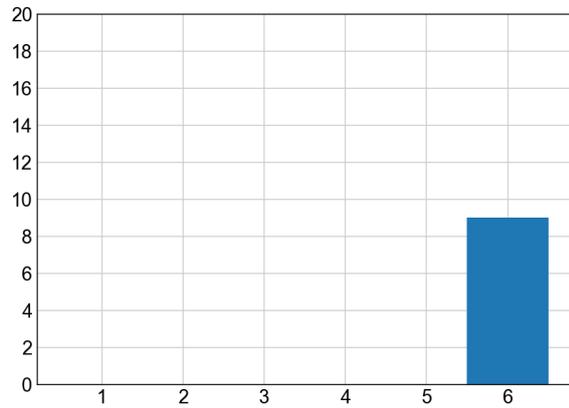


Die Besucher konnten überwiegend keine Probleme mit der Rekonstruktion feststellen und gaben an, einen realistischen Eindruck der rekonstruierten Räume erhalten zu haben. Alle haben auch von der Möglichkeit Gebrauch gemacht, sich Dinge aus verschiedenen Perspektiven anzuschauen. Jedoch war vielen von ihnen nur bedingt oder gar nicht klar, dass hier künstlerisch ergänzt wurde. Im Rahmen einer Museumsausstellung ist wissenschaftliche Korrektheit essenziell: um dies zu kommunizieren waren die Ausgangsmaterialien ausgestellt, außerdem wiesen die Sprecher der Audioguides deutlich auf diesen Umstand hin. Auch konnten viele Gäste nach eigenen Angaben schlecht die Verbindung zwischen den Bildergalerien und den rekonstruierten Räumen herstellen. Gemeinsam mit dem geringen Erinnerungsvermögen der Gäste an Details der Ausstellung, kann angezweifelt werden, ob die Ziele hinsichtlich der Wissensvermittlung erreicht wurden.

5.3. Bedienbarkeit und Komfort

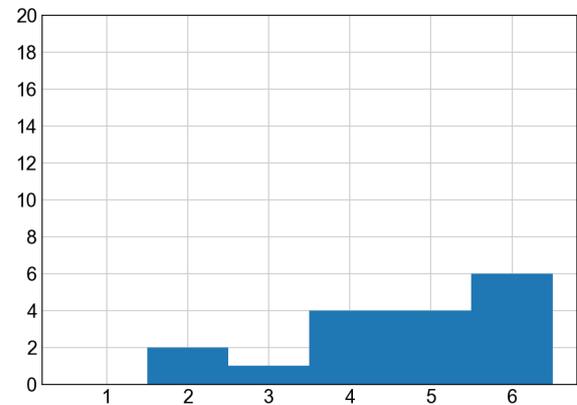
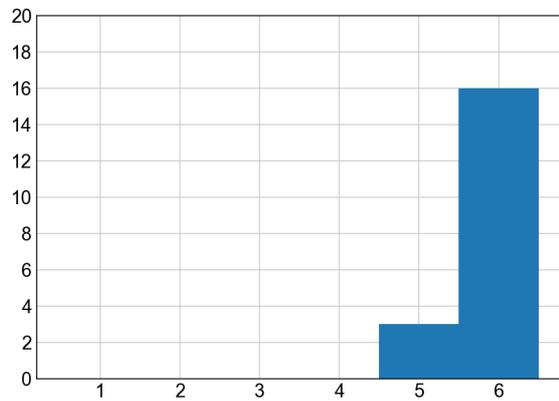
In den folgenden Fragen werden Einfachheit der Bedienung einzelner Aspekte und allgemeine Ergonomie abgefragt.

Frage: Konnten Sie dem Tutorial gut folgen und Gelerntes anwenden? 1 = gar nicht 6 = sehr gut



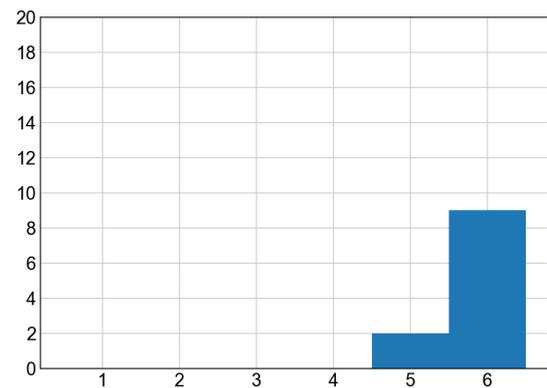
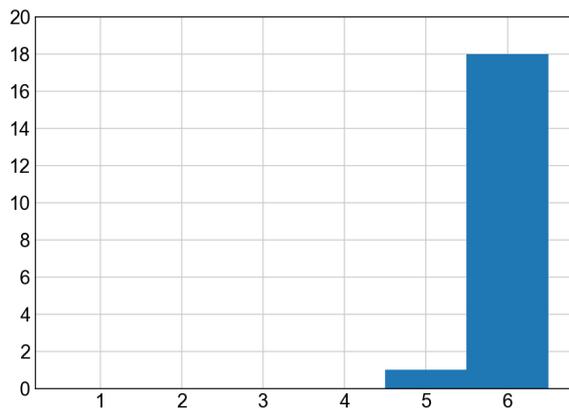
Wie würden Sie die Qualität der Detailansichten bewerten? 1 = sehr undeutlich 6 = sehr gut erkennbar

