

Bachelorarbeit

Nadia Hintze

Entwicklung und Einsatzmöglichkeiten einer AR
Anwendung im Rahmen von Museumsausstellungen

Nadia Hintze

Entwicklung und Einsatzmöglichkeiten einer AR Anwendung im Rahmen von Museumsausstellungen

Bachelorarbeit eingereicht im Rahmen der Bachelorprüfung
im Studiengang Bachelor of Science Technische Informatik
am Department Informatik
der Fakultät Technik und Informatik
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Betreuender Prüfer: Prof. Dr. Philipp Jenke
Zweitgutachter: Prof. Dr. Kai von Luck

Eingereicht am: 21. Dezember 2018

Nadia Hintze

Thema der Arbeit

Entwicklung und Einsatzmöglichkeiten einer AR Anwendung im Rahmen von Museumsausstellungen

Stichworte

Augmented Reality, Museum, Vuforia, Unity

Kurzzusammenfassung

Kann eine AR Anwendung zu der Erfüllung des edukativen Auftrages eines Museums beitragen? Mit dieser Fragestellung setzt sich diese Abschlussarbeit auseinander. Um sie beantworten zu können, wird zunächst der Aufbau eines AR Systems definiert, das den speziellen Anforderungen eines Museums gerecht wird. Außerdem findet eine Abwägung der Vor- und Nachteile unterschiedlicher Komponenten statt. Anschließend werden Anwendungsfälle eines solchen Systems vorgestellt. Dabei liegt ein besonderer Augenmerk auf dem Nutzen, um den sie diese die jeweilige Ausstellung erweitern. Darauf folgt die Entwicklung des Prototyps einer Smartphone AR Anwendung für ein fiktives Museum. Dieser Prototyp dient zur beispielhaften Umsetzung einiger zuvor angesprochenen Anwendungsfälle. Zuletzt wird beurteilt, ob die behandelten Anwendungsfälle ein Museum im Sinne der definierten Ziele erweitern.

Nadia Hintze

Title of Thesis

Development and Use Cases of an AR Application in the context of museum exhibitions

Keywords

Augmented Reality, Museum, Vuforia, Unity

Abstract

Can an AR application contribute to the educational mission of a museum? That is the question this thesis is trying to answer. In order to be able to answer it, the first step is to define the main components of an AR system that meets the special requirements of a museum. In addition, the advantages and disadvantages of different components are weighed up. Subsequently, use cases of such a system are being presented. Special attention is paid to the benefits they add to the respective exhibition. This is followed by the development of a prototype of a Smartphone AR application for a fictitious museum. This prototype serves as an example for the implementation of some of the previously mentioned use cases. Finally, an assessment is made as to whether the treated application cases extend a museum in the sense of defined goals.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Die Problemstellung	1
1.2	Der Untersuchungsablauf	2
2	Augmented Reality Systeme in Museen	3
2.1	Was ist Augmented Reality?	3
2.2	Technische Komponenten	6
2.2.1	Tracking	6
2.2.2	Darstellung	11
3	Anwendungsfälle in Museen	31
3.1	Informationsdarstellung	31
3.2	Erweiterung durch virtuelle Exponate	38
3.3	Abwechslung durch sich verändernde Inhalte	40
3.4	Individualisierung	40
4	Entwicklung des Prototypen „Augmented Museum“	42
4.1	Konzept	42
4.1.1	System Komponenten	42
4.1.2	Entwicklungstools	43
4.1.3	Anwendungsfälle	43
4.2	Umsetzung	45
4.2.1	Tracking mit Vuforia	45
4.2.2	Augmentierung: Informationsfenster	50
4.2.3	Augmentierung: Rekonstruktion	55
4.2.4	Menü	61
4.3	Beurteilung	61
4.4	Mögliche Weiterführung	63

5	Schluss	65
5.1	Zusammenfassung der Ergebnisse	65
5.2	Fazit	66
A	Anhang	71
A.1	Besuchte Museen 2018	71
A.2	HMDs/Mobile Devices mit IMUs	72
	Selbstständigkeitserklärung	73

1 Einleitung

1.1 Die Problemstellung

Für den internationalen Museumsrat ist eine allgemein verständliche und ansprechend dargebotene Informationsvermittlung ein wichtiges Ziel einer Museumsausstellung. Die Informationen sollen den aktuellen Forschungsstand widerspiegeln, während sich das Vermittlungskonzept an den Bedürfnissen der Besucher orientiert. (Lochmann [12], S.20) Erfüllen Museen aktuell diese Ansprüche? Einige Museumsbesuche geben Aufschluss über momentan angewandte Darstellungsweisen (vgl. A.1). Neben der reinen Betrachtung von Exponaten wird auf einen Wissenstransfer durch das Lesen von Texten gesetzt. Hinzu kommt oftmals ein Audioguide, der tiefer gehende Informationen akustisch erläutert. Vermittlungen über digitale Technologien wie Bildschirmanzeigen oder Virtual Reality Erlebnisse sind spärlich verteilt. Dasselbe gilt für Stationen an denen der Besucher aktiv interagieren darf.

Auf dieser Basis lassen sich folgende Thesen ableiten: Jedem Besucher werden die gleichen Informationen zur Verfügung gestellt, unabhängig von seinen individuellen Eigenschaften. Die einzigen Ausnahmen bilden in den besuchten Museen Texte und Audioguides in verschiedenen Sprachausgaben. Dadurch wird man nicht allen Bedürfnissen der Besucher gerecht. Schließlich haben die Menschen neben sprachlichen Hintergründen auch unterschiedliche fachliche Kenntnisstände, Interessenschwerpunkte und eventuell körperliche Einschränkungen.

Außerdem ist es mit den gegebenen Methoden schwierig die Ausstellung neuen Forschungserkenntnissen anzupassen. So kam es z.B. im Frankfurter Senckenberg Museum und im Londoner Natural History Museum dazu, dass versteinerte Dinosaurierskelette in Körperhaltungen gezeigt wurden, die nach neuestem Wissensstand nicht natürlich für die Spezies gewesen sind. Jedoch ist es aufwändig ein solches Skelett neu zu positionieren. Zudem beschränken sich Modell-Rekonstruktionen in der Regel auf eine Ausführung, da es kostspielig ist, weitere Exemplare zu bauen. Darüber hinaus wird die Anzahl neuer

Modelle durch die verfügbare Ausstellungsfläche begrenzt. Dabei kann es weitere Theorien geben, denen zufolge andere Rekonstruktionen möglich sind. Ein Beispiel dafür sind Abbildungen von Dinosauriern ohne Federn. Mittlerweile ist gesichert, dass einige Arten ein Federkleid getragen haben.

Ein Ansatz diese Probleme zu lösen liegt darin die Informationen digital darzustellen, anstatt rein physikalische Gegenstände zu nutzen. Die Technologie Augmented Reality¹ erweitert die natürliche Wahrnehmung realer Gegenstände um digitale Inhalte. Obwohl sie Virtuelles darstellt, stehen die realen Exponate weiterhin im Zentrum der Aufmerksamkeit. Diese Abschlussarbeit beschäftigt sich mit der Fragestellung, inwiefern ein Museum mithilfe eines solchen Systems hinsichtlich der genannten Ziele des Deutschen Museumsbunds erweitert werden kann.

1.2 Der Untersuchungsablauf

Die Untersuchung der Forschungsfrage ist in drei Teile aufgeteilt.

Der erste Teil beschäftigt sich mit dem technischen Aufbau eines Augmented Reality Systems, das für den Einsatz im Museum geeignet ist. Die Eignung wird für die verschiedenen eingesetzten Komponenten in Form von begründeten Thesen eingeschätzt. Das soll unter anderem dabei helfen, einzuordnen, welche Erweiterungen auf der Anwendungsebene technisch umsetzbar sind.

Der zweite Teil geht auf die Ergänzungsmöglichkeiten einer Museumsausstellung auf der Anwendungsebene ein. Das beinhaltet eine Übersicht einiger bereits eingesetzter AR Systeme in Museen, sowie weitere theoretisch denkbare Anwendungsfälle.

Der dritte Teil besteht aus der Entwicklung einer eigenen Augmented Reality Applikation. Diese setzt beispielhaft einige der im zweiten Teil vorgeschlagenen Anwendungsfälle um. Als Ausstellungsstücke dienen dabei Objekte, die zusammen eine Museumsausstellung nachbilden können. Sie wird sowohl auf technischer, als auch auf anwendungsbezogener Ebene in die Landschaft der zuvor aufgezeigten Möglichkeiten eingeordnet. Die Applikation soll als Nachweis dafür dienen, dass eine Museumserweiterung im Sinne der im zweiten Teil definierten Ziele möglich ist.

¹Im Folgenden abgekürzt durch „AR“.

2 Augmented Reality Systeme in Museen

Zum Einstieg werden in Kapitel 2.1 die später genutzten Eigennamen definiert und erklärt. Anschließend folgt der erste Teil der Untersuchung der Forschungsfrage, der sich auf für Museen geeignete AR Systeme konzentriert.

2.1 Was ist Augmented Reality?

Das Konzept von Augmented Reality wird seit einigen Jahren untersucht.¹ Trotzdem gilt bis heute keine einheitliche, offizielle Definition des Begriffs. (Schart und Tschanz [24]) Deshalb wird sich diese Arbeit an eine Mischung unterschiedlicher Ansätze halten.

AR als Teil des Mixed Reality Spektrums

Eine Grundlage zur Einordnung wurde von Milgram und Kishino 1994 erarbeitet. In einem Paper befassen sich die beiden Autoren mit der Kategorisierung von Displays, die Abbildungen von virtuellen und von realen Objekten so mit einander vereinen, als befänden sie sich in einer gemeinsamen Umgebung. Diese Displays fassen sie unter dem Begriff *Mixed Reality (MR)* zusammen. Je nach realem und computergeneriertem Anteil der Gesamtdarstellung ist diese einem Punkt innerhalb des Mixed Reality Spektrums zuzuordnen. Augmented Reality sehen sie als eine mögliche Ausprägung dessen.

Sie beschreiben AR als die Anreicherung der Abbildung einer realen Umgebung mit computergenerierten Objekten. Im Vordergrund des Nutzerbewusstseins soll also die Realität stehen. Dem stellen sie *Augmented Virtuality (AV)* gegenüber. In diesem Fall wird eine vorrangig virtuelle Umgebung durch die Darstellung realer Elemente ergänzt. Der Nutzer soll sich gedanklich in erster Linie mit der computergenerierten Umgebung auseinandersetzen.

¹Die Geburtsstunde der AR kann laut Tönnis [29] in der Entwicklung des ersten Head-Mounted Displays 1968 durch Ivan Sutherland gesehen werden. Der Begriff Augmented Reality wurde erstmals 1992 von Tom Claudell benutzt. (Caudell und Mizell [2]) (Mehler-Bichler [14], S. 13)

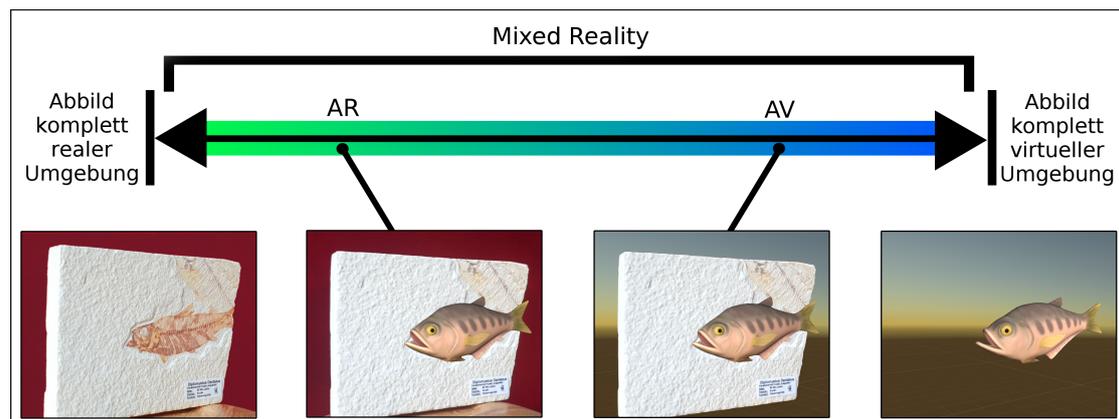


Abbildung 2.1: Mixed Reality Spektrum, Quelle: In Anlehnung an Milgram und Kishino [16]

Eine Technik, die noch stärker auf den Eindruck der rein virtuellen Umgebung setzt, ist die *Virtual Reality (VR)*. Diese beschreiben Milgram und Kishino als ein Verfahren, in dem der Nutzer vollständig in die rein computergenerierte Welt abtaucht. Man spricht dann von *Immersion*. Die dort umgesetzten physikalischen Eigenschaften sind unabhängig von denen der Realität. Da diese also komplett ausgeblendet werden soll, grenzen die beiden Autoren Virtual Reality vom Mixed Reality Spektrum ab. (Milgram und Kishino [16])

In Definitionen heutiger Entwickler von Mixed Reality Technologien wie z.B. Microsoft wird VR als MR Technologie am rechten Rand des Spektrums gesehen.² Vermutlich, weil daran gearbeitet wird Technologien zu entwickeln, mit denen sowohl AR als auch AV und VR Anwendungen umgesetzt werden können. Auf diese Weise können die verschiedenen Funktionen unter einem Titel zusammengefasst werden.

Im Folgenden wird auch diese Arbeit VR als Teil des Mixed Reality Spektrums sehen, der nah am Ende der komplett virtuellen Umgebung operiert.

²Microsoft: What is Mixed Reality?, <https://docs.microsoft.com/de-de/windows/mixed-reality/mixed-reality> (Letzter Zugriff 18.06.2018)

Charakteristika eines Augmented Reality Systems

Eine Definition des AR Begriffs, die sich stärker an technischen Aspekten orientiert, schlägt Azuma [1] vor. Dort schreibt er den Systemen drei Charakteristika zu.

- Aspekte einer virtuellen und der realen Umgebung werden für eine gemeinsame Darstellung kombiniert und teilweise überlagert.
- Interaktion findet in Echtzeit statt.
- Ein dreidimensionaler Bezug virtueller und realer Objekte ist in der Darstellung gegeben. Virtuelle Objekte werden relativ zum Standpunkt des Nutzers lagegerecht und maßstabsgetreu so positioniert als wären sie ein Teil der Realität.

Diese Punkte implizieren, dass die Anreicherung durch Virtuelles nicht nur einmal statisch geschieht. Stattdessen wird sie kontinuierlich dem Standpunkt und anderen interaktiven Eingaben des Benutzers angepasst.

Der Autor Mehler-Bichler [14] schlägt im Rahmen seiner AR Definition vor, zwischen AR im engeren und im weiteren Sinne zu unterscheiden. Es wird von *AR im weiteren Sinne* gesprochen, sofern kein 3D Bezug gegeben ist. Das ist z.B. der Fall, wenn das Abbild der Realität nur mit fest in der Kameransicht platzierten Objekten überlagert wird (Abb. 2.2 a). Die virtuellen Inhalte werden dann nicht so positioniert, als wären sie Teil des realen Raumes. *AR im engeren Sinne* bedeutet, dass alle drei Charakteristika von Azuma erfüllt werden (Abb. 2.2 b).



Abbildung 2.2: a) AR im weiteren Sinne, b) AR im engeren Sinne,
Quelle: Nadia Hintze 2018

2.2 Technische Komponenten

In diesem Kapitel wird sich mit zwei Kernkomponenten auseinandergesetzt, die bestimmen, welche Anwendungsfälle mit dem System realisiert werden können. Die erste Komponente ist für die Herstellung des Bezugs zwischen realer und virtueller Welt verantwortlich. Die zweite bestimmt die Form der Darstellung. Die Abwägung der Vor- und Nachteile verschiedener Komponenten wird später bei der Erstellung eines eigenen AR Systems zurate gezogen.

2.2.1 Tracking

Die Herstellung des Bezugs zwischen realer und virtueller Welt erfolgt mittels der Technik des *Trackings*. Dabei handelt es sich um die dynamische Bestimmung der Position (X_P , Y_P , Z_P) und/oder der Rotation (X_{Ro} , Y_{Ro} , Z_{Ro}) eines realen Objektes O_R relativ zum Display (Abb. 2.3 a). Anschließend wird das räumliche Verhältnis zwischen der virtuellen Kamera und einem virtuellen Objekt O_V den Messwerten angepasst (Abb. 2.3 b). Dieser Vorgang nennt sich *Registrierung*. Dadurch, dass das räumliche Verhältnis zwischen O_V und der virtuellen Kamera regelmäßig dem zwischen O_R und dem Display angeglichen wird, wirkt die gerenderte Darstellung des virtuellen Objektes so, als befände es sich in demselben Koordinatensystem wie das reale Objekt (Abb. 2.3 c). (Schmalstieg [25])

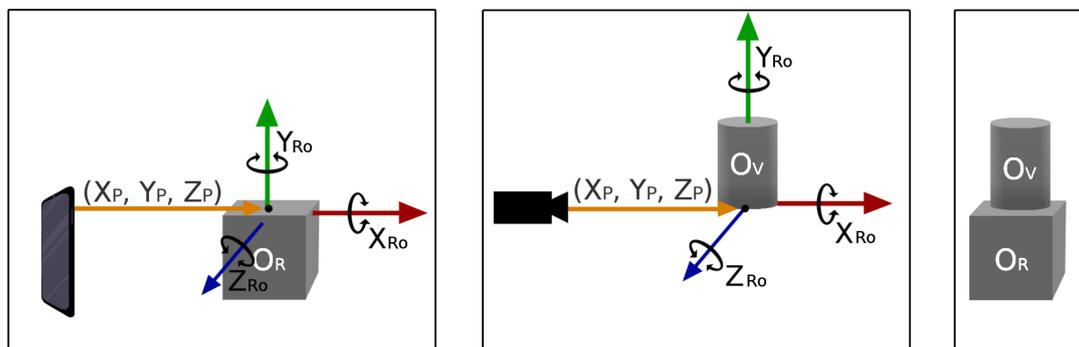


Abbildung 2.3: a) Tracking, b) Registrierung, c) Gerendertes Ergebnis,
Quelle: Nadia Hintze 2018

Für die Messungen im Rahmen des Trackings können verschiedene Sensoren benutzt werden. Da jede Art von Sensorik unterschiedliche Vor- und Nachteile mit sich bringt, wird meist eine Kombination benutzt. Bei dieser *Sensor Fusion* können die Ergebnisse sich

funktional ergänzen oder zur Fehlerminimierung benutzt werden.

Die Zusammenstellung des Tracking Systems hat maßgebliche Auswirkungen darauf, in welcher Umgebung das AR System benutzt werden kann. Im Folgenden wird ein grober Überblick über mögliche Tracking Methoden gegeben, die Schmalstieg [25] zufolge häufig in AR Systemen verbaut werden. Im Anschluss werden Beispiele für Museumsausstellungen, in denen die Systeme benutzt werden können, erläutert.

GPS-/Netzwerk-basierte Tracking Systeme

Die erste Kategorie von Sensorik ermittelt die absolute Position des Benutzers. Dafür können GPS-Systeme oder drahtlose Netzwerke wie Wifi, Bluetooth oder Mobilfunk benutzt werden. Für die Berechnung werden die Positionen der erreichbaren GPS-Satelliten/Basis Stationen und die jeweiligen Entfernungen zwischen ihnen und dem Device gebraucht. Erstere sind bei Systemstart bekannt. Letztere werden mittels der Radio Signal Time-of-Flight bzw. der Signalstärke innerhalb der Netzwerke gemessen.

Die Berechnungen im Rahmen dieser Verfahren setzen voraus, dass zu jedem Zeitpunkt mindestens drei Satelliten/Basis Stationen erreichbar sind. Da die Anzahl jedoch variiert und Signale durch Objekte abgeschottet werden, verändert sich die Genauigkeit ebenfalls. Für GPS schwankt sie gerundet zwischen einem und 100m. Um die räumliche Abdeckung sowie die Genauigkeit zu erhöhen, können die Ergebnisse der verschiedenen Verfahren miteinander verrechnet werden. Die Abweichungen liegen dann in etwa bei einem bis 10m. (Schmalstieg [25])

Systeme, die diese Technologien zum Einsatz bringen, untersuchten Margriet Schavemaker und weitere Personen.³ Eines davon ist die Anwendung „Me at the Museums Square“ für mobile Devices. Dort wird eine virtuelle, dreidimensionale Kunstaussstellung auf dem Vorhof eines Museums erstellt. Die virtuellen Ausstellungsstücke sind nicht an reale Exponate gebunden. Sie werden angezeigt, wenn sich das Device laut GPS Signalen an einer bestimmten Stelle befindet. Auch dort beobachten die Autoren, dass die Ortung nicht immer genau funktionierte, was die Betrachtung der Exponate jedoch nicht zwangsläufig einschränkt. Ein weiteres Beispiel ist die Anwendung „ARtotheque“ aus der Veröffentlichung von Schavemaker. Diese ermöglicht es Besuchern, virtuelle Kunstreplikat aus einem Museum auszuleihen und im Rahmen einer unter freiem Himmel stattfindenden Veranstaltung dort virtuell aufzustellen und zu kommentieren. Auch hier sind die Darstellungen nicht an fest platzierte, reale Objekt gebunden.

³Schavemaker, Margriet; et al.: Augmented Reality and the Museums Experience, In J.Trant and D. Beardman (eds), Museums and the Web 2011: Proceedings, 2011, https://www.museumsandtheweb.com/mw2011/papers/augmented_reality_and_the_museum_experience (Letzter Zugriff 19.12.2018)

Aufgrund der geringen Genauigkeit eignen sich GPS-/Netzwerk-basierte Verfahren für eine eher grobe Einschätzung der Position des Benutzers. Das kann ausreichen, wenn die genaue Positionierung virtueller Inhalte eine zweitrangige Rolle spielt. Ein Vorteil ist, dass die zugrundeliegenden GPS-Systeme/Netzwerke an vielen Orten bereits bestehen und Mobile Devices in der Regel ohnehin einen Zugriff darauf gewährleisten.

Inertial Measurement Units (IMUs)

IMUs bestehen aus mehreren trägheitsbasierten Sensoren. Dazu zählen Magnetometer, Gyroskope und lineare Beschleunigungsmesser. Ein Magnetometer wird auch „elektronischer Kompass“ genannt. Es misst die Ausrichtung des Devices relativ zum Erdmagnetfeld mit einem Degree of Freedom⁴ (Abb. 2.4 a). Gyroskope messen die rotationelle Geschwindigkeit entlang einer Achse und geben damit Aufschluss über die relative Ausrichtung verglichen mit dem vorherigen Zustand. Wenn drei Gyroskope orthogonal zueinander befestigt werden, kann die Rotation mit drei DoF gemessen werden (Abb. 2.4 b). Mit Beschleunigungsmessern lässt sich die Positionsveränderungen entlang einer Achse ermitteln. Auch in diesem Fall können mit drei orthogonal zueinander platzierten Sensoren 3 DoF abgedeckt werden (Abb. 2.4 c). Wenn die Position des Devices sich nicht verändert, kann alternativ die Neigung an zwei horizontalen, zueinander orthogonalen Achsen gemessen werden (Abb. 2.4 d). IMUs können demnach für Messungen einer Positionsveränderung oder für eine relative oder absolute Ausrichtungsmessung benutzt werden. (Schmalstieg [25])

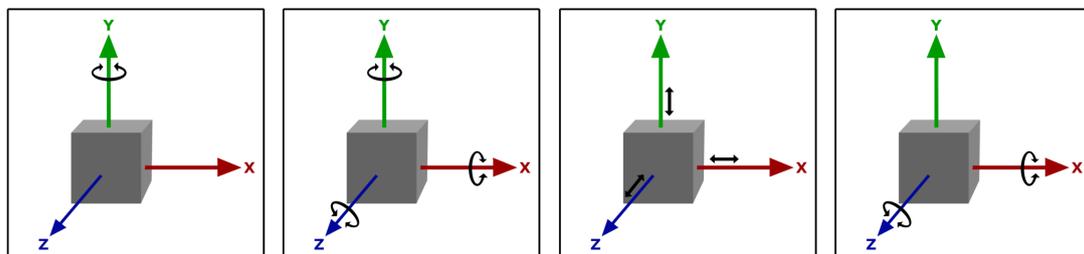


Abbildung 2.4: a) Magnetometer Messung, b) Messung von drei Gyroskopen, c) Positionsmessungen von drei Beschleunigungsmessern, d) Rotationsmessung von zwei Beschleunigungsmessern
Quelle: Nadia Hintze 2018

IMUs funktionieren weitestgehend unabhängig von der Umgebung. Daher sind vielfältige Einsatzorte denkbar. Eine Ausnahme wäre z.B. eine Museumsausstellung, die magneti-

⁴Degrees of Freedom (DoF): beschreibt die Anzahl der räumlichen Dimensionen, die gemessen werden. In dieser Arbeit wird maximal von einer 3 DoF Position und einer 3 DoF Ausrichtung gesprochen.

sche Felder erzeugt und zur Schau stellt, da diese das Magnetometer ablenken würden. Den vielen möglichen Einsatzorten entsprechend sind sie in allen im Rahmen der Recherche zu dieser Abschlussarbeit betrachteten Head-Mounted-Displays verbaut. Ebenfalls kann man sie in vielen neuen Mobile Devices finden.⁵ Je nach Wahl der Hardware eines AR Systems, sind IMUs also häufig schon integriert.

Optische Tracking Systeme

Die dritte Kategorie von Tracking Systemen benutzt Kamerabilder, um an räumliche Informationen zu gelangen. Sie ist Schmalstieg [25] zufolge das am häufigsten genutzte Verfahren in AR Systemen. Zwei Eigenschaften stehen bei der Funktionalität von optischen Tracking-Systemen im Vordergrund.

Die erste Eigenschaft bezieht sich auf die Frage, ob es ein digitales Referenzmodell eines gesuchten realen Objekts zu Systemstart gibt. Mit diesem Modell werden die Kamerabilder abgeglichen, um das Objekt dort finden zu können. Solche Systeme sind *modell-basiert*. Im Gegensatz dazu erstellen *modell-freie* Systeme erst zur Laufzeit digitale 3D Modelle der Umgebung. Die Modelle werden gebraucht, um die Objekte in den nächsten Frames wiederzuerkennen und bei Bewegungen räumlich genauer einordnen zu können. (Schmalstieg [25])

In einer Museumsausstellung in der im Voraus bekannte Exponate augmentiert werden sollen, bietet es sich an modell-basiert zu arbeiten. Schließlich steht bereits fest, was gesucht werden soll. Dafür müssen virtuelle Abbilder der Ausstellungsstücke geschaffen werden. Das kann z.B. mithilfe von 3D Scan Technologien geschehen. Viele der Exponate aus dem British Museum wurden beispielsweise bereits eingescannt und auf der Online Plattform für 3D Modelle „Sketchfab“ bereitgestellt.⁶ In dem Fall könnten die Modelle für modell-basiertes Tracking benutzt werden.

Bei der zweiten Eigenschaft geht es darum, ob das System darauf ausgelegt ist nur spezielle Objekte zu erkennen, die ausschließlich dafür der realen Umgebung hinzugefügt werden. Das System ist dann *marker-basiert*. Alternativ dazu kann ein Tracking System auf die Erkennung *natürlicher Features* setzen. Dann werden die räumlichen Eigenschaften der Realität untersucht, ohne Objekte künstlich hinzuzufügen.

Schmalstieg [25] weist darauf hin, dass Algorithmen zur Marker Erkennung meist robus-

⁵Als Grundlage dieser Aussage dienen die im Juli 2018 in Deutschland meistverkauften Smartphones. Diese wurden der folgenden Statistik entnommen: Counterpoint Research: Marktanteile der meistverkauften Smartphone-Modelle in Deutschland im Juli 2018, <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/831655/umfrage/meistverkaufte-smartphone-modelle-in-deutschland/>, (Letzter Zugriff 02.12.2018)
Siehe Anhang A.2 für die Datenblätter der HMDs und Mobile Devices.

⁶The British Museum, <https://sketchfab.com/britishmuseum> (Letzter Zugriff 13.10.2018)

ter sind. Marker haben den Vorteil, dass sie den Anforderungen der Algorithmen optimal angepasst werden können. Das kann z.B. geschehen, in dem die Marker mit hohen Kontrasten und simplen Formen gestaltet werden.

Ein Nachteil ist, dass der Marker immer im Bild sein muss, um auf die Position und Ausrichtung des Devices schließen zu können. Das bedeutet, dass er nah an den Exponaten angebracht sein muss, um diese augmentieren zu können. Außerdem könnte es eventuell die Ästhetik einer Ausstellung stören, wenn an vielen Stellen künstliche Marker angebracht werden müssen.

Im Gegensatz zu GPS- bzw. Netzwerk-basierten Systemen und IMUs sind optische Verfahren stark von der Gestaltung der Umwelt abhängig. Ergebnisse können laut Schmalstieg [25] durch Glanz, durchscheinende Materialien oder sich wiederholende Muster verfälscht werden. In den Museen aus Anhang A.1 werden Ausstellungsstücke häufig in Vitrinen aufbewahrt. Zudem können sie aus unterschiedlichen Materialien bestehen. Demnach kann es in manchen Fällen zu Problemen kommen. Zudem kann bei großem Besucherandrang die Sicht auf zu trackende Objekte versperrt sein. Außerdem gibt es Ausstellungsstücke, die zu ihrem Schutz in der Dunkelheit aufbewahrt werden müssen. Optische Tracking Algorithmen brauchen jedoch eine ausreichende Beleuchtung.

Da eine Museumsausstellung in einer geschlossenen, gezielt gestaltbaren Umgebung stattfindet, lassen sich einige Problemfälle umgehen. Beispielsweise können statt problematischer Exponate Marker oder andere Objekte in der Nähe wie zugehörige Textschilder getrackt werden.

Kameras sind ein relativ kostengünstiger Weg an viele Informationen zu kommen. Die dazugehörigen Algorithmen werden im Zuge des Forschungsfeldes Computer Vision stetig verbessert.⁷ Außerdem ist Moore's Law zufolge mit einem Wachstum der Rechenleistung von Devices zu rechnen.⁸ Aufgrund dieser Faktoren kommt Schmalstieg [25] zu dem Schluss, dass sich die Stabilität des optischen Trackings in den nächsten Jahren zunehmend verbessern wird. Auch heute können optische Tracking Algorithmen verglichen mit GPS-/Netzwerk-basierten Methoden bereits eine hohe Genauigkeit erreichen. Daher werden sie in den meisten in Kapitel 3 erläuterten Anwendungsbeispielen in Museen benutzt.

⁷Beispiele für optische Tracking Algorithmen können im von Schmalstieg [25] geschriebenen Buch gefunden werden.

⁸Moore's Law beschreibt das stetige Wachstum der Komplexität integrierter Schaltkreise im Verhältnis zu den Kosten der Komponenten. (Moore [17])

2.2.2 Darstellung

Die zweite Kernkomponente eines AR Systems beschäftigt sich mit der Darstellung von Informationen. Eine Besonderheit von AR Displays ist, dass reale und virtuelle Stimuli dabei kombiniert werden müssen. Die in der Definition von Augmented Reality referenzierten Paper von Milgram und Kishino [16] und Azuma [1] setzen sich in erster Linie mit optischem AR auseinander. Trotzdem weisen beide Paper darauf hin, dass das Konzept der Erweiterung genauso auf die Wahrnehmung anderer Sinne anwendbar ist. Demnach können die virtuellen Inhalte ebenso akustisch, haptisch, olfaktorisch oder gustatorisch dargestellt werden. Da wir in der Realität Informationen ebenfalls mit verschiedenen Sinnen aufnehmen, fügen sich die virtuellen Objekte dann besonders gut in den Eindruck der Realität ein. Das Virtuelle wirkt *präsent* (Ranasinghe u. a. [22]). Trotzdem sind Displays zur Ansteuerung verschiedener Sinne unterschiedlich weitreichend untersucht worden.

Optische Darstellung

Visuelle Informationen machen Schmalstieg [25] zufolge ca. 70% der menschlichen Wahrnehmung aus. Dementsprechend sind optische Displays am weitesten entwickelt. Sie werden in der Augmented Reality in Form von Head-Mounted-, Handheld-, stationären und projektions-basierten Displays eingesetzt.

In den ersten drei Arten betrachtet der Benutzer die augmentierte Umgebung durch ein Gerät. Die Kombination der Realität und virtueller Inhalte kann auf zwei Wegen geschehen. Entweder handelt es sich um eine Optical See-through (OST) oder eine Video See-through (VST) Bauweise. Bei OST Displays wird das reale, natürliche Licht durchgelassen. Gleichzeitig kann das Licht durch die Reflexion des Lichts virtueller Inhalte optisch überdeckt werden (Abb. 2.5 a). Bei VST Displays wird dagegen die Realität abgefilmt und das Bild digital mit der virtuellen Darstellung verbunden. Das Ergebnis wird dann über ein handelsübliches Display wiedergegeben (Abb. 2.5 b). (Schmalstieg [25])

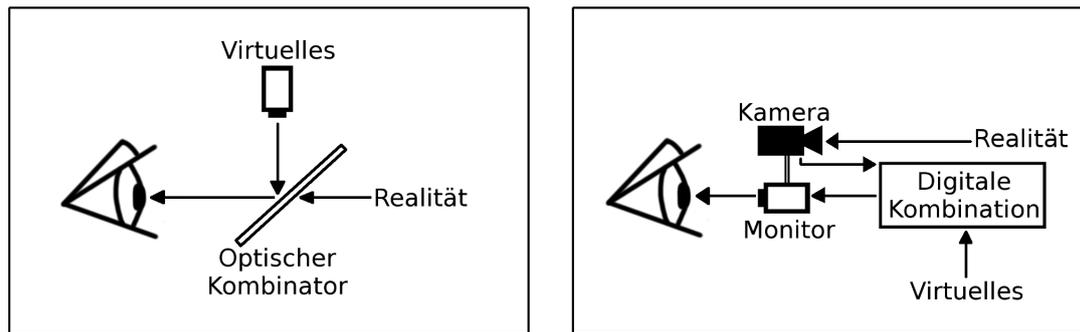


Abbildung 2.5: a) Optical See-through Display, b) Video See-through Display,
Quelle: Nadia Hintze 2018

Head-Mounted-Displays (HMDs) werden vom Benutzer wie eine Brille oder ein Helm auf dem Kopf getragen. Aktuell kommerziell erhältliche Beispiele für OST HMDs sind die HoloLens⁹, die ODG R-7¹⁰ und die Moverio BT-300¹¹.

VST HMDs sind kommerziell seltener vertreten. Die AR-Rift von Steptoe u. a. [26] entstand in einem Forschungsprojekt. Die Autoren haben die VR Brille Oculus Rift um optische Sensoren ergänzt. So ist es möglich die Realität am Display anzuzeigen und für Tracking zu benutzen (Abb. 2.6 a). Optional gibt es HMDs, die ihre Berechnungen auf einem angeschlossenen Smartphone durchführen. Dafür wird das Smartphone in eine Halterung gesteckt. Das dazugehörige Display wird weiterhin benutzt. Um eine Betrachtung auf kurze Distanz zu ermöglichen, wird es durch spezielle Linsen des HMDs angesehen. Ein Beispiel dafür ist die Samsung Gear VR (Abb. 2.6 b). Mithilfe der Kamera des Handys an der Rückseite kann auch hier die Realität abgefilmt und für die Augmented Reality benutzt werden (Mendez [15]).

⁹Microsoft: HoloLens, <https://www.microsoft.com/de-de/hololens> (Letzter Zugriff 07.12.2018)

¹⁰Osterhoutgroup: R7 Smartglasses, <https://www.osterhoutgroup.com/r-7-smartglasses> (Letzter Zugriff 20.12.2018)

¹¹Epson: Moverio BT-300, <https://www.epson.de/products/see-through-mobile-viewer/moverio-bt-300> (Letzter Zugriff 09.12.2018)



Abbildung 2.6: a) AR-Rift, b) Samsung Gear VR

Quellen: Willsteptoe: AR-Rift Part 1, <http://willsteptoe.com/post/66968953089/ar-rift-part-1> (Letzter Zugriff 09.12.2018)

Cnet: Samsung Gear VR 2017 Review, <https://www.cnet.com/reviews/samsung-gear-vr-2017-review/> (Letzter Zugriff 09.12.2018)

Dadurch, dass ein HMD vom Benutzer getragen wird, ergeben sich besondere Anforderungen. Eine davon ist Tragekomfort, da der Benutzer das Gerät auch über lange Zeit hinweg aufbewahren können soll. Das Device sollte zudem nicht zu schwer sein und bequem auf dem Kopf sitzen. Um auch unterschiedlichen Museumsbesuchern zu passen, sollte die Größe des HMDs verstellbar sein und eine darunter getragene Brille nicht stören.

HMDs sind relativ kostspielig bei der Anschaffung. Die drei genannten OST HMDs kosten zwischen 669¹² und 3299¹³. Das könnte die Anzahl der Geräte, die ein Museum anschaffen kann limitieren. Das kann dazu führen, dass nicht jeder Besucher gleichzeitig die AR Anwendung benutzen kann. Zudem sind einige Personen eventuell noch nicht vertraut mit der Benutzung eines solchen Displays. Daher bräuchte man zusätzliche Museumsmitarbeiter, die die Besucher einweisen können. Außerdem müssten sie im Auge behalten, dass die Akkus immer geladen sind. Das würde ebenfalls zusätzliche Kosten für ein Museum bedeuten.

In einer anderen Umgebung wäre es eventuell einem Benutzer unangenehm ein solches Gerät auf dem Kopf zu tragen, da es unüblich ist. In einem Museum hätte jedoch jeder die Möglichkeit ein solches HMD auszuprobieren. Wenn jeder Besucher diese Chance ergreifen würde, würden sich einzelne Personen vermutlich weniger dafür schämen.

¹²Epson: Moverio BT-300, <https://www.epson.de/products/see-through-mobile-viewer/moverio-bt-300> (Letzter Zugriff 09.12.2018)

¹³Microsoft: HoloLens, <https://www.microsoft.com/de-de/hololens> (Letzter Zugriff 07.12.2018)

Smartphones und Tablets können als Handheld Displays benutzt werden. Wie der Name schon sagt werden sie in dem Fall vom Benutzer in der Hand gehalten. Die bereits eingebaute Kamera wird benutzt, um die Realität im VST Stil abzubilden und um Tracking zu unterstützen.

Statistiken lässt sich entnehmen, dass die Anzahl der Besitzer solcher Geräte in den letzten zehn Jahren stetig gestiegen ist.¹⁴ Da so viele Menschen bereits Smartphones besitzen, hat ein Museum die Möglichkeit die AR Anwendung zum Download innerhalb eines WLAN Netzes bereitzustellen. Diese können die Besucher dann auf den eigenen Geräten installieren und benutzen. Sie sind nicht darauf angewiesen zu warten, bis sie ein Gerät des Museums bekommen. Für die Personen, die kein Smartphone haben, können noch Smartphones vom Museum bereitgestellt werden. Je nach Wahl des Geräts wären sie günstiger in der Anschaffung als die oben genannten HMDs. Zusätzlich würden deutlich weniger von ihnen gebraucht werden. Außerdem ist in diesem Fall kaum Personal zur Erklärung der Anwendung nötig. Daher kommen weniger Zusatzkosten auf das Museum zu.

achteilig ist, dass es beim Benutzer zu Ermüdung kommen kann, wenn er das Display lange in der Hand hält. Außerdem ist er in seiner Interaktion mit der realen Umwelt sowie in der Bedienung der Anwendung eingeschränkt, da er nur eine Hand frei bewegen kann. Auch das Sichtfeld der augmentierten Umgebung ist begrenzt. Das würde weniger stören, wenn die augmentierten Flächen klein sind. Zusätzlich hat eine Smartphone AR Anwendung einen hohen Akkuverbrauch.¹⁵ Daher sollte das Museum darauf achten, Stellen zum Nachladen anzubieten.

Im Gegensatz zu den zwei vorgestellten Display Arten sind stationäre Displays fest in der Welt verankert. Schmalstieg [25] zufolge können sie entweder einen VST oder einen OST Aufbau haben.

¹⁴E-Marketer: Prognose zur Anzahl der Smartphone-Nutzer weltweit von 2012 bis 2021 (in Milliarden), März 2018, <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/309656/umfrage/prognose-zur-anzahl-der-smartphone-nutzer-weltweit/> (Letzter Zugriff 10.12.2018)
Bitkom Research; comScore: Anzahl der Smartphone-Nutzer in Deutschland in den Jahren 2009 bis 2018 (in Millionen), Februar 2018, <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/198959/umfrage/anzahl-der-smartphonennutzer-in-deutschland-seit-2010/#0> (Letzter Zugriff 10.12.2018)

¹⁵Das wurde unter anderem der folgenden Quelle entnommen: Schavemaker, Margriet; et al.: Augmented Reality and the Museums Experience, In J.Trant and D. Beardman (eds), Museums and the Web 2011: Proceedings, 2011, https://www.museumsandtheweb.com/mw2011/papers/augmented_reality_and_the_museum_experience

Stationäre VST Displays können beispielsweise Spiegel simulieren. Dafür filmt eine Kamera den Raum vor dem Display. Diese Aufnahme wird in Echtzeit gespiegelt und augmentiert am Display wiedergegeben. Alternativ kann die Kamera Objekte hinter dem Displays filmen und so den Anschein erwecken, dass das Display durchsichtig ist. Ein System, das das simuliert, steht im Museum für Naturkunde Berlin. Dort gibt es eine Station mit zwei Displays, die man durch Linsen betrachtet wie ein HMD (Abb. 2.7 a). Sie zeigen ein augmentiertes Bild von versteinerten Dinosaurierskeletten, die dahinter stehen (Abb. 2.7 b).

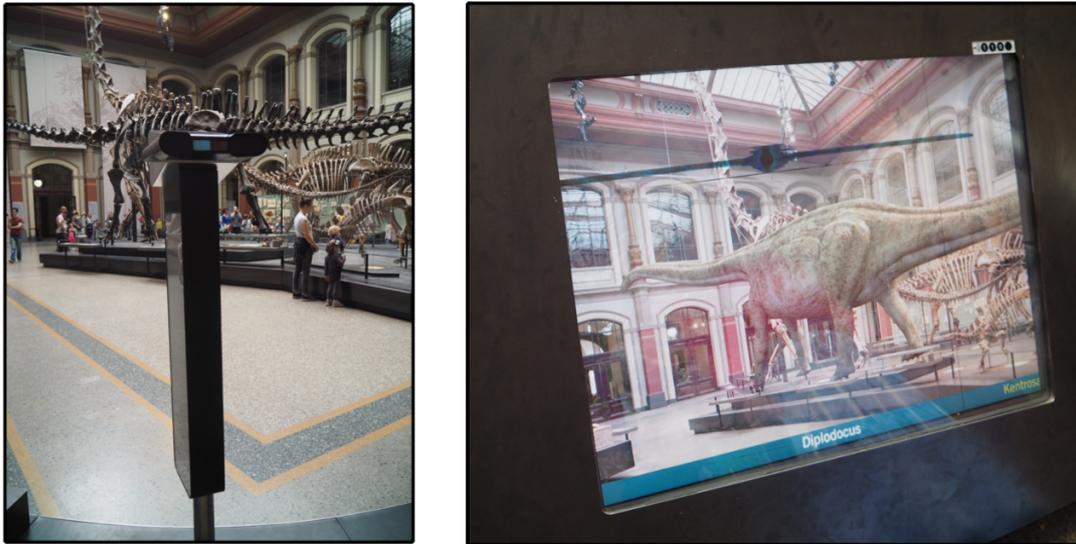


Abbildung 2.7: a) Stationäres Near-Eye Display, b) Augmentiertes Bild,
Quelle: Nadia Hintze 2018

In diesem Fall wurde jedoch für die Realitätsabbildung eine Kamera-Aufnahme genommen, die zu einem früheren Zeitpunkt entstand. Somit handelt es sich nicht um eine AR Anwendung. Allerdings ist die Wirkung ähnlich, wenn sich die Anwendung nur auf stationäre und im Voraus bekannte Objekte bezieht. Bei einem solchen System werden keine Ressourcen für das Tracking und Echtzeitberechnungen benötigt.

Ein stationäres OST Display wurde von Olwal u. a. [20] entwickelt. Dort wird ein transparentes Display benutzt. Virtuelle Bilder können darauf projiziert und reflektiert werden. Durch Tracking der Umgebung und des Benutzers, können virtuelle Inhalte lagerichtig angezeigt werden.

Bei stationären AR Systemen entstehen durch die Inflexibilität des Gerätestandorts einige Nachteile gegenüber anderen Systemen. Augmentierte Inhalte können sich ausschließlich

auf einen festen Raum beziehen. Da ein Museumsbesucher das Display nicht bewegen kann, kann er es außerdem nicht richtig benutzen, wenn etwas die Sicht zwischen einer trackenden Kamera und dem betrachteten Objekt verdeckt. Zudem muss für das Display immer Platz in der Museumsausstellung reserviert werden. Das kann problematisch sein, wenn ohnehin schon nicht viel Raum zur Verfügung steht. Darüber hinaus muss dieser Platz immer so gewählt werden, dass die Blickrichtung der Kamera zu dem augmentierten Bereich passt. Je größer der zu betrachtende Raum ist, desto größer muss der Ausstellungsraum sein. Im Gegensatz zu den vorherigen Displays wird das stationäre Displays vom Besucher wahrscheinlich für eine kürzere Zeit benutzt, da nur ein kleiner Ausstellungsteil abgedeckt werden kann. Das macht eine Personalisierung der Anwendung, wie sie in Kapitel 3 behandelt wird, schwierig. Schließlich entstehen so weniger Daten, die Aufschluss über das Benutzerverhalten geben.

Ein Vorteil von AR Systemen mit stationären Displays ist, dass sie im Gegensatz zu Handheld Displays minimalen Aufwand für den Besucher bedeuten. Somit ist die Hemmschwelle bei der Benutzung wesentlich niedriger.

Projektions-basierte Displays heben sich dadurch von den anderen ab, dass die virtuellen Inhalte direkt in die reale Umgebung projiziert werden. Die Realität wird nicht durch ein Gerät hindurch betrachtet. Ein solches Display wurde in der Ausstellung „S(e)oul Food“ im Völkerkundemuseum Hamburg verwendet. Dort wurde unter Anderem ein koreanischer Markt nachgestellt (Abb. 2.8 a). In einem Marktstand wurde eine Videoschleife in ein Tablett projiziert, das koreanisches Essen zeigte (Abb. 2.8 b).



Abbildung 2.8: a) Nachgestellter Markt, b) Stationäres projektions-basiertes Display,
Quelle: Nadia Hintze 2018

Schmalstieg [25] liefert eine Aufzählung projektions-basierter Display Arten. Die meisten davon sind wie das im Völkerkundemuseum stationär im Raum verankert. In diesen Fällen ist der Raum, der augmentiert werden kann, ähnlich eingeschränkt wie bei stationären Displays. Jedoch können leichter mehrere Ausstellungsbesucher die Darstellung betrachten, da sie sich direkt im 3D Raum befindet und nicht auf einen Bildschirm begrenzt ist. Zudem braucht die Ausstellung kaum Platz für das Display, da in erster Linie der Projektor gebraucht wird. Diesen kann man z.B. an der Decke montieren, wo er meistens weniger im Weg ist.

Als bewegliche Display Art wird in dem Buch das Head-Mounted Projektoren Display vorgestellt. Die Projektoren werden dann ähnlich wie HMDs von dem Benutzer getragen. Kasahara [11] beschäftigt sich mit dem Bau eines solchen Projektors (Abb. 2.9).

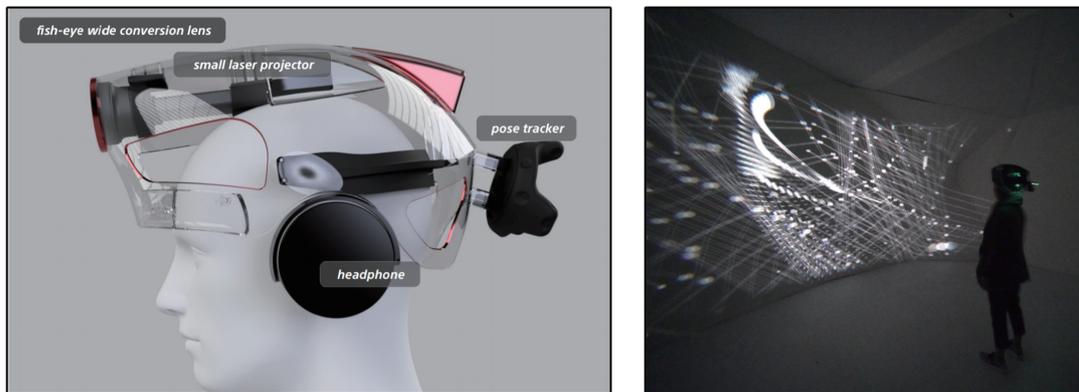


Abbildung 2.9: Head-Mounted Projektor Display „HeadLight“,
Quelle: Kasahara [11]

Head-Mounted Projektoren sind bisher nur Teil der Forschung, aber kommerziell noch nicht zugänglich. Zudem brauchen stationäre Projektoren im Gegensatz zu mobilen Exemplaren kein zusätzliches Tracking des Displays, um lagerichtige Bilder zeigen zu können. Daher ist der Einsatz eines stationären Projektors mit weniger Aufwand verbunden. Zudem ist auch hier die Hemmschwelle für einen Museumsbesucher bei einem stationären System deutlich niedriger.

Ein Vorteil eines stationären projektions-basierten Displays gegenüber eines Bildschirms ist, dass der Projektor an einer Stelle angebracht werden kann, an der er weniger leicht von Besuchern beschädigt werden kann. Dadurch lässt er sich leichter warten.

Akustische Darstellung

Die akustische Informationsdarstellung ist nach der Visualisierung am weitesten ausgereift. Nach der Entwicklung von Mehr-Kanal Surround-Sound-Systemen und Stereo Kopfhörern, die eine differenzierte Richtungswahrnehmung unterstützen, ist sie an einem Punkt angelangt, an dem es auch möglich ist den Klang von verschiedenen Quellen im 3D Raum wiederzugeben.

Die binaurale Aufnahmetechnik simuliert zu diesem Zweck das menschliche Gehör. Dafür wird mit zwei Mikrofonen an festen Positionen gearbeitet, die die beiden Ohren darstellen sollen. Wenn die Aufnahme danach wieder mit Kopfhörern abgespielt wird, wirkt es so, als kämen die Klänge aus verschiedenen Positionen des 3D Raums.¹⁶

Die Technik Ambisonic nutzt dagegen vier Mikrofone und ein eigenes Dateiformat, um die Klänge aus den tatsächlichen Richtungen einzufangen, wodurch eine dreidimensionale Klangwolke entsteht. Sie lässt sich dementsprechend gut auf Mehr-Kanal Surround-Sound-Systemen, die eine Mehrzahl von unterschiedlich positionierten Lautsprechern nutzen, anwenden.¹⁷

Zhou u. a. [32] untersuchen die Auswirkungen von dreidimensional räumlichen Klängen auf Augmented Reality Anwendungen. Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass sie sowohl die Tiefenwahrnehmung und die Orientierung des Nutzers als auch das Präsenzgefühl der virtuellen Objekte unterstützen können. Eine der besonderen Herausforderungen der Anwendung in AR ist es, dass dem Grundgedanken der AR zufolge die Klänge der Realität nicht komplett ausgeblendet werden dürfen. Schließlich soll sich die virtuelle in die reale Welt einfügen und sie nicht komplett überdecken, wie es bei einer Anwendung mit Kopfhörern leicht passieren könnte. Dieses Problem löst die HoloLens beispielsweise, indem kleine Lautsprecher benutzt werden, die aber nur wenige Zentimeter entfernt vom Ohr entfernt liegen. Außerdem müssten streng genommen die Einflüsse, die reale Gegenstände auf die Klänge hätten, berücksichtigt werden. Sie würden z.B. durch große Gegenstände abgeschirmt oder an Wänden reflektiert werden. Das wäre theoretisch mit einem Tracking System wie dem der HoloLens denkbar. Bei ihr werden mithilfe verschiedener Sensoren alle Oberflächen der näheren Umgebung abgetastet. Allerdings würde das viel Rechenleistung erfordern, die bisher noch an anderen Stellen benötigt wird.

Bibliotheken zur Bearbeitung und Produktion der Klänge sind gut zugänglich. Ein Bei-

¹⁶Wikipedia: Binaurale Tonaufnahme, https://de.wikipedia.org/wiki/Binaurale_Tonaufnahme (Letzter Zugriff 01.12.2018)

¹⁷Wikipedia: Ambisonic, <https://en.wikipedia.org/wiki/Ambisonics> (Letzter Zugriff 01.12.2018)

spiel dafür ist die open source Software Bibliothek OpenAL.¹⁸ Sie beinhaltet unter anderem Filter, die Bewegungen oder feste Positionen der Klangquellen simulieren. Zudem können damit Effekte, die durch die Umgebung entstehen, umgesetzt werden, wie z.B. Reflexionen der Schallwellen an Oberflächen. Dafür kann die Position des Nutzers relativ zu den Klangquellen und dessen Blickrichtung genutzt werden.

Eine Museumsausstellung ließe sich damit relativ unkompliziert und kostengünstig um die dreidimensionale Darstellung von Klängen erweitern.

Haptische Darstellung

Für die Augmented Reality ist insbesondere haptisches Feedback interessant, das dem Anwender den Eindruck gibt, virtuelle Objekte real ertasten zu können. Dadurch wirken sie präsenter (Lopes u. a. [13]). Das kann erreicht werden, indem ein reales Objekt als Stellvertreter für das virtuelle Objekt benutzt wird. Dann spricht man von einem Tangible User Interface.

Alternativ dazu können die haptischen Reize simuliert werden. Eine Gruppe von Devices manipuliert dafür mechanisch den Körper mit einem Exoskelett. Das Device von Takaki u. a. [27] wird z.B. wie ein Ring über einen Finger gezogen (Abb. 2.10). Es bildet den Druck einer Berührung an dieser Stelle dadurch nach, dass ein Gürtel um den Finger gleichmäßig enger gezogen wird. Darüber hinaus täuscht es eine Gewichtswahrnehmung vor, indem der Gurt in eine Richtung gezogen wird. Zudem können Wärme ausgestrahlt und die Unebenheit eines Objektes durch die Vibration des Gürtels dargestellt werden.

¹⁸OpenAL, <https://www.openal.org/> (Letzter Zugriff 01.12.2018)

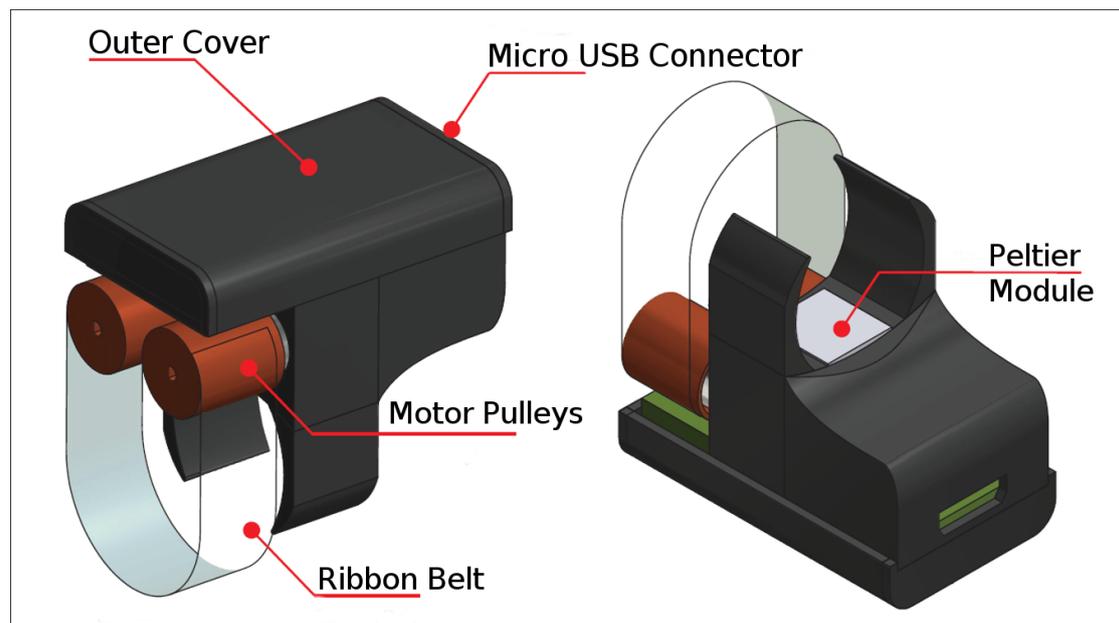


Abbildung 2.10: „Altered Touch“,
Quelle: Takaki u. a. [27], leicht abgeändert

Das System von Chinello u. a. [3] stellt die Berührung einer Oberfläche mit einer gegen die Innenseite der Fingerspitze drückende Platte nach (Abb. 2.11 b). Die Neigung der Platte kann verändert und so der Beschaffenheit des virtuellen Gegenstandes an der aktuellen Position des Fingers angepasst werden.

Der Exoskelett Handschuh von Nycz u. a. [18] kann alle Finger bis auf den Daumen in eine gezielte gekrümmte Position bringen (Abb. 2.11 a). Wenn also ein virtueller Gegenstand z.B. gegen die Außenseite der Hand des Nutzers stößt, kann der Handschuh den resultierenden Druck auf die Außenseite der Finger ausüben und die Hand so schließen.

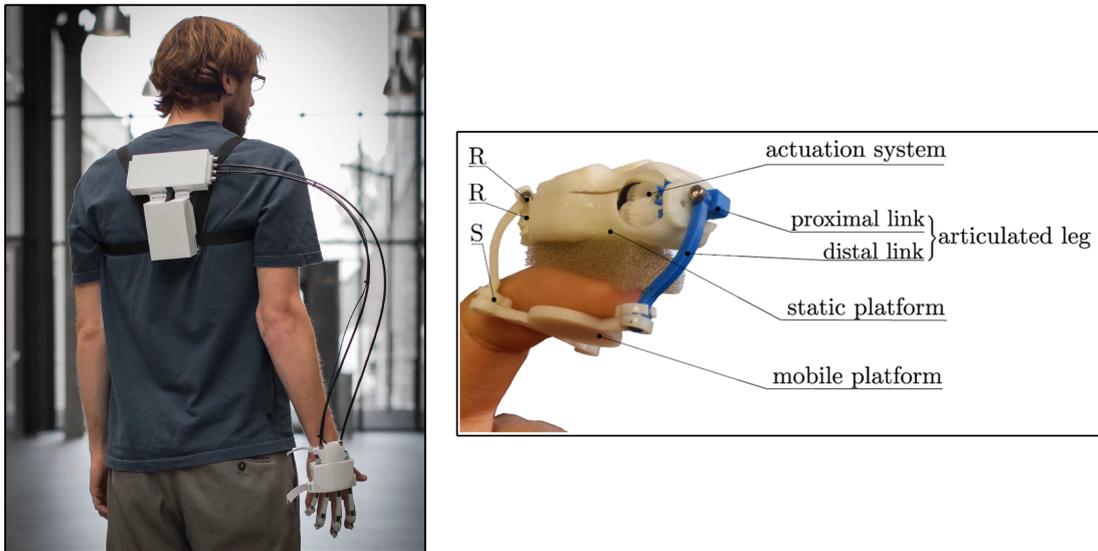


Abbildung 2.11: „3RRS wearable fingertip cutaneous device“,
Quelle: Chinello u. a. [3]

Haptische Reize können auch ohne mechanische Einwirkung übertragen werden. Lopes u. a. [13] benutzen auf den Körper geklebte Elektroden, um dadurch elektrische Signale an diesen abzugeben und so Muskeln zum kontrahieren zu bringen. Auf diese Weise veranlassen die Autoren Bewegungen des Handgelenks, Bizeps, Trizeps und der Schultermuskulatur (Abb. 2.12 a). Es können also künstlich die Reaktionen des Körpers provoziert werden, die durch ein Objekt in der Nähe entstehen würden.

Als haptisches Feedback ohne direkten Kontakt mit dem System können Aerodynamik, Akustik, