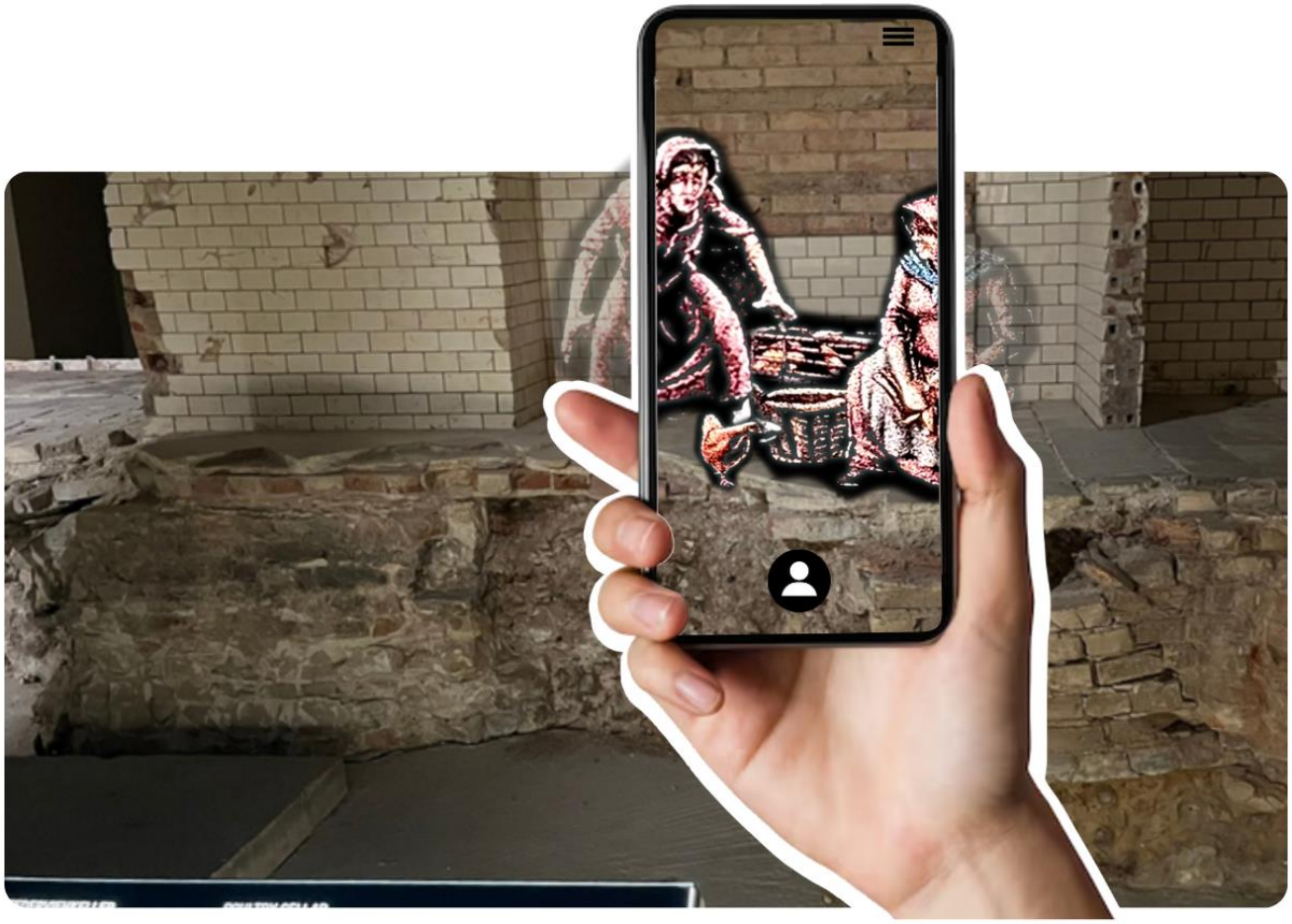
h_da
HOCHSCHULE DARMSTADT
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES



Inclusive Storytelling Tool for Cultural Spaces

The Role of Augmented Reality in Transforming Museum Experiences

by
Gian Dion Dubberke

Inclusive Storytelling Tool for Cultural Spaces: The Role of Augmented Reality in Transforming Museum Experiences

Abgegeben von:	Gian Dion Dubberke
Erster Supervisor:	Prof. Claudius Coenen
Zweiter Supervisor:	Prof. Martin Schwember
Fachrichtung:	Expanded Media
Druckdatum:	27.03.2025

Erklärung

Ich versichere hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen, als die im Quellenverzeichnis angegebenen Quellen benutzt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nicht veröffentlichten Quellen entnommen sind, sind als solche kenntlich gemacht. Ich erkläre zudem, dass ich in einem Verzeichnis alle verwendeten Hilfsmittel (KI-Assistenzsysteme) deklariert und ihre Verwendung bei den entsprechenden Textstellen angegeben habe. Die Zeichnungen oder Abbildungen in dieser Arbeit sind von mir selbst erstellt worden oder mit einem entsprechenden Quellennachweis versehen. Diese Arbeit ist in gleicher oder ähnlicher Form noch bei keiner anderen Prüfung oder Prüfungsbehörde eingereicht worden. Mir ist bekannt, dass ein Täuschungsversuch, der zur Exmatrikulation führen kann, vorliegt, wenn sich die vorstehende Erklärung als unrichtig erweist.

_____ _____

Ort, Datum Unterschrift

Erklärung zur Archivierung

Bitte zutreffendes ankreuzen:

o Mit der Archivierung der gedruckten Abschlussarbeit in der Bibliothek bin ich einverstanden.

o Mit der Archivierung der gedruckten Abschlussarbeit in der Bibliothek bin ich nicht einverstanden.

Begründung:

o Die Arbeit ist gesperrt, da sie in einem Betrieb durchgeführt wurde und ihr Inhalt ausdrücklich durch diesen gesperrt ist. (Vgl. ABPO § 18 (9))

o Persönliche Gründe

_____ _____

Ort, Datum Unterschrift

Links

Prototypen Walkthrough:

Tool: https://youtu.be/AdejGOTE_uY

H_da Showcase: https://youtu.be/HO7d6sHzsno

Erste Demonstration: https://youtube.com/shorts/zZyiH8BwvqQ?feature=share

Finale Demonstration: https://youtu.be/YH7PE5FIiaI

Englische Zusammenfassung

During a Project in Naxos, Greece, I faced the problem of a missing link between augmented reality (AR) story developers and clients. I started to investigate and created the first idea of an AR Storytelling Tool, that would serve as this link. To research what parts and aspects such a tool would need I aimed for a collaboration with a museum to find out in practice. I found a partnership in the Humboldt Forum at Berlin.

Throughout my research I discovered that AR is a effective technology for a variety of aspects in Museums and cultural sides. The aspects of reconstruction and contextualisation of artifacts and historical sides stood out to me. The problem of a missing tool was also mentioned in scientific papers (Boboc et al. 2022; Yilmaz und Goktas 2017) and I investigated in potential solutions to build my own. I found that Unity and Vuforia offer a flexible base for a tool, well suited for the museum use case. Regarding the storytelling aspect I discovered that AR in combination with storytelling creates an entertaining and engaging learning process, that could support Museums. Finaly, I researched further to the Humboldt Forum and their needs and this led me to the inclusivity aspect. The literature suggested to offer plenty of settings to adjust the tool, to the requirements of the user.

Based on my research, I've created a concept, that incorporates all my findings. The tool should be a flexible unity software development kit (SDK)/add-on that works with Vuforia, to expand traditional museum exhibits with AR. It should use a minimal, high contrast user-interface (UI), with a variety of accessibility settings and presets, to create an optimal experience for everyone. The creation process is supported by Unity's timeline and custom building blocks, to create an easy to use story creation workflow, that doesn't require AR expert knowledge to start with. Together with a Community library, the tool can grow with future features, to support a variety of use cases in the long run.

I've created a first prototype for the "Mathildenhöhe" in Darmstadt, to test the concept and refined it further with the Humboldt Forum. Over remote discussions and three trips

to the Museum, I discover more about the museum needs and the implementation of the tool. I tried to apply my tool in praxis with an AR expansion of the “Schlosskeller”, inside the Humboldt Forum. A defect in the ventilation system leads to the closing of the exhibit and a required rearrangement of the production. In conjunction with additional production holds, due to the Museum workflow, I end up creating most of my material personally and setup an additional User testing. This Testing at Darmstadt University of Applied sciences allows me to test the development side of the tool and I show a new demo as well. Finally, I return to the Humboldt Forum for a final demonstration, to learn more about the Museum expert perspective, but new misunderstandings lead to a small-scale test with the curators and therefore only to an indication of the museum perspective.

Over the course of the production, I’ve created one prototype for the tool and three demonstrations of the tool in practice. The developer testing demonstrated an overall positive perception to the tool and a successful creation of the story by seven developers. All of them were able to learn the tool and build their personal stories within less than one hour. The showcase demonstration at h_da was also widely positively reviewed and testers saw a lot of potential in the museum use case. Lastly the museum experts showed a lot of interest about the tool and when presenting, they were inspired to come up with other usages inside the museum. The final questionnaire indicated that the reconstruction and contextualisation aspects worked well and that the curators see potential in their application across the museum.

Overall I was able to successfully create a first minimum-viable-product (MVP) of the AR storytelling tool with the core features. The development side worked and I found additional ways to improve the usability for a wider range of user. The Practical application of the tool on the other hand failed, due to the real-world conditions inside the Museum. Future work is needed, that could focus on the necessary structural needs to apply such a tool, in practice, inside a museum.

Gliederung

Gliederung 7
Abbildungsverzeichnis 11
Vorwort 16
Danksagung 17
Begrifflichkeiten 17
Abkürzungen 18
Einführung 19
Motivation 20
Naxos Projekt 20
Übersicht des Naxos Projektes 20
Erkenntnisse 21
Tool zur Erstellung von AR Story Erfahrungen 22
Recherche und Vorbereitung 23
Augmented Reality (AR) 24
Spektrum der Extended Reality (XR) 24
Geräte 24
AR im Kulturbereich 25
Tools und Toolkits 27
AR-Tools 27
Lens Studio und Meta Spark 27
8th Wall 29
AR Toolkits und Software Development Kits (SDK) 29
AR Foundation 30

Vuforia 30
Umgebungsscans für AR 31
Narratives Design 33
Storytelling 33
Erzähltechniken 33
AR-Storytelling 34
Humboldt Forum 35
Allgemein 35
Medienguide 35
Inklusives Design 37
Warum inklusiv entwickeln? 37
Curb-Cut-Effekt 38
Inklusive Design Guidelines 39
Inklusivität im Videospiel Design 40
Idee und Konzept 44
Vorbereitung 45
Augmented Reality Storytelling Tool (ARSTT) 45
Einführung 45
AR-Storys (ARS) 46
Building Blocks Konzept 47
App und User Interface (UI) 50
Feedback loop 52
AR als Ermöglicher 53
Community 55
Target Audience 57
Museen und Kulturstätten 57
Andere Bereiche 58

Produktion 59
Einführung 60
Demonstration Mathildenhöhe 60
Kooperation Humboldt Forum 62
Art der Kooperation 62
Vorbereitung und Voraussetzungen 63
Produktion vor Ort 65
ARSTT Entwicklung 65
Minimal Viable Product (MVP) 65
Setup 66
UI-Umsetzung 66
Buildingblocks 69
Story Timeline 69
Story Events 70
Trigger Blocks 71
Info Panel Blocks 72
Characters 73
Map 74
Shader 75
Allgemeine Funktionen 76
Ausstellung als Praxisbeispiel 77
1.Location 77
Kriterien für die Ausstellungsselektion 77
Use Case Schlosskeller 78
2.Erste Demonstration 79
Location Scans 79
Konzepte für die Ausstellungserweiterung des Schlosskellers 79

Übergreifende Story 80
Einzelne Bereiche 82
Entwicklung von Inhalten 85
Entwicklung des Ersten Prototypen 86
Produktion User Test 87
3. Finale Demonstration 88
Konzept finaler Prototyp 89
Entwicklung des Finalen Prototypen 92
Prototypen 95
Einleitung 96
Tool Prototype 96
AR-Ausstellungserweiterung 99
Prototyp h_da: Showcase 99
Prototypen Schlosskeller 100
Erster Prototyp 100
Finaler Prototyp 102
Evaluation 106
User test h_da 107
Setup 107
Test Ziele 109
Resultate 110
Demonstration Schlosskeller 122
Erster Test 122
Finaler Test 123
Bias 127
Diskussion 128
Erkenntnisse 129

Praxis Anwendung des Tools 129
Technische Umsetzung und Einschränkungen 131
Konklusion 134
ARSTT zur Transformation der Museums AR Erfahrung 135
Zukunft und weitere Arbeit 136
Ressourcen 138
Plugins und externe Materialien 139
Einsatz von Künstlicher Intelligenz 140
Literaturverzeichnis 140

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Reality-Virtuality Continuum 24
Abbildung 2 Ikea Place (IKEA 2025), Smart glasses (Meta und Redaktion 2024), Hololens AR HMD (Microsoft 2025), Quest 3 Passthrough XR (Meta und Tricks Tips Fix 2025) 25
Abbildung 3 Lens Studio UI und Snapchat Filter Interface 27
Abbildung 4 Beispiel für die Struktur eines Asset Packs in Lens Studio 28
Abbildung 5 Asset Library von Lens Studio 28
Abbildung 6 Vuforia Creator App Scan Prozess (Vuforia 2025b) 32
Abbildung 7 Vuforia Ideales Scan (Vuforia 2025b) 32
Abbildung 8 Webseite Medien Guide und Tour: „Ein besonderer Ort (Erdgeschoss)“ (Humboldt Forum 2024b, 2024a) 36
Abbildung 9 Microsoft Inclusivity Design Guidelines: Veranschaulichung des Curb-Cut-Effektes und potentiellen betroffenen Gruppen (Microsoft Design 2016, 2025) 39
Abbildung 10 “The Last of Us 2” Accessibility Presets (Steve Saylor 2020) 41
Abbildung 11 Der Unterschied zwischen normalem Gameplay und dem mit dem visuellen Preset eingeschaltet (Steve Saylor 2020; Naughty Dog 2020) 42

Abbildung 12 Audio Preset Veränderungen des Gameplays (Steve Saylor 2020; Naughty Dog 2020) 43

Abbildung 13 Auszug aus meinem Konzept Board. Wie könnte mein Tool aussehen und über welche Bestandteile sollte es verfügen? 47

Abbildung 14 Auszug aus meinem UI/UX Konzept zum Design und Farbschema der App 50

Abbildung 15 Details zu meinem UI Konzept von links nach rechts: Home Screen, AR View während dem interagieren, Anpassungsmöglichkeiten, AR View roh, AR View bei Nutzung des Interaktionsknopfes. 51

Abbildung 16 Konzept zum Feedback Loop 52

Abbildung 17 Löwentor 3D Model - Mockup Augmentation Mathildenhöhe Demo 61

Abbildung 18 Screenshots der Mathildenhöhe Demonstration. Ping System, Interaktionen und 2D Map. 62

Abbildung 19 Location Scouting für potentielle Ausstellungen 64

Abbildung 20 App UI für Start Menu, Default View und Einstellungen 68

Abbildung 21 Unity Timeline für das Erstellen und anpassen von Storylines 69

Abbildung 22 Story Event Script zum senden und empfangen von Story Events 70

Abbildung 23 Proximity Trigger Building Block mit zugehörigem Script zum triggern von Interaktionen 71

Abbildung 24 UI Interaction Script für den adaptiven Interaktionsknopf 72

Abbildung 25 Info Panel Blocks: Baustein zum hinzufügen von zusätzlichen Informationen in Text- oder Bildform 73

Abbildung 26 2D und 3D Characters für interaktive Storys 74

Abbildung 27 3D Map Baustein zur Orientierung innerhalb der Ausstellung. Das 3D Modell wurde bereitgestellt (Humboldt Forum 2025b) 74

Abbildung 28 Allgemeine Shader die Entwickler bei der Augmentierung unterstützen sollen. 76

Abbildung 29 Konzept für die Übergreifende Story, welche Teile der Ausstellungserweiterungen vereinen soll 81

Abbildung 30 Auszug aus meinen Konzeptzeichnungen zur Erweiterung des Klosterbereiches 82

Abbildung 31 Auszug aus meinen Konzeptzeichnungen zur Erweiterung der ehemaligen Heizungsanlage 83

Abbildung 32 Auszug aus meinen Konzeptzeichnungen zur Erweiterung des Geflügelkellers 84

Abbildung 33 Auszug aus meinen Konzept-zeichnungen zur Erweiterung der Sprengung des Schlosses 84

Abbildung 34 Veranschaulichung zum Erstellungsprozess der einzelnen Augmentierungsebenen aus den ART+COM Grafiken 85

Abbildung 35 Mixamo Charakter Animationen 86

Abbildung 36 ElevenLabs Interface zur Generierung von Text zu Synchronstimme 86

Abbildung 37 Auszug aus meiner Präsentation zum Rekonstruktionskonzept 89

Abbildung 38 Auszug aus meiner Präsentation zum Storytelling Konzept 90

Abbildung 39 Auszug aus meiner Präsentation zum Kontextualisierungskonzept 91

Abbildung 40 3D Modell der Klosterdecke mit einer Textur aus einem Foto der Mauerüberreste 93

Abbildung 41 3D Modell eines Kachelbruchstückes modelliert basierend auf einem Foto der Kachel, welches das Humboldt Forum bereitgestellt hat. 93

Abbildung 42 Blender 3D Modell des Kachelofens mit einer Textur Projektion einer ART+COM Konzept Zeichnung 94

Abbildung 43 Feature Showcase Szene zum praktischen erlernen und ausprobieren des Tools 96

Abbildung 44 Links: Main Szene mit dem App Interface und Hauptmenü. Rechts: Default Szene mit einer Beschreibung zum Erstellungsprozess einer AR-Story Erfahrung mit Hilfe des Tools 98

Abbildung 45 Screenshots der Showcase Erfahrung für das Usertesting an der h_da. 3D Story Charakter und Interaktive Info Elemente 99

Abbildung 46 Erste Demo Schlosskeller: Info Elemente und 2D Charaktere zur Erweiterung der Vitrinen. 100

Abbildung 47 Erste Demo Schlosskeller: Story und 3D Map Konzept 101

Abbildung 48 Erste Demo Schlosskeller: Block Out zur potentiellen Rekonstruktion der ursprünglichen Klosterfassade 101

Abbildung 49 Rekonstruktionsszene: Hologramm des Story Charakters mit der Rekonstruierten Decke des Klosterkellers 102

Abbildung 50 Story Szene: Charaktere im Geflügelkeller zur Visualisierung des Schloss Alltages 103

Abbildung 51 Kontextualisierungsszene: Rekonstruierter Kachelofen in dem sich das Bruchstück wieder einfügt und den ursprünglichen Kontext demonstriert. 105

Abbildung 52 Screenshot des Aufgaben Schemas 108

Abbildung 53 Test Personen bei der Benutzung des Showcases. 109

Abbildung 54 Eine Experten Test Person bei der Nutzung des Tools und eine Person beim Testen der erstellten Story Erfahrung vor Ort. 111

Abbildung 55 Auszüge aus den mit dem Tool erstellten Story Erfahrungen der Experten Test Personen. Zu sehen ist der unterschiedliche Einsatz der Bausteine und den zu Demo Zwecken zur Verfügung gestellten Materialien. 112

Abbildung 56 Auszug aus dem Fragebogen der Experten Tester zum Verständnis der Bausteine (1 entspricht sehr schwierig, 5 sehr einfach) 113

Abbildung 57 Auszug aus dem Fragebogen der Experten Tester zu Limitierungen 114

Abbildung 58 Auszug aus dem Fragebogen der Experten Tester zum Nutzungskomfort des Tools 115

Abbildung 59 Auszug aus dem Fragebogen der Experten Tester zu frustrierenden Aspekten des Tools 116

Abbildung 60 Auszug aus dem Fragebogen der Experten Tester zum Usecase 116

Abbildung 61 Auszug aus dem Fragebogen der Experten Tester zum Gesamteindruck (1 entspricht sehr schlecht, 5 sehr Gut) 117

Abbildung 62 Auszug aus dem Fragebogen der Showcase Tester zur AR-Erfahrung (1 entspricht sehr ansprechend, 5 wenig ansprechend) 118

Abbildung 63 Auszug aus dem Fragebogen der Showcase Tester zum verbesserten Verständnis durch die App 119

Abbildung 64 Auszug aus dem Fragebogen der Showcase Tester zur Funktionalität der einzelnen Elemente 119

Abbildung 65 Auszug aus dem Fragebogen der Showcase Tester zur Interaktion mit den Elementen (1 entspricht sehr einfach, 5 sehr schwierig zu interagieren)..... 120

Abbildung 66 Auszug aus dem Fragebogen der Showcase Tester zum Potential der Praxis Anwendung im Museum..... 121

Abbildung 67 Auszug aus dem Fragebogen der Showcase Tester zum Gesamteindruck der Demonstration..... 122

Abbildung 68 Simulationsmodus zum Testen der App innerhalb von Unity 124

Abbildung 69 Unity UI Toolkit Beispiel zur Überarbeitung von Variablen eines Scripts 132

Vorwort

Danksagung

Ich möchte mich bei allen bedanken, die mich so tatkräftig bei meiner Arbeit unterstützt haben. Allen voran der Mutter meiner Katzenkinder Gesine Gerk, die mich in allen Phasen meiner Thesis begleitet hat, mir immer mit guten Ratschlägen und einem offenen Ohr beiseite stand. Darüber hinaus möchte ich mich bei meinen Eltern und Freunden bedanken, die mich tatkräftig dabei unterstützt haben, dass diese Thesis so zustande kommen konnte. Danke an all diejenigen, die mir Mut gemacht haben und mir mit der Korrektur meiner Rechtschreibfehler geholfen haben, die aufgrund meiner Legasthenie entstanden sind. Ich bin dankbar für meine Professoren und Kommilitonen, die mir fachlich zur Seite gestanden haben. Mein Dank geht hierbei vor allem an Claudius Coenen, welcher mir als mein Erstprüfer Tag und Nacht zur Seite stand und mich gerade in den entscheidenden Phasen meiner Praxisanwendung stets unterstützt hat. Zuletzt bin ich dankbar für die offenen Arme mit denen mich das Humboldt Forum empfangen hat.

Begrifflichkeiten

- Kontextualisierung - ein Objekt (oder Subjekt) wird durch Informationen erweitert, wie durch den passiven Kontext von anderen Objekten (oder Subjekten). Beispiel: Ein Stuhl wird zum Schreibtischstuhl, sobald er an einem Schreibtisch steht.
- Immersion – wenn man sich vollkommen auf ein (AR) Erlebnis einlässt.

- Cultural Spaces – im Rahmen meiner Thesis konzentriere ich mich hierfür vor allem auf den Museums Bereich. Die Begrifflichkeit schließt für mich jedoch auch weitere Kulturelle Stätten ein, wie beispielsweise historische Bauwerke oder archäologische Fundstätten.

Im Laufe der Thesis werden zum Teil englische Begrifflichkeiten verwendet, da diese entweder in Bezug auf die Recherche oder in Bezug auf die Programmierung unabdinglich zur Erläuterung und Beschreibung sind. Einige dieser Begrifflichkeiten sind zudem in Fußnoten erläutert.

Abkürzungen

- AR - Augmented Reality
- VR - Virtual Reality
- XR - Extended Reality
- ARSTT - Augmented Realities Storytelling Tool
- ARS - Augmented Realities Stories
- SDK – Software Development Kit
- HMD - Head-Mounted Displays
- MVP – Minimal Viable Product
- UI – User Interface
- UX – User Experience
- VPS - Visual Positioning System
- H_da – Hochschule Darmstadt / University of Applied Sciences

Einführung

Motivation

In meinem Bachelor habe ich mir angeschaut, wie Augmented Reality (AR) für den Lernbereich eingesetzt werden kann. In einem folgenden Projekt habe ich mit AR im Kulturbereich gearbeitet, deswegen will ich mir anschauen, welches Potential sich in diesem Bereich noch versteckt und wie ich mein Wissen aus dem Bachelor auf den Kulturbereich übertragen kann. Aufgrund meiner Legasthenie weiß ich aus eigener Erfahrung, welche Barrieren die Wissensvermittlung im Kulturbereich haben kann. Ich will mir daher anschauen, wie das Überwinden der Barrieren mit Hilfe digitaler Erweiterungen dazu beitragen kann, Informationen zugänglicher und attraktiver zu gestalten. Als sehr visuell arbeitender Mensch sehe ich hier vor allem das Potential in der Vielfältigkeit der verschiedenen parallelen Informationskanäle, da mit AR visuelle, auditorische und Text basierte Informationen gleichzeitig vermittelt werden können.

Naxos Projekt

Übersicht des Naxos Projektes

Das Projekt setzt an dem Problem des steigenden Tourismus der Kykladeninseln an. Der Tourismus hat hier innerhalb der letzten fünfzehn Jahre die Gesellschaft der Inseln massiv verändert. Dies könnte eine zunehmende Zerstörung der natürlichen Ressourcen und des kulturellen Erbes dieser Inseln bedeuten. Um diese Probleme anzugehen, wurde das Research Projekt “Media Innovation for Sustainable Tourism” ins Leben gerufen, welches ich im Folgenden als Naxos Projekt referenziere. Ziel ist es, gemeinsam mit der Pantheon University, der Cyprus University of Technology und der Hochschule Darmstadt/ University of Applied Sciences (h_da) die Naxotische Community zu unterstützen. Hierfür haben die Universitäten gemeinsam gearbeitet und recherchiert, um eine Medienstruktur zu schaffen, welche lokale Communitys fördert, ihre kulturellen und natürlichen Ressourcen zu wahren.

Unsere Lösung ist hierfür kostenlose Story-Wanderungen anzubieten, welche die Touristen einladen, die Insel zu erkunden. Diese lernen hierbei mehr über lokale Produkte, Handwerkskunst und die Geschichte der Insel. Mithilfe von Storytelling wandern Benutzer gemeinsam mit “Ancestors”, Geistern der Insel-Kultur, über die Insel. Die Story-Wanderungen sind designt, um eine emotionale und persönliche Verbindung zu der Insel Naxos aufzubauen.

Die Praxisumsetzung einer dieser Story-Wanderungen erfolgte in Form einer AR-App, welche den Touristen mehr über einen Piratenangriff auf die Insel erzählt. Die Anwendung kommt hierbei ohne destruktive Marker aus und führt Nutzer von der Küste der Insel, durch die Altstadt bis hin zu einem ehemaligen Kloster. In einer Reihe von Stationen erleben Nutzer hierbei die Story eines Angriffes und erkunden die lokalen Geschäfte. (Guardians of Naxos 2024)

Erkenntnisse

Als primärer Entwickler der AR-Komponente des Projektes war ich zuständig für die Auswahl der AR-Lösungen und technische Umsetzung. Im Zuge dessen habe ich mich mit verschiedenen WebAR-Lösungen auseinandergesetzt, jedoch musste ich feststellen, dass diese eine Reihe von starken Einschränkungen mit sich brachten. Allen voran begrenzte Augmentierungsmöglichkeiten, komplizierte und langwierige Umgebungsscans für das Tracking der AR-Inhalte. Da wir eine AR-Wanderung in engen Gassen der Altstadt umgesetzt haben, konnten wir uns nicht auf dauerhaftes GPS-Tracking verlassen. Ich entschied mich daher für Unity & Vuforias 3D Scans für zuverlässiges Tracking der Szenen und einen Wechsel zu unserer Website, für die Navigation zwischen den einzelnen Stationen. Für die notwendige GPS-Navigation haben wir einen API-Call eingerichtet, der einen Wechsel zwischen der App und unserer Webseite ermöglicht.

Während der Entwicklung vor Ort fiel vor allem auf, dass ich als primärer Entwickler in fast alle Arbeitsschritte involviert sein muss. Da ich in der zweiten Phase des Projektes der alleinige Unity-Experte wurde, erschwerte sich die Instandhaltung und Erweiterung der App zunehmend. Aufgrund der manuellen Wechsel zwischen Charakteren und der manuellen Anzeigedauer dieser, war es oft notwendig, dass selbst kleinste Änderungen von mir vorgenommen werden mussten. Kollegen, die keinen Hintergrund in der AR-Entwicklung hatten, waren daher nur bedingt in der Lage mich zu unterstützen und mussten sich auf das Erstellen von anderen Inhalten konzentrieren.

Das hat die Entwicklung schwierig und zeitaufwendig gestaltet. Davon abgesehen hat Vuforia jedoch sehr zuverlässig getrackt und sogar bei starken Veränderungen der Umgebung konnten wir mit den mehreren Monaten alten Scans gutes Tracking gewährleisten.

Im Zuge der Demonstrationen dieser Anwendung war zudem ersichtlich, dass die Tester große Freude und Interesse an einer solchen Art der Story basierten Anwendung hatten.

Das einzige Problem war der Erstellungsprozess neuer Story Wanderungen, da hierfür ein dezidierter Unity Entwickler notwendig war.

Tool zur Erstellung von AR Story Erfahrungen

Das Naxos Projekt hat das Problem einer fehlenden Schnittstelle für Story basierte AR-Erfahrungen aufgezeigt. Während meiner Ausbildung zum XR-Entwickler habe ich mit einer Vielzahl von Tools und Toolkits gearbeitet, die Entwickler beim Erstellungsprozess unterstützen sollen. Ich habe aus eigener Erfahrung gelernt, wie diese Tools als Schnittstellen dazu beitragen können, die Entwicklung zu beschleunigen und es vereinfachen komplexe Features zu implementieren.

Basierend auf meiner Vorerfahrung und meiner Motivation entwickelte ich daher die Idee, Augmented Reality Storytelling Tools (ARSTT) als Schnittstelle zu entwickeln. Die Idee ist es, eine Art Unity add-on zu erstellen, mit welchem Entwickler “vereinfacht” AR-Story Erfahrungen erstellen können. Das Tool soll hierbei den Entwickler unterstützen und im Idealfall auch von Leuten mit grundlegenden Unity Erfahrungen bedienbar sein. Ich habe mir daher überlegt, wie wohl ein Tool aussehen könnte, das sich auf eine spezifische Nutzung von AR fokussiert, statt auf AR allgemein.

Kontakt zum Museum

Um einzuschätzen und zu erforschen, wie das Tool als Schnittstelle fungieren könnte, war es mir zudem wichtig, dieses anwendungsbezogen zu entwickeln. Hierfür ergab sich die Gelegenheit, als ich während meines Semesterprojektes an einer Ausstellung für Point Alpha in Geisa arbeitete. Im Laufe dieses Projektes freundete ich mich mit Felix Fugt, dem Kurator der Körber Stiftung, an. Als ich ihm zu einem späteren Zeitpunkt von meiner Idee erzählte, war er begeistert und ermutigte mich, das Tool in der Praxis anzuwenden. Er stellte hierfür den Kontakt zum Humboldt Forum in Berlin her, da er überzeugt war, dass ich in ihnen einen guten Partner für mein Projekt finde.

Recherche und Vorbereitung

Augmented Reality (AR)

Spektrum der Extended Reality (XR)

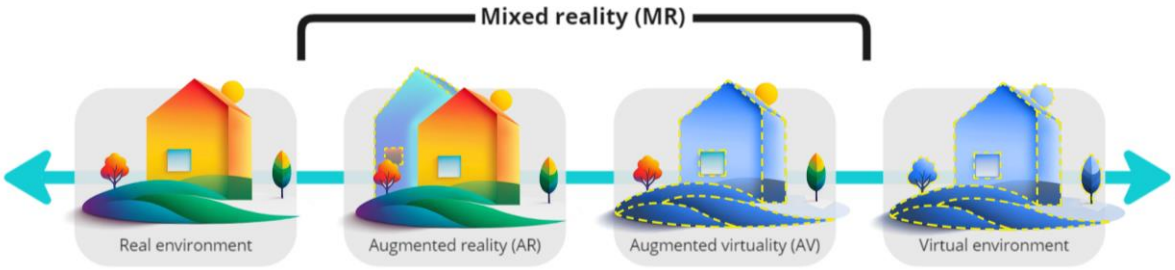


Abbildung 1 Reality-Virtuality Continuum

Eine der grundlegenden Definitionen, um genauer zu verstehen, wie die einzelnen Bereiche von Extended Reality (XR) zusammenhängen, findet man im Reality-Virtuality-Continuum von Azuma aus dem Jahr 1997.

“AR allows the user to see the real world, with virtual objects superimposed upon or composited with the real world. Therefore, AR supplements reality, rather than completely replacing it.” (S.2)

Hier wird AR als eine Technologie definiert, die es erlaubt sowohl die reale Welt, als auch virtuelle Objekte wahrzunehmen, welche die reale Umgebung überlagern. Damit erweitert AR die Realität im Kontrast zu anderen Technologien (VR), die sie ersetzen. Darüber hinaus wird hier bewusst der Begriff des Spektrums geprägt, da laut Azuma einzelne Anwendungen nicht immer klar in eine Kategorie passen, sondern sich auf dem Spektrum bewegen. (Azuma 1997)

Im Laufe der Thesis werde ich, wie oben beschrieben, den Begriff AR verwenden, als eine Erweiterung der Realität durch Überlagerung von digitalen Inhalten.

Geräte

Derzeitige AR-Systeme lassen sich in vier grobe Kategorien einteilen.

1. Head-Mounted Displays (HMDs) sind XR-Headsets, die AR- und VR-Funktionen bieten können. Hier kann der Nutzer die reale Welt durch stereoskopische Kameras, ein sogenanntes Passthrough, beobachten oder der Nutzer hat eine direkte Sicht, wie bei der

Microsoft Hololens. Virtuelle Inhalte werden in die Ansicht projiziert und mit der Realität überlagert. Die Vorteile sind eine hohe Auflösung, immersive und freihändige Erlebnisse, mit dem Nachteil von teuren und schweren Geräten.

2. Smartphone- oder Mobile- AR ist die am weitesten verbreitete Technologie, da die meisten potenziellen Nutzer bereits ein leistungsstarkes Smartphone besitzen. Die Vorteile sind geringes Gewicht, hohe Verfügbarkeit und eine große Auswahl an verschiedenen Geräten. Die Nachteile sind die Akkulaufzeit und weniger immersive Darstellungen von Augmentierungen aufgrund des begrenzten Sichtfeldes.

Abbildung 2 Ikea Place (IKEA 2025), Smart glasses (Meta und Redaktion 2024), Hololens AR HMD (Microsoft 2025), Quest 3 Passthrough XR (Meta und Tricks Tips Fix 2025)

3. Smart Glasses liegen dazwischen. Sie sind leichter als HMDs und können ein einigermaßen immersives Erlebnis bieten, haben dafür aber auch mit Problemen bei der Akkulaufzeit und einem mittelhohen Preis zu kämpfen.

4. Projection Mapping als eine spezielle Kategorie, bei der Projektoren mit Sensorik genutzt werden, um Inhalte direkt in die Umgebung zu projizieren. Der größte Vorteil ist die externe Natur dieser Technik, da der Nutzer die Technik nicht aktiv trägt. Dies sorgt dafür, dass Setups für mehrere Nutzer gleichzeitig interaktiv sein können und andere Nutzer sehen können was passiert. Der größte Nachteil sind die Projektoren. Diese benötigen einen abgedunkelten Bereich für ein optimales Anwendungserlebnis und können, besonders bei Rückseitenprojektionen, viel Platz in Anspruch nehmen.

AR im Kulturbereich

Wie wir AR im Kulturbereich nutzen können, zeigt das Paper von (Boboc et al. 2022). In dieser Arbeit haben sie sich die Veröffentlichungen zwischen den Jahren 2012 -2021 angeschaut und identifiziert, welche Keywords häufig verwendet wurden und welche

Resultate sich für die Verwendung von AR im Kulturbereich ergeben. Die Arbeit konzentrierte sich hierbei vor allem auf Cultural Heritage, ging aber auch auf andere Aspekte des Museums-Sektors ein.

Die Top 3 Keywords lauteten: 1. 3D Reconstruction, 2. Digital Heritage, 3. Virtual Museums. Aus ihnen ergeben sich drei interessante Anwendungsmöglichkeiten, von denen ich mir zwei genauer anschauen möchte.

1. 3D Rekonstruktion: Laut dem Paper war das Ziel der Arbeiten vor allem der digitale Erhalt von Artefakten und kulturellen Stätten. Genutzt wurden unter anderem LIDAR[1] Scans und 3D Modeling, um Objekte digital zu rekonstruieren. Am häufigsten wurde jedoch Photogrammmetrie eingesetzt. Diese bietet eine hohe detaildichte und erlaubt es zudem Texturen akkurat auf das 3D Modell zu projizieren. Dieser Prozess ist jedoch zeitintensiv und erfordert viele Bilder. Die untersuchten Studien ergaben, dass AR eine effektive Lösung zum Anzeigen dieser 3D Rekonstruktionen von Artefakten darstellt. Sie empfehlen weitere Recherche in der Echtzeit-Digitalisierung.
2. Virtual Museums: Bezieht sich den Einsatz von AR zur Verbesserung des Besuchererlebnisses. Der Fokus liegt hierbei vor allem auf interaktiven Ausstellungen, die als additiver Inhalt zu existierenden Ausstellungen hinzugefügt werden können. Sie sehen hierbei vor allem Mobile-AR in der Anwendung. Laut ihnen sollten Besucher und Touristen nicht nur die Geschichte berühren können, sondern sich kulturell in interaktive Anwendungen immersiv hineinbegeben können. Laut dem Paper bieten virtuelle Museen hierbei ein tieferes Level an Anteilnahme und Beziehung zwischen Besucher und Museum.

Allgemein kommen sie zu dem Ergebnis, dass AR multimodale Erfahrungen mit visuellen, auditiven, schriftlichen und immateriellen Inhalten schafft. Sie sehen die größte Einschränkung in der technischen Komplexität, diese Anwendungen zu erstellen. Für eine AR-App sehen sie zudem die Notwendigkeit, dass diese benutzerfreundlich ist, intuitive AR-Inhalte nutzt und ein umfassendes User Experience (UX)-Konzept beinhaltet. Somit kann ein praktischer Nutzen und Freude an der Nutzung erreicht werden. Ich entschied mich daher aufgrund der hohen Verfügbarkeit und der geringen Kosten innerhalb des

[1] LIDAR steht für „Light Detection and Ranging“ und ist eine Technik um hoch präzise Laser Scans durchzuführen

Museums für Smartphone basierte AR als technisches Medium zur Umsetzung meines Tools.

Tools und Toolkits

Diese dienen ebenfalls als Schnittstelle. Sie sollen es Entwicklern erlauben, allgemeine AR-Erfahrungen zu realisieren und nicht wie mein Tool AR-Storytelling spezifische Erfahrungen.

AR-Tools

Um AR-Anwendungen zu erstellen, gibt es eine Reihe von Möglichkeiten. Die erste und in der Regel einsteigerfreundlichste Variante ist ein AR-Tool, das spezifisch für die Erstellung von AR-Inhalten sowie Filtern erstellt wurde. Dies verfolgt eine ähnliche Idee in der Funktion als Schnittstelle, ist jedoch für eine allgemeine Umsetzung von AR-Inhalten oder für Plattformen spezifische Inhalte gedacht.

Lens Studio und Meta Spark

Meta liefert für ihre Plattformen hierbei mehrere Tools zur Erstellung von Videofiltern und kleinen AR-Anwendungen. Mit Lens Studio können Entwickler eigene Filter für Snapchat erstellen (Lens Studio by Meta 2025). Das Tool liefert hierbei einen überschaubaren Aufbau und die Möglichkeit, eine Vielzahl von vorgefertigten Filtern und Elementen für die Erstellung zu nutzen.

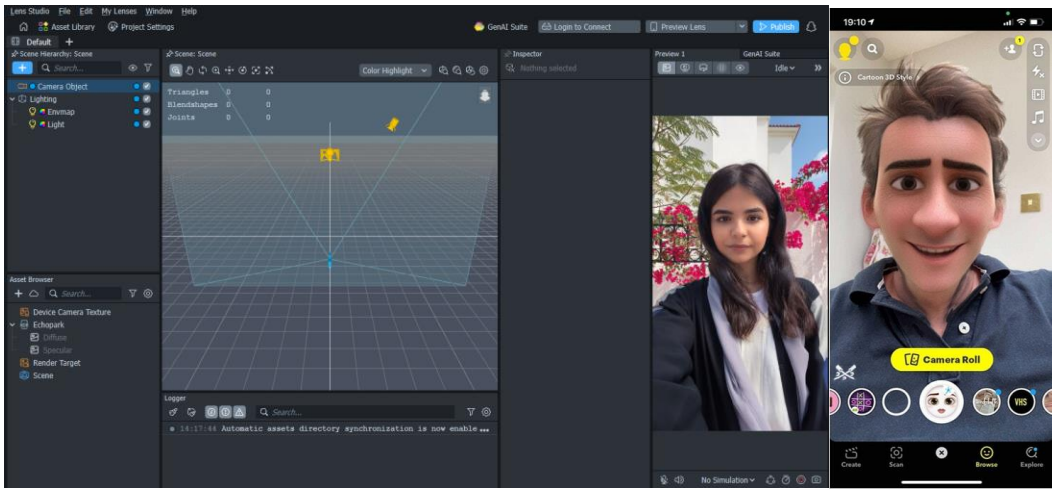


Abbildung 3 Lens Studio UI und Snapchat Filter Interface

Das Tool ist leicht zu bedienen und verfügt über ein sehr nützliches "Preview"-Fenster, welches es ermöglicht, den aktuell erstellten Filter parallel mit Videos oder einer Webcam zu testen. Dies erlaubt schnelle Anpassungen und kontinuierliches Feedback. Zudem bietet die “Asset Library” viele vorgefertigte Bausteine. Diese sind leicht zu implementieren, da die meisten im Namen stehen haben, wo diese Komponente in der Szene platziert werden muss, damit sie funktioniert.

Beispiel Abbildung 4: Ein Sonnenbrillen-Element, das Headtracking benötigt, heißt “Glasses_Pack _2__PUT-UNDER-MAIN-CAM”. Das Asset funktioniert sofort, sobald die benannte Komponente unter der Hauptkamera platziert wurde.