Frage: Wie gut gelang Ihnen der Umgang mit dem Controller insgesamt? 1 = gar nicht 6 = sehr gut



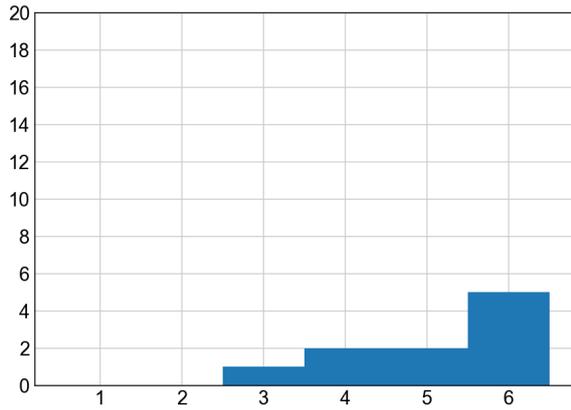
Freier Fortbewegungsmodus: wie einfach fanden Sie die Anwendung? 1 = schwierig/verwirrend 6 = sehr einfach

Wie leicht fiel Ihnen das Anvisieren der Wegpunkte? 1 = gar nicht 6 = sehr einfach

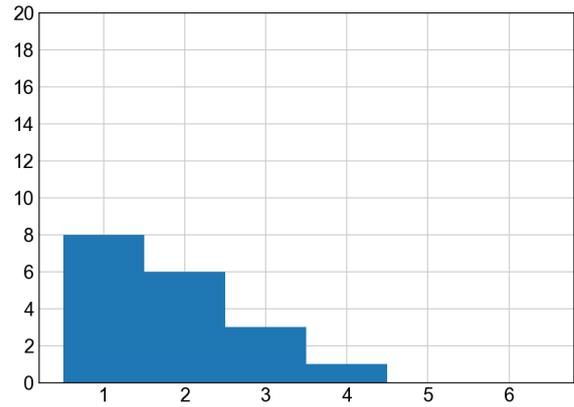


Wie leicht fiel Ihnen das Anvisieren der restlichen Gegenstände? 1 = gar nicht 6 = sehr gut

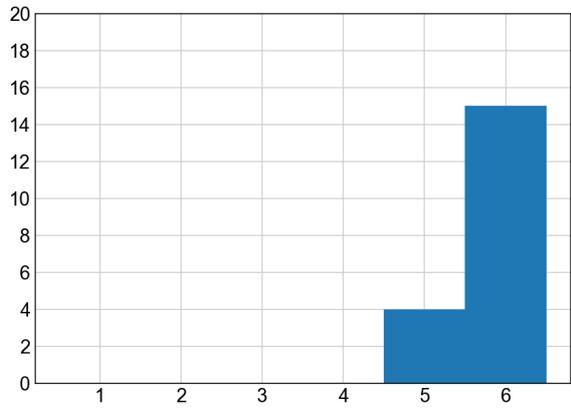
Bitte geben Sie eine Präferenz bzgl. Wegpunkte vs. freie Fortbewegung an. 1 = Wegpunkte 6 = freie Fortbewegung



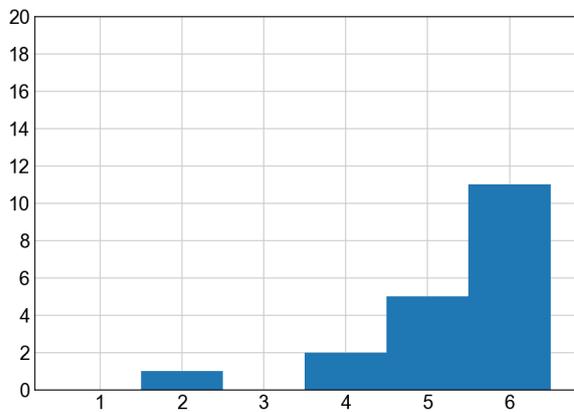
Wie bewerten Sie die Lesbarkeit der Bildunterschriften? 1 = sehr undeutlich 6 = sehr gut erkennbar



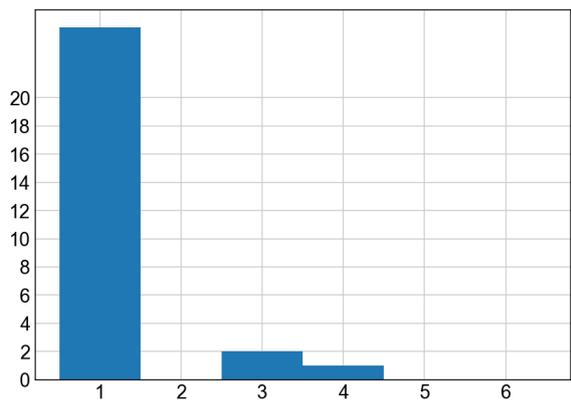
Wussten Sie stets, wo Sie sind und wohin Sie sich fortbewegen sollen oder wollen? 1 = gar nicht 6 = sehr gut



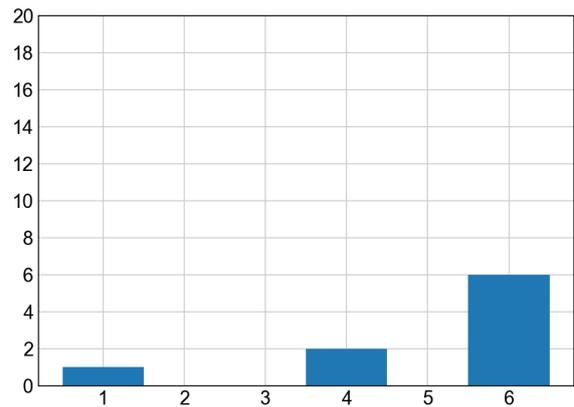
Empfanden Sie Schwindel/Unwohlsein in der VR? 1 = gar nicht 6 = starkes Unwohlsein



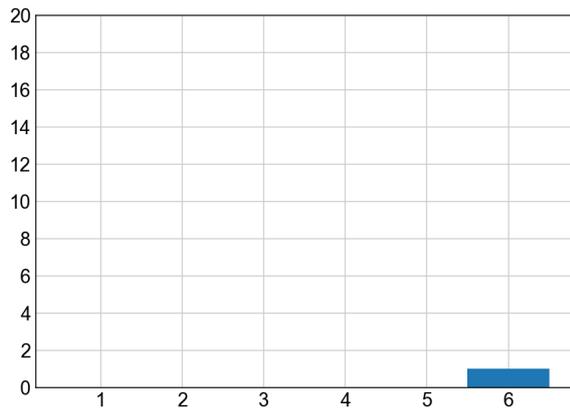
War die Wegführung für Sie eindeutig erkennbar und hilfreich? 1 = gar nicht 6 = sehr hilfreich



Empfanden Sie das Tragen der Brille als ermüdend? 1 = gar nicht sehr anstrengend



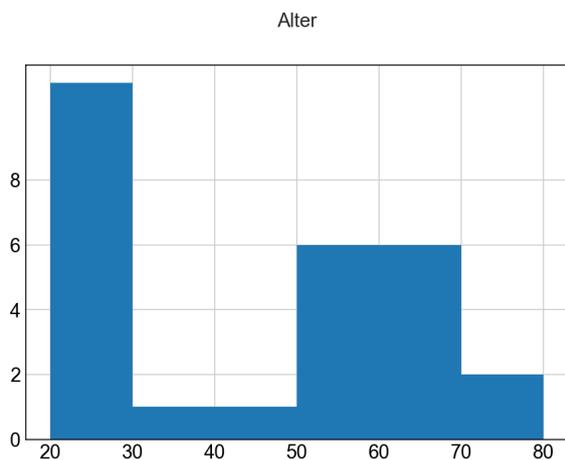
Fanden Sie das Navigationsmenu verständlich? 1 = gar nicht 6 = sehr gut verständlich



Überwiegend wurden die Interaktionsmethoden und Mechanismen dieser VR Applikation als einfach zu bedienen und intuitiv eingestuft. Die Bildqualität des HMD wurde variiert bewertet, einigen Personen fiel offenbar die begrenzte Auflösung auf. Der Tragekomfort wurde auch vorrangig gut eingestuft, mit wenigen Ausnahmen. Von den beiden Fortbewegungsmöglichkeiten ist, wo sie zur Anwendung kam, eindeutig die freie Methode bevorzugt worden. Bei wenigen Personen trat Schwindel oder Unwohlsein auf. Oft wurde bei den Befragungen eine Gleitsichtbrille als Faktor für verschwommenes Sehen in der VR genannt.

5.4. Weitere ermittelte Statistiken

32% der Probanden hatten Vorerfahrung mit VR, 36% mit Computerspielen, und 58% besuchen regelmäßig Museen. Die Altersverteilung bei den Probanden sah wie folgt aus:



Es sind als überwiegend unerfahrene Personen getestet worden. 64% aller möglichen Audioguides wurden von den Besuchern aktiviert. 95% aller getesteten Besucher haben Gebrauch von den Vergrößerungsfunktio-

nen für Bilder und Gemälde gemacht. 63% aller getesteten Besucher haben zumindest von einem Gegenstand die optionalen Audioinformationen aufgerufen. Der durchschnittliche Aufenthalt in einem Raum variierte von 1:40 Minuten und 5:00 Minuten, der durchschnittliche Aufenthalt in der gesamten Applikation dauerte 19:20 Minuten.

5.5. Gesamtüberblick über die Ergebnisse

Insgesamt haben die getesteten Besucher die Interaktionsangebote überwiegend angenommen und beträchtliche Zeit in der Applikation verbracht. Die Bedienungskonzepte wurden überwiegend verstanden und erfolgreich angewandt, um die gesamte oder große Teile der Applikation zu besuchen. Die Rückmeldungen zu den Eindrücken und Erlebnissen sind überwiegend sehr positiv und deuten auf einen guten Unterhaltungswert hin. Das Interesse scheint ausweislich der langen durchschnittlichen Verweildauer trotz geringer Vorerfahrung bei den Besuchern groß zu sein. Bei der Übermittlung von Wissen weisen die Ergebnisse jedoch auf mögliche Mängel hin. Es kann spekuliert werden, dass die Besucher durch die überwältigenden Visuellen Eindrücke und die Ungewohntheit des Mediums abgelenkt wurden und sich nicht so sehr auf die Inhalte fokussierten wie auf eine spielerische Auseinandersetzung mit der virtuellen Umgebung.

6. Fazit

Im Rahmen dieses Projektes wurde eine virtuelle, interaktive Museumsausstellung auf Basis der HTC Vive und Unreal Engine geplant und implementiert. Mit einer Mischung aus teilweise historisch rekonstruierten 3D Inhalten und zusätzlichen Informationen in Form von Bildergalerien und Audioguides wurden Besuchern eine umfassende autonome Erkundung durch freies Fortbewegen angeboten. Die Rekonstruktionen und die Bedienbarkeit wurden in einer stichprobenartigen Evaluation überwiegend positiv bewertet, während ein bedeutender Wissenstransfer mit den Methoden dieser Evaluation nicht festgestellt werden konnte. Eine weiterführende Untersuchung zu dem Thema virtuelle Museumsausstellung wäre vor allem in Richtung Wissensvermittlung interessant. Insgesamt kann die Entwicklung der Applikation als teilweise Erfolgreich eingestuft werden. Es wurde ein Erlebnis bereitgestellt, das augenscheinlich von Besuchern angenommen und interessiert erkundet wurde. Es konnte durch die Stichprobenartige Untersuchung jedoch nicht nachgewiesen werden, dass es den hohen Anforderungen an eine Museumsausstellung gerecht wird. Dies kann jedoch auch dem Umstand geschuldet sein, dass die Besucher überwiegend neu in diesem Medium waren und hierdurch abgelenkt wurden.

Quellenangaben

- [Ari] ARINZE E. N.: The role of the museum in society.
- [CB] C. BOSSARD G. KERMARREC C. B. J. T.: Transfer of learning in virtual environments: a new challenge?
- [CK15] CLAUDIA KAMCKE R. H.: *History of Dioramas*. Springer Science+Business Media Dordrecht, 2015.
- [Fuc] FUCHS P.: Virtual reality headsets â a theoretical and pragmatic approach.
- [Man13] MANDAL S.: Brief introduction of virtual reality its challenges. *Internation Journal of Scientific Engineering Research* 4 (2013).
- [MH15] MUSTAFA HUSSEIN C. N.: The benefits of virtual reality in education: A comparison study.
- [MRM] <https://www.mittelrhein-museum.de/das-erbe-der-vaeter-mit-der-malerfamilie-durch-zwei-jahrhunderte/>.
- [Pro95] PROSTKA J.: Immersive training systems: Virtual reality and education and training. *Instructionals Science* 23 (1995), 405–431.
- [Puj] PUJOL L.: Archaeology, museums and virtual reality.
- [Rou] ROUSSOU M.: Immersive interactive virtual reality in the museum.
- [RW] RAFA WOJCIECHOWSKI KRZYSZTOF WALCZAK M. W. W. C.: Building virtual and augmented reality museum exhibitions.
- [T.P] T.P.KERSTEN F.TSCHIRSCHWITZ S.: Development of a virtual museum including a 4d presentation of building history in virtual reality.
- [VAL] <http://blogs.valvesoftware.com/abrash/down-the-vr-rabbit-hole-fixing-judder/>.