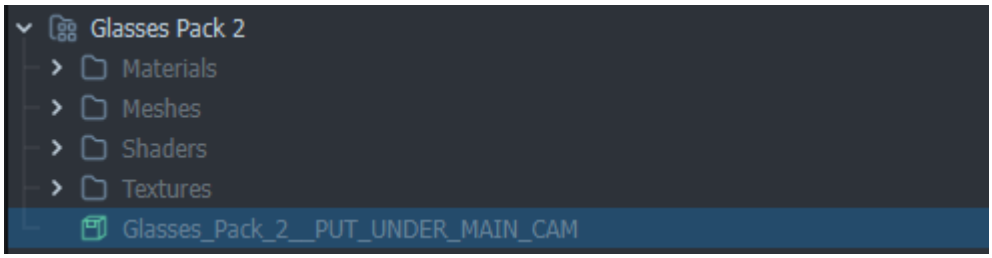


Abbildung 4 Beispiel für die Struktur eines Asset Packs in Lens Studio

Abbildung 5 Asset Library von Lens Studio

Mit Meta Spark oder Spark AR hatte Meta ein weiteres AR-Tool, welches sich auf Instagram und Facebook bezog. Die Firma kündigte jedoch an, dass Meta Spark ab dem 14.01.2025 nicht länger unterstützt wird (Meta Spark 2025). Grundsätzlich war es jedoch sehr ähnlich zu Lens Studio aufgebaut, aber erforderte jedoch an einigen Stellen mehr Kenntnisse zur Entwicklung von komplexen AR-Anwendungen. Auch hier setzt Meta jedoch auf einen Asset Browser / eine Library, die es Entwicklern ermöglicht, aus vorgefertigten Elementen ihre eigenen AR-Anwendungen zu erstellen.

8th Wall

Ein AR-Tool von Niantic, welche mit Pokemon Go eine der erfolgreichsten AR-Apps auf den Markt gebracht hat (Jansen 2016). Es handelt sich bei 8th Wall um ein WebAR-Tool. Entwickler können eine Reihe von AR-Anwendungsarten mit dem Tool erstellen (8th Wall 2025c). Unter anderem ortsgebundene Anwendungen. Hierfür nutzt 8th Wall “Niantic VPS", welches Niantic‘s eigenes Visual Positioning System (VPS) darstellt (8th Wall 2025b). Nach eigenen Angaben stehen dem Entwickler eine Millionen Orte rund um die Welt zur Verfügung. Eigene Orte können eingescannt werden, müssen jedoch eine Prüfung durch die Mitarbeiter durchlaufen. Zum Zeitpunkt der Recherche waren diese recht aufwendig zu erstellen. Man benötigte pro Tageszeit drei Scans, die mit dem Handy durchgeführt werden können. Alle diese waren erst verfügbar, nachdem ein Mitarbeiter die Scans manuell überprüft hatte. Nach Beendigung meiner Arbeit fand ich jedoch heraus, dass Niantic diesen Erstellungsprozess in den letzten Monaten massiv überarbeitet hat (8th Wall 2025a). 8th Wall stellt daher ggf. eine alternative, gute Basis für mein Tool dar.

Grundsätzlich bietet Niantic mit 8th Wall ein starkes WebAR-Tool, welches den Vorteil hat, von einer Vielzahl von Geräten genutzt werden zu können. Komplexe ortsgebundene Anwendungen sind jedoch stark vom Prüfungsprozess abhängig und daher meiner Meinung nach nur an bereits geprüften Standorten zeitnah umzusetzen.

AR Toolkits und Software Development Kits (SDK)

Um komplexe AR-Anwendungen zu erstellen, bietet sich die Möglichkeit für ein AR-Toolkit. Viele Game Engins bieten AR-Toolkits oder SDKs an, um die Erstellung von AR-Anwendungen zu erleichtern. Da ich primär mit Unity entwickelt habe, habe ich mich auf Unity SDKs konzentriert. Hierfür existieren eine Reihe von Möglichkeiten, von denen ich mir zwei im Folgenden genauer anschauen werde.

AR Foundation

Das gängigste AR-Toolkit für Unity ist die AR-Foundation (Unity 2025a). Diese soll eine Basis für AR-Development für eine Vielzahl von Plattformen darstellen. Unter anderem unterstützt es mit Googles AR Core & Apples AR Kit die Entwicklung für Android und iOS-Anwendungen. Es bietet eine Vielzahl von gängigen AR spezifischen Features und stellt dem Entwickler vorgefertigte Prefabs[2] zur schnellen Erstellung von AR-Anwendungen zur Verfügung. Diese stellen meist die Basis Features dar und können frei mit C# Scripts erweitert werden. Unter anderem können Entwickler mit einer “Plane Detection" Oberflächen, sowie Böden und Wände erkennen, um diese mit Inhalten erweitern zu können.

Vuforia

Ein weiteres, weit verbreitetes Toolkit für Unity ist Vuforia Engine, welches das Erstellen einer Vielzahl von AR-Inhalten erlaubt (Vuforia 2025a). Mit dem Developer Portal bietet Vuforia zudem eine Webanbindung an, mit welcher Lizenzen und Datenbanken für das AR-Tracking verwaltet werden können. Der größte Vorteil von Vuforia ist jedoch ihr Area Target[3]. Mit diesem können Entwickler in kurzer Zeit (ca. 20 Minuten für einen Scan und Implementierung) Umgebungsspezifische AR-Anwendungen bauen. Die Area Targets können auf verschiedene Weise mit einem LIDAR-Sensor erstellt werden und liefern zuverlässiges Tracking im Innen- und Außenbereich. Vuforia kombiniert die freie Erweiterung und Anwendung von Unity mit komplexen AR-Tracking Methoden und bietet daher eine ideale Basis für ortsspezifische AR-Anwendungen. Vuforia stellt daher für den Praxiseinsatz im Museum eine ideale Basis dar, um mein Tool mit Unity aufzubauen.

[2] Prefabs sind Bestandteil von Unity und beschreiben speziell konfigurierte Objekte die in einem Projekt gespeichert wurden.

[3] Ein Area Target ist ein vorgefertigtes Objekt von Vuforia, welches Entwicklern erlaubt Umgebungsscans mit Unity zu verknüpfen um somit Objekte zu tracken und zu verankern.

Umgebungsscans für AR

Wie in den vorangegangenen Kapiteln erläutert, bieten Umgebungsscans die Möglichkeit, ortsabhängige AR-Anwendungen zu erstellen. Der Vorteil ist, dass Objekte präzise in der Umgebung verankert werden können. Die Präzision liegt meiner Erfahrung nach bei wenigen Millimetern bis wenigen Zentimetern genau. Diese Verankerung der 3D Objekte eliminiert Probleme mit Drifting[4] und erlaubt zudem kreative Interaktionen zwischen realen Umgebungen und digitalen Augmentierungen.

Viele Anbieter haben Apps, die es Entwicklern erlauben, einen solchen Umgebungsscan anzufertigen. Da ich mich, wie vorangegangen erläutert, aufgrund meines Use-Cases für Vuforia entschieden habe, konzentriere ich mich vor allem auf diesen Erstellungsprozess von Umgebungsscans. Vuforia nutzt dafür die "Vuforia Creator" App (Vuforia 2025b). Mit dieser können Entwickler auf einem Gerät mit Lidar-Sensor (in meinem Fall ein iPad Pro) Umgebungsscans anfertigen. Der Erstellungsprozess ist einfach und auf maximal 15 Minuten pro Scan begrenzt. Entwickler bekommen die bereits gescannte Umgebung grün eingeblendet und sehen ein erstes Preview, wie das zugrunde liegende Mesh[5] aussieht (siehe Abbildung 6).

[4] Drifting beschreibt ein Phänomen, wenn in AR virtuelle Objekte in der Realität zu rutschen scheinen. Es tritt vor allem auf, wenn das entsprechende Objekt nicht an einem realen punkt verankert wurde oder wenn es zu Trecking Schwierigkeiten kommt.

[5] Mesh beschreibt in diesem Fall das 3D Model welches basierend auf dem Scann erstellt wird.

Abbildung 6 Vuforia Creator App Scan Prozess (Vuforia 2025b)

Nach eigenen Angaben Vuforias sollte die Route für den Scan vorher geplant werden und nach dem Schema auf Abbildung 7 ablaufen werden. Kein Bereich sollte hierbei doppelt gescannt werden. Ist ein Scan abgeschlossen, wird dieser in den einzelnen Bestandteilen und mit einem Unitypackage abgespeichert, sodass er durch “Drag and Drop” in Unity importiert werden kann.

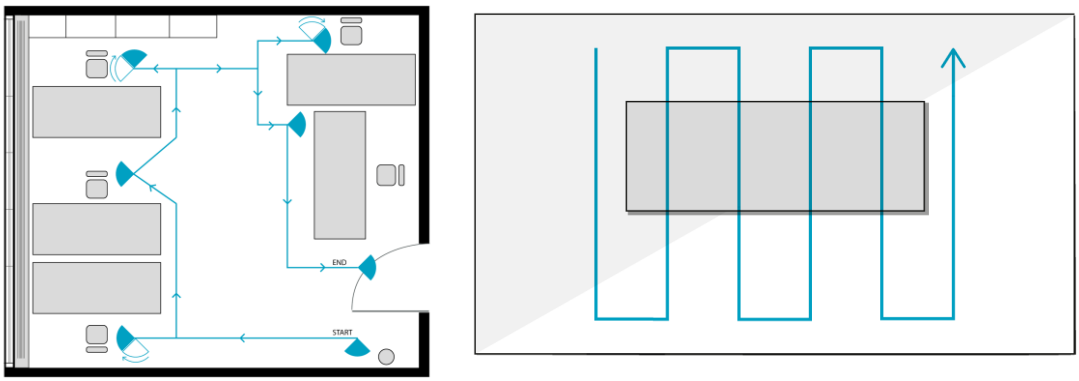


Abbildung 7 Vuforia Ideales Scan (Vuforia 2025b)

Im Zuge meiner Recherche habe ich zudem herausgefunden, dass Vuforia mit professionellen Lidar-Sensoren Area Targets von bis zu 30.000 Quadratmetern unterstützt. Damit stellt es auch eine gute AR-Lösung für meinen Use-Case, des Museums Bereichs, dar. Wichtig zu erwähnen ist zudem, dass diese Form der AR-Positionierung von Vuforia ganz ohne GPS, Internet und physische Marker wie QR-Codes auskommt.

Narratives Design

Um meine Funktion als Schnittstelle zu erfüllen, habe ich mir als nächstes angeschaut, welche Methode ich verwenden könnte.

Storytelling

Basierend auf der positiven Erfahrung im Naxos Projekt habe ich mich bei meinem Tool weiter mit Storytelling als Narrativ befasst. (Jana Brehmer & Sebastian Becker (Fak. Biol. & Psych.) 2017) beschreiben Storytelling als die Ursprüngliche Form der Wissens-vermittlung. Darüber hinaus beschreiben sie es als Erzählmethode, durch welche implizites und explizites Wissen an Zuhörende weitergegeben wird. Sie beschreiben die Rolle des Zuhörers als Aktiv und sehen hier den Kontrast zur nüchternen Form einer Ansprache oder eines normalen Vortrags. Storytelling vereint laut ihnen zudem Unterhaltung mit Wissensvermittlung. Final gehen sie darauf ein, dass Storytelling dazu führt, dass eine Verbindung zwischen dem realen Alltagsumfeld und der Fiktion erfolgen kann. Ich sehe daher großes Potential in der Verknüpfung von Storytelling und AR, da gerade die Verknüpfung von realen und digitalen Inhalten eine zentrale Rolle in der effektiven Wissensvermittlung darstellt.

Erzähltechniken

Innerhalb des Storytellings haben wir eine Vielzahl von Möglichkeiten, wie wir eine Geschichte erzählen können. Anhand von Ted Talks (Erik Schilp und TED 2015; Thomas P. Campbell und TED 2013; TED 2025) und im Austausch mit den Museumspädagogen, wurden mehrere Erzähltechniken erörtert. Die Experten waren der Meinung, dass die Wahl der Erzählperspektive großen Einfluss auf die Art habe, wie Nutzer die Informationen aufnehmen und verarbeiten. Sie ermutigten mich, mit der Perspektive zu

experimentieren, deuteten jedoch an, dass für eine persönliche Ebene ein Charakter innerhalb der Story-Welt effektiver sein könnte. AR bietet uns zudem die Möglichkeit, selbst ein aktiver Teil der Geschichtserzählung zu sein. Daher sollte eine AR-Story (ARS) vor allem interaktiv für dem Benutzer sein. Denn wie zuvor beschrieben, grenzt sich Storytelling durch die aktive Rolle des Zuhörers von anderen Erzähltechniken ab.

AR-Storytelling

In der Studie von (Yilmaz und Goktas 2017) wurde der Nutzen von AR Storytelling zur Wissensvermittlung in Schulen getestet. Sie haben dafür 100 Schüler hälftig in eine Kontrollgruppe und eine AR-Gruppe aufgeteilt. Ihr Ziel war es, verschiedene Aspekte der erstellten Stories zu untersuchen: Darunter die Länge der Geschichten, narrative Skills und gezeigte Kreativität. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass die AR-Gruppe im Durchschnitt bessere Ergebnisse erzielte. Zu beachten ist jedoch, dass sie für Kreativität ihre eigene Skala erstellt haben, welche sich unter anderem an der Menge an verwendeten Adjektiven orientiert und dass alle Arbeiten von nur einem Forscher ausgewertet wurden. Sie betonen, dass es sich um eine quantitative Auswertung handelt und empfehlen, dass zukünftige Studien sich auf eine qualitative Auswertung konzentrieren könnten, um detailreichere Daten zu erlangen.

Kombiniert mit ihrer Recherche ergab sich, dass AR einen bedeutenderen und freudigeren Lernprozess erschafft. Sie sehen zudem auch das Problem der Entwicklung solcher Anwendungen und nennen zudem einen gewissen Vorbehalt gegenüber solchen Anwendungen von Seiten der Lehrenden. Sie betonen, wie Interaktive Storytelling Tools Lehrende mit einer Vielzahl von Möglichkeiten zum Lehren ausstatten.

Auch sei es wichtig, einfache und interaktive Tools, zur Erstellung von Story Inhalten anzubieten.

Humboldt Forum

Wie in der Einführung beschrieben fand ich im Humboldt Forum einen Kooperationspartner für die Praxisanwendung des Tools. Ich stieß dort auf Offenheit für meine Ideen und Begeisterung für die Anwendung. Gerade in Bezug auf die Digitalisierungsbemühungen des Museums erkannten sie großes Potential in einem solchen Tool.

Allgemein

Das Humboldt Forum ist im Jahr 2023 das meistbesuchteste Museum Berlins gewesen (berlin.de 2025). Es liegt im Zentrum der Hauptstadt und befindet sich im Wiederaufbau des Stadtschlosses. Seit 2021 können Besucher eine Vielzahl von Ausstellungen besuchen, unter anderem eine Reihe von Dauerausstellungen, wie das Ethnologische Museum und das Museum für Asiatische Kunst. Zusätzlich bestehen eine Reihe von Kooperationen, mit beispielsweise dem Stadtmuseum Berlin und der Humboldt-Universität zu Berlin (berlin.de 2024; Staatliche Museen zu Berlin 2025).

Das Humboldt Forum basiert auf dem Entwurf des italienischen Architekten Franco Stella, welcher im Jahr 2008 die Ausschreibung zum Wiederaufbau des Berliner Stadtschlosses gewann. Das Gebäude ist eine Mischung aus dem Wiederaufbau der ursprünglichen Schlossfassade und einem schlichten Neubau. Es wurde über den Grundmauern der alten Schlossanlage gebaut, jedoch wurde kontrovers diskutiert, ob der Palast der Republik für das Gebäude hätte abgerissen werden sollen (berlin.de 2024).

Allgemein ist das Humboldt Forum ein junges und innovatives Museum, das aktiv versucht, neue Wege der Digitalisierung im Museum zu finden und anzuwenden. Einer dieser Schritte ist der Medienguide des Humboldt Forums.

Medienguide

Den eigenen Medienguide beschreibt das Humboldt Forum auf ihrer Webseite wie folgt: "Gehen Sie selbstständig auf Tour durch das Humboldt Forum und entdecken Sie spannende Objektgeschichten” (Humboldt Forum 2025a). Die Kuratorin des Hauses Nathalie Keurmeur erklärte mir hierzu, dass für das Museum ein großer Schritt der Wandel vom Audio- zum Medienguide sei. Auf ihrer Webseite “https://guide.humboldtforum.org/de/” (Humboldt Forum 2024b) bietet das Humboldt

Forum Besuchern die Option, entweder auf ihrem eigenen Smartphone oder auf einem Leihgerät Touren mit dem Medienguide durch das Museum zu unternehmen. Ziel sei es, den Besuchern mehr Interaktionsmöglichkeiten zu bieten und zusätzlich Barrieren zu senken. Hierfür steht der Medienguide in einer Vielzahl von Sprachen zur Verfügung und bietet darüber hinaus Audiodeskription (Deutsch), Gebärdensprache (Deutsch) und Großen Text an, um Nutzer mit Einschränkungen zu unterstützen. Die Kuratorin teilte mir mit, dass einer der Gründe für den Medienguide sei, mehr Besucher ansprechen zu können und dass die Nachfrage nach digitalen Inhalten in den letzten Jahren stark gestiegen sei. Auf meine Nachfrage, warum man sich für eine Webseite anstatt für eine App entschied, antwortete sie mir, dass sie die Interaktionsschwellen so gering wie möglich halten wollen und Sorge hatte, eine App könnte die Besucher abschrecken, den Medienguide auf ihren eigenen Geräten zu nutzen.

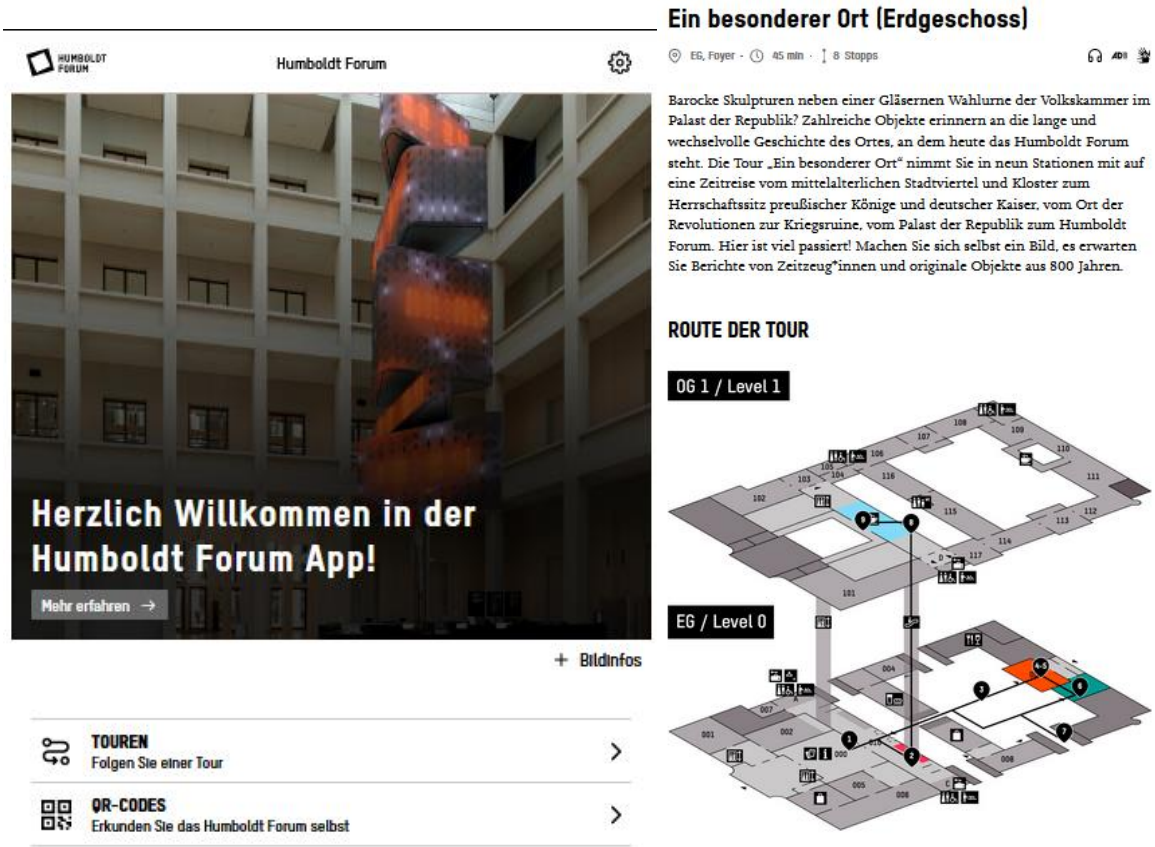


Abbildung 8 Webseite Medien Guide und Tour: „Ein besonderer Ort (Erdgeschoss)" (Humboldt Forum 2024b, 2024a)

Um eine Tour innerhalb des Mediaguides zu nutzen, müssen Besucher entweder gezielt eine Tour von der Webseite aus starten oder einen QR-Code an einer unterstützten Station scannen, um auf die Webseite mit der korrespondierenden Tour zu gelangen. Innerhalb einer Tour hören die Besucher Audiosequenzen, können Bilder des jeweils besprochenen Ortes sehen und erhalten zusätzlich auch über Text Informationen. Zudem bieten die Touren eine kurze Beschreibung sowie einen Lageplan zur besseren Verortung und Übersicht der einzelnen Stationen an.

Die Kuratorin teilte mir mit, dass der Aspekt der Inklusion maßgeblich für die Gestaltung des Media Guides verantwortlich war. Sie berichtete mir zudem, dass der Medienguide weiterhin in der Entwicklung sei und sie Ideen einer AR-Komponente hatten. Diese scheiterten jedoch bisher unter anderem an der technischen Umsetzung. Sie war daher begeistert, das Potential meines Tools hierfür in der Praxis zu testen. Ich begann die Recherche zu inklusivem Design, um herauszuarbeiten, wie mein Tool hierfür eingesetzt werden könnte und welche Aspekte ich in der Entwicklung berücksichtigen muss.

Inklusives Design

Warum inklusiv entwickeln?

Um die Funktion meines Tools als Schnittstelle für so viele Menschen wie möglich umsetzen zu können, ist es notwendig, den Zugang zu dieser auch für so viele wie möglich optimal zu gestalten.

Smith und Preiser (2011) beschreiben universelles Design als ein Konzept, das darauf abzielt, Produkte und Umgebungen zu schaffen, die für alle Menschen zugänglich und nutzbar sind. Unabhängig von ihrem Alter, ihren Fähigkeiten oder ihren Lebens-umständen.

Universelles oder inklusives Design beschreibt den Prozess der Schaffung von Produkten für alle Menschen unter Berücksichtigung von Einschränkungen. Das Ziel ist ein vollständig zugängliches Produkt, welches bedienbar ist und seinen Zweck erfüllt, unabhängig vom Hintergrund des Benutzers. Der Begriff Universal Design basiert auf der Prämisse einer universellen Nutzerbasis, während Inklusives Design meist den Prozess

der Erstellung einer solchen Anwendung beschreibt und sich auf die Schaffung einer Umgebung konzentriert, die so viele Nutzer wie möglich einschließt.

Microsoft beschreibt diese Methodik in seinem Inclusive Design Guidebook (Microsoft Design 2016) wie folgt: „Jede Entscheidung, die wir treffen, kann Barrieren für die Teilnahme an der Gesellschaft erhöhen oder senken. Es liegt in unserer gemeinsamen Verantwortung, diese Barrieren durch integrative Produkte, Dienste, Umgebungen und Erfahrungen zu verringern“ (S.10). Darüber hinaus kann man hier den Curb-Cut Effekt gut dargestellt sehen. Microsoft unterscheidet hier in permanente, temporäre und situationsabhängige Einschränkungen und liefert ein Beispiel, wie viele Personen von einem Problem betroffen sein können.

Curb-Cut-Effekt

Dieser Effekt ist nach der Absenkung benannt, die an vielen Straßenecken vorhanden ist und es physisch eingeschränkten Personen ermöglicht, die Straße ohne fremde Hilfe zu überqueren. Es wurde deutlich, dass dieses für eingeschränkte Personen entwickelte Feature auch anderen Personen wie Radfahrern, älteren Menschen oder Eltern mit einem Kinderwagen zugutekommt. (Blake E. Reid 2022)

Dieser Effekt geht über Bordsteinkanten hinaus und kann in einer Vielzahl von Situationen beobachtet werden. Microsoft hat sogar hervorgehoben, wie eine potenzielle Zielgruppe durch diesen Effekt exponentiell wachsen kann (Abbildung 9).

Zusammengefasst können wir, indem wir gezielt inklusiv entwickeln, ein Produkt für alle besser machen.

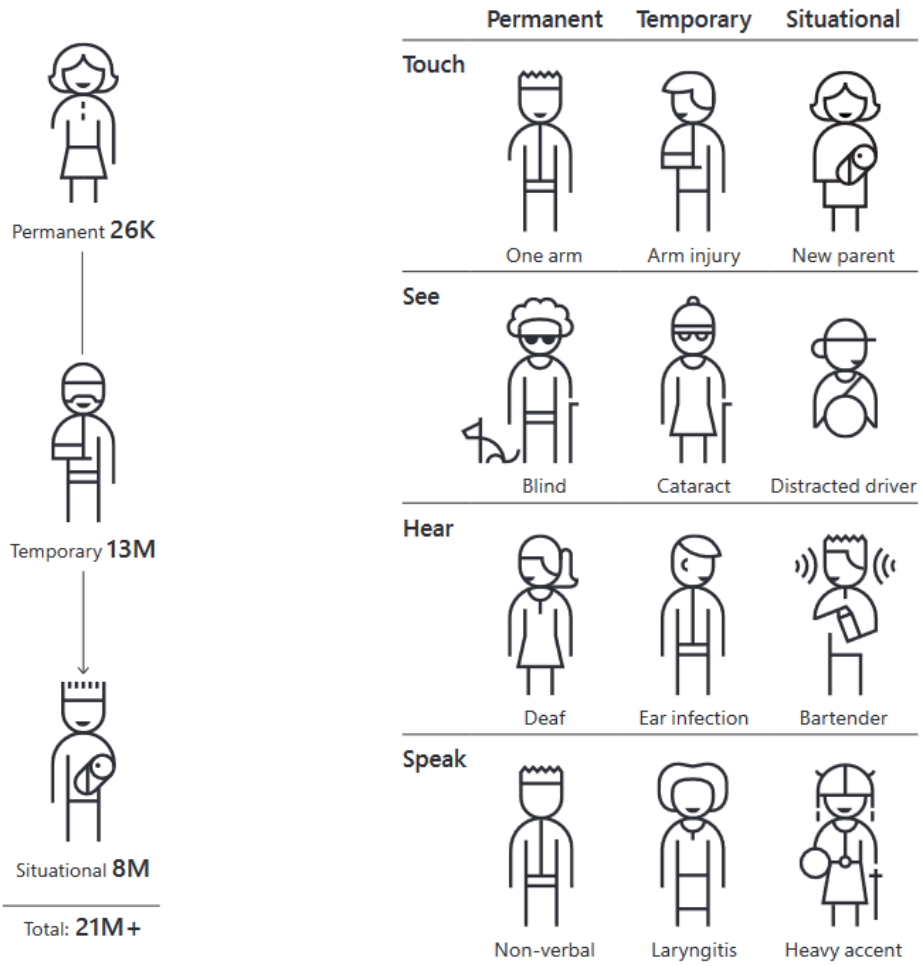


Abbildung 9 Microsoft Inclusivity Design Guidelines: Veranschaulichung des Curb-Cut-Effektes und potentiellen betroffenen Gruppen (Microsoft Design 2016, 2025)

Inklusive Design Guidelines

Für das Entwickeln von inklusiven Inhalten gibt es eine Reihe von Richtlinien. Die Web Accessibility Guidelines stellen hierbei einige Empfehlungen dar, welche sich vor allem auf Web- und Appentwicklung konzentrieren. W3 hat mit ihren XR Accessibility User Requirements (w3 2021) jedoch auch spezifische Anforderungen für die Entwicklung von AR-Inhalten dargelegt. Entscheidend ist in beiden Fällen die Anpassungsmöglichkeit. Da keine App und kein Interface perfekt für alle sein kann, müssen alle in der Lage sein, das Interface perfekt für sich anzupassen. In ihren Richtlinien veranschaulichen sie daher, welche Anpassungsmöglichkeiten wichtig sind und welche Aspekte im Design berücksichtigt werden sollten. In Bezug auf immersive Technologien gehen sie vor allem

auf die möglichen Integrationsbarrieren ein. Da diese Art von Anwendungen mit *3DoF* und *6DoF*[6] ein großes Maß an physischer Interaktion benötigt, sollten laut W3 diese vor allem auf Inklusionsaspekte geprüft werden. Hierfür spielt vor allem die Bedienung von Inhalten eine Rolle. Ist es beispielsweise notwendig, dass sich die Person physisch an einen bestimmten Ort bewegt oder muss eine gewisse Interaktion mit speziell der rechten Hand und einem Controller ausgeführt werden? Eine Spieldynamik sollte nicht dem Nutzer aufgezwungen werden, da dieser ggf. physisch nicht in der Lage ist, diese auszuführen. Sie sehen daher vor allem die Notwendigkeit in verschiedenen Bedienmöglichkeiten und simultanen Feedback Methoden. Räumliches Audio kann beispielsweise hier eine zentrale Rolle in der Navigation der Benutzer spielen.

Um diese Probleme zu lösen, können einige allgemeine Schritte unternommen werden. Essenziell ist, laut der Guideline, die Anpassungsmöglichkeit für Benutzer. Dies sei bei immersiven Technologien noch wichtiger, da das nutzerzentrierte Design davon abhängt, dass der Benutzer in die Materie eintauchen und wie vorgesehen interagieren kann. Da eine Anwendung hier nicht allen gerecht werden kann, bieten die Richtlinien eine Reihe von Vorschlägen, welche Anpassungen dazu beitragen, ein gutes Bedienerlebnis für alle zu gewährleisten.

Inklusivität im Videospiel Design

Wie in den vorangegangenen Kapiteln beschrieben, ist Individualisierung der Schlüssel zu einem optimalen User-Experience (UX) Design. Keine Branche hat das so gut verstanden und umgesetzt wie die der Videospiele. Sie stellen daher ein ideales Praxisbeispiel für die Anwendung der Guidelines dar. Was für viele Spieler selbstverständliche Anpassungsmöglichkeiten sind, wie Lautstärke, Helligkeit oder Grafik-Anpassungen, fungiert oft unbemerkt als Accessibility Anpassungen. Viele Entwickler, gerade im *AAA Games*[7] Bereich haben zudem in den letzten Jahren dedizierte Accessibilityeinstellungen hinzugefügt. Hier können Nutzer beispielsweise die Farben von bestimmten interaktiven Objekten oder ihres Fadenkreuzes selbst bestimmen, ihre Tastenbelegung frei anpassen oder das ganze Spiel mit Hilfe von Schwierigkeitsstufen ihren Bedürfnissen anpassen.

[6] DoF steht für „Degrees of Freedom“ und beschreibt die Anzahl an Parametern die unabhängig von einander gesteuert werden können. 3Dof verfügt über die drei Achsen zur Drehbewegung wohin 6Dof sowohl über die drei Achsen der Drehbewegung als auch über die drei Richtungen zur Bewegung verfügt (Barion 2019).

[7] Spiele die ein hohes Budget haben und von Publishern im großen Stil vertrieben werden

Eines dieser Spiele, das im Zusammenhang mit Accessibility immer wieder erwähnt wird, ist “The Last of Us 2". Der Entwickler Naughty Dog hat für den zweiten Teil der bekannten Videospielreihe von Anfang an eng mit von Einschränkungen betroffenen Personen zusammengearbeitet und einige neue Ansätze in Bezug auf Bedienungsfreundlichkeit, Individualisierung und UX Design demonstriert (Naughty Dog 2020). In der Videoreihe von (Steve Saylor 2020) beschreibt er sein Mitwirken als Berater. Seine Erfahrungen als Sehbehinderter Gamer teilte er im Internet und hat mitgeholfen, sein Wissen in Bezug auf Spielen als blinde Person einzusetzen, um die Accessibility Features zu formen. In dem Video ist zudem ein Gast, welcher hörgeschädigt ist und seine Perspektive mit "The Last of Us 2" mitteilt. Die beiden beschreiben das Spiel als das zugänglichste Spiel jemals. Einer der Entscheidungen, die das Spiel zu einem der zugänglichsten überhaupt macht, ist der Fokus auf einfache Bedienbarkeit und Individualisierung von Anfang an. Nach dem Start des Spiels sehen Spieler zunächst eine Oberfläche, die es ihnen direkt erlaubt, eines von drei Presets auszuwählen (dargestellt in Abbildung 10).

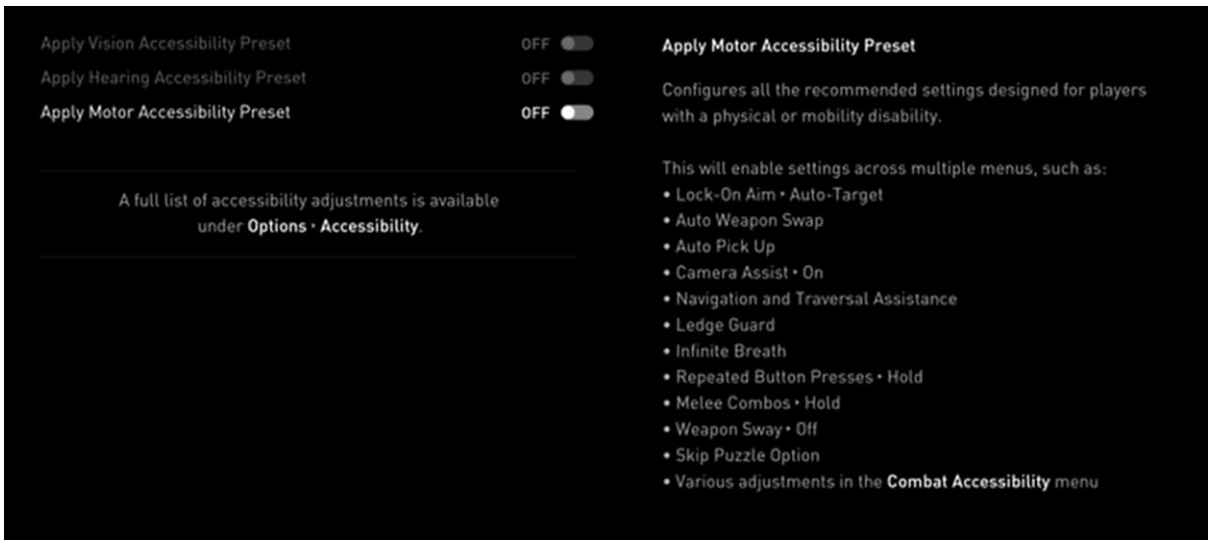


Abbildung 10 “The Last of Us 2” Accessibility Presets (Steve Saylor 2020)

Mit diesen Presets sind Nutzer in der Lage, mit einem Klick eine Reihe von Einstellungen zu treffen, welche das Spiel komplett in seiner Darstellung und seinem Gameplay verändert. Ziel eines solchen Menüs ist es, Nutzern von Anfang an ein bestmögliche User Experience (UX) zu gewährleisten. Die Presets dienen aber nur zur vereinfachten Aktivierung einer Reihe von Einstellungen. Alle getroffenen Anpassungen können

jederzeit individuell ein- und ausgeschaltet werden und lassen sich gut kombinieren, um spezifischen, individuellen Bedürfnissen nachzukommen.

Der Unterschied zwischen den einzelnen Anpassungen ist hierbei enorm. Mit den visuellen Anpassungen wird unter anderem ein Hochkontrastoverlay aktiviert (siehe Abbildung 11). Die Farbprofile können einzeln ausgewählt werden. Dies erlaubt es z.B. manchen Spielern mit Sehbehinderungen Charaktere besser auseinander zu halten oder interaktive Elemente zu finden.

Abbildung 11 Der Unterschied zwischen normalem Gameplay und dem mit dem visuellen Preset eingeschaltet (Steve Saylor 2020; Naughty Dog 2020)

Für Spieler mit Höreinschränkungen gibt es die Möglichkeit, Audioquellen sichtbar zu machen, damit sich Spieler mit Höreinschränkungen besser in der Spielwelt orientieren können. Zudem besitzen Untertitel Pfeile, die die Richtung des Sprechers anzeigen.

Abbildung 12 Audio Preset Veränderungen des Gameplays (Steve Saylor 2020; Naughty Dog 2020)

Auch über diese Beispiele hinaus bietet das Spiel diverse Individualisierungs-möglichkeiten. Durch die Mithilfe von Personengruppen mit verschiedensten Einschränkungen existiert eine große Bandbreite an Auswahlmöglichkeiten, um ein besseres Spielerlebnis für jeden zu schaffen.

Das Spiel demonstriert somit gut, wie die praktische Anwendung von inklusivem Design aussehen sollte. Es zeigt zudem auf, welche Vorteile dieser Designansatz für mein Tool bietet. Daher habe ich als nächstes herausgearbeitet, wie ich die einzelnen Aspekte meiner Recherche in einem Konzept vereinen kann.

Idee und Konzept

Vorbereitung

Meine Recherche ergab, dass ein AR Storytelling Tool effektiv zur Wissensvermittlung eingesetzt werden könnte. Die Notwendigkeit eines Tools wurde zudem mehrfach gestützt von dem Problem der komplizierten und langwierigen Entwicklung solcher Anwendungen. Eine gute Story braucht jedoch einen konkreten Usecase. Ich habe mich daher für den Museumsbereich entschieden, um mithilfe der Kooperation mit dem Humboldt Forum, meine Konzepte zu vertiefen und eine erste Anwendung des Tools in der Praxis zu realisieren. Zur Entwicklung meines Konzepts habe ich mir daher zunächst angeschaut, welche Aspekte für den Museumsbereich und das Humboldt Forum wichtig sind. Zudem habe ich recherchiert, welche guten Beispiele es für den Einsatz von AR im Museum gibt. Ich habe hierfür verschiedene Ted Talks geschaut und eine Reihe von AR-Erfahrungen zusammengetragen. Auffällig waren erneut die Aspekte der Rekonstruktion und Kontextualisierung von Artefakten mit Hilfe von AR, sowie die Anwendung von interaktiven und immersiven Elementen.

Augmented Reality Storytelling Tool (ARSTT)

Einführung

Wie einleitend erwähnt, verstärkte meine Recherche die Idee eines ARST, zur Erstellung von Story basierten AR-Erlebnissen. Für mein Konzept habe ich daher zunächst in mehreren Phasen erarbeitet, über welche Eigenschaften ein solches Tool verfügen müsste, um zu einer idealen Schnittstelle zwischen Entwickler und Klient zu werden. Damit soll das Tool erlauben, dass Ressourcen innerhalb eines Teams besser eingesetzt werden können.

Zunächst sollte ein solches Tool bedienungsfreundlich gestaltet werden. Hierzu habe ich mir erneut andere Tools angeschaut, um zu ergründen, wie diese eine leichte Bedienung erreichen. Ich stellte hierzu in einem meiner Lens Studio Kurse fest, dass eine gewohnte Benutzeroberfläche und eine klare Benennungsstruktur maßgeblich dazu beitragen, dass neue Entwickler schnell die Bedienungsläufe lernen und verinnerlichen. Ich entschied mich daher für Unity als Basis, da Unity mit seinen SDK-Erweiterungen bereits einen vertrauten Workflow für viele Entwickler im XR-Bereich bietet und eine der bekanntesten Game Engines darstellt. Zudem bietet Unity die flexible Erweiterung mit C#, sodass ich das Tool mit Basis Features ausstatten kann, welche frei von Entwicklern erweitert

werden können. Basierend auf meinem Anwendungsfall im Museum, habe ich mich für Vuforia entschieden, da Entwickler mithilfe von Area Targets einfach, präzise ortsabhängige AR-Anwendungen erstellen können. Dies erlaubt die Anwendung von Rekonstruktionen und Kontextualisierung der Ausstellungsstücke. Grundsätzlich sollte mein Tool flexibel aufgesetzt sein, sodass es in Zukunft anstatt Vuforia auch andere AR-Lösungen nutzen könnte. Der ideale Workflow für mein Tool sollte auf “Drag and Drop” basieren und mit Hilfe von Unitys Prefabs erlauben, schnell eigene Story-Erfahrungen zusammenzubauen.

AR-Storys (ARS)

AR bietet von Natur aus, aufgrund der realitätsverändernden und erweiternden Eigenschaften, viel Potential für die Informationsvermittlung. Storytelling nutzt eine erfahrungsbezogene Informationsvermittlung und nutzt ebenfalls eine aktive Rolle zur Wissensvermittlung. Es ist daher von vielen ähnlichen Faktoren wie AR abhängig. Wie in der Recherche bestätigt, ist AR-Storytelling eine effektive Kombination für die Wissensvermittlung.

Als Basis-Feature meines Tools sollte die Story schnell, anpassungsfähig und leicht in der Bedienung sein. Ein großer Fehler im Naxos Projekt war hierbei der fehlende Fokus auf Flexibilität und Anpassungsfähigkeit der Storys. Ich habe daher Inspiration in anderen Story Medien gesucht. Ich fand in Unitys Timeline eine ideale Lösung für diese Anforderung. Das Timeline Feature ist ähnlich, wie in Video Editing Programmen aufgebaut und bietet daher ein vertrautes Layout. Mithilfe von verschiedenen Tracks können Entwickler eine Reihe von Aktionen ausführen. Es bietet daher schnelle und visuelle Erstellmöglichkeiten für Storys und die Möglichkeit alle Bausteine jederzeit flexibel anzuordnen und anzupassen. Als Basis meines Tools möchte ich daher ARS mit Unitys Timeline nutzen, um immersive, interaktive und informative Erfahrungen zu schaffen. Das Format soll sowohl das Erstellen von übergeordneten Storys, bestehend aus einer Reihe von Interaktionen, als auch das Entwickeln von einzelnen Story-Elementen erlauben. Diese bestehen aus spezifischen Story-Bausteinen, welche aktiv mit dem Nutzer interagieren können. Dies möchte ich mit Hilfe von Story-Charakteren erreichen, welche Informationen in ein immersives Erlebnis verwandeln sollen. Der Nutzer könnte durch Charaktere mit einer Story interagieren. Die Interaktion erfolgt in diesem Fall per Audio, Text und mit Hilfe von Objekten. Die Storys sollten hierbei flexibel

zusammenstellbar und erweiterbar bleiben, um sowohl einfache als auch komplexe Storys mit einer Reihe von Charakteren und Objekten zu unterstützen.

Darüber hinaus sollte das von mir erstellte Tool über weitere Features verfügen, die den Erstellungsprozess von komplexen Story-Erfahrungen ermöglichen. Diese sollten die notwendigen Aspekte einer interaktiven und immersiven Story-Erfahrung widerspiegeln und aus dem Kontext der Praxis Anwendung im Museum entstehen. Details hierfür befinden sich in dem Kapital Produktion.

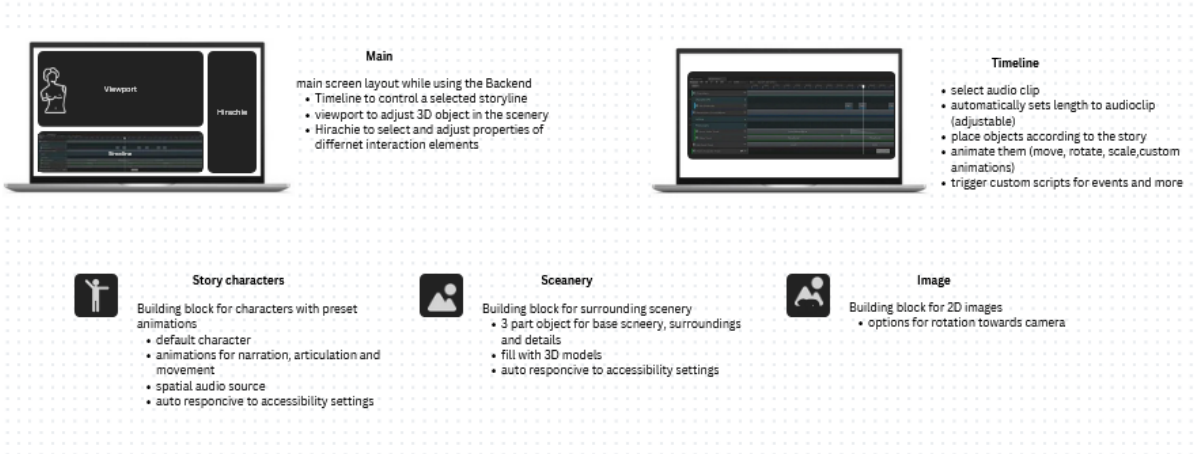


Abbildung 13 Auszug aus meinem Konzept Board. Wie könnte mein Tool aussehen und über welche Bestandteile sollte es verfügen?

Building Blocks Konzept

Um eine ARS Schnell mit den benötigten Komponenten füllen zu können, habe ich mich für ein Baukasten-System entschieden. Diese sollen eine Reihe von Funktionen in einem Baustein vereinen, welcher mit simplem “Drag and Drop" in der Szene platziert werden kann. Diese Bibliothek an Bausteinen soll den Erstellungsprozess für Entwickler beschleunigen und weniger manuelle Arbeit bedeuten. Ich habe daher überlegt, welche Bausteine Entwickler benötigen, um mit Hilfe der Timeline effektiv eigene ARS zu erstellen. Ich werde diese Bausteine im Laufe der Arbeit als Building Blocks referenzieren.

Die drei ersten grundlegenden Building Blocks, die ich mir überlegte, waren die folgenden:

- Die *Story Characters*: Dieser soll die Möglichkeit liefern 2D- oder 3D-Charaktere zu platzieren. Sie stellen eine zentrale Rolle in den Storylines dar und dienen zusätzlich der Informationswiedergabe. Idealerweise sollte ein solcher Charakter über eine eigene Audio-Source verfügen, um Spatial Audio[8] zu erzeugen. Somit können Charaktere visuelle und auditive Informationen wiedergeben. Das Spatial Audio bietet Nutzern zudem eine zusätzliche Verortung, sorgt für eine stärkere Immersion, sowie Unterstützung in der Orientierung bei komplexeren Szenen. Darüber hinaus sollen Entwickler ein beliebiges Bild oder 3D Modell nutzen können, um ihren Charakter individuell anpassen zu können. Nützlich könnten hierfür auch ein Basis- "Skeleton" und ein fester "Animator" sein, welcher Entwicklern das direkte animieren und artikulieren ihres Charakters ermöglichen würde. Das Tool könnte zudem mit einem jeweiligen Basis Charakter und klassischen Animationen (z.B. laufen, springen, reden) ausgestattet sein, um den Story-Erstellungsprozess zu beschleunigen. Für die 2D Charaktere ist es zudem sinnvoll eine automatische Rotation in Richtung Kamera anzubieten, da dies eine Illusion der Dreidimensionalität erzeugt.
- Die *Scenery*: Um digitale Details der realen Umgebung hinzufügen zu können, braucht man eine Art *Scenery Block*. Dieser würde es erlauben, einen bestimmten abgegrenzten Bereich mit zusätzlichen 3D Modellen und Umgebung mit Inhalten zu erweitern. Eine *Scenery* soll dazu beitragen, reale Objekte oder Orte in einen veränderten Kontext zu setzen. Inhalte können dauerhaft sichtbar sein oder nur, wenn ein Trigger diese sichtbar macht, um den Nutzer nicht visuell zu überlasten. Zusätzlich könnte ein 3-Stufen-System helfen, den Detailgrad auf Wunsch zu erhöhen oder zu reduzieren. Dies könnte ähnlich wie bei Videospielen helfen, die benötigte Leistung zu verringern und die visuelle Last für Nutzer individuell anpassbar zu machen.
- Die *Images*: Zur zusätzlichen Informationsvermittlung habe ich mich für ein Bild entschieden. Dieses soll es Entwicklern erlauben zusätzliche Informationen, Texturen oder andere 2D Materialien hinzuzufügen. Es soll flexibel einsetzbar sein und mit Hilfe von Einstellungsmöglichkeiten in unterschiedlichster Weise angezeigt werden. Ähnlich wie 2D Charaktere könnte dieses auch über eine mögliche Rotationsfunktion verfügen, um beispielsweise die Illusion von Bäumen im Hintergrund zu erzeugen. Der Vorteil von AR ist hierbei, dass es keine

[8] Spatial Audio beschreibt ein Setup mit räumlichen Audioquellen welches dem Nutzer eine auditive Verortung ermöglicht.

physischen Grenzen der Informationsmenge gibt, solange die Hardware es unterstützt. Bilder sind dabei weniger anspruchsvoll als 3D-Modelle.

Basierend auf meinem ersten Gespräch mit dem Humboldt Forum, ergänzte ich das Konzept um drei weitere Aspekte.

- Das *Artifact*: Um den Aspekt der Rekonstruktion und der Kontextualisierung im Museum anwenden zu können, habe ich einen Artefakt-Baustein entwickelt. Dieser soll es Entwicklern erlauben eine 3D Rekonstruktion eines Artefaktes oder Ausstellungsstücks für Benutzer zugänglich zu machen. Bei Interaktion mit dem Artefakt könnten Nutzer dieses mit Hilfe von Gesten drehen und beliebig betrachten. Zusätzlich könnten Informationen zu dem jeweiligen Objekt eingeblendet werden und versteckte Inhalte gefunden werden. Für die Ansicht könnte das Artefakt entweder in der realen Umgebung verankert sein, oder auf Wunsch des Nutzers in einem fokussierten Modus angezeigt werden. Bei diesem wäre die Umgebung ausgeblendet und der Nutzer kann sich komplett auf das Artefakt und die Informationen konzentrieren.
- Der Ping: Um genauer angeben zu können, worauf sich der Dialog oder eine Zusatzinformation beziehen, sollen Entwickler eine Art Ping System nutzen können. Dieses könnte mit einer Linie anzeigen, welcher Ort oder welches Objekt gemeint ist. Der Ping könnte hierbei sowohl auf andere digitale Inhalte, als auch auf die Realität verweisen. Um Nutzer nicht mit einer Vielzahl an Informationen und Linien zu erschlagen, sollten alle diese an- und abschaltbar sein, um den visuellen Load gering zu halten. Zusätzlich könnte eine Art “aktueller Fokus"-Funktion dazu beitragen, den Fokus dynamisch im Laufe der Story zu verändern und mit dem Ping immer nur das aktuelle Fokus-Objekt zu markieren.
- Die Map: Zuletzt sollte das Tool über einen Baustein verfügen, der bei der Verortung in der realen Umgebung hilft. Da das Tool überwiegend in orts-abhängigen AR-Anwendungen getestet wird, ist es wichtig, Nutzern Orte anzeigen zu können. Einerseits, um anzeigen zu können, wo Interaktionen möglich sind und andererseits, um ihnen zu zeigen, wo sie sich aktuell befinden. Ein Map Block könnte es Entwicklern erlauben, entweder 2D Kartenausschnitte oder 3D Modelle der Umgebung darzustellen. In einer voll umfassend getrackten AR-Umgebung könnte dies zusätzlich mit Navigationskomponenten unterstützt werden, um Nutzer mit Hilfe von AR-Navigation an bestimmte Orte zu führen. Die Karten sollten daher zumindest einen Pointer haben, welcher die aktuelle Position des Nutzers anzeigt. Entwickler könnten dann beispielsweise mit Unitys Navmesh eine

AR-Navigation hinzufügen, ähnlich den Google Maps AR-Navigations-möglichkeiten.

App und User Interface (UI)

Um mithilfe des Tools den gesamten Erstellungsprozess umzusetzen, habe ich mich beim *Frontend*[9] für ein App Interface entschieden. Das Format der App erlaubt es mir komplexere Konzepte demonstrieren zu können und weniger Zeit für Optimierungen verwenden zu müssen. Langfristig wäre auch eine WebAR-Version ideal, um das Tool noch flexibler einsetzen zu können und mehr AR-Lösungen in Kombination mit dem Tool nutzen zu können.

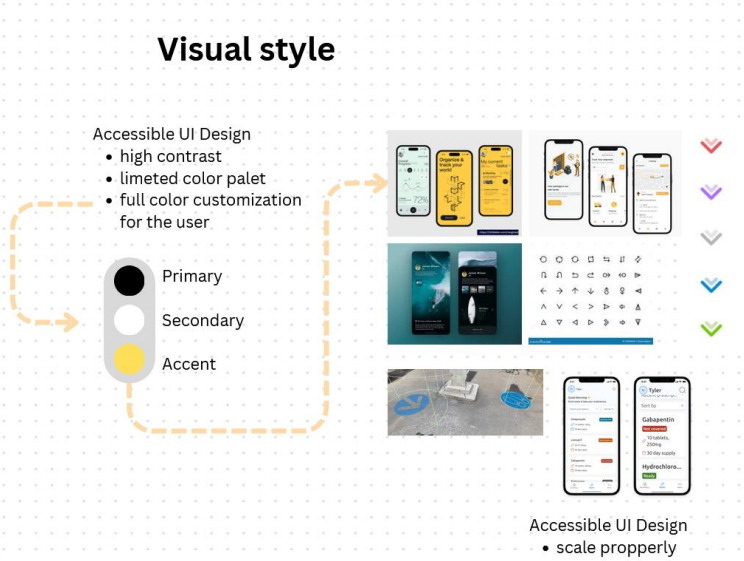


Abbildung 14 Auszug aus meinem UI/UX Konzept zum Design und Farbschema der App

Das User Interface (UI) der App sollte einfach in seiner Handhabung sein und für Entwickler flexibel anpassbar bleiben, sodass der gewünschte Look, je nach Anwendungsfall erreicht werden kann. Visuell habe ich mich an simplen APP Layouts orientiert und mich beim Default Design für einen hohen Kontrast mit schwarz-weiß-Look entschieden. Das Design könnte über ein simples drei Farben System anpassbar sein. Darüber hinaus erlaubt Unitys UI Builder die volle Anpassung, inklusive individueller Texturen, damit Entwickler das Interface mit ihrem eigenen Look versehen können.

Die App nutzt ein simples Home-Menü, um Einstellungen zu verwalten. Hier können Entwickler flexibel gestalten, welche Funktionen ihre App nutzen möchte. Die Basis liefert ein Startknopf und das Einstellungsmenü. Wie in Abbildung 15 gezeigt, könnte das Home-Menü zudem über ein Account-Icon für gespeicherte Nutzerdaten, einen Hilfe-Button für

[9] Frontend beschreibt die grafische Benutzeroberfläche mit welcher die Nutzer interagieren können

Tipps zur Benutzung und beispielsweise für Museen, einen Tours-Button zur Auswahl von vorgefertigten ARS-Führungen verfügen.

Da Smartphone AR durch den begrenzten Bildschirmbereich limitiert ist, ist es umso wichtiger, minimale UI einzusetzen (siehe Abbildung 15). Ich habe mich daher bei der Default View für ein simples Layout mit einem mittigen Interaktionsknopf und einem Einstellungsknopf in der oberen Ecke entschiedenen. Zusätzliche Informationen wie Untertitel oder Feedback-Icons, z.B. wenn Audio zu hören ist, könnten in AR schwebend angezeigt werden. Somit kommt die App während der AR-Erfahrung mit nur zwei festen UI Elementen aus. Will der Nutzer eine bestimmte Funktion, wie die Map oder das Feature nutzen, drückt dieser den Interaktionsknopf um alle möglichen Interaktionen zu sehen und wählt anschließend die Gewünschte aus.

Dieses Layout soll dazu beitragen, viele Funktionen in einer Oberfläche unterzubringen und dabei das Layout so zugänglich wie möglich zu gestalten. Das simple Layout trägt zudem dazu bei, dass sich Nutzer schneller eingewöhnen können. Dies ist entscheidend, um eine immersive Erfahrung zu ermöglichen und die Barrieren so gering wie möglich zu halten.

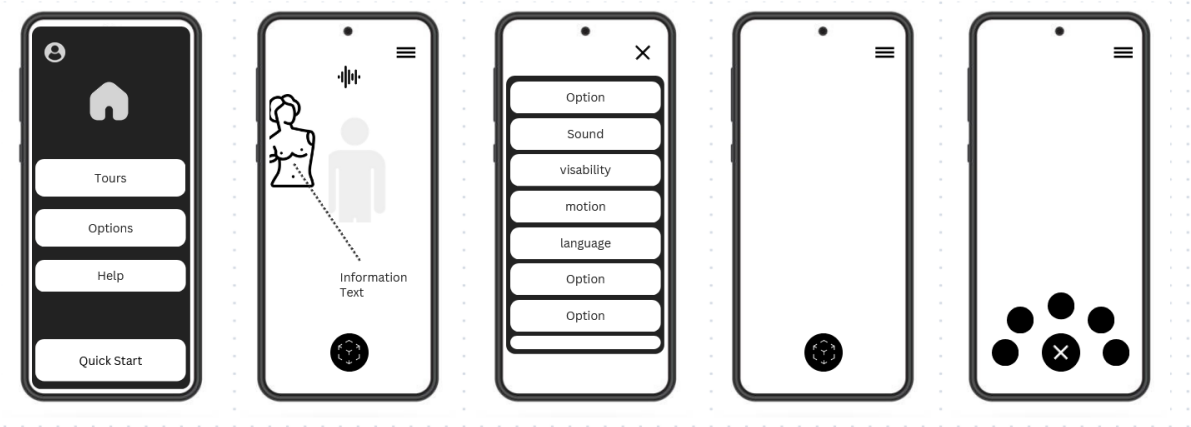


Abbildung 15 Details zu meinem UI Konzept von links nach rechts: Home Screen, AR View während dem interagieren, Anpassungsmöglichkeiten, AR View roh, AR View bei Nutzung des Interaktionsknopfes.

Um das Interaktionserlebnis darüber hinaus so angenehm und zugänglich wie möglich zu gestalten, sollte die App eine Vielzahl von Personalisierungsmöglichkeiten bieten. Anpassungsmöglichkeiten für Sprache, Audio oder visuelle Inhalte senken die Barrieren für Nutzer und erlauben es ihnen, die Anwendung an ihre Bedürfnisse anzupassen. Die App sollte daher über eine tiefe Vernetzung dieser Feature im Tool verfügen. Bezüglich

der Audio-Anpassung könnte das z.B. bedeuten, dass Audio Mixer in Unity es erlauben, die genutzten Geräusche beispielsweise in Stimmen, Umgebung und Musik zu unterteilen. Dies würde dann automatisch in der App aufgelistet werden, sodass Nutzer ihre Geräuschkulisse individuell anpassen können, je nachdem welchen Immersionsgrad sie bevorzugen. Das gleiche würde auch für alle anderen Anpassungsmöglichkeiten gelten und alle müssten bereits nativ im Tool verknüpft sein, um eine schnelle und einfache Implementierung von den Entwicklern zu gewährleisten.

Feedback loop

Um den Aspekt der Inklusion in den Gameplay Loop aufzunehmen und den Nutzern besseres Feedback zu ihren Aktionen zu bieten, habe ich als nächstes ein Konzept für einen Feedback Loop erstellt. Dieser soll bei allen interaktiven Elementen angewendet werden, um dem Nutzer alternative Informationskanäle zu bieten. Zudem sollte dieser für Entwickler einfach einzurichten sein und schnell mit den gewünschten Komponenten befüllt werden können.

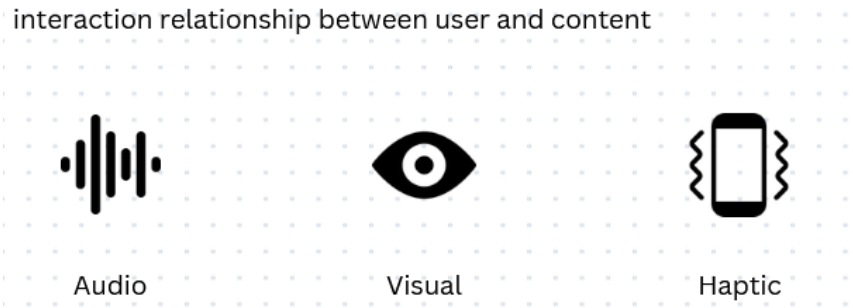


Abbildung 16 Konzept zum Feedback Loop

Mithilfe von Smartphone AR besteht hierzu die Möglichkeit, den Nutzer auf drei verschiedenen Kanälen anzusprechen. Mit diesen könnten Entwickler dem Nutzer simultan Informationen auf einem auditiven, visuellen und haptischen Kanal übermitteln.

- **Auditiv** können Nutzer Feedback in Form von Dialogen, Signalgeräuschen oder Umgebungsgeräuschen erhalten.
- **Visuell** können die Nutzer Feedback mithilfe der AR-Augmentierung, wie 3D Objekten, Texten oder Info Icons bekommen.

- **Haptisch** könnten Nutzer Feedback mithilfe von Vibration des Smartphones bekommen.

Ein Building Block meines Tools sollte idealerweise den Nutzern Feedback auf mindestens zwei Kanälen geben, um Barrieren für die Benutzung so gering wie möglich zu halten, Wissen ideal zu vermitteln und Freude an der Benutzung zu gewährleisten.

AR als Ermöglicher

AR bietet uns zudem noch weitgreifendere Möglichkeiten, das Nutzungserlebnis für die Nutzer zu verbessern. Hierfür habe ich basierend auf meiner Recherche zur Inklusion folgendes Konzept entwickelt. Dieses soll es Entwicklern erleichtern zugängliche AR-Story Erfahrungen für alle zu produzieren.

Da AR die Realität mit digitalen Inhalten überlagert, verändert es aktiv unsere Wahrnehmung der Realität. Dadurch bietet AR die Möglichkeit, unsere Wahrnehmung zu unseren Gunsten zu verändern. Dies könnte dafür sorgen, dass es Leuten mit Einschränkungen erlaubt, ihre Umgebung so wahrzunehmen, wie sie es benötigen. AR würde in einem solchen Fall als Ermöglicher eingesetzt werden, indem die angepasste Wahrnehmung als kommunikative Brücke fungiert. Beispiele dafür könnten sein: AR Objekt Erkennung und Spatial Audio, um Blinde durch die Umgebung zu leiten. Audio Visualisierung und haptisches Feedback, um Leuten mit Höreinschränkungen eine bessere räumliche Orientierung zu ermöglichen. Objekte digital zu sich zu holen, damit es Leute mit physischen Einschränkungen möglichen ist Dinge zu sehen, die ihnen andernfalls nicht zugänglich wären.

Wie in dem Kapitel Inklusives Design beschrieben, benötigt man eine Vielzahl an Anpassungsmöglichkeiten, um die Anwendung auf die individuellen Bedürfnisse der Nutzer einstellen zu können. Ich würde zur leichteren Bedienung eine Art von Anpassungspaketen zur Verfügung stellen. Dieser Ansatz ist in Inklusivität im Videospiel Design genauer beschrieben. Nutzer können mit Hilfe eines solchen Anpassungspaketes aus drei verschiedenen Optionen auswählen, um das Spiel ihren Bedürfnissen anzupassen. Die Kategorien Visuelles, Gehör oder Motorisches Preset bündeln jeweils eine Reihe von Einstellungen und erlauben es Nutzern, mit einem Klick direkt eine Vielzahl von Anpassungen vorzunehmen. Um auch bei meiner App die Interaktionsschwelle so gering wie möglich zu halten, habe ich mir eine Reihe von Anpassungspaketen überlegt. Diese sollen es eingeschränkten Nutzern erlauben, die App von Anfang an so anzupassen, dass sie bestmöglich interagieren können. Die Auswahl könnte dann in ihrem Profil

gespeichert werden, sodass die Anpassungen nicht jedes Mal aufs Neue getroffen werden müssen.

Meine Anpassungspakete sind basierend auf meiner Recherche erstellt worden und sollten mit Experten des jeweiligen Bereiches weiterentwickelt werden. Zurzeit habe ich folgende Anpassungsmöglichkeiten konzeptioniert. Hierbei würde ich die Anpassungen in vier Kategorien einteilen, welche ich “Modes” nennen würde.

1. Visueller Mode: Mit Hilfe von Post Processing Effekten würde ich einen Filter über die gesamte AR-View legen, welcher einen hohen Kontrast und Graustufen-Tönungen besitzt. Interaktive Elemente würden dann basierend auf einer Farb-Koordinierung, die ebenfalls dem hoch Kontrastschema folgt, die einzelnen Elemente einfärben. Zusätzlich würde ich Texturen nutzen, um den einzelnen Farben konstante Muster hinzuzufügen. Dies erlaubt auch Farbblinden Personen eine Unterscheidung zwischen den einzelnen Elementen. Idealerweise wären hierbei alle Farbmöglichkeiten, sowie die Intensität sowohl der Graustufe, als auch der interaktiven Elemente einzeln in den Einstellungen anpassbar. Somit könnten Personen aus dieser Kategorie besonders die interaktiven Inhalte leichter finden und besser zwischen den Inhalten navigieren.
2. Auditiver Mode: Dieser sollte für hörgeschädigte Personen Audios alternativ verarbeiten. Um Audioquellen besser zugänglich zu machen, würde ich diese Quellen visuell sichtbar machen. Mit Hilfe eines Shaders könnte man die Audiowellen für jede gesetzte (künstliche) Quelle sichtbar machen. Somit könnten Nutzer sehen, von wo Audio ausgestrahlt wird und Audio-Ques (Töne für Interaktionsmöglichkeiten) oder virtuelle Charaktere besser ausfindig machen. Um diese Quellen hörgeschädigten Menschen zugänglich zu machen, würde ich ein dynamisches Untertitel-System nutzen, welches die Art, Richtung und den Inhalt des Geräusches anzeigt. Diese Untertitel könnten zudem mit Gebärdensprache erweitert werden.
3. Physischer Mode: Diese Anpassung soll vor allem Objekte und Inhalte, die physisch nicht zugänglich sind, digital erreichbar machen. Hierfür würde ich ähnlich wie in einigen VR-Anwendungen einen “Force grab” hinzufügen. Hierbei fliegt ein Objekt, wie von einer Macht angezogen, in die Hand des Nutzers. Die Möglichkeit für einen solchen “Force Grab” würde bei unterstützten Objekten durch einen Ton & visuell angezeigt werden und erlaubt es physisch eingeschränkten Personen, sich das Objekt digital zu sich zu holen, anstatt sich physisch dem Objekt nähern zu müssen. Diese Interaktion könnte auf einen

Knopfdruck erfolgen und dem Nutzer zusätzlich zwei Optionen zur Betrachtung liefern. Einerseits könnten Nutzer das Objekt mit Hilfe von Touch-Gesten frei bewegen und rotieren, andererseits könnte eine Animation das Objekt automatisch drehen und rotieren, wenn der Nutzer keine Touch-Gesten nutzen kann. Zusätzlich könnten die navigatorischen Komponenten genutzt werden, um zum Beispiel automatisch eine geführte Route zu wählen, die rollstuhlgerecht ist.

4. Kognitiver Mode: Dieser soll vor allem die informative Menge, die AR mit sich bringen kann, kontrollieren. Um durch AR keine kognitive Überlastung aufgrund des Informationsangebots zu verursachen, sollten diese grundsätzlich begrenzt zugänglich gemacht werden. Darüber hinaus könnte ein solcher Mode jedoch dazu beitragen, dies weiter anpassen zu können. Eine Möglichkeit würde z.B. an meine Szenen-Bausteine anknüpfen. Hier können die Nutzer dynamisch zwischen verschiedenen Details entscheiden, um die Menge an Informationen kontrollieren zu können. Zusätzlich könnte die genutzte Sprache basierend auf einer ähnlichen Auswahl angepasst werden, um Inhalte schriftlich und per Audio zugänglicher zu gestalten. Eine Auswahlmöglichkeit für diesen Mode könnte die spielerische Story sein. Hierbei würde sowohl eine einfache Erzählmethode, als auch eine spielerische Darstellung von Informationen genutzt werden, um eine vereinfachte Wissensvermittlung zu ermöglichen. Diese könnten neben kognitiv eingeschränkten Personen auch Kindern und Familien eine passende Erfahrung anbieten.

Final wäre es essentiell, dass die Anpassungen der Modes auch individuell verändert und kombiniert werden können. Modes sollen nur eine Vielzahl von Anpassungen schneller einrichten lassen, jedoch keine Einstellungen verbergen. Somit wären auch Nutzer, die nicht so stark oder nur von bestimmten Aspekten betroffen sind, in der Lage, sich ihre AR-Erfahrung bestmöglich individualisieren zu können.

Community

Um das maximale Potential aus der App und dem Tool auszuschöpfen und die Funktion als Schnittstelle ideal ausführen zu können, würde ich zudem eine Art Community oder Bibliothek nutzen. Mit Hilfe dieser könnten Entwickler ihre erstellten ARS teilen und das Tool könnte in seiner Funktionsweise durch die Community wachsen. Zurzeit soll das Tool vor allem am Museum-Use-Case in der Praxis erstellt werden. Andere Anwendungsfälle könnten jedoch beispielsweise von anderen bestimmten Bausteinen profitieren.

Entwickler könnten hierfür "Custom Building Blocks" teilen, welche das Erstellen von andern ARS-Inhalten erleichtern sollen. Das 3D Modelling Tool Blender hat gezeigt, wie diese Erweiterbarkeit eines Tools zur Verbesserung beitragen kann. Zudem bietet es eine zusätzliche Schnittstelle, wo Entwickler und Klienten zusammenkommen. Dies sollte das Tool für eine Vielzahl von Use Cases oder eine Gruppe von Anwendungen innerhalb eines Bereichs verbessern.

Der Aspekt der Community könnte zudem zu gemeinsamen Anwendungen führen. So könnte man beispielsweise eine App für eine Reihe von Museen erstellen, um eine Vielzahl von Ausstellungen in einer “Kultur AR” App zu bündeln. Nutzer müssten sich also nur eine App herunterladen, um eine Reihe von unterstützten Museen erleben zu können. Dies könnte dazu beitragen, die Schwelle des Downloads für Nutzer zu senken und eine größere Anwendervielfalt anzusprechen. Zudem könnte die App natürlich auf allen hauseigenen Geräten installiert werden, um Nutzer anzusprechen, die keine App herunterladen wollen oder ein nicht leistungsfähiges Smartphone besitzen. Eine solche Vernetzung würde zudem die Interaktionsschwelle weiter senken, da sich Nutzer an die Bedienung gewöhnen und intuitiver mit den AR-Erweiterungen interagieren können. Dies sollte zuletzt vor allem die Immersion und Akzeptanz erhöhen.

Über den Anwendungsfall im Kultursektor hinaus könnte eine Bibliothek dafür sorgen, eine solche App oder ein solches Format in der Community voranzubringen. Andere Anwendungen haben bereits gezeigt, welche Möglichkeiten eine solche Bibliothek eröffnen könnte. Ich gehe im Kapitel Target Audience genauer hierauf ein. Für ortsunabhängige AR könnte dies dazu führen, dass Nutzer eine Vielzahl von Storys in ihrer eigenen Umgebung oder in umgebungsspezifischen Setups erleben können. Zudem regt eine solche Bibliothek dazu an, neue AR-Erfahrungen zu testen und den eigenen Horizont zu erweitern. Entwickler könnten auch auf sich aufmerksam machen und Institutionen für sich gewinnen. Somit könnte sich das ganze ggf. als Plattform selbst erhalten. Die Bibliothek könnte im Tool ein- und abgeschaltet werden, um Nutzern entweder vollen Zugang oder nur spezifische Erlebnisse zur Verfügung zu stellen. Die Community könnte darüber hinaus über eine Vielzahl von Kategorien verfügen, sodass neue Building Blocks oder ganze Erlebnisse zur Verfügung stehen. Dies sollte langfristig noch individualisiertere Anwendungen erlauben und neben Storytelling auch andere Bausteine hervorbringen. Hiervon könnten Entwickler und Institutionen profitieren, da diese leichter zusammenfinden können und Institutionen auf Basis der veröffentlichten ARS entscheiden können, welcher Entwickler zu ihnen passt.

Target Audience

Museen und Kulturstätten

Nach Aussage der Kuratorin des Humboldt Forums stehen Museen und Kulturstätten unter dem spürbaren Druck der Digitalisierung und gerade bei der jüngeren Generation steigt der Anspruch nach zusätzlichen digitalen und interaktiven Inhalten. AR könnte hier als eine Brücke fungieren, die es digital interessierten ermöglicht, zusätzliches zu erleben. Aufgrund der adaptiven Einsetzbarkeit von AR können interaktive Ausstellungen als digitaler Zusatz hinzugefügt werden, ohne die ursprünglichen Ausstellungen in ihrer Gänze verändern zu müssen. Mit Hilfe von Gamification und interaktiven Elementen können sich Besucher als Teil der Ausstellung verstehen und zum Mitgestalter ihres Museumserlebnisses werden.

Aus meiner Recherche und meinem Konzept haben sich drei Grundpfeiler für mein Tool ergeben. Eine ideale Praxisanwendung meines Tools im Museum sollte alle drei Konzepte vereinen.

Storytelling: Namensgebend für das Tool steht es an oberster Stelle. Wie in dem zugehörigen Recherchekapitel beschrieben, bietet Storytelling eine effektive Form der Wissensvermittlung. Entwickler sollen mit Hilfe des Storytellings immersive Erlebnisse schaffen, die komplexe Informationen vermitteln können. Dank AR-Storytelling ist dies eine aktive Form, bei der Wissen erlebbar wird.

1. Rekonstruktion: AR erlaubt es uns, unsichtbare Dinge sichtbar zu machen. Für den Museums Use-Case ist dieser Aspekt die Rekonstruktion. Sie erlaubt es, verlorenes wieder in den interaktiven Bereich zu bringen und bietet damit die ideale Grundlage für unsere Story.
2. Kontextualisierung: AR bietet ein einzigartiges Zusammenspiel zwischen realen und virtuellen Inhalten. Dies erlaubt es einen Kontext herzustellen, diesen zu erweitern und zu verändern. Es bietet zudem eine weitere ebene auf der Informationen erfahren werden können und erlaubt es den Nutzern ihr eigenes wissen neu zu konstruieren.

AR bietet zusätzlich den “unendlichen” digitalen raum zur Darstellung und Präsentation von ungezeigten Materialien und zusätzlichen Inhalten. Im Naxos Project zeigte sich zudem das AR-Erfahrungen gut in verschiedensten Umgebungen angewendet werden können, sowohl drinnen, als auch draußen. Durch die Möglichkeit des flexiblen Einsatzes im gesamten Museum stellt dies eine Transformationsmöglichkeit in der Informationsvermittlung an Kulturellen Stätten dar.

Andere Bereiche

Das Format der ARS ist nicht auf die Anwendung zur Vermittlung von kulturellen Themen begrenzt. Ein solches Tool könnte in einer Vielzahl von Wissensvermittlungsfällen angewendet werden.

Der Bereich der virtuellen Trainings, für z.B. medizinische Zwecke oder innerhalb der Industrie, stellt einen weiteren potentiellen Anwendungsbereich dar. Hier könnten die Stories dazu beitragen, immersive Szenarien darzustellen und komplexe Interaktionen mit Patienten oder Kunden wiederzugeben. Der Aspekt der Community könnte an dieser Stelle besonders effektiv genutzt werden, da Anwender sowie Ersteller Szenarien teilen und verbreiten könnten. Auch die Ortsspezifischen Anwendungen könnten in einem solchen Bereich von Vorteil sein, um z.B. Abläufe innerhalb eines bestimmten Behandlungsraumes zu trainieren und optimieren zu können. In der Industrie könnte es auch vielfältig für Trainings eingesetzt werden. Hierzu verfolgen einige Firmen bereits erste praktische Ansätze, die AR besonders für limitierte oder begrenzt zugängliche Objekte zur Wissensvermittlung einsetzen (Bosch Media Service 2025).

Darüber hinaus könnte das Tool auch zu Entertainment- und Infotainment Zwecken, beispielsweise in Zoos oder Wildparks eingesetzt werden. Hier könnten Besucher ggf. mehr über die Geschichte der Einrichtungen und der verschiedenen Tiere lernen. Allem voran könnte es aber wichtige Aspekte des Arten- und Naturschutzes auf nondestruktive Weise lehren und digital in die natürlichen Habitate einführen.

Produktion

Einführung

Aufgrund des Charakters der Produktion als real Projekt, mit einem konkreten Kunden, ist diese Arbeit im ständigen Wechsel zwischen Tool Entwicklung und Ausstellungskonzept entstanden. Dieser Prozess verlief development typisch in Zyklen und ist daher schwierig linear darzustellen. Mein Ziel ist es, mit diesem Segment der Thesis einen Einblick in die verschiedenen Entwicklungsprozesse und zugrundeliegenden Abläufe zu geben. Einige dieser Entwicklungen sind jedoch nicht chronologisch dargestellt, um die bessere Lesbarkeit der einzelnen Kapitel zu gewährleisten. Oft war es notwendig, an mehreren Themen gleichzeitig zu arbeiten. Die Produktion beinhaltet zudem die Konzepte für die Ausstellungserweiterung im Humboldt Forum, da diese erst im Laufe der Produktion entstanden.

Der Workflow und die Tools für die Entwicklung bestanden aus folgenden Komponenten:

1. Canva zur Ordnung und Sortierung der Informationen, sowie Planung und Konzeptionierung,
2. Unity für die Entwicklung des Tools und der Prototypen.

Demonstration Mathildenhöhe

Um die Kooperation anzuleiten und das Potential meines Konzeptes entsprechend demonstrieren zu können, habe ich eine erste konkrete Demo mit dem Tool erstellt. Diese baute auf dem ersten Gespräch mit dem Humboldt Forum auf und sollte mein Konzept anhand eines ersten Praxisbeispiels demonstrieren.

Für ein geeignetes Praxis Beispiel habe ich mich an meinen vorangegangenen Projekten orientiert und zunächst einen kleinen Prototypen entwickelt. Hierfür habe ich die Mathildenhöhe in Darmstadt ausgewählt, da diese als neues Weltkulturerbe einen konkreten Anwendungsfall darstellt und ich ein 3D Modell des Alten Tors in einer anderen, vorherigen Arbeit erstellt habe. Ich habe in diesem Prototypen das Basis Feature der Story Timeline implementiert. Zusätzlich habe ich mit UI-Konzepten und möglichen Features für die Building Blocks experimentiert.

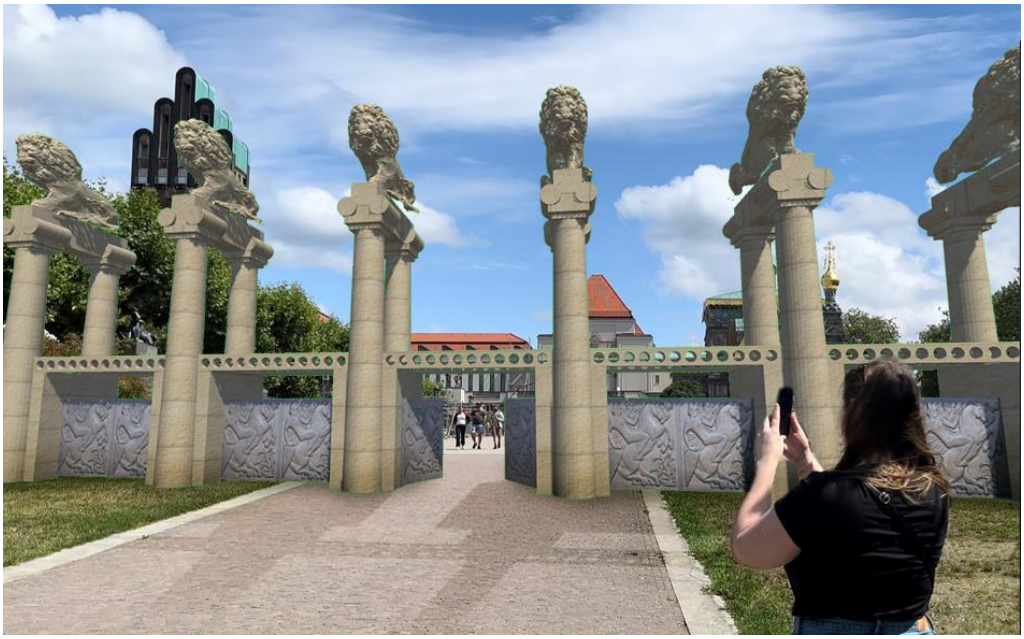


Abbildung 17 Löwentor 3D Model - Mockup Augmentation Mathildenhöhe Demo

Aus dieser ersten Demo ging eine Reihe von Erkenntnissen hervor, die im Folgenden aufgelistet sind:

1. Unity's Timeline Component funktioniert gut, zur Erstellung und Anpassung der Stories.
2. Die Rekonstruktion des zerstörten Tors war effektiv zur Vermittlung der Story hinter den verschiedenen Bestandteilen, welche bis heute in Darmstadt an anderen Orten aufzufinden sind.
3. Der allgemeine Erzähler hat gut funktioniert, jedoch keine persönliche Ebene erreichen können. Ich würde daher eher auf einen in der Story verankerten Charakter setzen.
4. Die ursprünglich vorgesehene Vielzahl an Knöpfen und Untermenüs zur Bedienung, erschwert die Benutzerfreundlichkeit und sollte daher reduziert werden.
5. Neben der 2D Map stellen die in der Welt platzierten Marker, für beispielsweise Toiletten, Aufzüge oder Rollstuhlrampen, eine Bereicherung für die Navigation dar. Dank AR ist eine einfache räumliche Navigation und schnelle Verortung der Einrichtungen möglich.

Mit diesem Prototyp trat ich erneut an das Humboldt Forum heran und entwickelte mein Konzept gemeinsam mit ihnen in mehreren Phasen weiter.

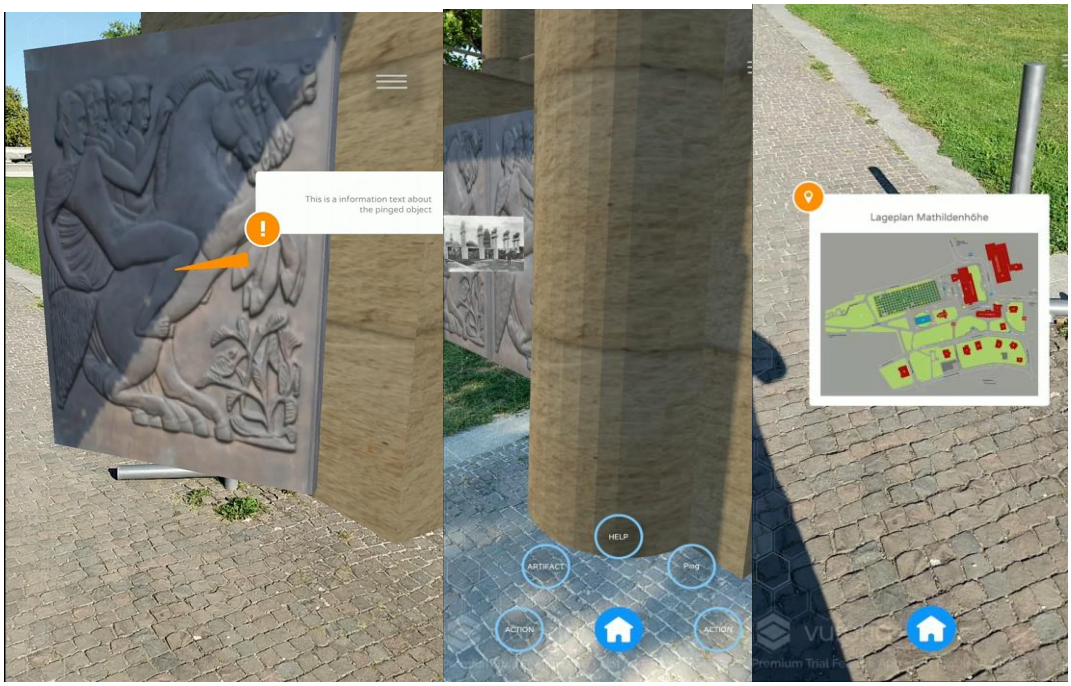


Abbildung 18 Screenshots der Mathildenhöhe Demonstration. Ping System, Interaktionen und 2D Map.

Kooperation Humboldt Forum

Art der Kooperation

Die Mathildenhöhe Demo weckte großes Interesse für eine Implementierung meines Tools im Humboldt Forum. Gemeinsam mit der Kuratorin des Hauses überlegte ich, wie wir mein Tool für das Museum zur Anwendung bringen können.

Wir waren von Anfang an in regem Austausch und ich konnte viel über die Probleme und Anforderungen einer solch großen kulturellen Institution lernen. Ein Teil dieser Einblicke hat mir als Basis und Recherche für das Kapitel Humboldt Forum gedient.

Die Kuratorin hat mich tatkräftig dabei unterstützt, eine Demonstration vor Ort umsetzen zu können. Im Laufe der Kooperation haben wir zudem das Team erweitert und ich habe Unterstützung und Beratung von einer Kollegin der Rechtsabteilung und dem Ausstellungskurator und Historiker von “Geschichte des Ortes” erhalten. Hierzu an späterer Stelle mehr.

Vorbereitung und Voraussetzungen

In unserer Zusammenarbeit haben wir uns zunächst in mehreren Videokonferenzen über mögliche Anwendungsfälle im Haus unterhalten. Thema dieser waren die Erfahrungen des Hauses, im Bereich Digitalisierung und AR. Einen großen Fokus nahm hierbei der hauseigene Medienguide ein, welcher ein erster Schritt weg vom klassischen Audioguide, hin zu einem vernetzten Medienguide sein sollte. Hierzu mehr in dem Kapitel Medien Guide. Dieser schließt Inklusion, Audioführungen und visuelle Informationen in einer Web Anwendung ein. Die Kuratorin bestärkte mich in der Anwendung des Tools, als mögliche Erweiterung des Medien Guides. Daraufhin verstärkte sich mein Fokus auf den Inklusionsaspekt, da dieser eine wichtige Stütze für die Nutzer spezifische Entwicklung meines Tools darstellt. Wir entwickelten erste Pläne, wie man möglicherweise mein Tool hierfür nutzen könnte um eine universell zugängliche Anwendbarkeit zu ermöglichen. Wie im Konzept beschrieben konzentrierten sich meine Ansätze vor allem auf die veränderte/angepasste Wahrnehmung mithilfe von AR. Gemeinsam mit dem Humboldt Forum überlegte ich, welche Personengruppe für ein User Testing in Frage kommen könnte. Die Kuratorin bekräftigte, dass wir eine Testgruppe aus beeinträchtigten Personen zusammenstellen könnten, um dies genauer zu untersuchen. Leider konnte ich aus organisatorischen Gründen diesen Aspekt nicht über das Konzept hinaus verfolgen, da wir keine konkrete Tester Gruppe fanden und das Museum mich bestärkte, das Tool stattdessen für den “durchschnittlichen” Museumsbesucher weiterzuentwickeln.

In der zweiten Phase der Zusammenarbeit lag mein Schwerpunkt daher auf dem finden einer konkreten Ausstellung. Diese sollte für einen öffentlichen Test mit Museumsbesuchern geeignet sein und meine Kriterien für eine ideale AR-Ausstellungserweiterung erfüllen. Hierfür habe ich einige organisatorische und AR spezifische Sachen geprüft. Ich habe zunächst eine Auswahl an potentiellen Bereichen vorsortiert. Diese Auswahl basierte auf der Webseite des Humboldt Forums und Besucher Videos, die ich von der Eröffnung des Museums finden konnte. Mit Hilfe dieser ersten Auswahl bereitete ich mich auf meinen ersten Besuch im Humboldt Forum vor.

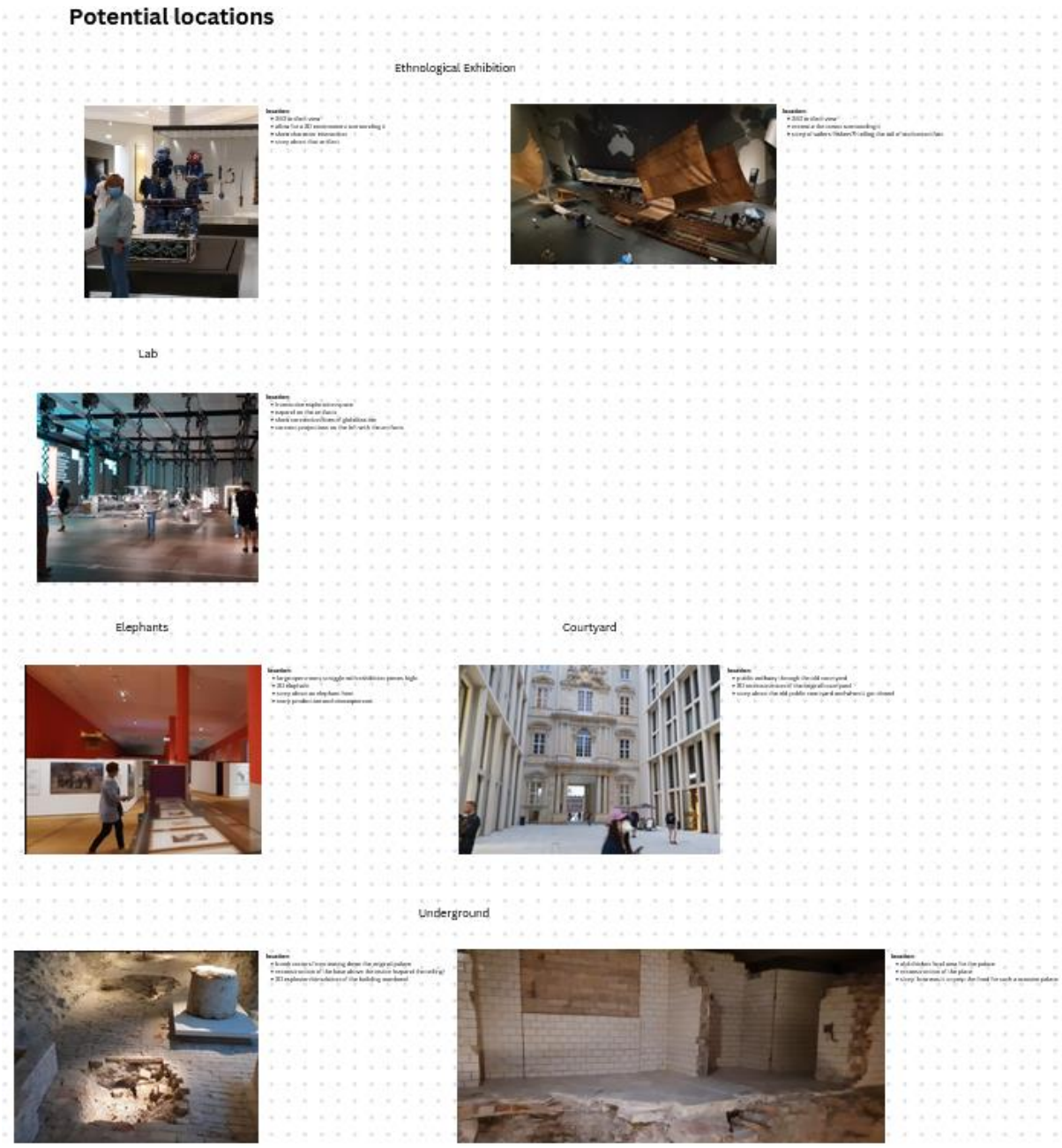


Abbildung 19 Location Scouting für potentielle Ausstellungen

Produktion vor Ort

Aufgrund der räumlichen Distanz zum Humboldt Forum musste ich meine Produktion in remote und vor Ort unterteilen. Remote konzentrierte ich mich vor allem auf die Weiterentwicklung des Tools, die Kommunikation mit dem Museum und auf die Konzeptionierung für mögliche Ausstellungserweiterungen mit AR. Die Phasen vor Ort waren notwendig aufgrund des Charakters der ortsspezifischen AR-Anwendung.

Über die Produktion verteilt plante und unternahm ich daher insgesamt drei Reisen nach Berlin um vor Ort zu produzieren:

1. Location: Erste persönliche Besprechung und Entscheidung für eine konkrete Ausstellung zur Erweiterung mithilfe meines Tools.
2. Erste Demo: Lidar-Scans der Ausstellung und Entwicklung eines ersten Prototyps zur Ausstellungserweiterung.
3. Finale Demo: Vorstellung des finalen Konzepts, sowie Erstellung und Demonstration des Prototyps mit User Test.

ARSTT Entwicklung

Minimal Viable Product (MVP)

Als MVP habe ich mich für folgendes entschieden, um die Kernpfeiler meines Konzeptes widerspiegeln.

Mein Tool, welches als Unity SDK implementiert wird und über die folgenden Features verfügt.

- Mindestens drei Essentielle Bausteine: Story, Info Text und Charakter Bausteine
- Ein oder mehrere Möglichkeiten diese auszulösen und interaktiv anzuwenden
- Ein Showcase-Szenario sowie Beschreibungen für alle Bausteine, um Entwicklern zu erklären, wie das Tool verwendet werden sollte
- Eine Inclusions orientierte App UI, sowie mindestens ein Accessibility Feature zur Individualisierung für die Nutzer

Ich habe mich bewusst gegen die Umsetzung der Community und der Bibliothek entschieden, da diese einen großen zusätzlichen Entwicklungsaufwand bedeutet hätten. Dies wäre aus zeitlichen Gründen nicht in dem begrenzten Rahmen der Master Thesis umsetzbar. Zudem habe ich im Laufe der Arbeit entschieden, den Aspekt der Inklusion

auf eine nach meiner Auffassung nach bestmögliche UI, sowie mindestens eine Individualisierung zu begrenzen, da ich nicht in der Lage war, mich mit Experten der jeweiligen Bereiche zu beraten. Zusätzlich konnte ich keine Gelegenheit zu einem Test und zur Evaluation mit von Einschränkungen betroffenen Personen organisieren und daher habe ich mich für die Praxis Anwendung im Humboldt Forum auf einen “Durchschnitts-” Besucher konzentriert.

Setup

Basierend auf meiner Vorerfahrung und intensiver Recherche, habe ich mich für Unity und Vuforia entschieden. Unity für die Entwicklung und Umsetzung des Tools, für maximale Erweiterbarkeit und da es eine Vielzahl von AR-Lösungen gibt, die mit dem Tool kombiniert werden können. Für Vuforia habe ich mich entschieden, da es für meine Praxis im Museum mit ihren ortsabhängigen AR-Erfahrungen, die ideale Basis bietet. Das kostenlose Lizenzierungsmodell mit begrenzter Nutzerzahl erlaubt es zudem, einige Demo- Anwendungen zu testen und begrenzt zur Verfügung zu stellen.

Um mein Projekt aufzusetzen, bin ich dem Vuforia Unity Setup gefolgt. Zum Zeitpunkt meines Projektes gab es jedoch einige Schwierigkeiten mit Unity 6, sowie der Kompatibilität der neuesten Vuforia Version. Ich konnte beide Probleme nach einigen Tests beheben und habe final ein Projekt mit Unity (URP) 2022.3.16f1 und mit Vuforia Version 10.28.4 aufgesetzt.

Die Basis meiner Szenen bildet die *Main Scene*, welche die AR-Kamera und die UI beinhaltet, sowie eine weitere Szene, welche über ein Area Target verfügt.

UI-Umsetzung

Ich habe mich wie im Konzept beschrieben für eine simple Schwarz-weiß Oberfläche entschieden, damit die meisten Nutzer problemlos die einzelnen Elemente identifizieren und nutzen können. Zudem stellt diese somit eine Basis da, welche von den Entwicklern leicht farblich angepasst werden kann. Die UI besteht aus einem *UI Controller*, welcher den Wechsel zwischen den einzelnen Seiten handhabt. Er merkt sich die aktuelle und die letzte UI-Seite, um einfache Übergänge zu gewährleisten. Die Übergänge können mit vier Funktionen gesteuert werden.

1. Entwickler haben die Möglichkeit mit einer Funktion ein spezifisches UI-Element zu öffnen,
2. das zuletzt verwendete UI-Element zu öffnen,
3. eine spezifische Unity Szene zu öffnen oder
4. manuell das zuletzt verwendete UI-Element zu überschreiben.

Letzteres ist bei mehreren Unterseiten hilfreich. Der Controller speichert alle UI-Seiten und kann mit Hilfe eines Textfeldes den Namen der aktuellen Szene als debug anzeigen.

Die UI verfügt über fünf Seiten.

1. *Main Menu*: die erste Seite, die der App-Nutzer sieht. Diese verfügt über einen Titel, einen *Tutorial Button*, einen *Settings Button* und den *Start Button*. Die Knöpfe öffnen die korrespondierenden UI-Pages und der *Start Button* wechselt zur *Default View* und lädt die erste Unity-Szene.
2. *Default View*: Dies ist die Standard AR Ansicht. Sie verfügt über den *Interaction Button* und den *Settings Button*. Sie ist absichtlich minimalistisch gestaltet, um maximale Sicht auf die Kamera View zu erlauben, um ein immersives AR-Erlebnis zu gewährleisten.
3. *Settings Menu*: Dieses Menü erlaubt es Nutzern, Anpassungen vorzunehmen. Sie verfügt über eine *scroll list*, welche beliebig viele Einstellungskategorien für die Erweiterung erlaubt. Ich habe hierfür ein Prefab eines UI Plugins (Michsky 2024) verwendet und nach meinen Bedürfnissen angepasst. Final findet sich am Ende der Einstellungen der *Change Scene Button*, um manuell eine andere Unity Szene zu öffnen.
4. *Scene Selection*: Diese Seite dient vor allem zu Debug Zwecken, um manuell zwischen Unity Szenen zu wechseln. Sie ist optisch identisch zum *Settings Menu* und bietet auch eine Liste mit beliebig vielen Verweisen zu den Szenen.
5. *Tutorial*: Diese Seite dient mit nur einem Hintergrundbild als Platzhalter und wird für die konkreten Anwendungs-Demonstrationen mit einer oder mehreren Unterseiten gefüllt. Ein Tutorial kann aus Bildern, Videos oder Gif's bestehen, welche die einzelnen Interaktionen beschreiben.

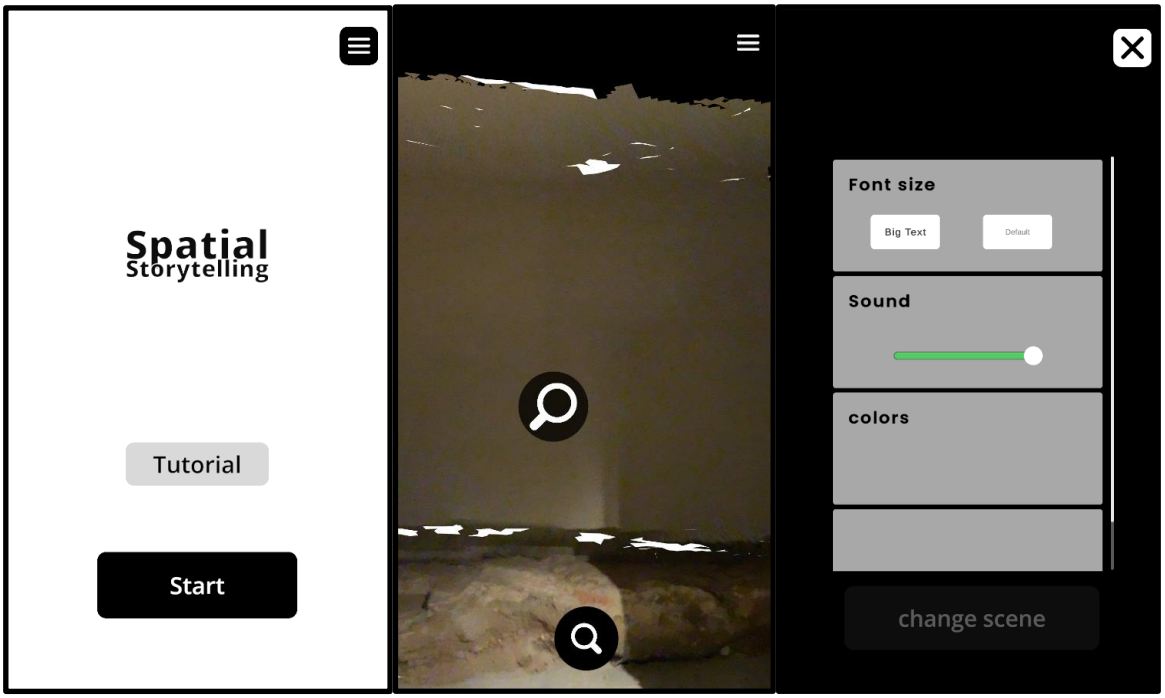


Abbildung 20 App UI für Start Menu, Default View und Einstellungen

Darüber hinaus habe ich großen Wert auf minimalen Bedienaufwand gelegt. So gibt es in der primären Ansicht, der *Default View* Ansicht, nur zwei Knöpfe. Einen Einstellungsknopf mit allen Anpassungsmöglichkeiten und den I*nteraction Button*, welcher nun automatisch erkennt, welche Interaktion der Nutzer ausführen möchte. Da ich im Zuge meiner ersten Mathildenhöhe Demo herausgefunden habe, dass der Interaktionsknopf mit Untermenü nicht gut funktioniert, habe ich mich für eine neue Lösung entschieden. Einen Knopf der sich der Situation automatisch anpasst. Der Knopf erscheint erst wenn eine Interaktion in der Nähe ist und passt sich dieser an. Hierfür ändert sich sein Icon und signalisiert welche Interaktion gerade ausgewählt ist. Nähert sich beispielsweise ein Nutzer einer Story, so ändert sich der *Interaction Button* zu einem *Story Icon* und aktiviert auf Knopfdruck diese. So muss ein Nutzer lediglich die gleiche Stelle des Bildschirms mit dem *Interaktion Button* berühren, um alle verschiedenen Funktionen der App nutzen zu können. Die mittige Platzierung unterstützt zudem Links- und Rechtshänder. Umgesetzt habe ich das Ganze mit einem *Interaction Manager*, welcher eine Reihe von Icons enthält. Diese können über ein *Story Event* aktiviert werden. Ein solches Event enthält mitgesendete Daten. In diesem Fall reagiert der *Interaction Manager* mit Hilfe eines *Switch Statements* auf bestimmte *Tag Strings* und ändert das angezeigte Icon entsprechend. Zusätzlich sendet der Manager ein Reaktionsevent aus, um die jeweilig gewünschte Funktion auszulösen. Dadurch bleibt die Verbindung zwischen *Interaction Button* und

gewünschter Funktion unabhängig und kann in der jeweiligen Szene gesetzt werden. Dies Entkopplung soll maximale Flexibilität und Erweiterbarkeit für die Entwickler bieten.

Buildingblocks

Story Timeline

Wie in der Vorbereitung beschrieben, habe ich als ersten Baustein für mein Tool das Storytelling entwickelt. Mit dem *Story Timeline* Prefab können Entwickler direkt eine solche Story erstellen. Ich nutze hierfür einen *Playable Director*. Dieser erlaubt es auf Unitys Timeline Feature zuzugreifen zu können, um visuelle Storys zu bauen. Entwickler können auf verschiedene Tracks zurückgreifen, um simple Interaktionen auszuführen.

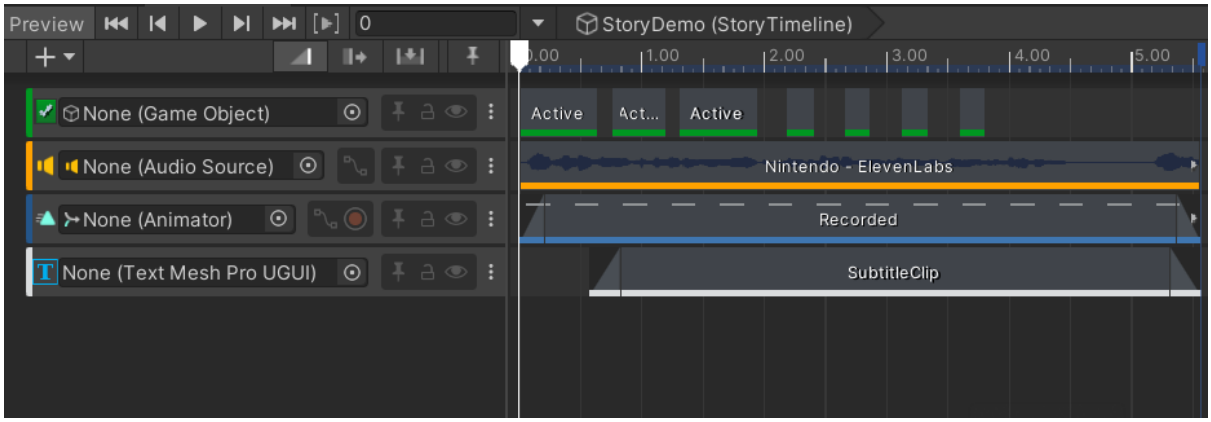


Abbildung 21 Unity Timeline für das Erstellen und anpassen von Storylines

Ich habe hierfür vor allem den *Activation Track*, den *Audio Track* und den *Animation Track* verwendet. Leider können Funktionen nicht direkt über die Timeline ausgeführt werden. Unity nutzt hierfür ihren *Signal Track*. Ich empfand jedoch diesen Umgang als suboptimal und erstellte, inspiriert davon und basierend auf einem Video (This is GameDev 2025), ein *Story Eventsystem*. Dieses bietet zunächst zwar den gleichen Umgang, ist jedoch von der Timeline unabhängig und kam an vielen Stellen, wie unter anderem der UI, zum Einsatz. Entscheidend war hierbei, dass die Events erlauben, Daten mitzusenden und damit auch den Umgang von komplexen Interaktionsprozessen erlauben. Recht spät in der Entwicklung fand ich zudem eine gute Lösung (Game Dev Guide 2025), um Unitys Timeline Untertitel hinzuzufügen. Dies fügt einen Custom Track hinzu: *Subtitle Track*, welcher mit Hilfe einer sich in der Szene befindenden Text UI, Untertitel anzeigen kann.

Diese müssen jedoch per Hand eingetragen werden. Der Vorteil liegt vor allem bei der genauen Kontrolle über die Untertitel. Entwickler können ganz genau bestimmen, was und wie lange es angezeigt werden soll. Zudem wären auch mehrere *Subtitle Tracks* möglich, um beispielsweise mehrere Sprachen oder Audio Descriptions in einer Timeline anzulegen.

Story Events

Der nächste Baustein den ich entwickelt habe sind die *Story Events*. Diese sollen dazu beitragen das Entwickler Story Inhalten mit Hilfe von Visuellem coden interaktiv gestalten können. Events bieten hierbei die Möglichkeit Funktionen eines Scripts auszulösen. Mit Hilfe meiner *Story Events* sollen Entwickler zudem Events wie Signale auslösen können. Diese basieren daher auf einem Broadcasting System und erlauben zudem das Mitsenden von Absendersender-Component und frei definierbaren Daten. Mit Hilfe des *Story Event Broadcast* Script können Entwickler *Story Events* senden. Diese können daraufhin mit Hilfe des *Story Event Listener* Scripts von beliebig vielen Game-Objekten empfangen werden. Ähnlich zu einer Radiostation. Nach empfangen des Events können die *Listener* mit einem normalen *Unity Event* reagieren, um gewünschte Funktionen auszulösen. Die Scripte bleiben somit unabhängig und es können eine Vielzahl von Game-Objekten gleichzeitig auf ein *Story Event* reagieren. Zudem können Entwickler die Funktionen in eigenen Skripten nutzen, um komplizierte Reaktionen auf *Story Events* auszulösen. Hierbei bieten vor allem die mitgesendeten Daten und der Absender viele Möglichkeiten, um komplexe Spielmechaniken zu implementieren.

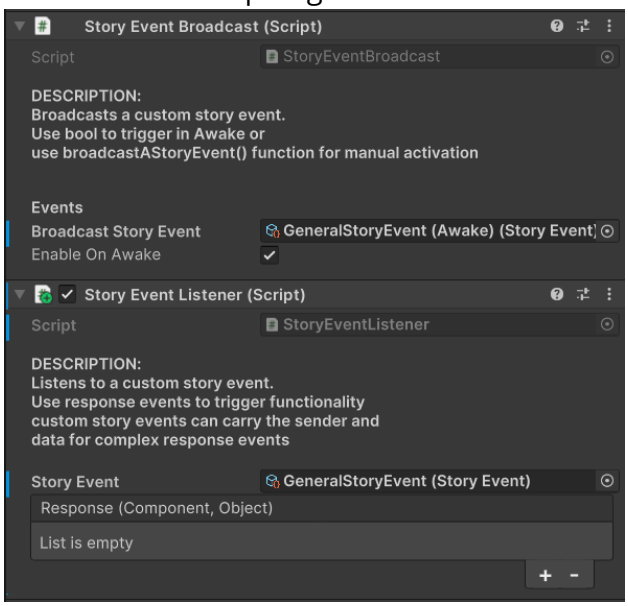


Abbildung 22 Story Event Script zum senden und empfangen von Story Events

Wie im Konzept beschrieben, soll die Struktur dieser Events es ermöglichen, ohne viel manuelle Programmierarbeit Storys interaktiv zu gestalten. Die Umsetzung bietet daher eine einfache Möglichkeit und ein Interface für visuelles programmieren.

Trigger Blocks

Um an die visuellen Programmiermöglichkeiten der Events anzuknüpfen, habe ich zwei Trigger erstellt. Diese können mit "Drag and Drop" in der Szene platziert werden, um schnell interaktive Möglichkeiten zu erstellen. Beide Trigger-Prefabs reagieren auf die Position des Nutzers, da dies sowohl aktive als auch passive Interaktionen, ohne lange Erklärungen, erlaubt. Der *Proximity Trigger* soll die grundlegende Interaktion für die Aktivierung und Deaktivierung von Inhalten darstellen. Ich habe hierfür ein Script erstellt, welches Unitys *OnTriggerEnter*, *OnTriggerStay* und *OnTriggerExit* Funktionen nutzt. Der Building Block verfügt über einen *Collider* welcher als *isTrigger* gesetzt ist. Mit Hilfe dieses *Proximity Triggers* können Entwickler eine Vielzahl von räumlichen Interaktionen erstellen. Mit einem *Collision Tag* können sie auswählen, bei welchen Objekten dieser Trigger auslöst. Standardmäßig ist dieser als *"MainCameraTrigger"* gesetzt, da die AR-Kamera über einen *Collider* mit eben diesem Tag verfügt. Entwickler können frei entscheiden, was passiert, wenn der Trigger auslöst. Als Reaktion auf den Trigger können Entwickler entweder ein *Story Event* senden oder lokal ein *Unity Event* für das Auslösen von Funktionen verwenden.

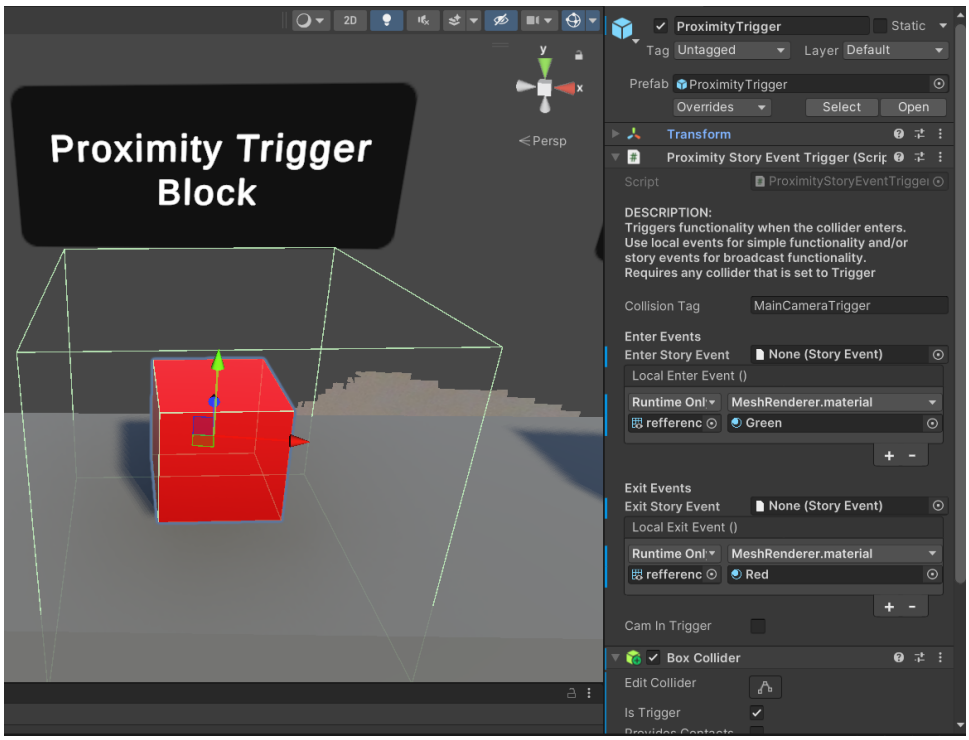


Abbildung 23 Proximity Trigger Building Block mit zugehörigem Script zum triggern von Interaktionen

Der zweite Trigger basiert auf dem vorherigen und heißt *UI Interaction Proximity Trigger.* Wie im Namen enthalten, interagiert dieser mit dem *Interaction Button* der UI. Er nutzt ein zusätzliches Script, um zwei Events zu *broadcasten*, diese heißen *Interaction-Enable* und *InteractionDisable*. Mit Hilfe dieser weiß die UI, wann sich der Nutzer innerhalb des *Colliders* befindet, und ändert sein Icon. Dieses Skript enthält zudem das Feld für den *Tag String*. Über dem Feld habe ich eine Notiz welche Tags zurzeit hinterlegt sind *"Interaction Type (Story, Artifact, Map or Secret)"*. Zum ändern des angezeigten Icons muss nur eines der entsprechenden Wörter ins Feld geschrieben werden (siehe Abbildung 23). Wie in der UI-Umsetzung beschrieben, können Entwickler hier die Reaktion auf den *Interaktion Button* festlegen. Hierfür wird erneut ein *Unity Event* eingesetzt, um eine einfache und gewohnte Bedienung zu bieten.

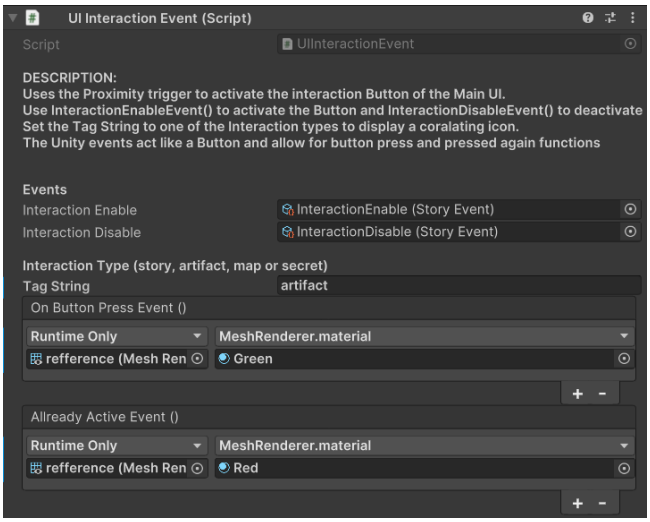


Abbildung 24 UI Interaction Script für den adaptiven Interaktionsknopf

Info Panel Blocks

Um zusätzliche Informationen anzeigen zu können, habe ich ein Prefab mit einem *Canvas* erstellt, welcher als *Worldspace* gesetzt wurde. Dieser nutzt zudem ein *Panel* mit einer *Vertical Layout Group* und einen *Content Size Filter*, um einen Hintergrund für Text oder Bild zu erzeugen, welcher sich immer der notwendigen Größe anpasst. Dies soll für bessere Lesbarkeit sorgen und zudem einen höheren Kontrast liefern.

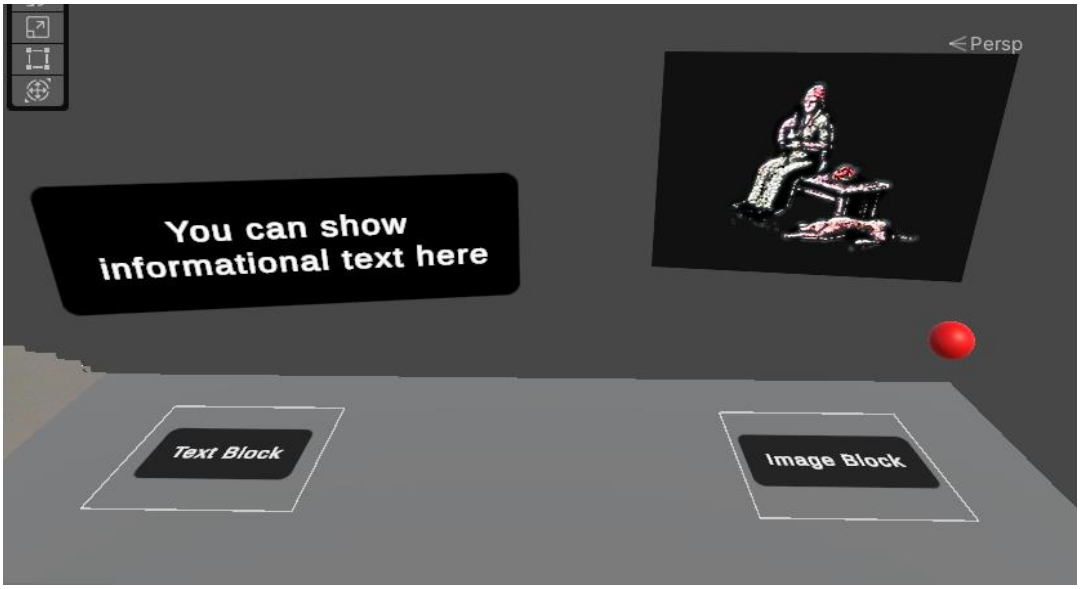


Abbildung 25 Info Panel Blocks: Baustein zum hinzufügen von zusätzlichen Informationen in Text- oder Bildform

Sowohl der *Info Panel Text* als auch das *Info Panel Image* sind strukturell gleich aufgebaut. Um mehr Funktionalität zu bieten habe ich zudem ein *Ping System* (*Pin Worldspace script*) entwickelt. Dieses nutzt einen *Line Renderer,* um eine Line zwischen dem *Start Point*, der sich standardmäßig unten in der Mitte des jeweiligen Felds befindet, und einem *Target Point* anzuzeigen. Somit können Nutzer genau anzeigen bekommen wozu das Bild oder der Text gehört. Um das Setzen der *Target Points* bedienungsfreundlicher zu gestalten, habe ich eine rote Sphäre hinzugefügt, welche sich automatisch deaktiviert, wenn die Anwendung startet. Diese hilft bei der genaueren Positionierung in den Umgebungsscans. Die Bilder und Texte können von den Entwicklern frei angepasst und ausgetauscht werden.

Characters

Um die Storys schneller mit Charakteren füllen zu können, habe ich als nächstes den *2D Character Block* und *3D Character Block* erstellt. Dieser besteht zurzeit aus einem simplen Prefab mit einer räumlichen *Audio Source,* um Charaktere sprechen lassen zu können und einem *Child Object,* welches die jeweilige Grafik enthält. 2D Charaktere verfügen über einen *Animator* und 3D Charaktere müssen manuell mit einem ausgestattet werden. Mit

Hilfe dieser können Charaktere von der *Timeline* oder von dem *Animator* aus animiert werden, um immersive Interaktionsmöglichkeiten zu bieten.

2D Charaktere habe ich zudem mit einem Script ausgestattet, welches sie zur Kamera rotieren lässt. Charaktere könnten somit dreidimensionaler aussehen. Das Script kann vom Entwickler je nach Situation deaktiviert oder aktiviert werden. Als Standard Grafik habe ich mich bei dem 2D Character für ein Personen *Icon* (Flaticon 2025) und bei dem 3D Character für ein *Basic Motions Dummy (Kevin Iglesias 2024)* entschieden.

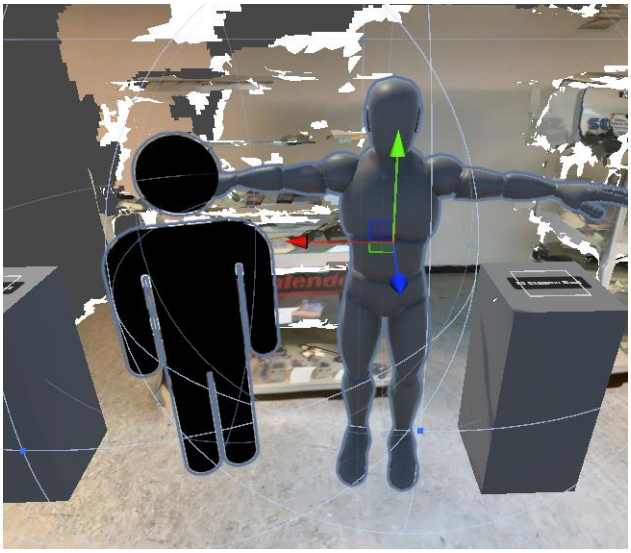


Abbildung 26 2D und 3D Characters für interaktive Storys

Map

Im Zuge der Kooperation ergaben sich noch weitere Bausteine, die ich umgesetzt habe. Wie im Konzept beschrieben, soll die *Map* dazu beitragen, sich in der Ausstellung besser verorten zu können. Aufgrund der Ausstellung des Schlosskellers bot sich hierfür vor allem die Umsetzung der *3D Map* an, da bereits 2D Karten mehrfach in der Ausstellung zu finden sind. Um zu testen, wie eine *3D Map* umgesetzt werden könnte, habe ich zwei Ansätze erstellt und getestet.

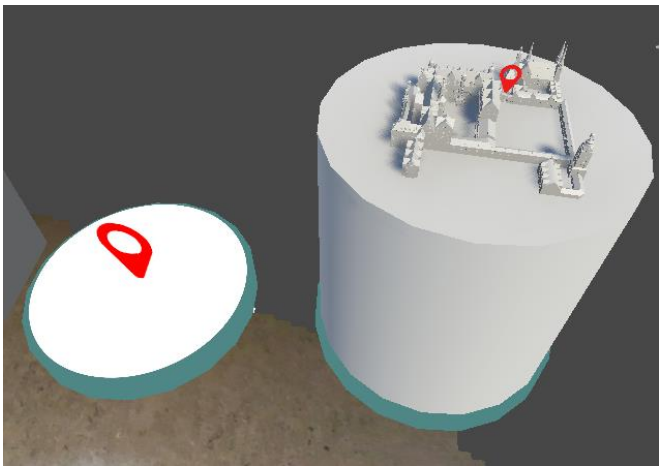


Abbildung 27 3D Map Baustein zur Orientierung innerhalb der Ausstellung. Das 3D Modell wurde bereitgestellt (Humboldt Forum 2025b)

Eines, wo das 3D Modell der Karte relativ groß ist, sodass sich der Nutzer wie ein Riese durch die Karte hindurchbewegen kann. Der Vorteil war hierbei die Möglichkeit eines hören Detailgrades, welcher ggf. eine immersive Erfahrung für den Nutzer darstellen könnte. Diese Umsetzung der *Map* nimmt jedoch viel Platz ein.

Für die zweite Umsetzung habe ich einen Sockel erstellt, auf welchem die Karte vor dem Besucher steht. Da ich herausfand, dass das Humboldt Forum ähnliche physische *Maps* dieser Art an ihren Eingängen nutzt, habe ich mich für diese Variante entschieden. Diese Umsetzung der *3D Map* ist zudem platzeffizienter und bietet dennoch einen gut erkennbaren Detailgrad der 3D Modelle. Für das Tool habe ich mich aus diesen Gründen für Letzteres entschieden, da dies vielfältiger einsetzbar ist.

Mit einer simplen Animation fährt der Sockel aus dem Boden und ein roter Pin zeigt an, wo sich der Nutzer aktuell befindet. In einer komplett getrackten Umgebung könnte dies auch eingesetzt werden, um den aktuellen Standort live anzuzeigen.

Shader

Final habe ich noch drei *Shader* erstellt. Diese sollten dazu beitragen Augmentierungen einen speziellen Look zu geben. Als erstes einen simplen *Toon Shader,* um bewusst einen abstrakten einfarbigen Look zu erzeugen. Als zweites einen *Hologram Shader,* welcher einen neonfarbenen Look hat, um futuristische Rekonstruktionen darzustellen. Zum Schluss einen *Dissolve Shader,* welcher in Kombination mit einem Script und einem Effekt, Objekte auftauchen oder verschwinden lassen kann. Alle drei wurden im Rahmen der Rekonstruktionskonzepte der Praxisdemonstration entwickelt und sollten verschiedene visuelle Ansätze zu diesem Konzept aufzeigen.

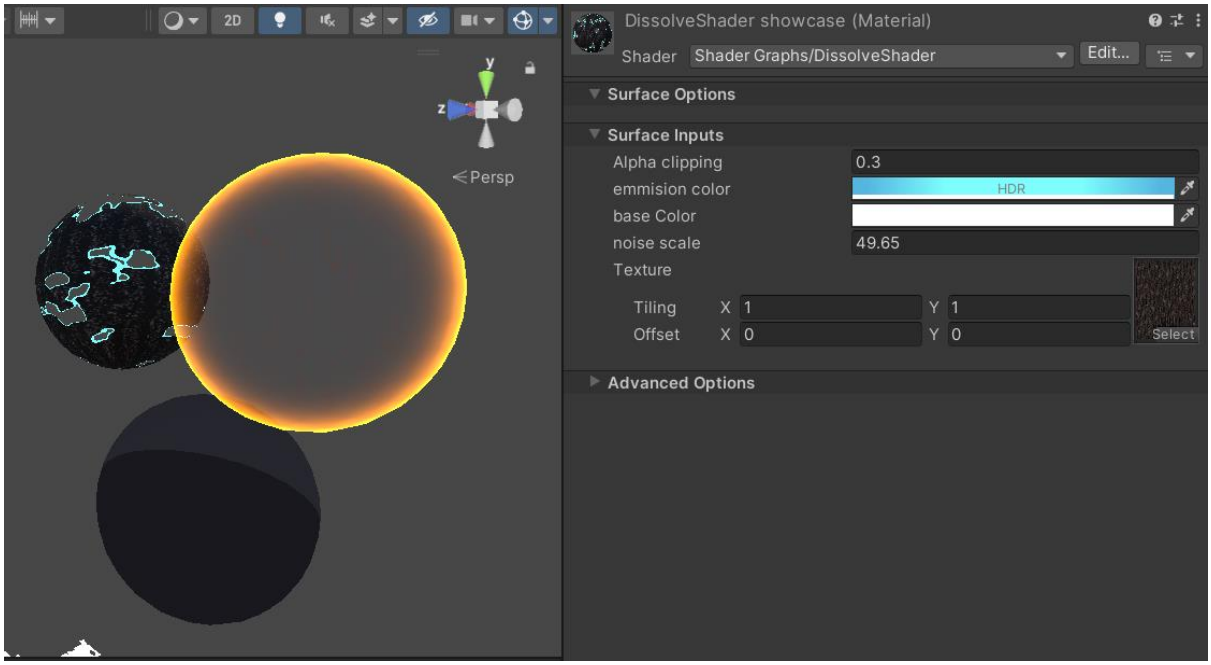


Abbildung 28 Allgemeine Shader die Entwickler bei der Augmentierung unterstützen sollen.

Alle *Shader* verfügen über Anpassungsmöglichkeiten, um diese im Tool vielfältig einsetzen und kombinieren zu können. Sie sollen Entwicklern eine Basis für ihr eigens design bieten.

Allgemeine Funktionen

Um das Tool flexibel in einer Vielzahl von Situationen anwenden zu können, habe ich eine Reihe von allgemeinen Scripts und Funktionen im Laufe der Produktion hinzugefügt.

- *Disable on Awake*: Script, das Objekte beim Start ausschaltet. Verwendet, um z.B. Visuelle Hilfen nur außerhalb der Anwendung sichtbar zu machen.
- *Face Camera*: um Objekte immer Richtung Nutzer zu rotieren. Überwiegend für *Sprites* verwendet
- *Dont Destroy:* um Objekte beim Szenenwechsel zu übernehmen und nicht zu zerstören

Ausstellung als Praxisbeispiel

Da ich wie im Vorfeld beschrieben, mein Tool anhand eines konkreten Praxisbeispiels erstellen wollte, beschreibe ich im Folgenden meine Produktion zur Erarbeitung einer Praxisdemonstration. Wie in Kapitel Produktion vor Ort beschrieben, fand diese Produktion sowohl remote, als auch im Humboldt Forum statt. Zur besseren Übersicht greife ich hier die drei Themen meiner Besuche auf und beschreibe die zugehörigen Arbeitsschritte.

1.Location

Kriterien für die Ausstellungsselektion

Bei meinem ersten Besuch im Humboldt Forum klärte ich zunächst die Verfügbarkeit und Anwendbarkeit für jeden, der von mir vorher ausgewählten Orte. Im Zuge dessen habe ich gemeinsam mit der Kuratorin des Hauses besprochen, welche Ausstellungen aus rechtlicher Perspektive geeignet sind. Um Verzögerungen durch bürokratische Prozesse und Fragen der Ausstellungsrechte begrenzt zu halten, hat sie mir empfohlen, mich auf eine der hauseigenen Ausstellungen zu konzentrieren. Ich habe dennoch einige der externen Ausstellungen geprüft, um mich der Entscheidung zu vergewissern.

Interne Ausstellungen und Bereiche, die in Frage gekommen waren: Das Humboldt-Labor, der Schlosskeller, das Foyer und das Gebäude (Schlüterhof, etc.). All diese bieten leicht zugängliches Material, da sie vom Humboldt Forum selbst erstellt wurden und nicht, wie die externen Ausstellungen, mit zusätzlicher Kommunikation und Barrieren verbunden sind.

Meine zu berücksitigenden Kriterien und AR spezifischen Aspekte basieren auf meiner Erfahrung und Recherche. Sie waren wie folgt:

- Genug physischer Raum um Nutzern mit und ohne App eine Navigation durch die Ausstellung zu gewährleisten. Nutzer sollten Ausstellungsstücke anständig anschauen und mit ihnen interagieren können.
- Bereits präsente Narrative, die sich zur Erweiterung mit einer AR-Story eignen. Beispielsweise Charaktere oder existierende Geschichten.
- Möglichkeiten der Rekonstruktion und Kontextualisierung, um die Stärken von AR zu vermitteln.

- Nicht zu weitläufige Räume, um einen guten Scan mit der Vuforia App durchführen zu können.
- Informativer Raum, um diesen mit zusätzlichen Inhalten zu füllen. Nutzer sollten nicht von der Menge an Informationen erschlagen werden, falls eine Ausstellung bereits über viele Informationskanäle verfügt.
- Eine Ausstellungsführung, die zusammenhängende Erweiterungen ermöglicht, um eine potentielle AR-Tour oder einen Rundgang zu erstellen.

Use Case Schlosskeller

Von den oben genannten Internen Ausstellungen hat der Schlosskeller, als Teil von "Geschichte des Ortes" (Humboldt Forum 2025b), die meisten von meinen Kriterien erfüllt und bietet zudem trotz dunkler Ecken, mit seiner statischen Beleuchtung, eine gute Ausgangslage für Umgebungsscans.

Der Schlosskeller ist die einzige Ausstellung im Untergeschoss und war zunächst schwer zu finden. Der Zugang befindet sich auf der anderen Seite des Gebäudes und liegt damit separat zu den anderen Ausstellungen. Zu besichtigen ist das Fundament der alten Schlossanlage. Es bietet einen interessanten Use Case, da ich von der Kuratorin erfahren habe, dass einerseits viele Besucher ebenfalls Probleme haben, die Ausstellung zu finden. Andererseits stellt das Humboldt Forum als Wiederaufbau des alten Schlosses ein gesellschaftlich kontroverses Thema dar, denn für den Wiederaufbau wurde der Palast der Republik abgerissen. Der Schlosskeller stellt somit in gewisser Weise das Bindeglied zwischen dem Humboldt Forum und der alten Schlossanlage dar. Das Layout weist zudem ein zwei Wege-System auf, sodass ich innerhalb meiner AR-Ausstellungserweiterung eine geführte, sowie eine freie Besichtigung anbieten könnte. In der Mitte der Ausstellung befindet sich ein zentraler Platz mit einer Medienlandschaft. Dieser bietet viel Bewegungsfreiraum und würde es anderen Besuchern erlauben, an AR-Nutzern vorbei zu gehen. Inhaltlich liefern die Überreste des Fundaments viele Möglichkeiten der Rekonstruktion und die Kombination mit den Vitrinen bietet zudem großes Potential, die Artefakte in einen neuen / ursprünglichen Kontext zu setzen. Final bieten die niedrigen Decken, sowie die überschaubare Größe der Ausstellung, eine gute Grundlage für die Umgebungsscans.

Ich nutzte die Zeit bis zur zweiten Praxisphase mit der Weiterentwicklung des Tools, sowie der ersten Konzeptionierung für die Ausstellungserweiterung.

2.Erste Demonstration

Dieser zweite Besuch musste einen Tag vor Anreise verschoben werden, da mir die Kuratorin mitteilte, dass der Schlosskeller aufgrund eines unerwarteten Defekts der Lüftungsanlage geschlossen werden muss. Aufgrund der darauffolgenden Weihnachtsfeiertage verzögerte sich die Erstellung und Produktion um vier Wochen. Ich habe diese Zeit vor allem zur weiteren Planung, Konzeption und eigenständigen Erstellung von Inhalten genutzt, da ich zu diesem Zeitpunkt nur wenige 3D Modelle und einige Bilder der Ausstellung erhalten hatte.

Location Scans

Die Locations im Schlosskeller wurden in drei Scans aufgenommen. Dabei wurden in angrenzenden Bereichen die Scangrenzen überlappend gescannt, um einen “nahtlosen” Übergang zwischen den Szenen zu ermöglichen. Ein Problem war jedoch die gleichfarbige Decke, welche einen akkuraten Scan, inklusive der Decke erschwert hat. Ein anderes Problem waren die Spotlights, welche zwar eine kontrollierte Beleuchtung, aber auch harte Lichtkanten erzeugten. Dies hat besonders in dunkleren Teilen des Kellers die Präzision der Scans stark eingeschränkt. Final musste, da es sich um eine aktive Ausstellung handelt, mit Besuchern gescannt werden. Dies hat zu einigen Einschränkungen des optimalen Scanprozesses von Vuforia geführt. Ich konnte beispielsweise nicht alle Scans systematisch und in Schlangenbewegungen durchführen, um gleichmäßig und präzise Scans zu erstellen.

Konzepte für die Ausstellungserweiterung des Schlosskellers

In der nächsten Phase meiner Produktion habe ich Konzepte für die Ausstellungs-Erweiterung des Schlosskellers erarbeitet. Wie einleitend erwähnt, kam ich mit der Kuratorin des Humboldt Forums zu dem Entschluss, mein Tool anhand der Ausstellung öffentlich mit den Museumsbesuchern zu testen. Die Konzepte sollen daher die übergreifende Story des Schlosskellers aufgreifen und den Besuchern die Geschichte der

Grundmauern näherbringen. Andererseits möchte ich mit den Konzepten das Potential des Tools weiter erforschen und Besuchern veranschaulichen, wie ein durch AR transformiertes Museum aussehen könnte. Um aufzuzeigen, wie eine solche Ausstellungserweiterung aussehen könnte, habe ich zunächst das Konzept in zwei Teile aufgeteilt. Einmal eine übergreifende Story und auf der anderen Seite, die Konzepte für die einzelnen Bereiche der Ausstellung.

Übergreifende Story

Mein Ziel war es, mit der übergeordneten Story Einblicke in den Wandel und das Wachstum der Schlossanlage über die Jahrhunderte zu geben. Ich habe hierzu Inspiration auf der Webseite des Humboldt Forums gesucht. Mit dem Thema “Geschichte des Ortes” setzt sich das Humboldtforum, neben dem Schlosskeller, auch in anderen Bereichen mit der Geschichte des Ortes auseinander. Sie zeigen mit Hilfe von 3D Modellen auf ihrer Webseite hierzu den Wandel über 10 Stationen, von einem Stadtviertel im Jahr 1250, bis hin zum Humboldt Forum im Jahr 2020 (Humboldt Forum 2025b). Zusammen mit den Ausstellungsbereichen, die ich vor Ort näher betrachten konnte, habe ich hierzu eine übergeordnete Story konzipiert. Diese soll die Entwicklung der Schlossanlage über die Jahrhunderte widerspiegeln und mit Hilfe von vier ARS, den Besuchern Einblicke in manche der wichtigen Entwicklungsphasen der Schlossanlage liefern. Diese übergreifende Story soll die einzelnen Ausstellungserweiterungen verknüpfen und zu einem zusammengehörigen Erlebnis gestalten. Das Konzept soll hierbei den Gedanken der Ausstellung aufgreifen und den Besuchern näher bringen, wo der Ursprung der Schlossanlage liegt, wie wohl der Alltag damals ausgesehen hat, welche Rolle die Schlossanlage eingenommen hat und wie es zum Wiederaufbau in Form des Humboldt Forums kam.

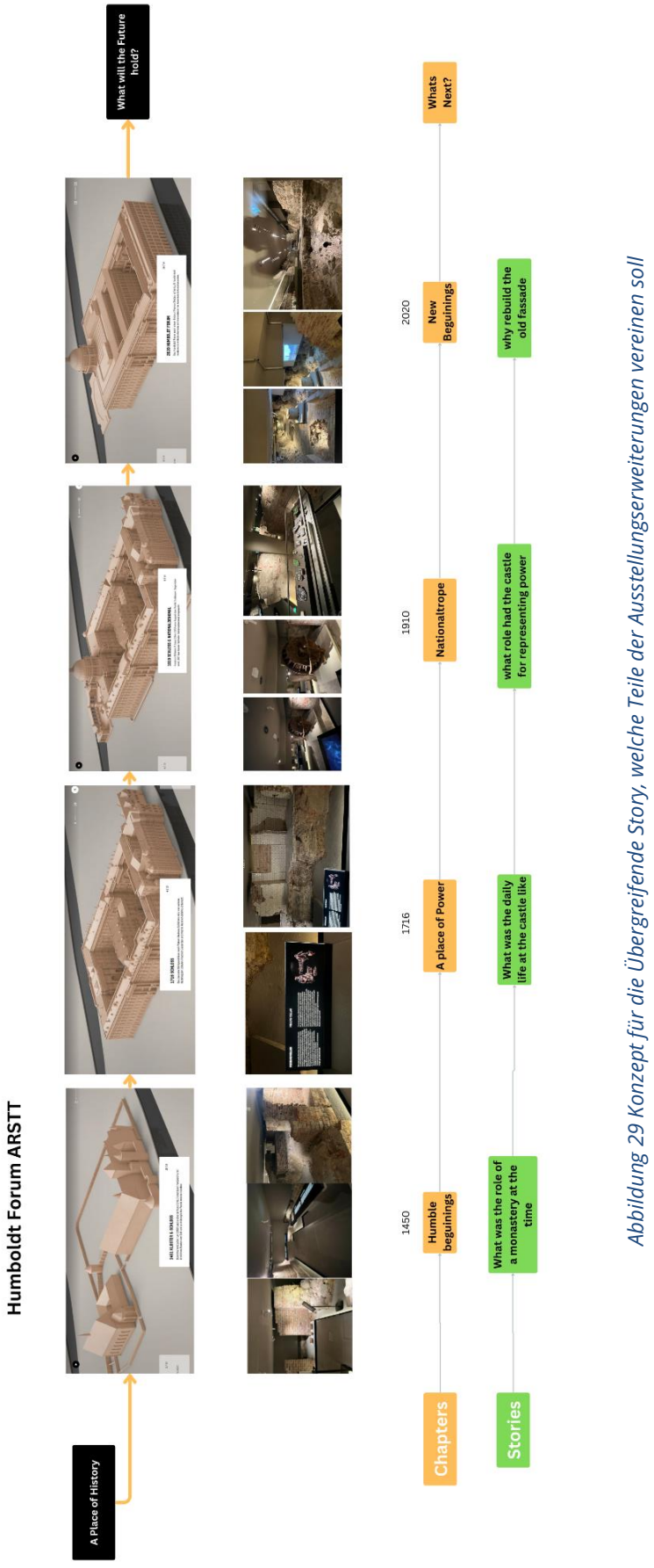


Abbildung 29 Konzept für die Übergreifende Story, welche Teile der Ausstellungserweiterungen vereinen soll

Einzelne Bereiche

Die Konzepte für die einzelnen Bereiche richten sich nach den zu vorgenannten Themen und sollen dazu beitragen, gemeinsam die übergreifende Story zu erzählen. Jeder Bereich erzählt hierfür seine eigene Story und erweckt mit Hilfe dieser die Fundamente zum Leben. Ich habe hierfür die Bereiche chronologisch ausgewählt, um im Laufe der AR-Erfahrung den Wandel und die vergangene Zeit widerzuspiegeln.

<u>Klosterbereich</u>

Dieser gehört zum ältesten Teil der späteren Schlossanlage. Für mögliche Augmentierungen habe ich mich auf die Vitrinen und Mauerüberreste konzentriert.

- Story: Diese könnte von der Nutzung des Klosterkellers und der Architektur des alten Kellergewölbes handeln.
- 3D Rekonstruktionen: Das alte Kellergewölbe und die angrenzenden Schlossmauern könnten rekonstruiert werden, um ihre Bauweise und Architektur zu veranschaulichen. Zudem könnten die Klostermauern zeitlich eingeordnet und dargestellt werden, wie diese in das spätere Fundament des Schlosses eingearbeitet wurden. Der Ausstellungsbereich bietet zudem einige Bruchstücke der Schlusssteine dar. Diese waren ursprünglich in der Anlage verbaut, wurden jedoch über die Jahrhunderte zerstört. Eine Rekonstruktion dieser, könnte die ausgestellten Bruchstücke in ihrem damaligen Kontext zeigen und die Architektur der Klosteranlage veranschaulichen.

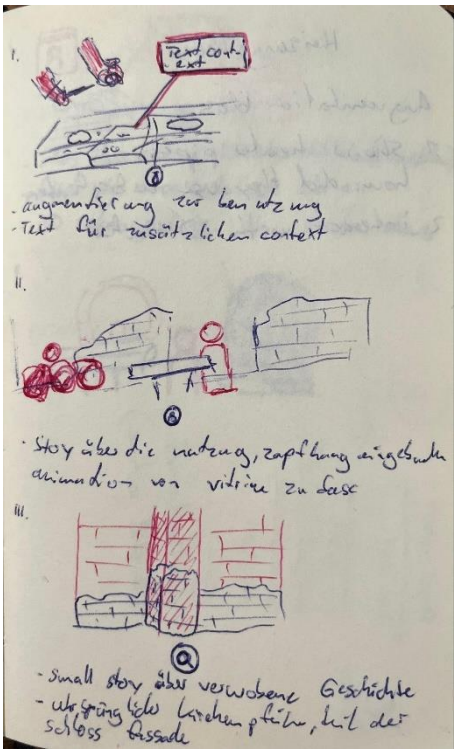


Abbildung 30 Auszug aus meinen Konzeptzeichnungen zur Erweiterung des Klosterbereiches

- Vitrine: Die mit Bruchstücken und Alltagsgegenständen der Zeit gefüllte Vitrine, könnte mit Texten, Bildern und Charakteren erweitert werden, um die Artefakte in Kontext zu setzen und mehr über ihre Nutzung und über ihren gesellschaftlichen Stellenwert zu erfahren.
- Map: Dank der 3D Modelle der Schlossanlage über die Jahre, könnte ich die alte Klosteranlage als Hologramm sichtbar machen, um Besuchern zu verdeutlichen,

wo sie sich in Relation zu damals befinden. Wenn diese Map in allen Bereichen vertreten wäre, könnte man zudem verdeutlichen, wie sehr sich die Anlage über die Jahrhunderte verändert hat.

Heizungsanlage

- Story: Geschichte über die Funktion und Bauart der Heizturbinen und deren Nutzung zur Erwärmung des Schlosses und des Ballsaals.
- Vitrine: Bruchstücke des alten Kachelofens in Kontext setzen. Mit Hilfe von Texten und Bildern Informationen zu den Kacheln und deren historischen Kontext setzen. Wie weit verbreitet waren solche Kachelöfen? Wo kamen diese her?
- 3D Rekonstruktion: Digitales Abbild eines dieser Kachelöfen (Kachel eingescannt an der stelle, an der sie sich befunden hätte) oder eine Rekonstruktion der Heizkanäle und Augmentierung des Ballsaales über den Köpfen, um aufzuzeigen wie durch diese Turbinen geheizt wurde und welche Technik notwendig war.

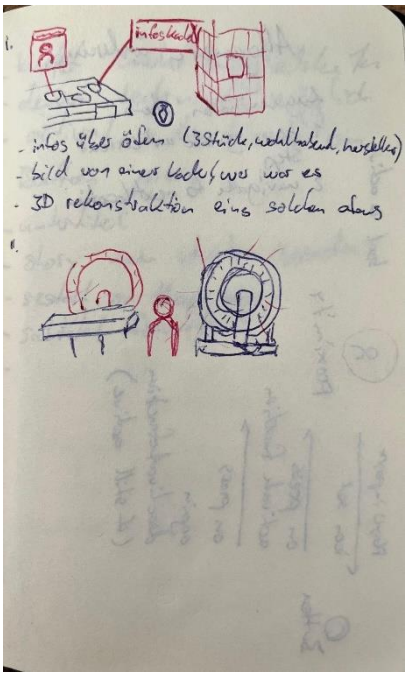


Abbildung 31 Auszug aus meinen Konzeptzeichnungen zur Erweiterung der ehemaligen Heizungsanlage

Geflügel Keller

Dieser bietet nur eine Informationstafel mit einer Grafik und keine zusätzlichen Inhalte. Ich habe mich daher gefragt, wie wohl dieser Abschnitt in seiner damaligen Benutzung ausgesehen hat.

- Story: Darstellung des fiktiven Alltages zweier Mägde die im Geflügel Keller gearbeitet haben, um eines der Feste für den Kaiser vorzubereiten
- Interaktionen: Aktive Story in Kombination mit passiven & explorativen Inhalten. Eine Option könnten Dialoge der Charaktere sein, sobald man ihnen näherkommt. Eine weitere Option wäre, eines der Hühnchen läuft weg, wenn Besucher ihm zu nahekommen. Beides würde zur Spacial Awareness der Besucher beitragen und ein immersives Erlebnis mit den Charakteren schaffen.

Abbildung 32 Auszug aus meinen Konzeptzeichnungen zur Erweiterung des Geflügelkellers

Sprengung des Schlosses

Dieser Teil befindet sich am Ende der Ausstellung und zeigt ein Video über die Sprengung der alten Schlossanlage. Ich fand vor allem den Kontext zum Wiederaufbau des Schlosses in Form des Humboldt Forums spannend. Hierfür wurde damals der Palast der Republik zerstört.

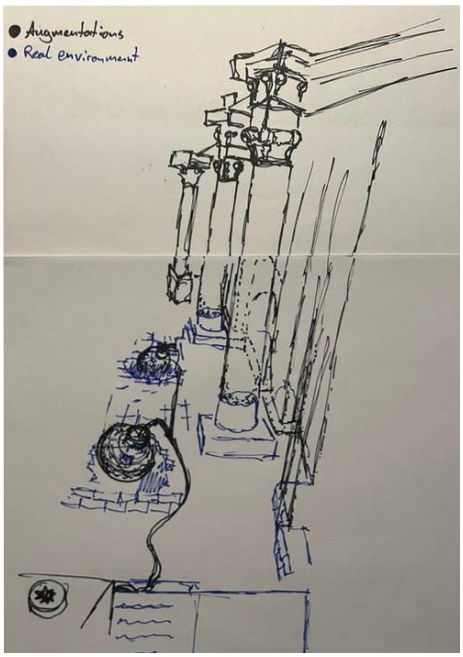


Abbildung 33 Auszug aus meinen Konzept-zeichnungen zur Erweiterung der Sprengung des Schlosses

- Story: Abstrakte Augmentierungen an den Überresten der Sprengkrater. Besucher sehen, wie damals die Sprengkörper an den Fundamenten der Schlossanlage angebracht wurden.
- Interaktionen: Anregung zum Diskurs und Kritische Auseinandersetzung mit der Sprengung der Schlossanlage sowie der späteren Sprengung des Palastes der Republik. Als Interaktives Element könnten Besucher von den Charakteren einen Zünder zur Sprengung der alten Schloss

Fundamente erhalten. Ein Call to Action könnte den Besuchern die Entscheidung lassen, ob sie die Schlossanlage sprengen würden. Im Anschluss könnte eine Diskussion angeregt werden, ob das Schloss wiederaufgebaut werden sollte und ob Besucher hierfür erneut ein Bauwerk sprengen würden.

Entwicklung von Inhalten

Das Füllen der AR-Story mit Inhalten stellte das größte Hindernis dar. Das Museum konnte mir nur sehr zeitverzögert und bedingt Informations-Texte sowie Bilder und 3D Modelle zur Verfügung stellen. Nach einiger Zeit teilte mir die Kuratorin Frau Keurmeur mit, dass keine Kapazität für das Erstellen von neuen Inhalten von Seiten des Museums zur Verfügung steht. Um dennoch in der Lage zu sein, komplexere Konzepte zu demonstrieren und um eine öffentlich zugängliche Ausstellung gestalten zu können, begann ich Wege zu entwickeln, trotz meiner begrenzten Zeit eigene Inhalte zu produzieren.

Für Charaktere und Szenarien suchte ich Inspiration bei Theaterbühnen. Ich fotografierte die im Museum genutzten Grafiken von ART+COM auf den großen Infotafeln ab und schnitt manuell die einzelnen Elemente aus. Ich rekonstruierte verdeckte Bereiche, um alleinstehende Bilder zu erzeugen. Mit Hilfe dieser extrahierten Ebenen, könnte ich nun für meine eigenen Szenen, ähnlich dem Schichtsystem von klassischen Bühnen, Bilder erzeugen. Im späteren Verlauf erhielt ich zudem weitere Konzept Zeichnungen von ART+COM, die das Museum nicht verwendet hatte.

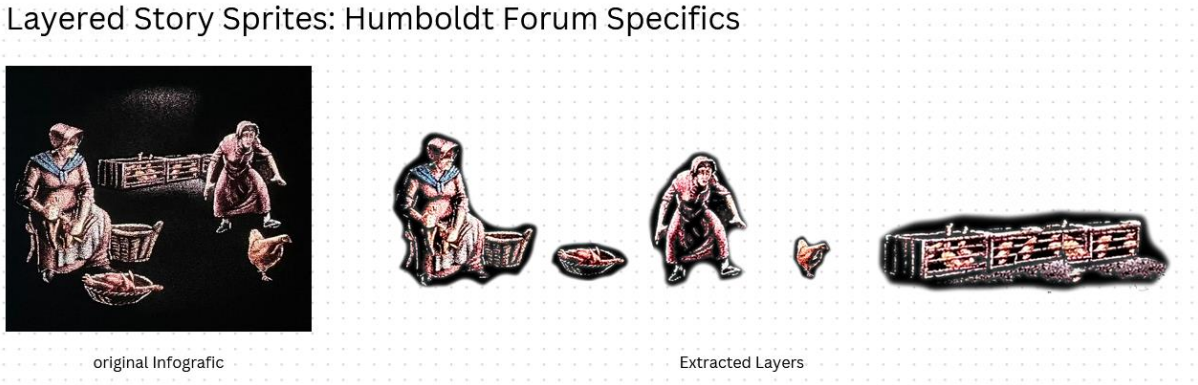


Abbildung 34 Veranschaulichung zum Erstellungsprozess der einzelnen Augmentierungsebenen aus den ART+COM Grafiken

Da mein Fokus vor allem auf der Entwicklung des Tools lag, nutzte ich Plattformen und Hilfsmittel um den Erstellungsprozess der Inhalte zu beschleunigen. Für allgemeine 3D Modelle nutzte ich Sketchfab als Basis und Blender, um diese anzupassen. Für die Texte nutzte ich die bereits ausgestellten Infotexte oder schrieb meine eigenen. Für freie und fiktive Texte, wie Dialoge, nutzte ich ChatGPT als Anhaltspunkt und schrieb diese passend um. Zur Vertonung nutzte ich ElevenLabs, um eine Vielzahl von Sprechern und Charakteren professionell vertont darstellen zu können. Final half mir Mixamo um für 3D Modelle automatisch ein Skelett für Animationen zu erstellen und simple Animationen wie Erzählgesten zu animieren.

Dieser Workflow kam bei allen Prototypen zum Einsatz und erlaubte mir alle Konzepte, die über mehrere Monate entstanden sind, innerhalb von je zwei bis vier Tagen umsetzen und demonstrieren zu können.

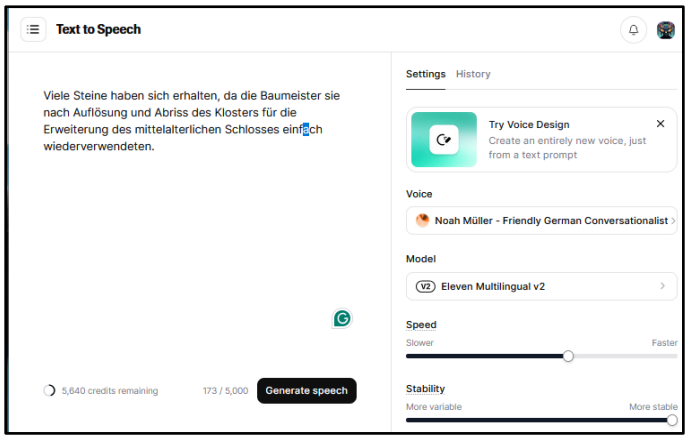


Abbildung 36 ElevenLabs Interface zur Generierung von Text zu Synchronstimme

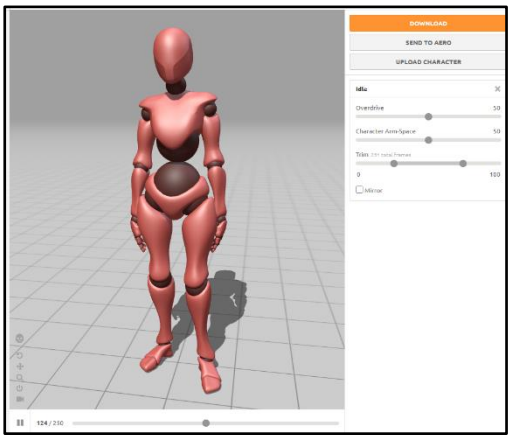


Abbildung 35 Mixamo Charakter Animationen

Entwicklung des Ersten Prototypen

Der erste Prototyp wurde in der Mitte der Produktionszeit erstellt. Dieser sollte vor Ort entwickelt und demonstriert werden. Der Prototyp dient als eine erste Demonstration der praktischen Umsetzung. Die konkrete Entwicklung begrenzte sich auf einen vier-Tägigen Aufenthalt und begann mit einer Vorbesprechung, inklusive Erstellung der Location Scans. Vor meiner Anreise teilte ich der Kuratorin mit, dass ich im Laufe meiner Entwicklung herausgefunden habe, dass die Museumseigenen Android Geräte nicht kompatibel mit Unity & Vuforia sind. In der Vorbesprechung konnten wir daraufhin keine gemeinsame Lösung finden, wie ich die App öffentlich testen könnte, da mir die

Rechtsabteilung mitteilte, dass eine Nutzung der App auf privaten Geräten, von Museumsseite aus, aus rechtlichen Gründen nicht möglich sei. Wir einigten uns daher auf eine interne Vorführung mit dem Team. Im Laufe der Produktion musste ich daher meinen Fokus erneut wechseln und organisierte parallel ein alternatives User Testing an der h_da in Dieburg, hierzu im folgenden Kapitel mehr. Für die interne Demonstration, konzentrierte ich mich auf die reine Vermittlung meiner Konzepte und darauf anzuregen, wie eine solche App im Humboldtforum aussehen könnte. Die AR-Erweiterungen konzentrierten sich vor allem auf den Klosterbereich, da eine Umsetzung aller Bereiche zeitlich nicht möglich war. Ich platzierte die bis dahin verfügbaren Bausteine und füllte sie mit den erstellten Bildern, Texten und 3D Modellen. Um einige der Konzepte besser darstellen zu können, erstellte ich zudem einige Texturen und Blockouts. Diese sollten andeuten, welche Möglichkeiten AR bietet und ich erhoffte mir, im Laufe der Präsentation herauszufinden, welche Konzepte für das Museum am spannendsten sind, um diese dann weiter zu entwickeln. Mehr Details hierzu in Kapitel Prototypen. Der Prototyp wurde vor sieben Mitarbeitern des Museums präsentiert und getestet. Hierfür erläuterte ich zunächst mein Projekt und mein Ziel und gab anschließend einem der Mitarbeiter die App. Während wir durch die Ausstellung liefen, erklärte ich die einzelnen AR-Erweiterungen und ging auf Fragen zu diesen ein. Am Ende vertiefte sich zudem ein Gespräch über die Möglichkeiten und einige dieser Einblicke teile ich in der Evaluation.

Produktion User Test

Da ich es mit dem Humboldt Forum nicht schaffte, eine öffentliche Präsentation der Ausstellungserweiterung umzusetzen, organisierte ich, nach der zweiten Produktion vor Ort, einen zusätzlichen User Test. Dieser sollte zum einen testen, ob mein Tool für Entwickler funktioniert und zum anderen eine öffentlich zugängliche Showcase Komponente beinhalten, um das Frontend des Tools zu testen.

Hierfür habe ich an der h_da einen Raum gemietet und gemeinsam mit drei Kommilitonen mein User Testing abgehalten. Ich habe daher, nach der zweiten Praxisphase vor Ort, meinen Fokus erneut auf die Produktion des Tools gelegt und dieses mit fehlenden Aspekten ergänzt. Für den Entwickler Test habe ich zunächst mein Unity Projekt strukturiert und angefangen Beschreibungen für die einzelnen Building Blocks zu erstellen. Im Anschluss habe ich die Bausteine so weit wie möglich vereinfacht und mit Child Objekten strukturiert. Im Zuge dessen habe ich eine erneute Recherche durchgeführt und versucht Unitys Interface auf mein Tool abzustimmen. Da einige

Änderungen aus zeitlichen Gründen nicht möglich waren, stehen diese in Kapitel Zukunft und weitere Arbeit. Final habe ich eine Feature Szene zusammengestellt, mit deren Hilfe die Entwickler alle Bausteine, in ihrer Anwendung, sehen können. Ich habe hierfür Inspiration im OpenXR Toolkit gefunden, welche ebenfalls eine solche Demo Szene, zur Erklärung der Funktionsweisen, nutzen.

Für die Showcase Erfahrung habe ich eine kurze Story Komponente generiert und diese auf eine der Vitrinen vor meinem Testraum abgestimmt. Wichtig war es mir zu zeigen, wie schnell eine Umsetzung mit dem Tool möglich ist und wie mit Hilfe eines Story Charakters man einen kurzen Ausblick, auf die Funktionen des Tools, liefern kann. Die Anwendung wurde innerhalb von zwei Tagen erstellt und alle Inhalte wie zuvor beschrieben produziert. Die meisten 3D Modelle stammen von Sketchfab, da das Ziel lediglich eine Technische Demonstration war. Ich konnte einen Dummy Charakter im Asset store finden (Kevin Iglesias 2024), welcher den Nutzern die Geschichte[10] erzählt. Im Anschluss habe ich zu der aktiven Interaktionskomponente der Story, auch eine passive Interaktion hinzugefügt. Hierfür werden zusätzliche Inhalte eingeblendet, wenn Nutzer sich der Vitrine nähern. Details hierfür befinden sich im Kapitel Prototyp.

Für das User Testing Event habe ich drei Fragebögen erstellt, einen zum Vorwissen der Entwickler, einen für nach der Nutzung des Tools und einen für den Öffentlichen Showcase. Diese wurden ergänzt mit einem Aufgabenblatt für die Entwickler und einem App Download-Poster, welches Nutzern erklärte, wie sie die Showcase-Demo auf ihren eigenen Geräten nutzen können.

Details zum Setup der Test und Resultate befinden sich im Kapitel Evaluation.

3. Finale Demonstration

Eine Woche nach meinem Usertest an der h_da stand die Finale Produktion im Humboldt Forum an. Diese wollte ich nutzen, um mehr Daten für die Perspektive des Museums, zur Nutzung des Tools zu sammeln. Ich habe daher in Vorbereitung ein Konzept erarbeitet, welches an meinen ersten Prototypen anknüpft und demonstrieren soll, wie das Tool im Praxiseinsatz aussehen könnte. Ich habe mich hierfür auf die Kernpfeiler meiner Recherche konzentriert und meine Erfahrungen aus dem ersten Prototypen und dem Usertest an der Hochschule in Darmstadt mit einfließen lassen. Hierfür musste ich die übergeordnete Story kürzen und mich auf drei Bereiche der Ausstellung konzentrieren.

[10] Mit KI generiert (Open AI 2025) und vertont (ElevenLabs 2025).

Ich ging davon aus, dass das finale Usertesting im Museum, wie bei meinem letzten Besuch vor Ort abläuft und ich erneut vor rund sieben Personen aus verschiedenen Bereichen präsentiere.

Konzept finaler Prototyp

Dieses Konzept habe ich für das finale Usertesting im Museum erstellt und gepitched. Es fokussiert sich auf die drei Kernthemen meiner Thesis und sollte meine Recherche und meinen aktuellen Stand des Tools repräsentieren. Ich habe drei Segmenten des Schlosskellers ein passendes primäres Thema zugeordnet. Zudem verbinden alle diese Bereiche jeweils die drei Konzepte in einer Szene, um das Zusammenspiel der Kernthemen zu veranschaulichen.

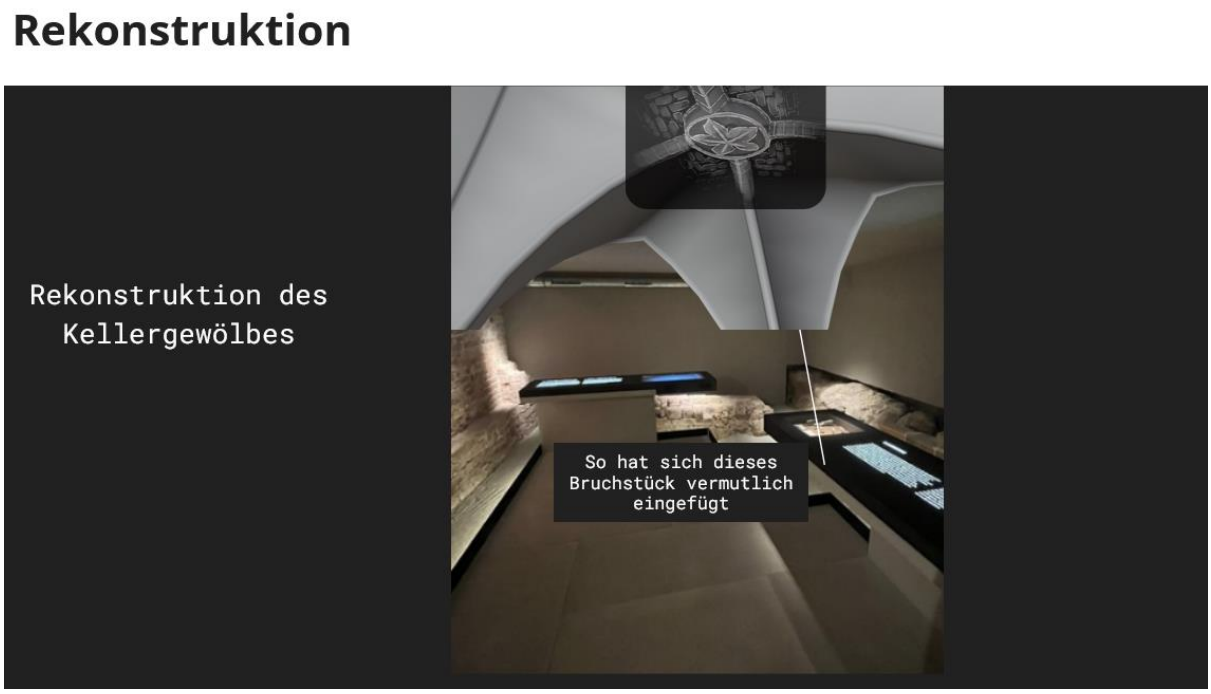


Abbildung 37 Auszug aus meiner Präsentation zum Rekonstruktionskonzept

Diese Szene befindet sich im hinteren Teil der Ausstellung und soll Besuchern die Möglichkeit geben, eine Rekonstruktion der alten Klosterdecke zu erleben. Das Konzept basiert auf der Information, dass viele Besucher wohl Schwierigkeiten haben sich vorzustellen, dass dies früher ein alter Teil des Klosterkellers war. Zu sehen sind Überreste der Mauern sowie ein alter Zapfhahn und Bruchstücke der Schlusssteine. Ich plante ein 3D Modell einer gotischen Decke zu nutzen und zu verändern, um daraus einen

groben Umriss einer möglichen Kellerdecke zu erschaffen. Für die Story Komponente wollte ich einen Mönch nutzen, der den Besuchern mehr über das Kellergewölbe erzählt. Final sollten die Bruchstücke mit Bildern und Texten, die mir das Museum zur Verfügung gestellt hat, in Kontext gesetzt werden.

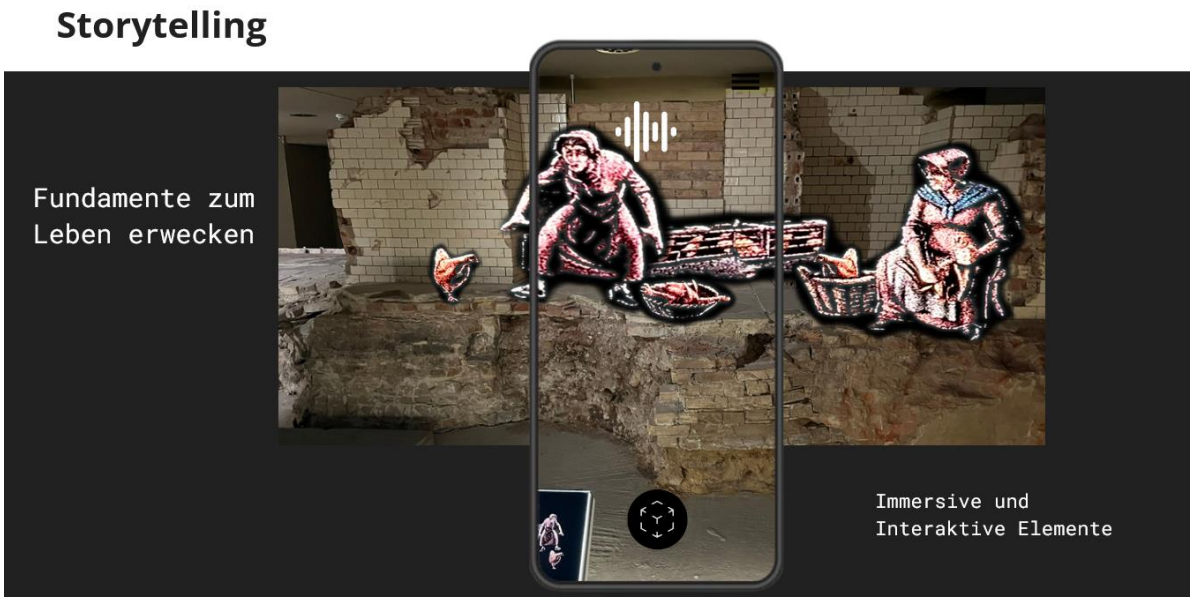


Abbildung 38 Auszug aus meiner Präsentation zum Storytelling Konzept

Für das Storytelling nutze ich mein Konzept des Geflügelkellers im Zentrum der Ausstellung. Nutzer sollen hier mit passiven und aktiven Interaktionen mehr über das Alltagsgeschehen der ursprünglichen Schlossanlage erfahren. Mit dem Interaktionsknopf sollen sie eine Storyline starten, bei der sich die zwei fiktiven Mägde über ihre Arbeit im Geflügelkeller unterhalten. Ich möchte hier bewusst 2D Charaktere einsetzen, um die Möglichkeiten der Abstraktion darzustellen und aufzuzeigen, wie solche Storylines möglich sein könnten, wenn historische Details unklar sind. Die Szenerie soll dauerhaft sichtbar sein, um das Ambiente des Geflügelkellers zu rekonstruieren und in Kontext zu setzen. Beim näheren Betrachten eines Charakters soll dieser den Besuchern antworten, um das Gefühl einer lebendigen, interaktiven Szene zu verstärken und die Exploration der Besucher anzuregen.

Abbildung 39 Auszug aus meiner Präsentation zum Kontextualisierungskonzept

Um das Konzept der Kontextualisierung zu verdeutlichen, möchte ich den Heizungskellerabschnitt im vorderen Teil der Ausstellung nutzen. Hier finden Besucher eine Vitrine, die mit AR erweitert werden soll. Beim Nähertreten sollen sie zunächst mehr Informationen über die Bruchstücke erhalten. Hier könnte man ggf. tiefer in den Ursprung der Kachelöfen einsteigen oder veranschaulichen, wie gängig solche Öfen zu dieser Zeit waren. Das Highlight soll sein, dass Besucher eines der Bruchstücke digital aus der Vitrine herausnehmen können. Eine Story soll ihnen mehr über das Bruchstück erzählen und ihnen die Möglichkeit geben, es von allen Seiten zu betrachten. Final soll sich ein Kachelofen neben der Vitrine rekonstruieren, in den sich das Bruchstück einfügen lässt. Dies soll den ursprünglichen Nutzen demonstrieren und die Bruchstücke in einen gemeinsamen Kontext setzen.

Entwicklung des Finalen Prototypen

Nach der positiven Resonanz auf den ersten Prototypen im Humboldt Forum, einigte ich mich mit dem Museum darauf, erneut nach Berlin zu reisen und einen finalen Prototypen vorzustellen. Ich bat das Museum erneut um zusätzliche Informationen und Inhalte bis zu meiner erneuten Anreise. Im Laufe der vier Wochen erhielt ich einige zusätzliche Bilder, darunter einige unausgestellte Grafiken von ART+COM und die Textbeschreibungen der Infotafeln, sowie Artefaktbeschreibungen. Ich erarbeitete eine kurze Pitch Präsentation für den Vorbesprechungstermin. Hierfür nutzte ich die Erkenntnisse aus meinem ersten Prototypen und aus dem User-Testing an der h_da. Ich konzentrierte mich auf die Kernpfeiler meiner Thesis und den Vorteilen für eine Anwendung im Museum, welche sich aus der Recherche ergaben. Für das finale Konzept griff ich drei Bereiche meines ursprünglichen Konzeptes auf und überlegte welches Thema am besten zu diesen passen würde. Der Pitch verlief erneut sehr positiv und erste Fragen zu einer ganzheitlichen AR-Ausstellungserweiterung kamen auf. Ich erfuhr jedoch, dass ich nicht wie erwartet erneut vor dem gesamten Team präsentiere, sondern nur die zwei Kuratoren vor Ort sein werden. Dies zerstörte meinen geplanten Fragebogen, da ich gehofft hatte die jeweiligen Antworten in Relation zu dem Fachbereich des Mitarbeiters zu setzen. Somit hätten sich ggf. interessante Erkenntnisse zum Einsatz von AR im Museum ergeben können, je nach Hintergrund der befragten Person.

Davon abgesehen konnte ich das finale Konzept in vollem Umfang realisieren und mithilfe der zuvor beschriebenen Techniken zur Erstellung der Inhalte, fertigte ich ein 3D Modell der Klosterdecke, eines Kachelbruchstückes, sowie eines für den Kachelofen an. Ich erstellte zudem eine individuelle Textur für beide. Bei der Klosterdecke nutzte ich ein Foto des originalen Mauerwerkes und abstrahierte dieses, um eine Textur ähnlich dem verwendeten Stil zu erstellen.

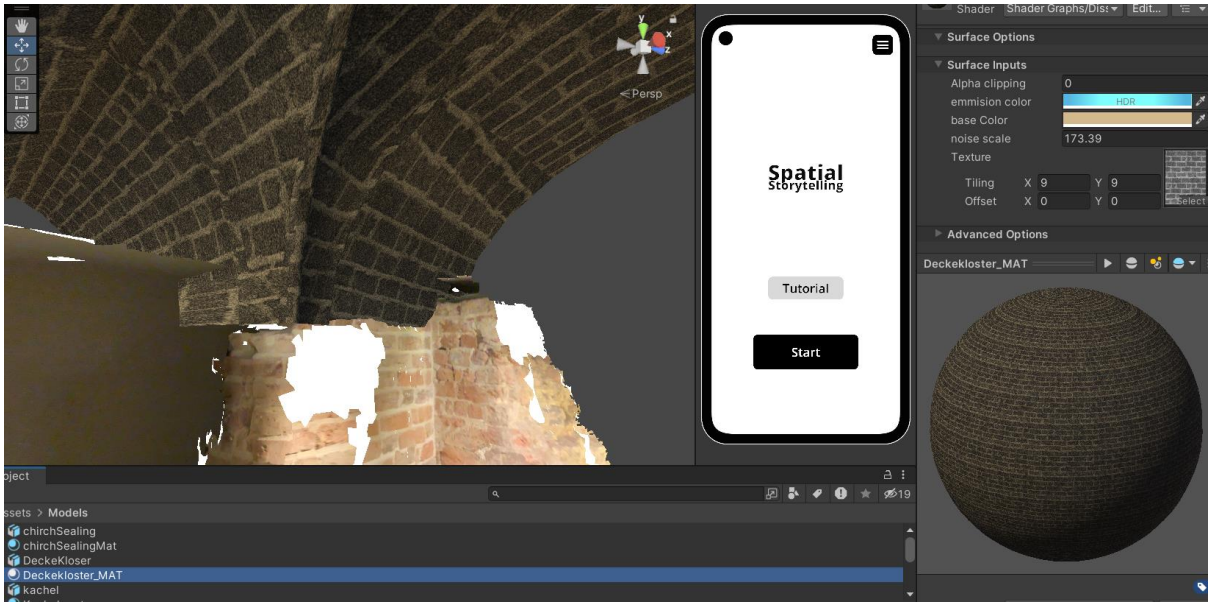


Abbildung 40 3D Modell der Klosterdecke mit einer Textur aus einem Foto der Mauerüberreste

Um das Kachelbruchstück zu digitalisieren ohne Zugang für einen 3D Scan zu haben, nutzte ich Blender und projizierte ein Foto auf das 3D Modell.

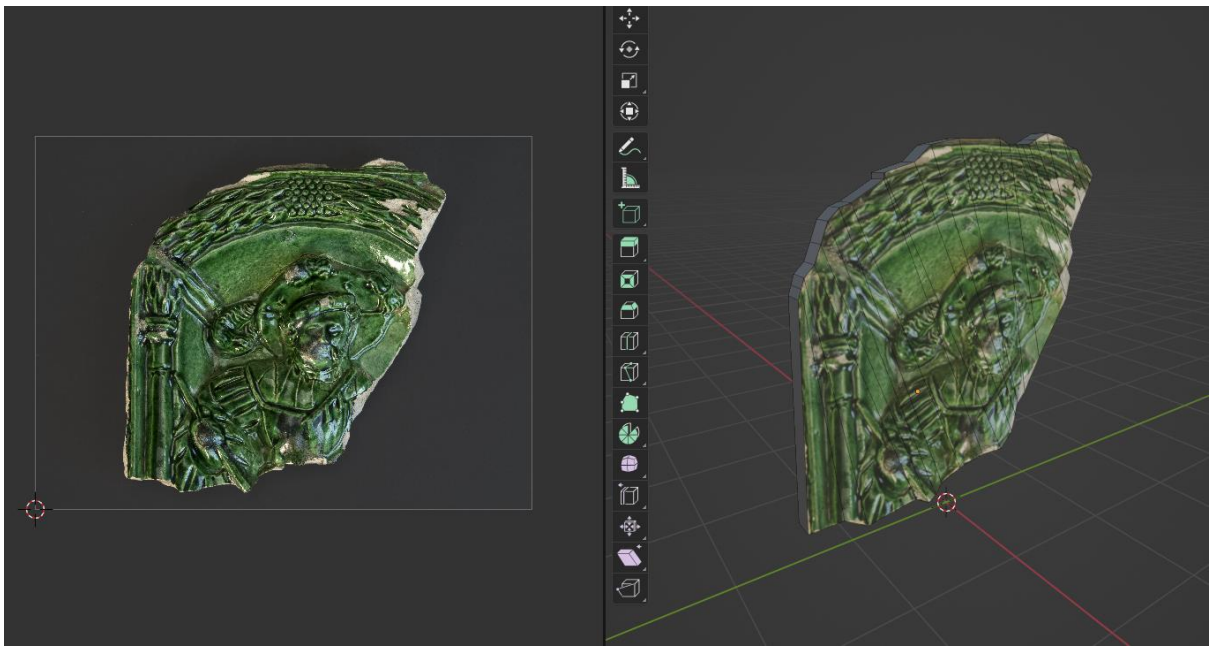


Abbildung 41 3D Modell eines Kachelbruchstückes modelliert basierend auf einem Foto der Kachel, welches das Humboldt Forum bereitgestellt hat.

Für den Kachelofen nutzte ich eine ART+COM-Grafik eines Kachelofens und projizierte diese perspektivisch auf mein 3D Modell. Hierfür erforderte es einige Zeit des individuellen UV Mappings.

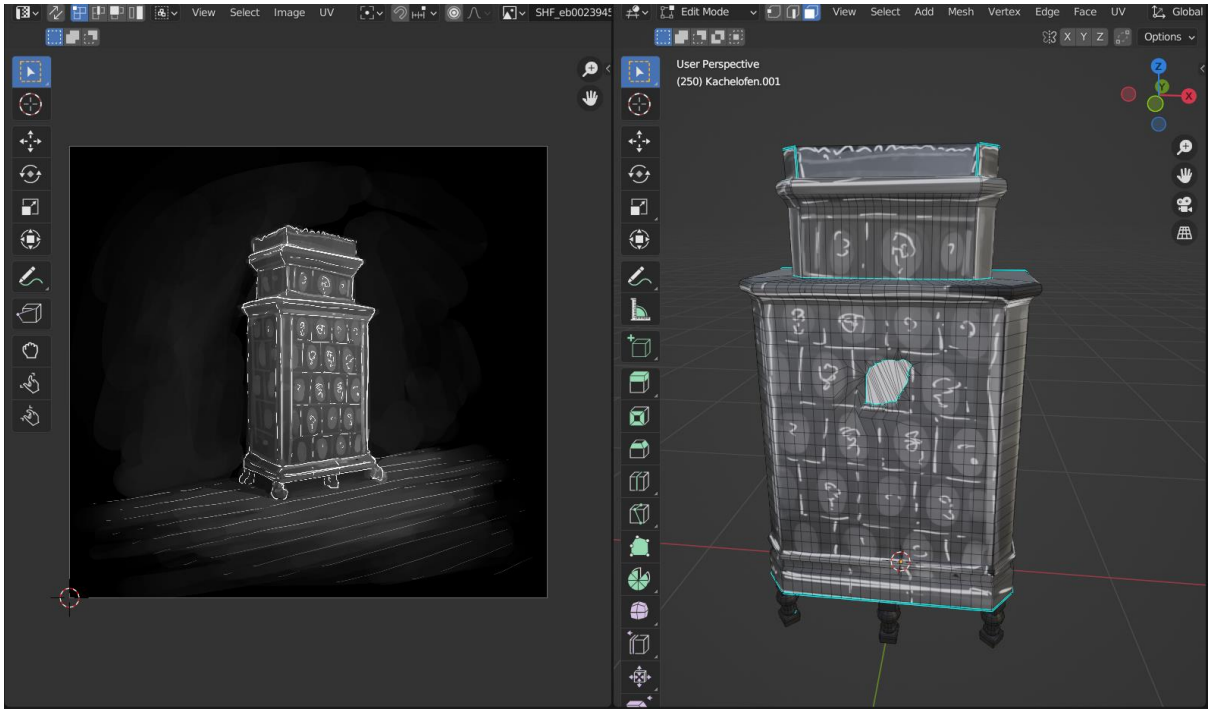


Abbildung 42 Blender 3D Modell des Kachelofens mit einer Textur Projektion einer ART+COM Konzept Zeichnung

Für die Story Komponenten fertigte ich Texte und Dialoge an. Für die Rekonstruktions- und Kontextualisierungsscenen nutzte ich teste des Museums oder schrieb meine eigenen. Final vertonte ich diese mit ElevenLabs (2025) für ein professionelles Erlebnis. Für die Story generierte ich die Dialoge (Open AI 2025) und passte diese an. Im Anschluss vertonte ich die Story mit Hilfe meiner Freundin.

Nach der erfolgreichen Produktion gingen am Präsentationstag eine Reihe von Sachen schief. Bei meiner Ankunft stellte sich heraus, dass der gesamte Eingangsbereich des Humboldt Forums, sowie die Ausstellung des Schlosskellers, auf Grund von Wartungsarbeiten geschlossen ist. Diese Wartungsarbeiten sollten zudem mehrere Wochen andauern. Auf Nachfragen ergab sich, dass die Bereiche bereits die ganze Woche geschlossen seien und man vergessen habe mich während der Vorbesprechung davon in Kenntnis zu setzen. Details hierzu finden sich in dem Kapitel Evaluation.

Prototypen

Einleitung

Im Laufe der Thesis entstand neben meiner Konzept Demo, ein Prototyp für das Tool und drei Prototypen für eine praktische Anwendung des Tools. Dieses Kapitel soll eine Übersicht über die Funktionen und den Umfang der Prototypen sein. Die Demonstrationen enthalten zudem links zu Video Walkthroughs.

Tool Prototype

Walkthrough Tool: https://youtu.be/AdejGOTE_uY

Den genauen Erstellungsprozess des Tools und seiner Komponenten finden Sie in der Produktion. Ich möchte im Folgenden kurz zusammenfassen was ich im Zuge meiner Produktion erreichen konnte und was man aktuell bei der Benutzung des Tools vorfindet.

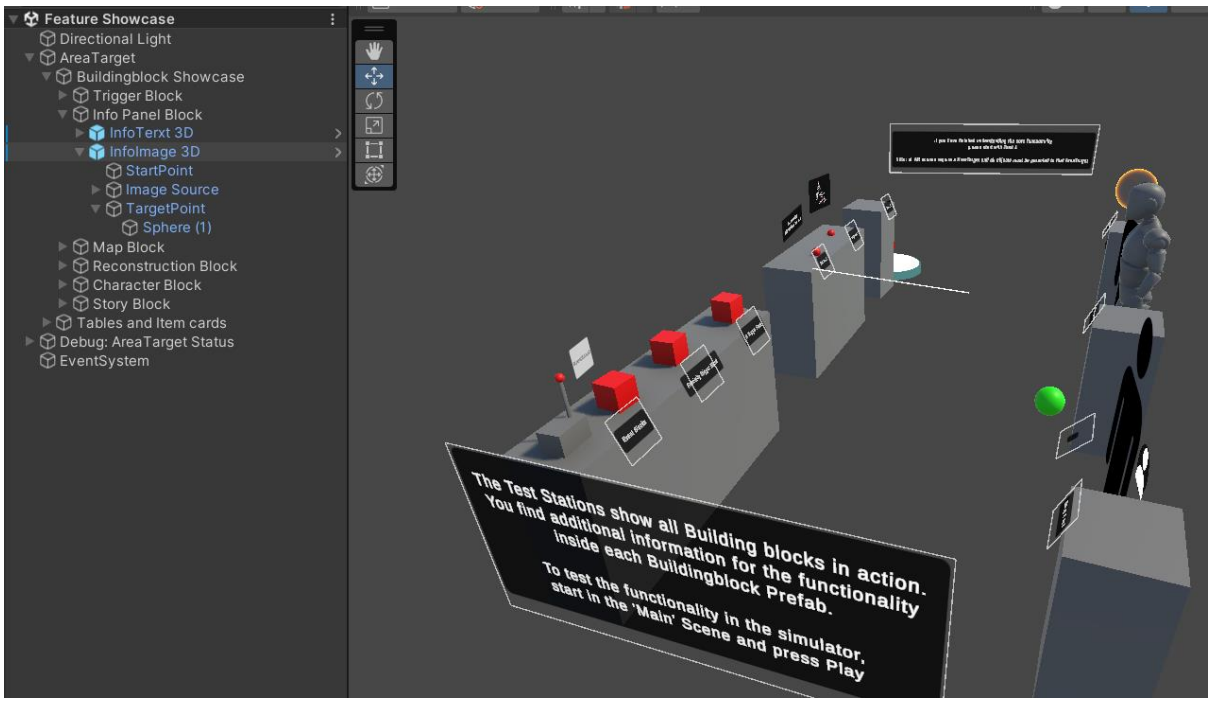


Abbildung 43 Feature Showcase Szene zum praktischen erlernen und ausprobieren des Tools

Mein Tool kommt in einem Package mit mehreren Unterordnern und einer Readme Datei. Im ersten Ordner befinden sich die Building Blocks mit denen Entwickler ihre eigenen Szenen erstellen können.

Building Blocks, die ich für mein Tool implementieren konnte:

- ***Story Block***: Timeline mit Verknüpfungen zur Aktivierung, um komplexe Geschichten flexibel erstellen und anpassen zu können. Optisch wie Video Editing Tools, für schnellen und flexiblen Umgang.
- ***Character Block***: 2D oder 3D Avatar mit Spacial Audio Source und automatischer Kameraausrichtung, damit 2D Charaktere dreidimensionaler aussehen.
- ***Information Panel Block***: um Text, Bilder oder Videos in der Umgebung zu platzieren und Objekten zusätzliche Informationen hinzuzufügen.
- ***Map Block***: Um bei der Orientierung in weitläufigen Arealen und Ausstellungen zu helfen.
- ***Story Events*****:** Diese nutzen ein Event System, um Daten mit Events senden zu können. Events basieren auf den Listener & Observer Pattern und können flexibel für diverse Inhalte genutzt werden.
- ***Trigger Blocks***: Der Proximity Trigger Block erlaubt es, Interaktionen basierend auf der Position des Nutzers auszuführen. Er ist zudem flexibel und kann auch auf andere Elemente, wie Story Charaktere reagieren, um komplexe Interaktionen zwischen digitalen Inhalten und dem Nutzer zu erlauben. Der UI Interaction Trigger macht einen Interaktions-Knopf sichtbar, wenn ein Nutzer in der Nähe der Interaktion ist. Entwickler können frei entscheiden, welche Aktion ausgeführt werden soll, sobald dieser Interaktions-Knopf betätigt wird. Auch dieser Block ist flexibel aufgebaut und Entwickler können ihn an ihre Bedürfnisse anpassen.

Der zweite Ordner bietet eine Reihe von Szenen. Die Main-Szene, um die Anwendung zu starten, enthält die AR-Kamera und die UI. Die Default-Szene, welche über ein Area Target und einen Info-Text verfügt. Final die Feature Showcase Szene, damit Entwickler mehr über die Nutzung und Kombination der Building Blocks erfahren und testen können.

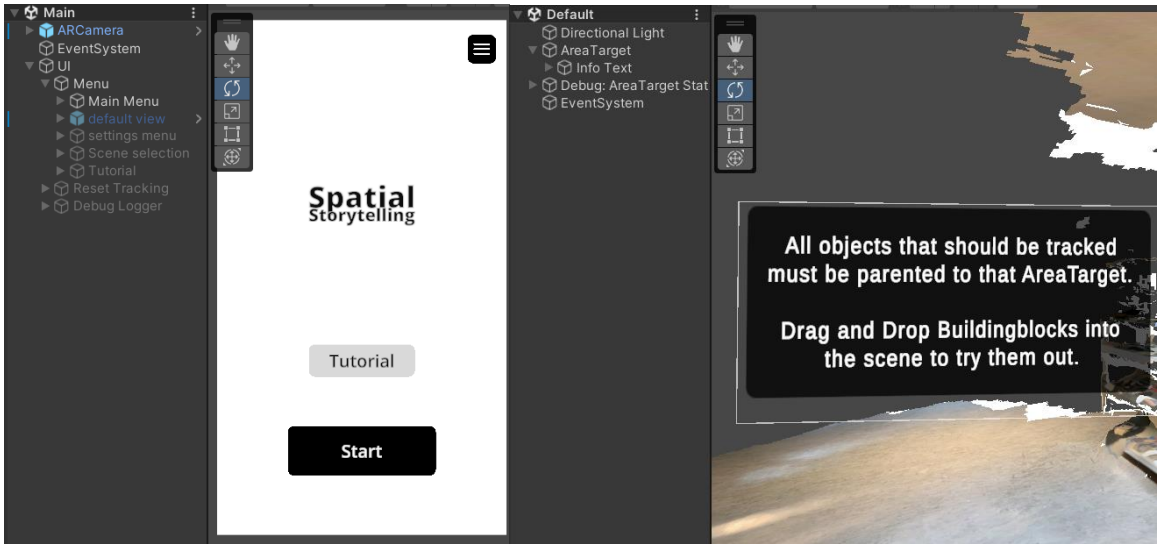


Abbildung 44 Links: Main Szene mit dem App Interface und Hauptmenü. Rechts: Default Szene mit einer Beschreibung zum Erstellungsprozess einer AR-Story Erfahrung mit Hilfe des Tools

Verankert in den Building Blocks und der UI finden sich zudem einige der Inklusions Features. Für mein Tool konnte ich folgende implementieren:

- Textanpassung: Nutzer können die Textgröße über die *Accessibility Settings* anpassen.
- *Audio Mixer*: Der Ton kann über einen Slider angepasst werden und ein Mixer ermöglicht es, in Kategorien wie Dialog oder Hintergrund Geräusche unterscheiden.
- *Subtitles*: Untertitel konnte ich als Custom Track zu Unitys Timeline hinzufügen, diese können innerhalb der Szene angezeigt werden.

Nicht voll integriert werden konnte:

- Farb-Anpassung der UI: Mein *Inclusivity Script* enthält alle Funktionalität, um Farb- und Textanpassungen vornehmen zu können. Allerdings war es aus zeitlichen Gründen nicht möglich, ein passendes User Interface in den Einstellungen zu integrieren. Somit können Nutzer die Farbe nicht frei bestimmen. Man könnte jedoch ein Hell / Dunkel Schema einrichten.

Abschließend bildet das Tool mit seinen aktuell implementierten Features einen ersten Ansatz für die geplante Schnittstelle. Ich konnte zudem meine Ziele des MVPs erreichen und im folgenden Usertest die Nutzung des Tools mit Hilfe dieses Prototyps erforschen.

AR-Ausstellungserweiterung

Die Anwendung und Art der Demonstration der Prototypen wird genauer in der Evaluation besprochen. Alle Prototypen der AR-Ausstellungserweiterung wurden gebaut und waren auf einem Android Smartphone testfähig.

Prototyp h_da: Showcase

Walkthrough Showcase: https://youtu.be/HO7d6sHzsno

Für meine Demonstration und das User Testing an der Hochschule, habe ich eine kurze Story zur Erweiterung der Vitrinen in den Fluren umgesetzt. Hierfür habe ich mir ein fiktives Museum vorgestellt, welches das Campusleben, mit Hilfe von interaktiven Ausstellungen, bereichern möchte. Die Demonstration soll den Ausstellungsstücken in den Vitrinen mehr Kontext verleihen und über diese aufklären. Ich habe mir eine Vitrine vor dem Raum meines User Testings ausgewählt und basierend auf den Ausstellungsstücken eine AR-Story über die Geschichte des Gamings erstellt. Der Prototyp entstand vor Vollendung des Tools und verfügt über einen Charakter, der die Geschichte auf Knopfdruck erzählt und über Trigger Zonen die zusätzliche Informationen anzeigen, wenn Besucher den Vitrinen näherkommen.

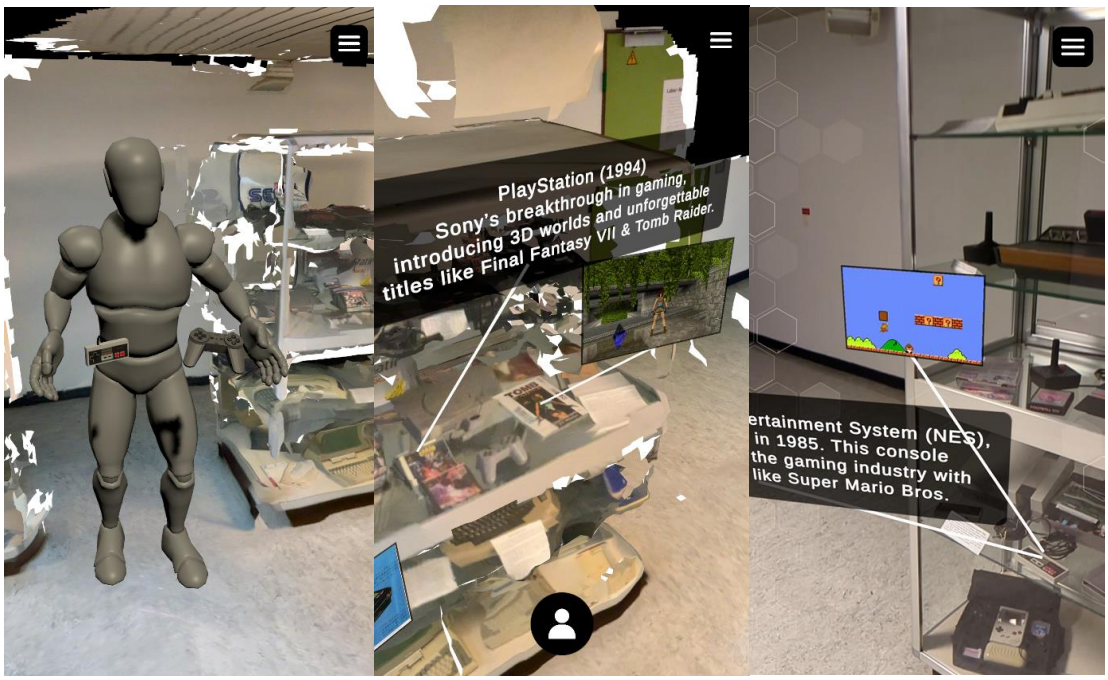


Abbildung 45 Screenshots der Showcase Erfahrung für das Usertesting an der h_da. 3D Story Charakter und Interaktive Info Elemente

Prototypen Schlosskeller

Erster Prototyp

Walkthrough erster Prototyp: https://youtube.com/shorts/zZyiH8BwvqQ?feature=share

Der Prototyp diente einer ersten Demonstration der Ausstellungserweiterung des Klosterbereiches und setzte eine Reihe der Konzepte aus Kapitel Einzelne Bereiche um.

Abbildung 46 Erste Demo Schlosskeller: Info Elemente und 2D Charaktere zur Erweiterung der Vitrinen.

Die Text Erweiterungen der Vitrinen dienen den zusätzlichen Informationen zu bestimmten Ausstellungsstücken und deren Funktion. Sie sollten die Mitarbeiter des Museums anregen, welche Art von Inhalten ausgestellt werden könnten und was es bedeutet, digital "unendlich", nutzbaren Platz für Informationen zu haben. Ich erhoffte mir zudem eine beschleunigte Produktion und Lieferung an neuen Inhalten. Die 2D Charaktere habe ich wie in der Produktion beschrieben erstellt, um den Ruinen der Schlossanlage mehr Leben einzuhauchen und die Möglichkeiten von interaktiven Charakteren anzustoßen.

Der hintere Teil der Anlage bot das meiste Potential für komplexere Stories und Rekonstruktionen. Für die Stories habe ich mich an der Medienlandschaft orientiert und diese in 3D nachgestellt. In dieser sehen die Besucher einen Charakter mit den Weinfässern interagieren. Ich habe die Szene neben der Vitrine mit dem Zapfhahn positioniert, um die Möglichkeiten der Kontextualisierung anzusprechen und dies besser im Gespräch verdeutlichen zu können.

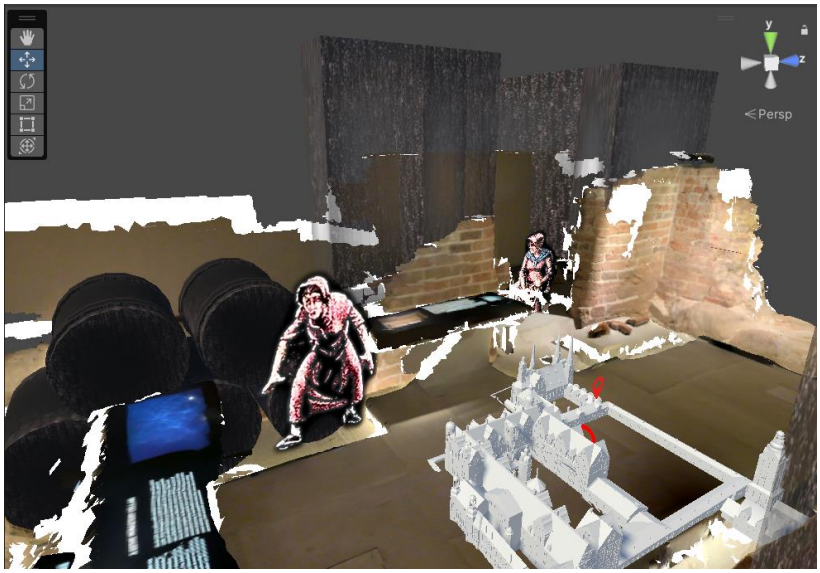


Abbildung 47 Erste Demo Schlosskeller: Story und 3D Map Konzept

Die Map war in zwei Versionen testfähig, wie in der Produktion beschrieben. In der Abbildung 47 ist die erste Version ersichtlich, bei welcher Nutzer wie ein Riese durch das 3D Modell laufen können.

Um das Konzept der Rekonstruktion genauer verdeutlichen zu können, verfügt der Prototyp über zwei Segmente, bei denen ich die Überreste der alten Mauern nach oben verlängert habe. Ich habe zudem das in der Abbildung 48 gezeigte Segment mit einer simplen Animation ausgestattet. Hier fahren die augmentierten Mauern aus dem Boden, um aufzuzeigen, welche Möglichkeiten zur Verdeutlichung der Rekonstruktion vorliegen.

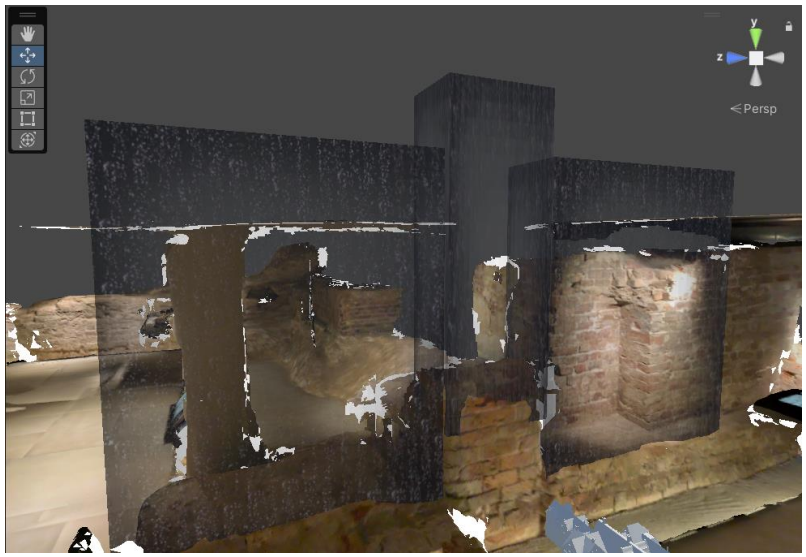


Abbildung 48 Erste Demo Schlosskeller: Block Out zur potentiellen Rekonstruktion der ursprünglichen Klosterfassade

Finaler Prototyp

Walkthrough Finaler Prototyp: https://youtu.be/YH7PE5FIiaI

Der finale Prototyp richtet sich nach dem Konzept, um die drei Pfeiler meiner Thesis zu verdeutlichen.

In der ersten Szene “Rekonstruktion” können Nutzer mehr über die Nutzung des Klosterkellers erfahren.

Audio: “Dieser Teil gehörte ursprünglich zum Keller des Dominikanerklosters, das hier im Mittelalter stand. Mit AR können wir das Kellergewölbe über unseren Köpfen rekonstruieren.”

Während des Dialogs erscheint ein Hologramm eines animierten Mönches und die Decke rekonstruiert sich langsam über den Köpfen der Besucher. Mithilfe von Call to Action hinweisen des Sprechers, werden Nutzer im Anschluss darauf hingewiesen, dass sie zwei weitere Interaktionsmöglichkeiten haben. Dies soll die Entscheidungsmöglichkeit, und Individualisierbarkeit solcher AR-Anwendungen aufzeigen. Der Besucher kann eigenständig bestimmen, welche Informationen ihn interessieren und sich die Anwendung nach seinen Vorlieben gestalten.

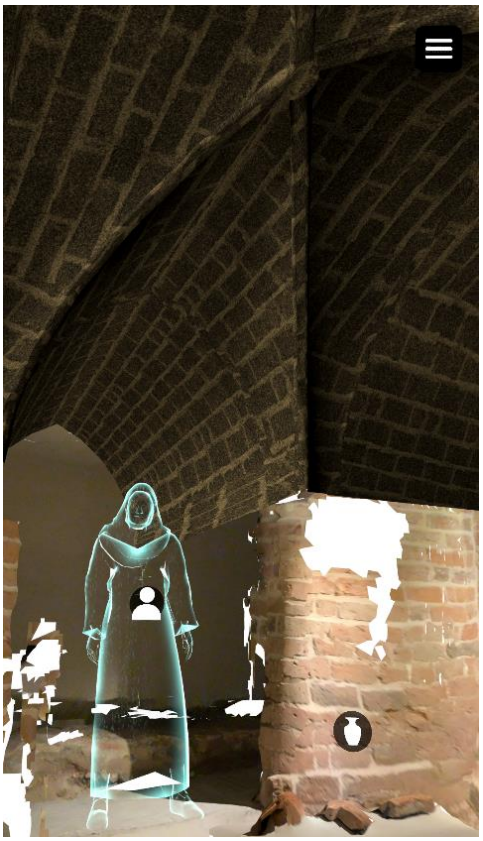


Abbildung 49 Rekonstruktionsszene: Hologramm des Story Charakters mit der Rekonstruierten Decke des Klosterkellers

Mit “Tippe auf das Story Icon, um mehr über die Nutzung des Kellers zu erfahren” und “Tippe auf einen der Schlusssteine am Boden, um mehr über ihre Funktion zu erfahren”, werden die Nutzer zu den zwei weiteren interaktiven Elementen geleitet, Siehe Abbildung 49.

Tippt ein Nutzer auf das Story-Icon, so erzählt der Mönch mehr über die Nutzung des Kellers. Das Gespräch erzeugt hierbei eine Verbindung mit der nebendran gelegenen Vitrine und verweist auf den ausgestellten Zapfhahn. Tippt ein Nutzer auf das Symbol über den Schlusssteinen, so erzählt der Sprecher über deren Nutzung. Parallel taucht eine Grafik auf, die zeigt, wie sich dieser Schlussstein in die ursprüngliche Decke eingefügt hatte.

In der zweiten Szene “Storyline” bekommen Nutzer einen Einblick in eine fiktive Alltagsgeschichte des Schlosses. Man sieht bei Betreten der Szene bereits die Augmentierungen. Diese sollen dazu anregen, dass Besucher nähertreten und mit diesen interagieren wollen. Die Aktivierung erfolgt über den Interaction Button und startet die Story. Bei dieser unterhalten sich zwei Mägde, während sie das Geflügel rupfen, um eine der Mahlzeiten für das Schloss vorzubereiten. Plötzlich entwischt eines der Hühner und mit Hilfe von Animationen verfolgt der 2D Charakter das Hühnchen. Das Ambiente wird mit Bildern und Hintergrundgeräuschen (stomachache und Freesound 2025) verstärkt, um ein immersives Erlebnis zu schaffen.

Abbildung 50 Story Szene: Charaktere im Geflügelkeller zur Visualisierung des Schloss Alltages

Auszug aus dem Dialog[11]:

(...)

Greta: "Ach du meine Güte, es ist entwischt! Marie, schnapp es dir!"

Hühnchen: "Bog Bog”

Marie: "Halt still, du Biest! Lauf doch nicht davon!"

Greta: "Du musst schneller sein, Marie! Oder willst du dem König sagen, dass sein Braten davonlief?"

(...)

Die Story ist lustig und einfach gehalten. Sie soll damit auf eine einfache Art und Weise Wissen über das alltägliche Schlossleben vermitteln. Der Dialog wurde eigenständig eingesprochen, um das Gefühl zu verstärken. Als passive Interaktion können Besucher näher an die sitzende Magd herantreten und diese antwortet ihnen mit “Keine Zeit für Plaudereien! Wir müssen die Hühner für das königliche Festmahl zubereiten.” Dies soll wie im Konzept beschrieben die Exploration anregen und eine zusätzliche Interaktionsebene aufzeigen.

[11] KI generiert

Für die dritte und letzte Szene begeben sich die Nutzer in den ehemaligen Heizungskeller. Hier können Sie mehr über die Bruchstücke der alten Kachelöfen erfahren. Treten die Besucher näher an die Vitrine, sagt der Sprecher: “Diese Kacheln gehören zu drei Kachelöfen. Diese stellten die ursprüngliche Heizungsversorgung der Schlossanlage dar. Tippe auf das Artefakt-Icon, um mehr über die Bruchstücke zu erfahren.” Zusätzlich zu dem Artefakt Icon erscheinen zwei Infotexte, welche zusätzliche Informationen über den Kontext und die Verwendung der Kacheln anzeigen.

Abbildung 51 Kontextualisierungsszene: Rekonstruierter Kachelofen in dem sich das Bruchstück wieder einfügt und den ursprünglichen Kontext demonstriert.

Interagiert der Nutzer mit dem Button, wird eine Animation ausgelöst, welche die Kachel als realistisches digitales Abbild über der Vitrine rekonstruiert. Wie im Konzept beschrieben, können Nutzer diese näher betrachten, während der Sprecher erzählt, welche Persönlichkeit auf der Kachel abgebildet ist und in welchem Jahr der ursprüngliche Ofen zerstört wurde. Nach einer kurzen Pause sagt der Sprecher “Fügen wir die Bruchstücke wieder zusammen, können wir erahnen, wie diese Öfen ausgesehen haben könnten”. Währenddessen rekonstruiert sich ein 3D Modell eines Kachelofens. Der Ofen ist durch gezeichnete Texturen von ART+COM abstrahiert. In der Mitte des Ofens befindet sich ein herausgebrochenes Loch. Die Kachel schwebt langsam hinüber und passt sich perfekt in den Ofen ein. Der Kontext wird demonstriert und Nutzer erhalten ein grobes Bild über Größe und Zugehörigkeit dieser Kachel vor der Zerstörung der Öfen. Dies setzt alle anderen Kachel-Bruchstücke in ein neues Licht und soll deren Zusammenhänge und Verwendung demonstrieren.

Evaluation

User test h_da

Setup

Um evaluieren zu können wie effektiv das Tool aktuell zum Erstellen von AR Stories ist, habe ich einen Usertest eingerichtet. Da das Tool als Unity SDK implementiert wurde und keine Überarbeitung der UI im zeitlichen Rahmen möglich war, bleibt ein geübter Umgang mit Unity noch notwendig, um dieses zu bedienen. Um sowohl Experten als auch Nicht-Developer testen zu können, habe ich das Testen in zwei Teile geteilt.

Expertentest:

Um die Bedienbarkeit des Tools zu testen habe ich erst einen Pretest durchlaufen lassen, um einen ersten Eindruck von Seiten eines Entwicklers zu erhalten. In diesem stellte sich heraus, dass eine mündliche Einführung nicht ausreichend war und die Building Blocks sowie das Tool mehr Textbeschreibungen benötigen. Ich habe daher vor Ort noch Beschreibungen für alle Building Blocks, sowie eine schriftliche Einführung im Feature Showcase hinzugefügt.

Für den tatsächlichen User Test wurde ein Aufgabenschema verfolgt (siehe Abbildung 52), um Unity Entwickler im Umgang mit dem Tool zu testen. Zunächst wurde das Vorwissen abgefragt und danach gab es eine kurze, mündliche Einführung in die Bedienung des Tools. Es folgten zwei Aufgaben: zunächst eine Erstellung der AR-Szene mit drei Bausteinen des Tools und daraufhin der Zusatz einer Story mit Interactions Trigger. Nach beenden der beiden Aufgaben habe ich jede AR-Szene bereitgestellt, sodass Testpersonen ihre Szene eigenständig in AR testen können. Final wurde noch ein Fragebogen zum Umgang mit dem Tool ausgefüllt.

Gian Dion Dubberke

Expanded Media

This app is part of the Master Thesis:

"Inclusive Storytelling Tool for Cultural Spaces: The Role of Augmented Reality in Transforming Museum Experiences"

1. Survey: Pre-existing knowledge

Fill out this survey about your previous experience with Unity and AR

Note: This tool is built with Unity and requires basic knowledge to operate it, please answer honestly.

2. Tool Test

Introduction

You get a short briefing about how the tool works and how to operate it.

Task 1:

Create a short AR experience using three available building blocks (e.g. info Text, info Image, 2D character) You have 15 min, report back when you are done.

Note: Don't use the Story Block

Task 2:

Add a Story Block to the scenery and set up a trigger to activate it. Report back when you are done to build and see your personal AR experience.

Note: You can populate your story timeline with the building blocks you have placed earlier.

3. Feedback and Discussion

Fill out this survey about your experience with the tool

Abbildung 52 Screenshot des Aufgaben Schemas

Showcase:

Für den Showcase habe ich eine kurze Demonstration mit dem Tool zur Erweiterung der Vitrinen angeboten. Testpersonen konnten eine kurze AR Story Experience erleben, bei der sie mehr über die Ausstellungsstücke erfahren konnten. Details hierzu im Kapitel Prototyp h_da.

Besucher konnten hierfür die App entweder auf ihrem eigenen Handy oder auf einem von mir zu Verfügung gestellten Gerät testen. Die Demo bestand aus einer Storyline und zwei interaktiven Info Elementen für die Vitrinen.

Abbildung 53 Test Personen bei der Benutzung des Showcases.

Test Ziele

Mein Usertest hatte einen qualitativen anstatt einen quantitativen Fokus. Die Testziele richteten sich je nach Testart aus.

Expertentest:

Wie im Setup erwähnt, bestand dieses aus zwei Fragebögen, sowie meinen Beobachtungen, während die Aufgaben ausgeführt wurden. Der erste Fragebogen bezog sich auf die Vorkenntnisse. Mein Augenmerk lag hierbei vor allem auf der Erfahrung im Umgang mit Unity und auf den Kenntnissen der AR-Entwicklung. Zudem habe ich erfragt, ob bereits andere AR-Erstellungs-Tools verwendet wurden, um dies in der Auswertung berücksichtigen zu können. Während und nach der Einführung habe ich beobachtet, wie gut sich Tester mit einer textbasierten Beschreibung zurechtfinden und erfragt, ob und

wo Verständnisschwierigkeiten vorliegen. In der darauffolgenden Aufgabe 1 & 2 habe ich beobachtet, welche Bausteine benutzt wurden und mir kurz den Aufbau und die Herangehensweise und das Lösen der Aufgabe beschreiben lassen. Zusätzlich habe ich die Zeit für die einzelnen Phasen gemessen, um weitere Erkenntnisse über die Bedienfreundlichkeit und den Umgang zu gewinnen. Zuletzt haben die Tester einen Fragebogen bezüglich der Bedienbarkeit und ihrer Erfahrung mit dem Tool ausgefüllt. Mein Augenmerk lag hierbei vor allem auf dem Umgang mit den einzelnen Bausteinen sowie der Unity Integration.

Showcase:

Wie im Setup beschrieben, handelte es sich beim Showcase um eine kurze Demonstration der Möglichkeiten des Tools. Mein Fokus lag daher auf der Story-Erfahrung. Die Nutzer sollten einen ersten Einblick in den Umgang einer AR Storytelling App haben. Darüber hinaus wollte ich untersuchen, ob Tester das Potential einer solchen Anwendung erkennen und schauen, wie der Grad der Akzeptanz zur Anwendung im Museumsbereich wahrgenommen wird. In einem umfassenden Fragebogen sind die Tester auf Aspekte des Storytellings, der Navigation, dem Use-Case sowie dem allgemeinen Umgang mit der App eingegangen.

Neben dem Fragebogen habe ich versucht, mit den Testern nach dem Nutzen der App ein Gespräch zu suchen, um herauszufinden, wie gut die Vision einer Story basierten AR-Anwendung transportiert wurde und welches Potential diese in der Anwendung einer solchen erkennen können.

Resultate

Expertentest:

Den Erstellungsprozess haben sieben Experten getestet, welche alle einen Hintergrund in der XR-Entwicklung hatten. Die Auswertung verlief wie im Setup beschrieben mit Hilfe von zwei Fragebögen und durch zusätzliche Beobachtungen sowie Gespräche. Aufgrund der geringen Tester Anzahl hatte ich ein Qualitatives User Testing ausgerichtet und sehe zudem alle erhobenen Daten lediglich als Indikatoren an. Alle Daten sind aus dem gleichen Grund in allen Tests weder normalisiert noch standardisiert worden.

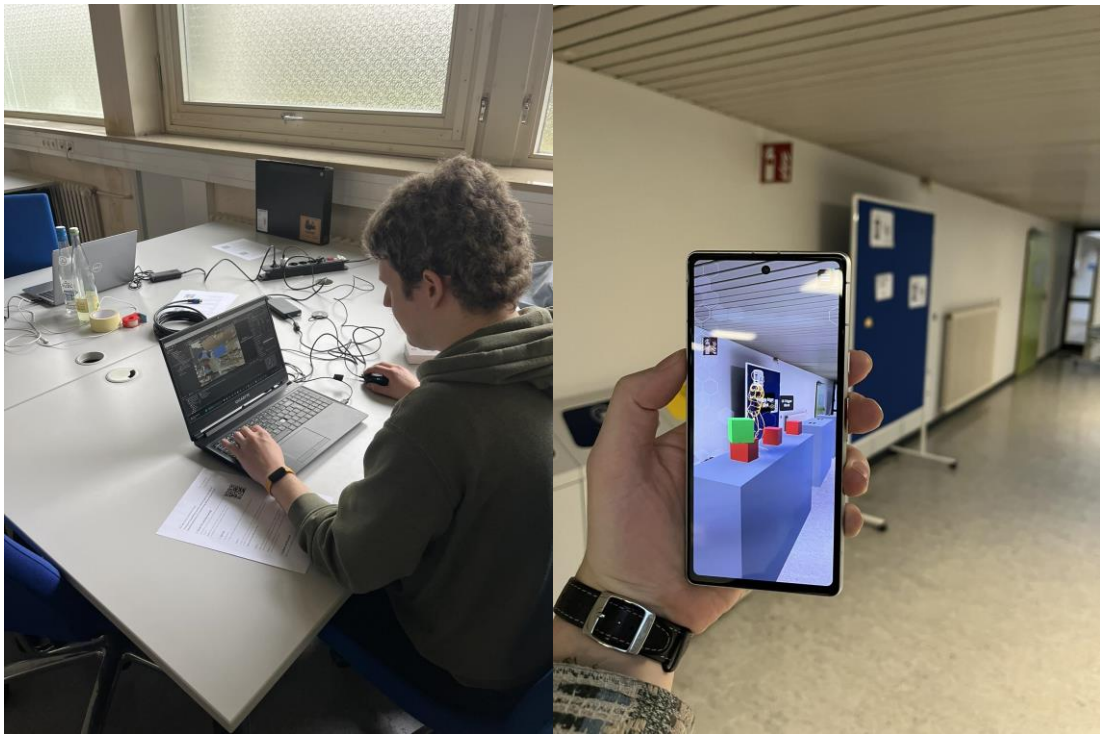


Abbildung 54 Eine Experten Test Person bei der Nutzung des Tools und eine Person beim Testen der erstellten Story Erfahrung vor Ort.

Im ersten Fragebogen über das Vorwissen der Tester gaben diese an, dass sie viel Erfahrung im Umgang mit Game Engines haben und alle Unity benutzen. Rund die Hälfte haben zudem Erfahrung mit Unreal Engin. Bezüglich der Erfahrung gaben sie an, dass sie mittel bis viel Erfahrung im Umgang mit AR haben. Mit alternativen AR-Tools hatten nur wenige Tester Erfahrung. Lens Studio, 8th Wall und Meta Spark hatten jeweils nur zwei der Tester bereits verwendet. Final gaben die Tester bei der Frage zum Umgang mit Unitys SDKs gemischte Erfahrungen an. Hier waren Erfahrungswerte von “Kaum genutzt” bis “Häufig verwendet” dabei.

Meine Beobachtungen während und nach der Einführung ergaben, dass die Entwickler teilweise Verständnisschwierigkeiten beim Umgang mit Building Blocks hatten. Bausteine, die mehrere Skripte kombiniert genutzt haben, um ihre Funktionalität zu erreichen, waren hiervon besonders betroffen. Hierzu gaben einige Testpersonen mündlich an, dass dies auch auf einen fehlenden Umgang damit basieren könnte. Die drei Building Blocks aus Aufgabe 1 waren überwiegend welche, die in der Aufgabenbeschreibung beispielhaft genannt wurden. Sechs von sieben Tester verwendeten einen 3D Character Block und die meisten Tester verwendeten zudem

bereits in Aufgabe 1 einen Proximity Trigger oder UI-Trigger, um eine interaktive Komponente zu haben. Die meisten Probleme traten bei Aufgabe 2 auf, da in dieser die Story Timeline verwendet werden musste und alle Tester gaben an, noch nie mit Unitys Timeline Feature gearbeitet zu haben. Die Bedienungsschwierigkeiten beliefen sich fast ausnahmslos auf den Umgang mit Unitys eigenem Teil und nicht mit dem Tool im Speziellen.

Insgesamt brauchten die Tester im Durchschnitt:

- ca. 20 Minuten für die Einführung (11-24 min)
- ca. 10 Minuten für die Aufgabe 1 (4-13 min)
- ca. 8 Minuten für die Story (7-12 min).

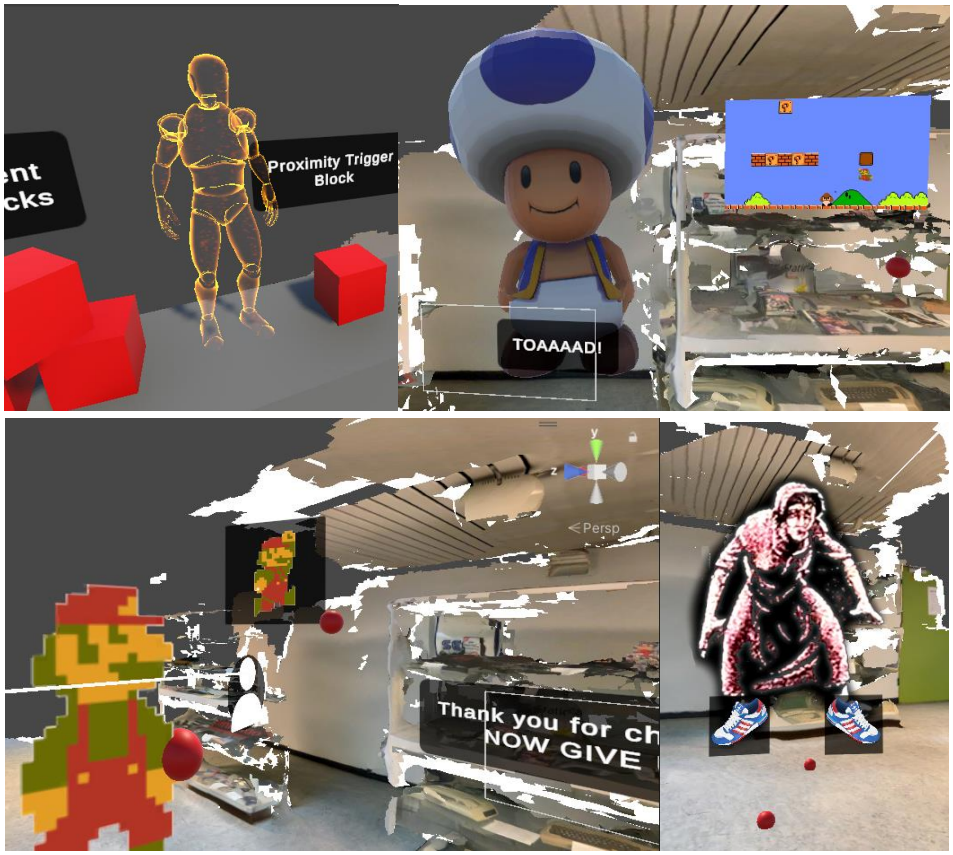


Abbildung 55 Auszüge aus den mit dem Tool erstellten Story Erfahrungen der Experten Test Personen. Zu sehen ist der unterschiedliche Einsatz der Bausteine und den zu Demo Zwecken zur Verfügung gestellten Materialien.

Die Tester waren sich hierbei ihrer genauen Dauer nicht bewusst und es wurde ihnen freigestellt, wie viel Zeit sie für die kreative Gestaltung ihrer Szene nutzen wollen. Nach Beendigung der Aufgaben erhielten alle Tester einen detaillierten Fragebogen. Ich habe hierfür die Fragen in fünf Unterkategorien aufgeteilt.

1.Nutzungserfahrung

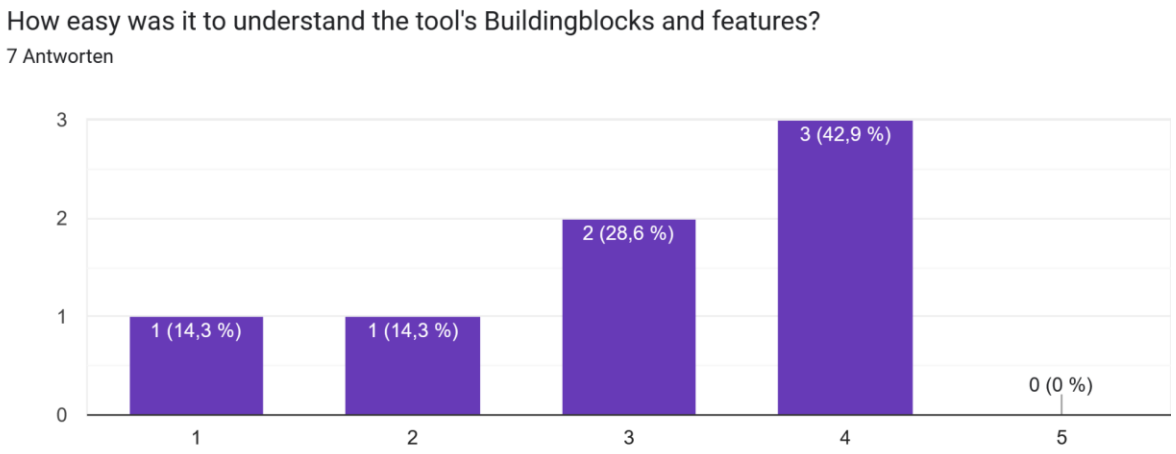


Abbildung 56 Auszug aus dem Fragebogen der Experten Tester zum Verständnis der Bausteine (1 entspricht sehr schwierig, 5 sehr einfach)

Bezüglich der einfachen Benutzungserfahrung mit dem Tool gaben die sieben Tester gemischte Angaben. Von einfach bis sehr schwierig gab es alle antworten, siehe Abbildung 56.

Positiv wurde die “Drag and Drop” Funktionalität und die Benutzung ohne extra programmieren erwähnt. Bezüglich des fehlenden Verständnisses wurde von jedem Tester Bezug auf Unity selbst genommen. In fünf von sieben Fällen wurde an dieser Stelle Unitys Timeline erwähnt. Dies wurde an späterer Stelle öfters erneut angesprochen. Zudem wurde Unitys UI angesprochen, die laut einem Tester der Bedienung im Weg stand.

2. Flexibilität und kreative Freiheit

Im folgenden Kapitel des Fragebogens wurden die kreative Freiheit und die Flexibilität des Tools erfragt.

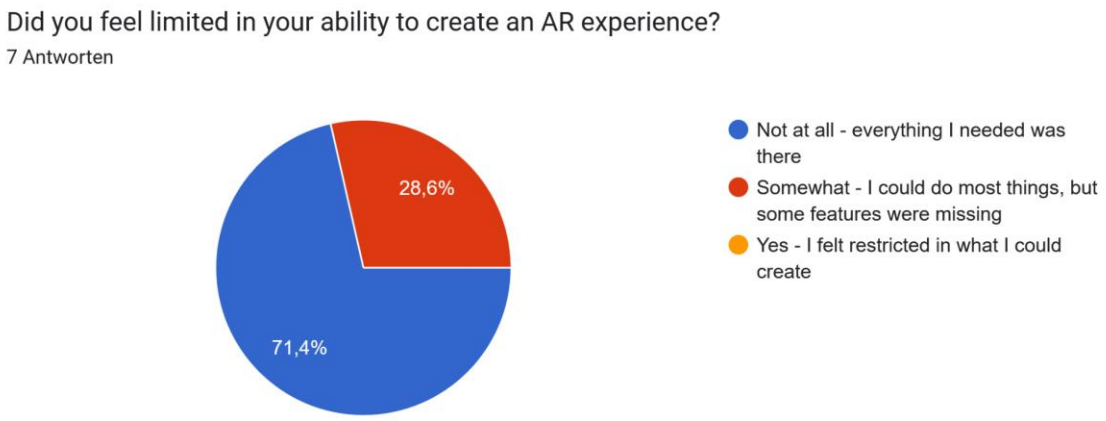


Abbildung 57 Auszug aus dem Fragebogen der Experten Tester zu Limitierungen

Fünf der Tester gaben an, dass sie sich in ihrem Erstellungsprozess nicht eingeschränkt fühlten und zwei gaben an, dass sie überwiegend aber nicht alles im Tool zum Erstellen von AR-Erfahrungen hatten. In Bezug auf die einzelnen Building Blocks gingen die Antworten stark auseinander. Keine Testperson gab an, dass ein Baustein zu viel oder nicht notwendig sei. Zwei der Tester erwähnten erneut die Timeline, wobei einer der Testpersonen erwähnte, dass diese zwar ungewohnt sei, jedoch gut funktioniert habe. Drei der Tester gaben an, dass alles, was sie getestet haben, gut funktioniert hat. Die letzten zwei Angaben bezogen sich vor allem auf die Bedienbarkeit. Ein Tester gab hierbei an, dass der 3D Character schwierig zu bedienen war. Das Problem lag hierbei bei dem verwendeten Asset, nicht dem Building Block an sich. Ein anderer Tester gab an, dass die Bausteine, die mehrere Scripts verbinden, gewöhnungsbedürftig zu bedienen sein. Bezüglich der Vielfalt und Anpassungsmöglichkeiten bevorzugen fünf von sieben Testern eine Balance-Variante, mit simplen Building Blocks, die jedoch einige Anpassungsoptionen besitzen. An zusätzlichen Optionen wünschten sich zwei Tester Anpassungen für die interaktiven Trigger und ein Tester weitere Building Blocks. Die restlichen Fünf waren mit der aktuellen Auswahl zufrieden.

3. Geschwindigkeit und Effizienz

Das folgende Kapitel des Fragebogens bezog sich auf die Geschwindigkeit und Effizienz des Tools.

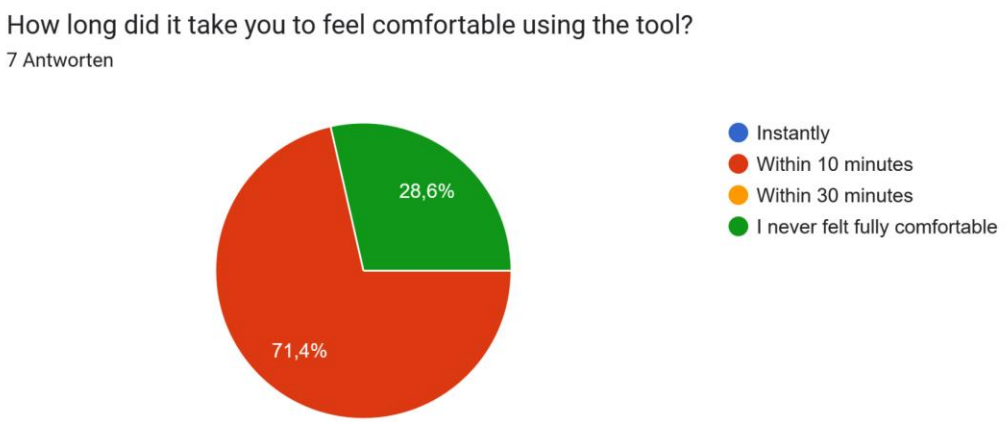


Abbildung 58 Auszug aus dem Fragebogen der Experten Tester zum Nutzungskomfort des Tools

In der einleitenden Frage gaben hierzu fünf von sieben Testern an, dass sie sich innerhalb von 10 Minuten komfortabel mit dem Tool gefühlt haben, was auch die gemessene Dauer in der Einführung und den Aufgaben widerspiegelt. Die verbleibenden zwei Tester gaben an, dass sie sich nie ganz komfortabel gefühlt haben, was mit ihren Vorerfahrungen oder der geringen Nutzungsdauer zu tun haben könnte. Wichtig anzumerken ist, dass alle Tester auswählten, dass Unity ihrer Meinung nach der Auslöser war, wenn Teile des Tools langsam oder frustrierend waren, nicht das Tool.

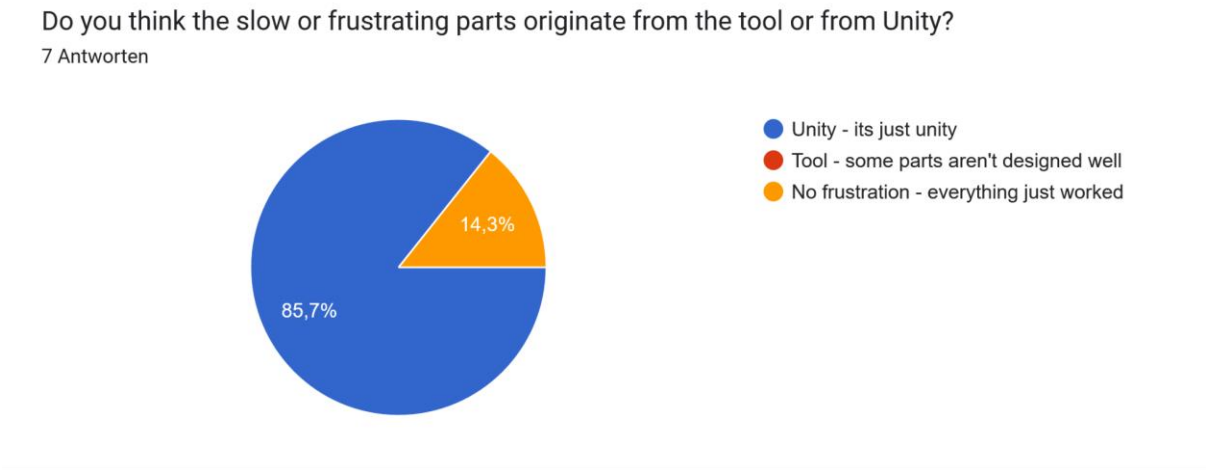


Abbildung 59 Auszug aus dem Fragebogen der Experten Tester zu frustrierenden Aspekten des Tools

Zuletzt gaben die Tester an, dass sie bis auf eine Ausnahme zwischen mehreren Stunden bis zu einem ganzen Arbeitstag bräuchten, um eine ähnliche AR-Anwendung zu erstellen. Dies bezog sich zudem auf ihre erstellten Szenen und nicht die komplette Funktionalität des Tools.

4. Usecase

In der vorletzten Kategorie des Fragebogens haben die Tester ihre Meinung zum Museum Usecase wiedergegeben.

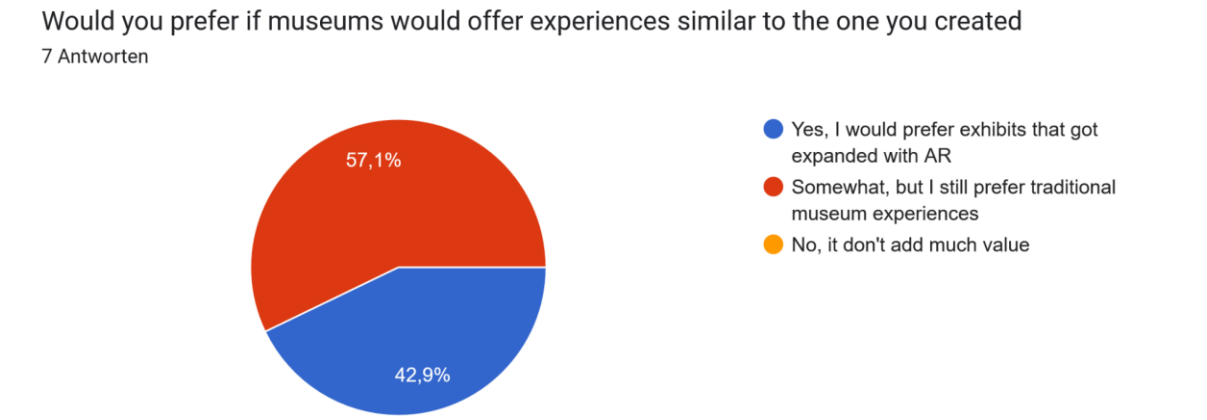


Abbildung 60 Auszug aus dem Fragebogen der Experten Tester zum Usecase

Vier wählten hierbei aus, dass AR teilweise für Museums-Erfahrungen nutzen würden, jedoch traditionelle Museen bevorzugen, die anderen drei wählten aus das sie AR erweiterte Museen bevorzugen würden. Alle gaben an, dass sie eine Story-Erfahrung eher zu einem Museumsbesuch bringen würde. Zusätzlich wurde erwähnt, dass es von der Ausstellung abhängig wäre und dass eine AR-Erweiterung für eine Testperson nur relevant wäre, wenn diese Informationen hinzufügt, welche nicht anderweitig in der Ausstellung gezeigt werden können.

5.Gesamte Erfahrung

Im letzten Teil des Fragebogens haben die Tester die gesamte Erfahrung mit dem Tool eingestuft.

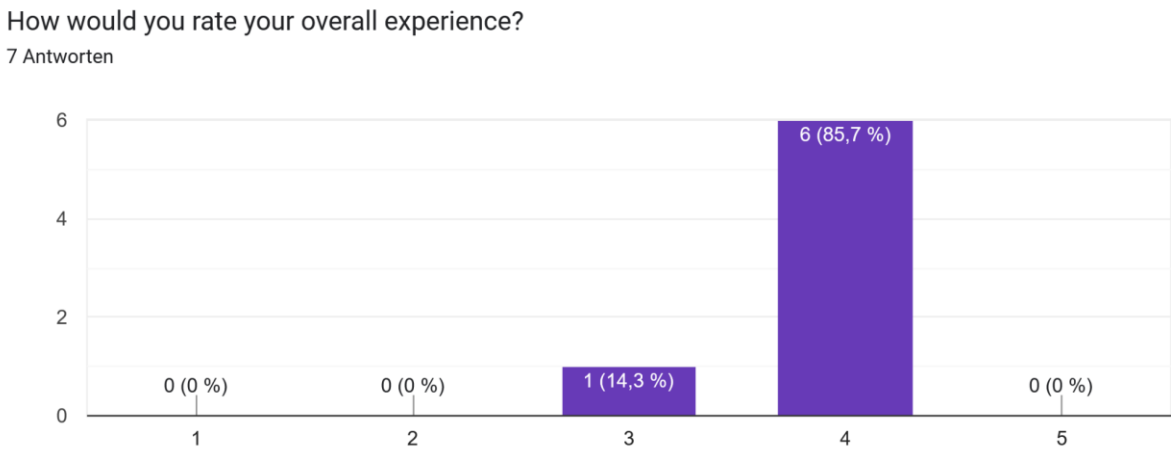


Abbildung 61 Auszug aus dem Fragebogen der Experten Tester zum Gesamteindruck (1 entspricht sehr schlecht, 5 sehr Gut)

Hierbei gaben sechs von sieben an, dass die Erfahrung gut war, und ein Tester bewertete sie neutral. Zudem gaben vier von sieben Testpersonen an, dass sie das Tool erneut für das Erstellen einer AR-Story benutzen würden. Zuletzt bekam ich noch einige Ideen zur Weiterentwicklung. Ein Tester wünschte sich, die Building Blocks seien in einer separaten UI zugänglich. Ein weiterer schlug ein erweitertes Tutorial zur Benutzung vor. Letzteres setzte ich in den folgenden Tagen um.

Showcase:

Auch für den Showcase habe ich einen detaillierten Fragebogen erstellt. Die 25 Tester haben hier in fünf Kategorien Fragen beantwortet.

1. Allgemein

Die Testpersonen empfanden die Showcase-Erfahrung als überwiegend spannend.

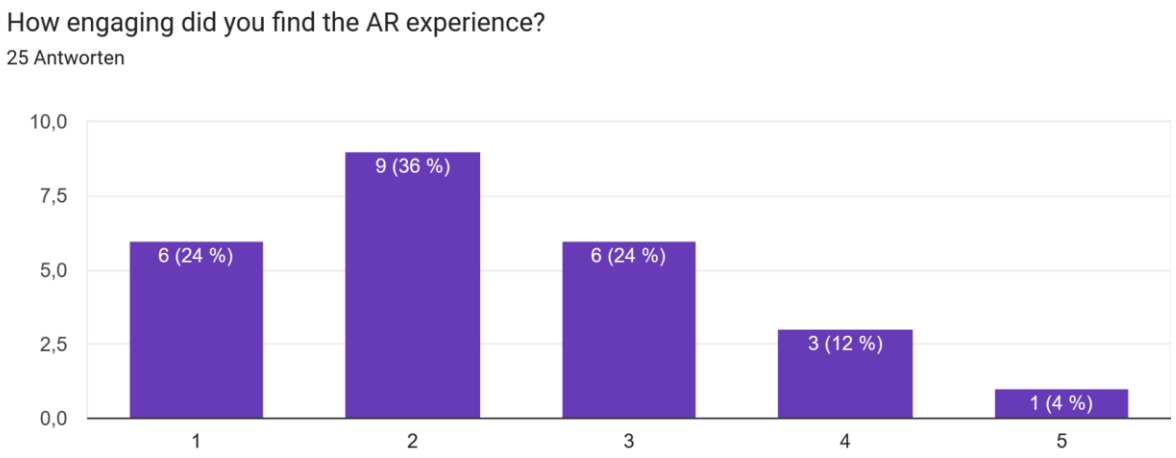


Abbildung 62 Auszug aus dem Fragebogen der Showcase Tester zur AR-Erfahrung (1 entspricht sehr ansprechend, 5 wenig ansprechend)

Sie gaben im Detail an, dass ihnen besonders das Konzept einer "lebendigen" immersiven Erfahrung und die Story Komponente gefallen hat. Zudem gaben nur zwei an, dass sie technische Probleme bemerkten, welche sich auf ein simples Occlusion mesh Problem zurückführen ließ. Dies konnte mit einer Einstellung behoben werden.

2. Storytelling

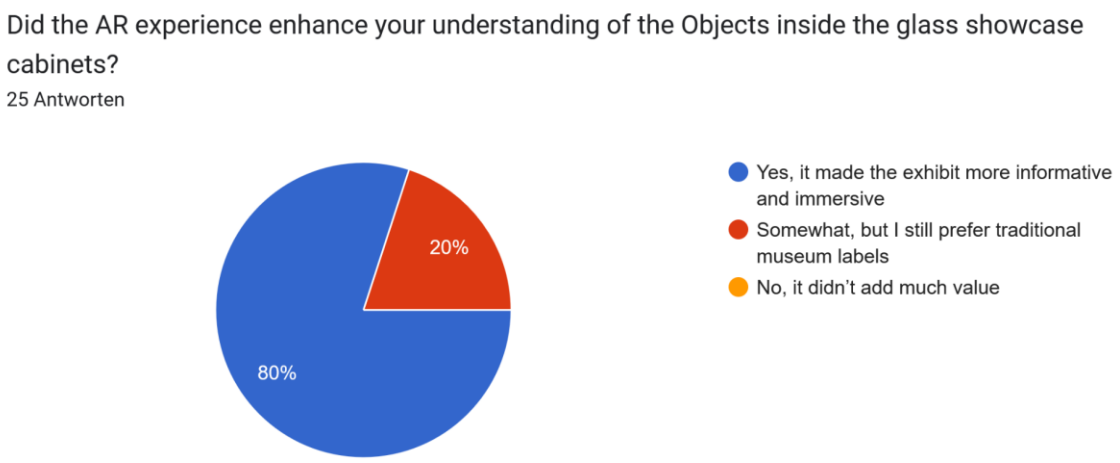


Abbildung 63 Auszug aus dem Fragebogen der Showcase Tester zum verbesserten Verständnis durch die App

Bezüglich des Storytellings gaben 80% der 25 Tester an, dass sie die Vitrinen als informativer und immersiver empfunden haben. Die restlichen 20% der Personen gaben an, dass sie traditionelle Ausstellungsbeschreibungen bevorzugen.

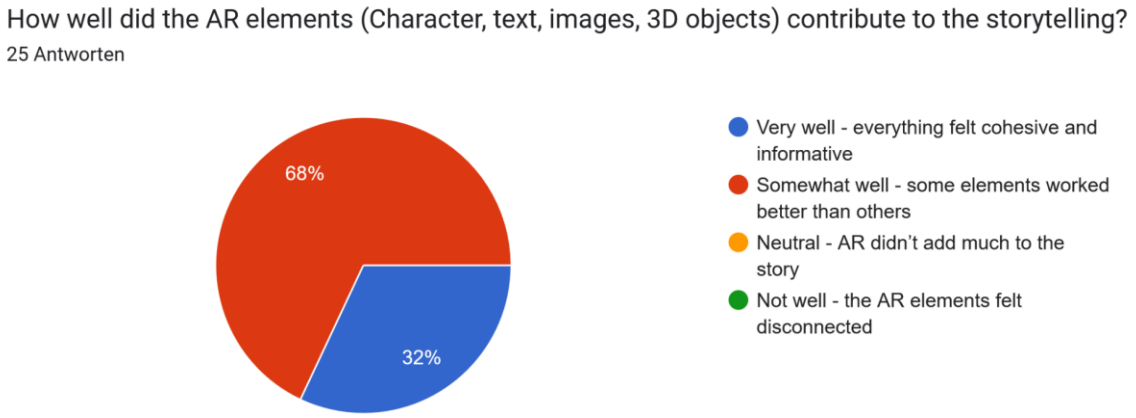


Abbildung 64 Auszug aus dem Fragebogen der Showcase Tester zur Funktionalität der einzelnen Elemente

Bezüglich der einzelnen AR-Elemente gaben rund zwei Drittel (68%) der Tester an, dass manche Elemente besser als andere funktioniert haben. Das restliche Drittel gab an, dass sie alles als gut abgestimmt empfunden haben. Bezüglich der Anwendung im Museumsbereich gab die Hälfte an, dass sie auf jeden Fall solche AR-Erfahrungen erleben

wollen und die andere Hälfte gab an, dass sie es vom Thema abhängig entscheiden würde.

3. Bedienbarkeit

Bezüglich der Bedienbarkeit der App gaben alle bis auf drei Nutzer an, dass sie diese als einfach bis sehr einfach empfunden haben und keine Unklarheiten entstanden sind.

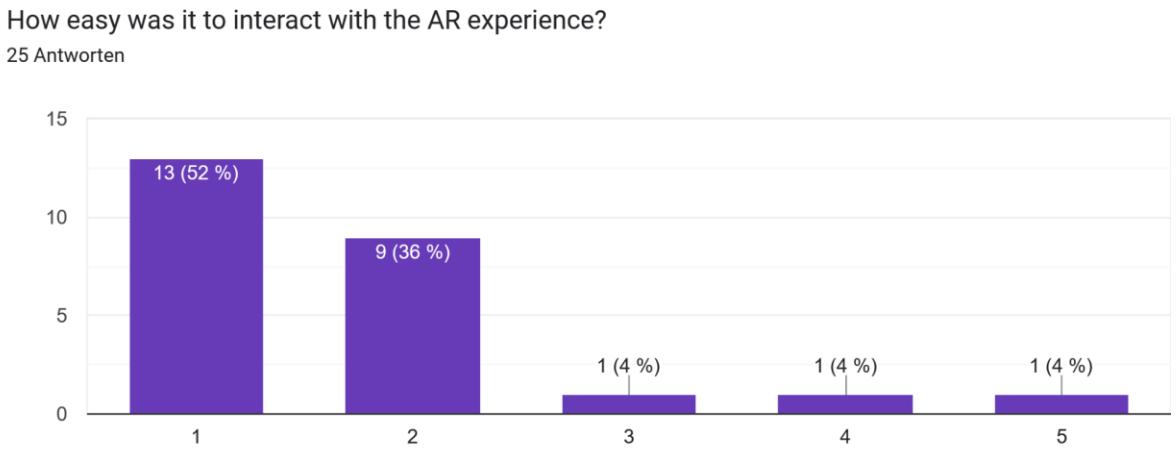


Abbildung 65 Auszug aus dem Fragebogen der Showcase Tester zur Interaktion mit den Elementen (1 entspricht sehr einfach, 5 sehr schwierig zu interagieren)

4. Usecase Museum

Im Folgenden gaben 20 der Tester an, dass, AR ihrer Meinung nach Museen immersiver und interessanter gestalten würde.

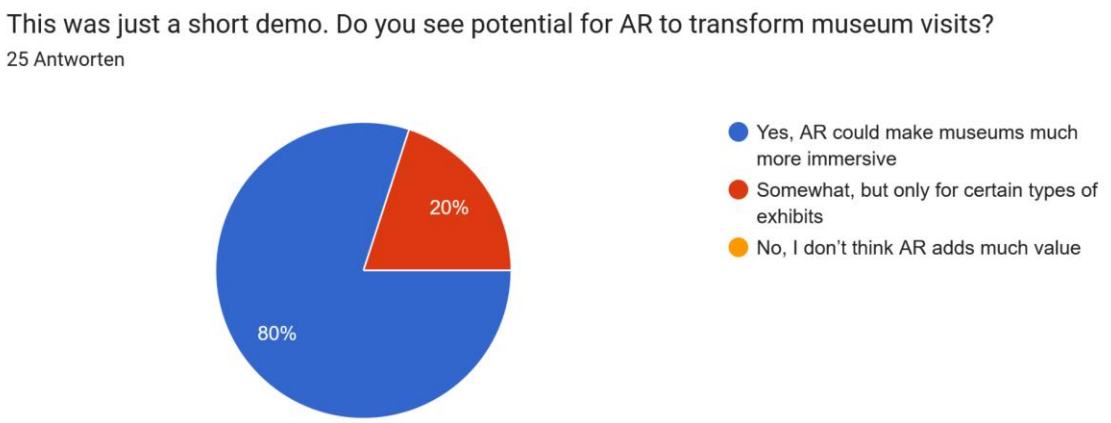


Abbildung 66 Auszug aus dem Fragebogen der Showcase Tester zum Potential der Praxis Anwendung im Museum

Fünf Personen (20%) gaben an, dass sie dies von der Art der Ausstellung abhängig machen würden. An Verbesserungsvorschlägen gab es eine Vielzahl an Ansätzen. Die meisten konzentrierten sich auf mehr Content, speziell für interaktive Inhalte, Individualisierbarkeit und verbesserte Instruktionen. Bezüglich des Einsatzes von Storytelling im Museum gaben die meisten an, dass es ihrer Meinung nach für historische Zwecke am effektivsten einzusetzen wäre. Davon abgesehen wurde der Kunstsektor als Anwendungsbereich angesprochen. Um die Story zu verbessern, wurde eine bessere Navigation und die Erweiterung der Inhalte gewünscht.

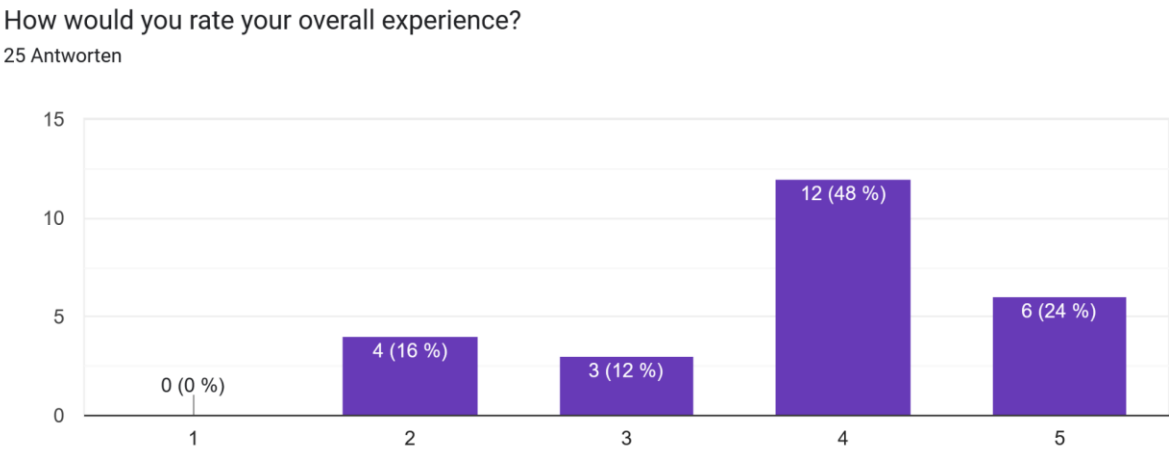


Abbildung 67 Auszug aus dem Fragebogen der Showcase Tester zum Gesamteindruck der Demonstration

Insgesamt bewerteten die Nutzer die App als gut. Bezüglich der Verbesserungs-Vorschläge gab es wenige, einer der Tester war an dem Tool interessiert und eine Testperson wünschte sich mehr explorative Möglichkeiten.

Demonstration Schlosskeller

Da ich eine Praxis Demonstration für sinnvoll erachte, um das Potential des Tools im praktischen Umfeld genauer untersuchen zu können, habe ich mich dafür entschieden, eine kurze Demonstration im Humboldt Forum zu erstellen. Diese konnte, wie zuvor beschrieben, aus rechtlichen und organisatorischen Gründen nur intern getestet werden. Mein Ziel war es daher, die drei wichtigsten Pfeiler meiner Thesis in der Praxis anzuwenden und von den Museumsexperten Feedback zu erhalten.

Erster Test

Mit dem ersten Test sollte die Praxis Implementierung des Tools starten. Er beinhaltete einen kurzen Prototyp, der eine Reihe von möglichen Interaktionskonzepten vorstellte und die Ideen der Mitarbeiter anregen sollte. Ich hoffte so zusätzliche Materialien zu erhalten und Möglichkeiten für die öffentliche Präsentation abzustecken. Die

Demonstration erfolgte vor sieben Museumsmitarbeitern und ich bekam diverses persönliches Feedback während und nach der Demo. Ich zeigte ihnen das Tool im Praxiseinsatz anhand von einer Szene des Schlosskellers. Ich zeigte unter anderem erste Storys, ein Konzept für eine 3D Map, sowie Artefakt Erweiterungen. Details finden sich in Kapitel Erster Prototyp. Parallel begleitete ich die Demonstration mit einem Vortrag über die Möglichkeiten einer AR-Ausstellungserweiterung und ging auf diverse Fragen zur Anwendbarkeit, Limitierungen und Vorteile dessen ein.

Interessant bei dem Feedback war vor allem der Unterschied zwischen den einzelnen Abteilungen. So teilten mir z.B. die Historiker mit, dass sie die Storys als schwierig erachten, da viele Details nur wage Vermutungen seien und nicht genau eingeschätzt werden könnte, wie man diese historisch akkurat darstellen müsste. Mitarbeiter aus dem Digitalisierungsbereich teilten mir wiederum mit, dass sie darin eine tolle Möglichkeit sehen, interaktive Ausstellungen zu gestalten. Sie waren fasziniert von den Möglichkeiten der Darstellung von Informationen und potenziellen Wegeführungen mit AR durch das Museum. Mehrfach erwähnt von verschiedenen Mitarbeitern wurde zudem der Vorteil, der adaptiven Anwendbarkeit von AR, um existierende Ausstellungen interaktiv zu erweitern. Ich nahm mir vor, für meine Finale Testung, eine Frage zur Rolle im Museum einzubauen, um mehr über die Zusammenhänge zwischen den Antworten und der Rolle des Mitarbeiters herauszufinden.

Finaler Test

Setup und Demonstration

Wie in der Produktion beschrieben, kam ich einen Monat nach meiner ersten Präsentation erneut zum Testen in das Humboldt Forum. Dieser Finale Usertest sollte den Fortschritt meiner Arbeit demonstrieren und ein abschließendes Usertesting der Museumsexperten darstellen. Der Plan für diesen Test basierte auf den Erfahrungen mit dem ersten Prototypen und der Annahme, der erneuten Präsentation vor dem gesamten Team. Hierfür stellte ich während einer Vorbesprechung der Kuratorin des Hauses mitdem Kurator & Historiker der Abteilung “Geschichte des Ortes” und der Rechtsabteilung, meine Konzepte für das Testing vor. Wir besprachen zudem die Möglichkeiten für eine gesamte Umsetzung der Ausstellungserweiterung. Die Resonanz war sehr positiv. Ich erfuhr am Ende des Meetings, dass ich nicht erneut vor dem Ganzen

Team präsentieren, sondern die finale Präsentation nur vor den beiden Kuratoren stattfinden soll.

In den folgenden drei Tagen änderte ich daher meinen Fragebogen ab und setzte meine drei Konzepte der Rekonstruktion, Storytelling und Kontextualisierung im Schlosskeller um. Details zu den finalen Prototypen findet man in dem zugehörigen Kapitel.

Am Präsentationstag stellte sich heraus, dass es zu weiteren Missverständnissen kam. Der Schlosskeller war nämlich aufgrund von Wartungsarbeiten geschlossen. Man hatte vergessen mich während der Vorbesprechung hierüber zu informieren. Auch mein Versuch vor Ort mit dem Sicherheitsdienst, gemeinsam mit den Kuratoren, in den Schlosskeller gehen zu können, scheiterte. Die Kuratorin teilte mir final mit, dass die Anmeldung hierfür zu Aufwendig sei und sie es bevorzugt, wenn ich die App nur am Laptop demonstriere. Als Notlösung musste ich daher die App innerhalb des Simulationsmodus auf meinem Laptop vorführen.

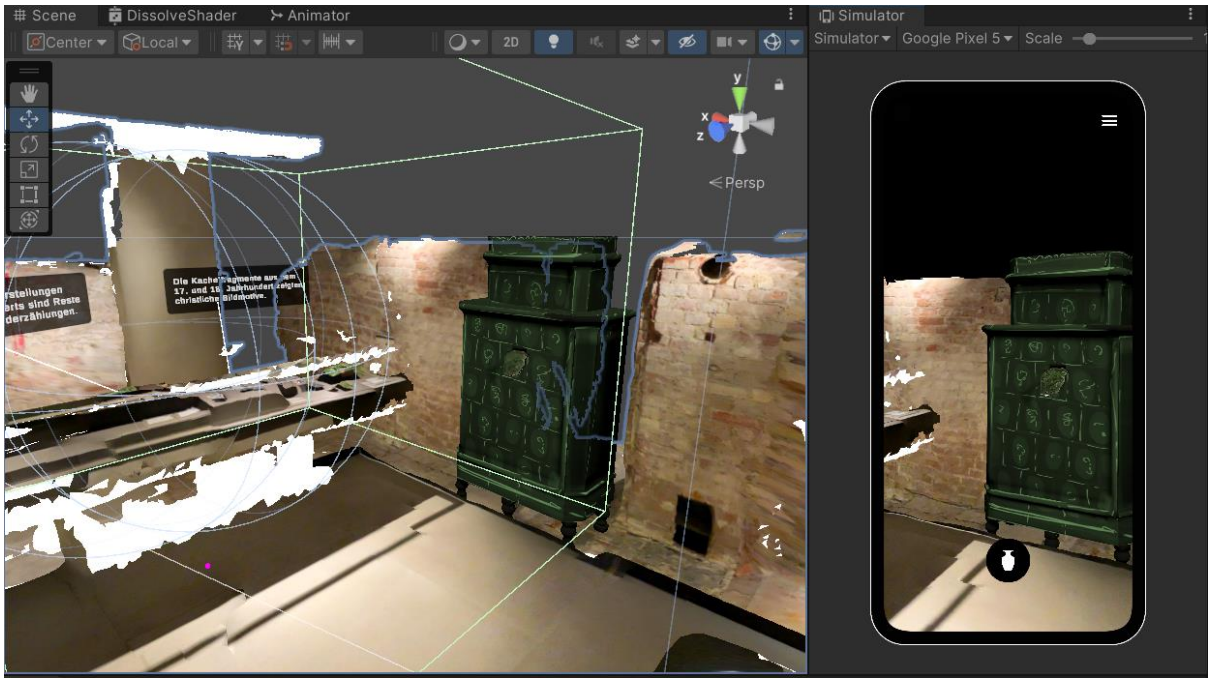


Abbildung 68 Simulationsmodus zum Testen der App innerhalb von Unity

Die Resonanz auf den Prototypen war jedoch erneut sehr gut und es entstand ein angeregtes Gespräch über das Potenzial der demonstrierten AR-Erweiterungskonzepte. Zu meiner Freude kam sogar ein neues Konzept in Bezug auf die Story des Geflügelkellers auf. Wie beim ersten Prototypen erwähnt, hatte der Historiker kritisiert, dass die

Darstellung abstrakt bleiben müsse, da viele historische Fakten unklar seien. Er erwähnte daher, dass man gar nicht genau sagen könne, wie die Hühner damals ausgesehen haben. Ich griff diesen Gedanken auf und es ergab sich eine weitere mögliche Interaktion für den Geflügelkeller. Hierfür könnte das Museum, mit einem call-to-action, gemeinsam mit den Besuchern darüber diskutieren und ergründen, wie wohl ein Huhn damals ausgesehen hätte. Ich finde dieses spontane Konzept zeigt gut auf, welches Potential AR bietet, wenn Mitarbeiter ihre Stärken und ihr Wissen einbringen. Hieraus können spannende und kreative Ansätze des Storytellings entstehen. Zum Abschluss bat ich beide Kuratoren innerhalb von einer Woche meinen zur Verfügung gestellten Fragebogen auszufüllen.

Auswertung Fragebogen:

Da es sich um einen qualitativen Fragebogen gehandelt hat, habe ich vor allem Wert auf Langtextantworten gelegt. Ich hatte die Hoffnung somit trotz der begrenzte Tester Anzahl von zwei Mitarbeitern, einige Daten zur Praxisanwendung des Tools zu erhalten. Leider habe ich bis zum aktuellen Zeitpunkt jedoch nur eine Antwort des Fragebogens erhalten. Zusätzlich wurde fast die Hälfte dieser Langtextfragen nur mit Ja oder Nein beantwortet, da unglückliche Formulierungen der Fragen meinerseits dies zuließen. Die Auswertung der Museums Experten besitzt daher keine empirische Relevanz. Ich versuche dennoch auf einige der Antworten einzugehen, da diese mit im Laufe der Produktion geführten Gesprächen übereinstimmen.

Auf die Frage des gesamten Eindrucks bekam ich die Antwort, dass die Demo sehr überzeugend war. Die umgesetzten Usecase empfand die Kuratorin als einfach für die User zu verstehen und diese haben ihrer Aussagen nach “gleichzeitig verschiedene Erlebnisse ermöglicht und verschiedene Userwünsche erfüllt (spielerische "Belebung" eines Ortes durch die animierten Zeichnungen, immersives Erlebnis durch die Rekonstruktion des Gewölbes, vertiefende Inhalte am Objekt)”. Dies deckt sich mit der Reaktion und den Gesprächen während der Demonstration.

Besonders beeindruckend empfand sie die Rekonstruktion des Gewölbes und die sich aus dem Gespräch ergebenen Ansätze zur inklusiven Gestaltung (Kontrast, Textdarstellung & co.). Die Frage, ob etwas störend oder irritierend auffiel, wurde verneint. Die Rekonstruktion insgesamt bewertete sie mit 5 von 5 Punkten als sehr gut. Auf die Frage, ob die Darstellung Ihr Verständnis der ursprünglichen Architektur

beeinflusst hat, antwortete sie, “Ja. So wird die damalige Architektur "greifbarer", auch die physische Wirkung eines solchen Architekturelements. Es ist atmosphärisch stark.” Und auch auf die Frage zur Anwendung von Rekonstruktionen in anderen Bereichen des Museums wählte sie: “Ja, einige historische Elemente profitieren von einer solchen Rekonstruktion durchaus.”

Das Storytelling empfand sie als bedingt greifbar, einige Elemente haben für sie nicht funktioniert. Auf die Fragen zum Verständnis und dem Potential antwortete sie jeweils nur mit “ja”.

Bei der Szene der Kontextualisierung wählte sie in Bezug auf das Verständnis: “Ja, ich habe ein besseres Verständnis über die Kacheln und die Öfen erhalten.” Zudem gab sie an, dass sie sich eine solche Ergänzung für andere Objekte wünschen würde.

Allgemein gab sie an, dass sie sich vorstellen könnte AR dauerhaft in diese Ausstellung zu integrieren. “Die Verwendung der drei Use Cases würden hier Abwechslung bieten. Wir würden uns an diesen Use Cases und an die Verortung (nah beieinander) bei der Wahl der Objekte orientieren.” Die Chancen von AR im Museum sieht sie bei der Immersion, wenn die AR gut für Smartphones entwickelt sei und dies fördere, dass Besucher Objekte näher betrachten würde. Die Herausforderung sieht sie in ihrem aktuellen Fokus auf Web-Technologien, da sie findet, dass diese einfacher kombinierbar und zu betreiben seien. Sie erwähnte zudem das sie Feature von verschiedensten Entwicklern nutzen und daher ihr eine Crossplattform Anwendung sehr wichtig sei. Verbesserungsvorschläge meint sie, seien noch nicht erkennbar und würden sich erst nach einer konkreten und längeren Nutzung ergeben.

Viele der gegebenen Antworten decken sich mit dem, was sich in unseren gemeinsamen Gesprächen im Laufe der Kooperation und am Demonstrationstag ergeben hat. Grundsätzlich sehen sie großes Potential und es ist ersichtlich, dass die Kooperation Gedanken zur möglichen Nutzung von AR-Erweiterungen angestoßen hat. Aufgrund ihres Web basierten Medien Guides setzen sie jedoch auf die Möglichkeit von WebAR und fürchten, dass eine dedizierte App Probleme und fehlende Besucher Akzeptanz mit sich bringen könnte. Gerne würde ich das Ganze erneut mit dem gesamten Team testen und am besten für Museumsbesucher zugänglich machen, um genaueres über diese Aspekte zu erfahren.

Bias

Für das Usertesting an der h_da bestehen die möglichen Vorurteile aus zweierlei. Einerseits habe ich für das Experten Testing mit einer Person einen Vortest durchgeführt und im Anschluss eine Reihe von Text Erklärungen hinzugefügt. Diese haben zum besseren Verständnis der Building Blocks geführt. Zusätzlich wurden nur Personen getestet, die selbst Angaben Unity bereits benutzt zu haben, um den korrekten Ablauf des Testes zu gewährleisten. Zweitens habe ich meine Anwendung in der Universität ausgestellt und dies wurde von den Professoren auch verbreitet. Von daher ist davon auszugehen, dass alle anwesenden Personen interessiert waren und ggf. eine gewisse Offenheit gegenüber Medien Erweiterungen herrschte.

In Bezug auf das Testing im Museum habe ich über mehrere Monate mit dem Museum zusammengearbeitet und in einer Reihe von Meetings eingegrenzt, welche Ausstellungserweiterungen sie ggf. bevorzugen. Es ist daher davon auszugehen, dass das Museum offen gegenüber dieser Form der AR-Anwendung im Museum ist. Der Prototyp wurde dennoch auf einen durchschnittlichen Museumsbesucher abgestimmt. Die größte Einschränkung ist jedoch die geringe Tester Anzahl. Gerade bei der finalen Demonstration kann durch die zwei Testpersonen, trotz ihrer Position im Museum, nur von Indikatoren gesprochen werden.

In beiden Fällen wurde jedoch der Fokus auf dem optimalen Einsatz des Tools gelegt. Dieser stützt sich auf meine Recherche, mein Konzept und mein persönliches Testen im Laufe der Produktion.

Diskussion

Erkenntnisse

Aus meiner Thesis gingen eine Reihe von Erkenntnissen hervor. Zur besseren Übersicht Liste ich diese im folgenden Auf:

- Die Recherche sieht ebenfalls ein Problem in der Erstellung von AR-Inhalten, besonders im Hinblick auf Storytelling-Erfahrungen.
- Existierende Tools sind überwiegend Plattform bezogen oder konzentrieren sich auf die Erstellung von allgemeinen AR-Erfahrungen.
- Vuforia bietet zuverlässiges Tracking für ortsgebundene Erfahrungen.
- Mein Tool hat mit dem User Testing angezeigt, dass es für ARS funktioniert.
- Begeisterung von befragten Testern, sowie Museums-Experten und Angestellten für die Anwendung eines ARSTT im Museum.
- Inklusionsaspekte lassen sich mit dem Tool anwenden und integrieren.
- Realprojekte mit Kunden bringen unerwartete Bedingungen mit sich, welche die Praxis Anwendung erschweren.
- Die Anwendbarkeit des Tools hängt von den Inhalten, bzw. der jeweiligen Ausstellung ab.
- Testpersonen erkennen Potential in der Praxis Anwendung, auch für andere Bereiche außerhalb des Museums.
- Die praktische Anwendbarkeit des Tools scheitert nicht von technischer Seite, sondern durch reale Umstände der Praxis

Auf einige dieser Aspekte möchte ich in den folgenden Kapiteln genauer eingehen.

Praxis Anwendung des Tools

Wie zuvor festgehalten gingen einige Erkenntnisse aus meiner Thesis hervor. Für die Anwendung in der Praxis ist zunächst positiv zu erwähnen, dass meine Herangehensweise und Entscheidung für die technische Umsetzung des Tools ihren Zweck erfüllten. Vuforia lieferte zuverlässiges Tracking für die einzelnen Szenen. Der Erstellungsprozess war zudem im laufenden Museumsbetrieb möglich und konnte parallel zu aktiven Führungen umgesetzt werden. Auch die Produktionen vor Ort zeigten, dass in wenigen Tagen mit Hilfe des Tools konkrete Ausstellungserweiterungen umzusetzen gingen. Vor Allem da unerwarteterweise ein Großteil der Inhalte hierfür zunächst erstellt werden musste. Die ausgewählte Ausstellung erwies sich zudem als

fruchtbare Quelle für Konzepte und Anwendungsbereiche des Tools. Vor Allem die abwechslungsreichen Ausstellungsstücke und verschiedenen Arten von Inhalten boten viele kreative Ansätze für die Umsetzung der Storys. Meine Gespräche mit den Kuratoren und anderen Museumsmitarbeitern bestätigten zudem das Potential des Tools. Mir begegneten hier alle mit großem Interesse und bereits nach kurzen Gesprächen begannen die Personen bereits eigene Anwendungsfälle oder Erweiterungen der Konzepte vorzuschlagen.

Die Anwendung meines Tools in der Praxis war jedoch auch durch Hindernisse der Real Produktion geprägt. Das Humboldtforum brachte mir viel Begeisterung und Interesse für meine Ideen entgegen und die Kuratorin versuchte mich kontinuierlich bei meinem Erstellungsprozess zu unterstützen. Jedoch gab es einige unvorhergesehene Einschränkungen, wie die inkompatiblen Museums Smartphones und die mehrfache Schließung der Ausstellung. Diese Einschränkungen und weitere organisatorische Aspekte führten zunehmend dazu, dass ich mich auf die Produktion von Inhalten konzentrieren musste und nur begrenzte Zeit in die tatsächliche Weiterentwicklung des Tools investiert habe. Die Einschränkungen der Praxis Produktion betstanden daher aus strukturellen und organisatorischen Problemen, welche der reale Produktionsalltag mit sich bringt.

Einige Bereiche des Tools bekamen aufgrund der Kooperation zudem wechselnde, bzw. bedingte Aufmerksamkeit. Gerade der Aspekt der Inklusion durch AR nahm zunächst einen großen Fokus in meiner Arbeit ein. Leider musste ich ihn aus organisatorischen Gründen zunehmend zurückfahren. Zum einen, da ich einen großen Fokus auf eine Ausstellung als Demonstration gelegt habe, welche jedoch nur schwer öffentlich auf Inklusionsaspekte zu testen wäre. Zum anderen, weil ich mein Ziel des Tools nicht aus dem Fokus verlieren wollte und nicht die Erstellung von Museums Inhalten und Inklusionsspezifischen Inhalten gleichzeitig bewerkstelligen konnte. Leider konnte ich es mit dem Humboldt Forum zudem nicht organisiert bekommen, eine kurze Ausstellung für Besucher öffentlich zugänglich zu machen. Dies lag wie zuvor erwähnt, an den inkompatiblen Leihgeräten, da mir die Rechtsabteilung mitteilte, dass eine Herausgabe der App für private Geräte, mit einer Veröffentlichung gleichzusetzen sei und daher nicht im Rahmen der Thesis möglich wäre. Die Leihgeräte erfüllten die API-Anforderungen, jedoch startete die App nicht korrekt. Ich konnte in einigen Foren erfahren, dass dies möglicherweise an dem Chipset der Geräte liegen könnte. Ich würde dies darauf

zurückführen, dass es sich nicht um kommerzielle Geräte, sondern um Industrie/Museums spezifische handelt.

Meine Demonstrationen konnten trotzdem aufzeigen welches Potential sich in der praktischen Anwendung des Tools verbirgt. Die volle Umsetzung einer öffentlich zugänglichen AR Story Erweiterung scheiterte daher an den Bedingungen der Praxis und nicht an der Entwicklung des Tools.

Technische Umsetzung und Einschränkungen

Auch das Tool unterliegt einigen Einschränkungen. Diese sind vor allem durch die Nutzung von Vuforia und Unity bedingt. Wie mein User Testing mit den Entwicklern angedeutet hat, ist eine große Einschränkung Unitys User Interface. Ich habe am Ende meiner Entwicklung jedoch herausgefunden, dass Unity mit ihrem UI-Toolkit dies versucht zu verbessern. Wie in Abbildung 69 zu sehen, bietet dieses die Möglichkeit, die Interaktion mit Skripten massiv zu verändern. Mein Ziel der vereinfachten Bedienung und der Drag and Drop Implementierung wäre hiermit deutlich zu verbessern. Dennoch bräuchten viele Aspekte (Bsp. Timeline) umfassende Veränderungen, um eine optimale Interaktion zu gewährleisten. Darüber hinaus ist das Tool derzeit durch Vuforia eingeschränkt. Zwar erlaubt es eine komplexe ortsgebundene AR-Anwendungen zu erstellen, jedoch ist Vuforia an ein Lizenzierungsmodell geknüpft. Dies schränkt die kommerzielle Anwendung ein und erzeugt eine gewisse Abhängigkeit. Zudem sind die Scans durch Vuforia begrenzt. Zwar unterstützen sie einen Scan von bis zu 30.000 m2, diese benötigen jedoch extra Scanner und ich konnte diese weder auf Funktion, noch auf Performance testen. Zudem ermöglichen Vuforias Area Targets zwar das Testen innerhalb einer Simulationsumgebung, jedoch bleibt es unabdingbar, eine ortsbezogene App auch vor Ort zu testen. Das bringt uns zum nächsten großen Thema, die App. Eine App bietet eine Vielzahl von Vorteilen, jedoch bleibt es immer auch eine gewisse Einschränkung. Apple verkompliziert die App Entwicklung weiterhin und bei Android Anwendungen kann das App Erlebnis stark durch das Benutzergerät variieren. Zusammengefasst bleibt die praktische Umsetzung des Tools abhängig von Unitys UI, Vuforia als ortsgebundene AR-Anwendung und dem Format der APP.

Für die Verbesserung der Building Blocks würde ich mich auf folgende Anpassungen konzentrieren:

- Story: Bei Weiterentwicklung der *Story Timeline* würde ich mehr Custom Tracks hinzufügen. Eine Integration meiner *Story Events* könnte hier noch leichtere Bedienbarkeit für interaktive Storys schaffen. Im Idealfall sollte die Umsetzung von "normalen" Storys nur mit der Timeline möglich sein.

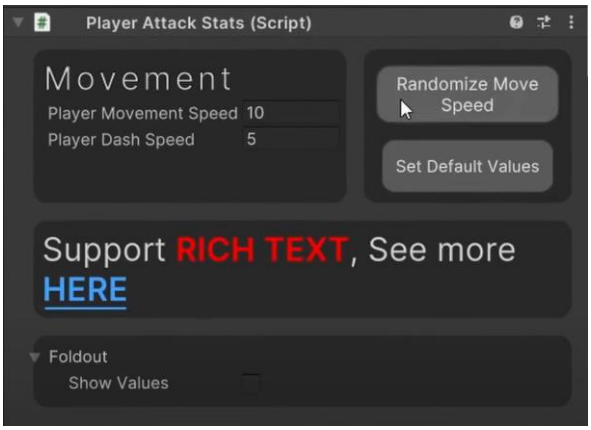


Abbildung 69 Unity UI Toolkit Beispiel zur Überarbeitung von Variablen eines Scripts

- Subtitles: Für die Verbesserung der Untertitel würde ich die Möglichkeit für standardisierte Untertitelformate zur automatischen Erstellung von Untertiteln hinzufügen wollen. Dies könnte den Erstellungsprozess vereinfachen und trotzdem Entwicklern erlauben, z.B. den Umbruch nach einer bestimmten Anzahl nach Wörtern, selbst zu bestimmen. Zum anderen würde ich einen weiteren *Custom track* für das *Event System* erstellen, welches auch das direkte Auslösen von Funktionen aus der Timeline heraus erlaubt.

- Info Text/Bild: Zum Austauschen der Bilder oder des Textes müssen Entwickler zurzeit zwei *Child Objekts* öffnen, um zu den jeweiligen Komponenten zu gelangen. Ich habe daran gearbeitet dies zu erleichtern, allerdings bräuchte dies, wie in der Einleitung dieses Kapitels beschrieben, eine komplett überarbeitete UI. Mit Hilfe des UI-Toolkit könnte es jedoch möglich werden auf dem Building Block ein Script einzurichten, mit dem die Entwickler per "Drag and Drop" das gewünschte Bild austauschen können. Für Texte könnte es ein verknüpftes Textfeld geben, welches automatisch den gewünschten Text in den *Child Objekten* ersetzt.

Die Inhalte innerhalb des Tools sind vor allem von der technischen Umsetzung, bzw. der Leistung des Endgerätes abhängig. Grundsätzlich bietet eine App, wie mit den Demos aufgezeigt, die Möglichkeit komplexe AR-Experimentes zu verwirklichen. Dennoch sollten die Szenen kompakt gehalten werden. Hier gelten ähnliche Einschränkungen, wie in der VR-Entwicklung. Es sollten grundsätzlich 3D Modelle unter 10.000 Polygonen verwendet werden, idealerweise sollte ein Mix aus *low poly* und diesen 10.000 Polygonen Modellen verwendet werden, sodass nur für highlight und sehr nah betrachtete Modelle extra Details genutzt werden. Darüber hinaus sollten anspruchsvolle Schader sowie Partikel Effekte vermieden werden, da diese zu Performance Problemen führen können. Ein mögliches Mittel, um diese Einschränkungen zu einem Vorteil zu gestalten, ist die Abstraktion. In dem wir z.B. 2D Charaktere oder Hintergrund Elemente verwenden, können wir die Fantasie der Nutzer anregen ohne hohen technischen Anspruch und gezielt komplexe Modelle einsetzen, wo sie den meisten Nutzen haben. Zudem sollten komplexe Simulationen wie Wasser oder Stoffe vermieden werden. Durch cleveres Optimieren können jedoch auch große komplexe AR-Storys umgesetzt werden.

Konklusion

ARSTT zur Transformation der Museums AR Erfahrung

Ich habe mir im Zuge dieser Thesis angeschaut welches Potential in AR-Storytelling liegt und ein Tool entwickelt, um solche Inhalte schneller und “vereinfacht” zu erstellen. Meine Recherche hat mich darin bestärkt, dass AR in Kombination mit Storytelling eine effektive Möglichkeit darstellt, um Wissen zu vermitteln. Besonders der immersive und interaktive Aspekt bietet viel Potential, sowohl für den Museumsbereich, als auch für andere Bereiche. Die Kooperation mit dem Humboldt Forum hat mir zudem gezeigt, welchen Verwaltungsaufwand die Entwicklung einer solchen Ausstellungserweiterung in der Praxis mit sich bringt. Ich sehe mich daher darin bestärkt das spezifischere und bessere Tools zur Entwicklung notwendig sind, um die Anwendbarkeit in der Praxis zu gewährleisten. Mit meinem Tool konnte ich den Grundstein für ein solches Tool legen und mit meinem Usertest aufzeigen, dass Entwickler in der Lage waren, in unter einer Stunde, eine erste Anwendung zu erstellen. Die größten Hindernisse für Entwickler bleiben die Inhalte. Gerade wenn Institutionen nicht auf existierende Texte und Inhalte zurückgreifen können, fordert die Produktion dieser viel Zeit. Wenn jedoch bereits unerwartete Inhalte vorliegen, bietet das Tool einen schnellen Workflow, um diese räumlich darzustellen und reale Inhalte mit diesen zu erweitern. Besonders die Aspekte der Rekonstruktion und der Kontextualisierung bieten hierbei großen Mehrwert. Dies bestätigten die Museumsexperten im Laufe meiner Produktion.

Die Frage meiner Thesis zur Rolle von AR, zur Transformation der Museums Erfahrung, sehe ich wie folgt beantwortet. Durch den steigenden Druck der Digitalisierung auf Museen, steigt auch die Notwendigkeit für effektive Schnittstellen, um diesen Bedürfnissen nachkommen zu können. Die Recherche bestätigte, dass darin verschiedene Studien eines der größten Hindernisse, durch den Erstellungsprozess von AR-Inhalten, sahen. Hierfür konnte ich mit Hilfe meines AR-Storytelling Tools aufzeigen, wie eine effektive Schnittstelle zwischen Entwicklern und Klienten gestaltet werden könnte. Die Begeisterung zur Anwendung meines Tools von Seiten des Humboldt Forums ermutigte mich, genauer zu erforschen, wie dieser Transformationsprozess aussehen könnte. Hierfür habe ich mit meinem Entwickler Experten Test aufzeigen können, dass mit Hilfe meines Tools alle Tester in unter 45 min eine voll funktions- und präsentationsfähige eigene AR Story erstellen konnten. Dies schloss das Anlernen des Tools mit ein. Ich sehe damit mein Tool von Entwicklerseite bestätigt. Das Ziel das Tool in die Praxis umzusetzen, ist trotz großer Begeisterung des Humboldt Forums jedoch

gescheitert. Nicht aufgrund des Tools, sondern aufgrund der Bedingungen die in der Praxis herrschen. Reale Begebenheiten wie unerwartete Defekte, mit Schließung der Ausstellung und kommunikative Fehler, mit Wartungsarbeiten, haben dazu geführt, dass ich das Tool nicht im geplanten Umfang in der Praxis demonstrieren konnte. Die Transformation bleibt daher vorerst aus. Das Tool steht bereit, doch das Museum konnte es nicht im überschaubaren Rahmen in seine Prozesse integrieren.

Zukunft und weitere Arbeit

Um mein ARSTT für Museen in die Praxis umzusetzen, bedarf es eher prozesskritische Arbeit in der Praxis der Museen. Hier sind andere wissenschaftliche Arbeiten erforderlich. Basierend auf meiner Praxiserfahrung mit dem Humboldt Forum, welches bereits viel unternimmt, um Digitalisierung im Museumsbereich in die Praxis umzusetzen, scheinen die Hürden in der Praxis nicht von der Entwicklerseite auszugehen. Die Lösung von Problemen wie Zeit, Raum, Rechte und Umsetzung innerhalb bestehender Strukturen, könnten daher notwendiger Bestandteil einer zukünftigen Arbeit sein, um mein Tool in der Praxis anwenden zu können.

Bezüglich meines Tools würde ich in einer zukünftigen Arbeit die fehlenden Aspekte meines Konzeptes umsetzen. Vor allem den Aspekt der Inklusion, mit AR als Ermöglicher, würde ich genauer untersuchen. Ich sehe großes Potential in der Wahrnehmungsveränderung zu Gunsten der Überwindung von Einschränkungen. Hierfür würde ich mich mit Inklusionsexperten beraten, welche Aspekte zu berücksichtigen sind und anschließend gemeinsam mit Betroffenen Personen einen Prototypen für eine solche Anwendung erarbeiten. Final sollte das Ganze mit Betroffenen und einer Kontrollgruppe evaluiert werden. Interessant könnte hierbei sowohl der Inklusionsaspekt für Nutzer, sowie die inklusive Gestaltung für Entwickler sein.

Darüber hinaus würde ich meinen Fokus für die Weiterentwicklung des Tools vor allem auf den Community Aspekt stützen. Wie im Konzept beschrieben bietet dieser eine Reihe von Vorteilen und könnte zudem das Tool mithilfe von weiteren Entwicklern zu einer effektiven Schnittstelle auch außerhalb des Museums führen. Eine wachsende Bibliothek aus Buildingbocks könnte zudem dazu beitragen hoch spezialisierte Inhalte noch schneller zu erstellen und leichter in die komplexen Strukturen der Praxisanwendung zu integrieren.

Bezüglich der technischen Umsetzung des Tools würde ich mich eingehend mit Unitys UI Toolkit auseinandersetzen. Ich sehe hiermit das Potential mein Tool so zu überarbeiten, dass auch Nichtentwickler nach einer Einführungsstunde in der Lage wären, eigene ARS zu erstellen. Dies könnte meiner Meinung nach eine der größten Bereicherungen für den Community Aspekt und eine Vielzahl von Usecases sein. Viele Bereiche scheinen gerade durch die Instandhaltung AR-Erfahrungen stark beeinträchtigt, daher könnte ein Tool für alle dazu beitragen, dass die ARSTT Apps in der Praxis Anwendung finden. Zudem könnten diese langfristig besser gepflegt und erweitert werden.

Ressourcen

Plugins und externe Materialien

1. Vuforia (Vuforia 2025a)
2. Unity (Unity 2025b)
3. Unity Assets
    a. UI Pack (Michsky 2024)

    b. (Kevin Iglesias 2024)

4. Sketchfab Assets

    a. Showcase h_da

        i. https://sketchfab.com/3d-models/nintendo-f25a2c468a564fdeabf99d054cc18d0d

        ii. https://sketchfab.com/3d-models/mario-luigi-brothership-toad-ad18ce70cfaa4f9e8395c1233c4ec557

        iii. https://sketchfab.com/3d-models/mario-luigi-brothership-mario-300d172d4ba64f77a612da39bba0c414#download

        iv. https://sketchfab.com/3d-models/playstation-1-96bed8283f2940d7bb4b1866ab0637a2

        v. https://sketchfab.com/3d-models/final-fantasy-7-chibi-0153dadf5b844addb43444e80e943d7e

        vi. https://sketchfab.com/3d-models/nes-controller-wcg-5262bfa778d548549c7edac75ea14d09#download

        vii. https://sketchfab.com/3d-models/the-nes-694d040ab137441d9721f64f290123f1

        viii. https://sketchfab.com/3d-models/mystery-block-super-mario-odyssey-8203a531490a47ddae08617740e4674c

        ix. https://sketchfab.com/3d-models/mario-brick-block-a104c8ee588d4670ba5cd621bddb94c8

x. https://sketchfab.com/3d-models/controller-7c103c6af12c4306bb859a5bdee4178e

xi. https://superlgcsm.best/product_tag/57268312_.html

b. Humboldt Forum Demo

i. https://sketchfab.com/3d-models/gothic-church-ceiling-53ca14ca9cc245bdab31556656e0aab5#download

ii. https://sketchfab.com/3d-models/victorian-heater-dfe91b5a203c466f985ffa43fff9ec1f#download

5. Flaticon für Icons und UI (Flaticon 2025)

6. Mixamo für animaionen (Adobe 2024)

7. Canva für Moodboards und Konzepte (Canva 2025)

Einsatz von Künstlicher Intelligenz

Für das Erstellen von Inhalten kam an wenigen Stellen KI zum Einsatz. Dies geschah aus zeitlichen Gründen da mein Fokus auf der Produktion des Tools und nicht den Inhalten lag. Alle betreffenden Bereiche sind ausdrücklich gekennzeichnet.

- ChatGPT für die erste Stufe von Dialogen, von Hand überarbeitet. (Open AI 2025)
- ElevenLabs für die Vertonung von Audio (ElevenLabs 2025)

Literaturverzeichnis

8th Wall (2025a): Scanning Locations | 8th Wall. Online verfügbar unter https://www.8thwall.com/docs/guides/lightship-vps/scanning/, zuletzt aktualisiert am 19.03.2025, zuletzt geprüft am 20.03.2025.

8th Wall (2025b): Location AR. Online verfügbar unter https://www.8thwall.com/products/location-ar, zuletzt aktualisiert am 20.03.2025, zuletzt geprüft am 20.03.2025.

8th Wall (2025c): Powering the world's WebAR. Online verfügbar unter https://www.8thwall.com/, zuletzt aktualisiert am 20.03.2025, zuletzt geprüft am 20.03.2025.

Adobe (2024): Mixamo. Online verfügbar unter https://www.mixamo.com/, zuletzt aktualisiert am 21.10.2024, zuletzt geprüft am 21.03.2025.

Azuma, R. T. (1997): A Survey of Augmented Reality.

Barion, Michael (2019): 3DOF & 6DOF: Definition und einfache Erklärung - World of VR. Online verfügbar unter https://worldofvr.de/3dof-6dof/, zuletzt aktualisiert am 01.10.2020, zuletzt geprüft am 23.03.2025.

berlin.de (2024): Humboldt Forum. Online verfügbar unter https://www.berlin.de/museum/5661717-2926344-humboldt-forum.html, zuletzt aktualisiert am 01.08.2024, zuletzt geprüft am 03.03.2025.

berlin.de (2025): Top 20 - Die meistbesuchten Museen Berlins. Online verfügbar unter https://www.berlin.de/museum/top-20/, zuletzt aktualisiert am 20.03.2025, zuletzt geprüft am 03.03.2025.

Blake E. Reid (2022): The Curb-Cut Effect and the Perils of Accessibility without Disability.

Boboc, Răzvan Gabriel; Băutu, Elena; Gîrbacia, Florin; Popovici, Norina; Popovici, Dorin-Mircea (2022): Augmented Reality in Cultural Heritage: An Overview of the Last Decade of Applications. In: *Applied Sciences* 12 (19), S. 9859. DOI: 10.3390/app12199859.

Bosch Media Service (2025): Augmented Reality-Anwendungen eröffnen neue Arbeitsmethoden für die moderne und vernetzte Werkstatt. Online verfügbar unter https://www.bosch-presse.de/pressportal/de/de/augmented-reality-anwendungen-eroeffnen-neue-arbeitsmethoden-fuer-die-moderne-und-vernetzte-werkstatt-112512.html, zuletzt aktualisiert am 19.03.2025, zuletzt geprüft am 20.03.2025.

Canva (2025): Canva. Online verfügbar unter https://www.canva.com/, zuletzt aktualisiert am 21.03.2025, zuletzt geprüft am 21.03.2025.

ElevenLabs (2025): Free Text to Speech & AI Voice Generator | ElevenLabs, zuletzt aktualisiert am 21.03.2025, zuletzt geprüft am 21.03.2025.

Erik Schilp; TED (2015): Re-thinking museums – We are all curators | TEDxLeiden. Online verfügbar unter https://www.youtube.com/watch?v=kHAKYODbkNE&list=PLZymAtR-UdEIkTgpjm6Qy6pdXm3gRAFWJ&index=12, zuletzt aktualisiert am 20.03.2025, zuletzt geprüft am 20.03.2025.

Flaticon (2025): Free Icons and Stickers - Millions of resources to download. Online verfügbar unter https://www.flaticon.com/, zuletzt aktualisiert am 21.03.2025, zuletzt geprüft am 21.03.2025.

Game Dev Guide (2025): Using Custom Playables to make a Subtitle Track in Timeline. Online verfügbar unter https://www.youtube.com/watch?v=12bfRIvqLW4, zuletzt aktualisiert am 21.03.2025, zuletzt geprüft am 21.03.2025.

Guardians of Naxos (2024). Online verfügbar unter https://www.guardiansofnaxos.gr/en/, zuletzt aktualisiert am 20.03.2025, zuletzt geprüft am 20.03.2025.

Humboldt Forum (2024a): Ein besonderer Ort (Erdgeschoss) – Humboldt Forum Medienguide. Online verfügbar unter https://guide.humboldtforum.org/de/explore/tours/1, zuletzt aktualisiert am 15.05.2024, zuletzt geprüft am 20.03.2025.

Humboldt Forum (2024b): Humboldt Forum Medienguide. Online verfügbar unter https://guide.humboldtforum.org/de/, zuletzt aktualisiert am 15.05.2024, zuletzt geprüft am 20.03.2025.

Humboldt Forum (2025a): Medienguide | Humboldt Forum. Online verfügbar unter https://www.humboldtforum.org/de/programm/digitales-angebot/digital/medienguide-20688/, zuletzt aktualisiert am 20.03.2025, zuletzt geprüft am 20.03.2025.

Humboldt Forum (2025b): Geschichte des Ortes | Thema im Humboldt Forum. Online verfügbar unter https://www.humboldtforum.org/de/programm/feature/geschichte-des-ortes-31309/, zuletzt aktualisiert am 21.03.2025, zuletzt geprüft am 21.03.2025.

IKEA (2025): IKEA Place app – IKEA Global. Online verfügbar unter https://www.ikea.com/global/en/newsroom/innovation/ikea-launches-ikea-place-a-new-app-that-allows-people-to-virtually-place-furniture-in-their-home-170912/, zuletzt aktualisiert am 26.03.2025, zuletzt geprüft am 26.03.2025.

Jana Brehmer & Sebastian Becker (Fak. Biol. & Psych.) (2017): „Storytelling“. …die ursprünglichste Form der Wissensvermittlung.

Jansen, Jonas (2016): Warum Pokémon Go so erfolgreich ist. In: *Frankfurter Allgemeine Zeitung*, 07.11.2016. Online verfügbar unter https://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/netzwirtschaft/warum-pokemon-go-so-erfolgreich-ist-14335291.html, zuletzt geprüft am 20.03.2025.

Kevin Iglesias (2024): Basic Motions | 3D Animations | Unity Asset Store. Online verfügbar unter https://assetstore.unity.com/packages/3d/animations/basic-motions-157744, zuletzt aktualisiert am 21.03.2025, zuletzt geprüft am 21.03.2025.

Lens Studio by Meta (2025): Lens Studio. Online verfügbar unter https://ar.snap.com/lens-studio, zuletzt aktualisiert am 20.03.2025, zuletzt geprüft am 20.03.2025.

Meta; Redaktion, Retail-news (2024): Orion: Meta präsentiert "the most advanced glasses". In: *RETAIL-NEWS Deutschland*, 29.09.2024. Online verfügbar unter https://retail-news.de/meta-orion-ar-brille/, zuletzt geprüft am 26.03.2025.

Meta; Tricks Tips Fix (2025): Quest 3 Passthrough, zuletzt aktualisiert am 26.03.2025, zuletzt geprüft am 26.03.2025.

Meta Spark (2025): A Meta Spark Update. Online verfügbar unter https://spark.meta.com/blog/meta-spark-announcement, zuletzt aktualisiert am 20.03.2025, zuletzt geprüft am 20.03.2025.

Michsky (2024): Modern UI Pack | GUI Tools | Unity Asset Store. Online verfügbar unter https://assetstore.unity.com/packages/tools/gui/modern-ui-pack-201717, zuletzt aktualisiert am 21.03.2025, zuletzt geprüft am 21.03.2025.

Microsoft (2025): HoloLens 2 – Mixed Reality als Tool der modernen Arbeitswelt. Online verfügbar unter https://www.be-terna.com/de/insights/microsoft-hololens-2-mixed-reality-headset-designed-to-get-work-done, zuletzt aktualisiert am 26.03.2025, zuletzt geprüft am 26.03.2025.

Microsoft Design (2016): Inclusive 101 Guidebook.

Microsoft Design (2025): Microsoft Inclusive Design. Online verfügbar unter https://inclusive.microsoft.design/, zuletzt aktualisiert am 20.03.2025, zuletzt geprüft am 20.03.2025.

Naughty Dog (2020): The Last of Us Part II: Accessibility Features Detailed. Online verfügbar unter https://www.naughtydog.com/blog/the_last_of_us_part_ii_accessibility_features_detailed, zuletzt aktualisiert am 20.03.2025, zuletzt geprüft am 20.03.2025.

Open AI (2025): ChatGPT. Online verfügbar unter https://chatgpt.com/, zuletzt aktualisiert am 21.03.2025, zuletzt geprüft am 21.03.2025.

Smith, Korydon H.; Preiser, Wolfgang F. E. (2011): Universal design handbook. 2nd ed. New York: McGraw-Hill.

Staatliche Museen zu Berlin (2025): Staatliche Museen zu Berlin: Profil. Online verfügbar unter https://www.smb.museum/museen-einrichtungen/humboldt-forum/ueber-das-humboldt-forum/profil/, zuletzt aktualisiert am 19.03.2025, zuletzt geprüft am 20.03.2025.

Steve Saylor (2020): The Last Of Us Part II - MOST ACCESSIBLE GAME EVER! - Accessibility Impressions. Online verfügbar unter https://www.youtube.com/watch?v=PWJhxsZb81U, zuletzt aktualisiert am 20.03.2025, zuletzt geprüft am 20.03.2025.

stomachache; Freesound (2025): Freesound - Poorly Recorded Chickens by. Online verfügbar unter https://freesound.org/people/stomachache/sounds/521895/, zuletzt aktualisiert am 26.03.2025, zuletzt geprüft am 26.03.2025.

TED (2025): TED: Ideas change everything. Online verfügbar unter https://www.ted.com/, zuletzt aktualisiert am 23.03.2025, zuletzt geprüft am 23.03.2025.

This is GameDev (2025): ULTIMATE Event System for Unity Beginners. Online verfügbar unter https://www.youtube.com/watch?v=7_dyDmF0Ktw, zuletzt aktualisiert am 21.03.2025, zuletzt geprüft am 21.03.2025.

Thomas P. Campbell; TED (2013): Weaving narratives in museum galleries - TED-Ed. Online verfügbar unter https://www.youtube.com/watch?v=5QXeIqvQNHo, zuletzt aktualisiert am 21.03.2025, zuletzt geprüft am 21.03.2025.

Unity (2025a): AR Foundation. Online verfügbar unter https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.xr.arfoundation@6.0/manual/index.html, zuletzt aktualisiert am 19.03.2025, zuletzt geprüft am 20.03.2025.

Unity (2025b): Echtzeit-Entwicklungsplattform von Unity | 3D, 2D, VR- und AR-Engine. Online verfügbar unter https://unity.com/de, zuletzt aktualisiert am 21.03.2025, zuletzt geprüft am 21.03.2025.

Vuforia (2025a): Home | Engine Developer Portal. Online verfügbar unter https://developer.vuforia.com/home, zuletzt aktualisiert am 26.02.2025, zuletzt geprüft am 20.03.2025.

Vuforia (2025b): Scanning an Environment - Vuforia Engine Library. Online verfügbar unter https://developer.vuforia.com/library/vuforia-engine/environments/area-targets/scanning-an-environment/best-practices-scanning-environment/, zuletzt aktualisiert am 05.03.2025, zuletzt geprüft am 20.03.2025.

w3 (2021): XR Accessibility User Requirements. Online verfügbar unter https://www.w3.org/TR/xaur/, zuletzt aktualisiert am 25.08.2021, zuletzt geprüft am 20.03.2025.

Yilmaz, Rabia Meryem; Goktas, Yuksel (2017): Using augmented reality technology in storytelling activities: examining elementary students' narrative skill and creativity. In: *Virtual Reality* 21 (2), S. 75–89. DOI: 10.1007/s10055-016-0300-1.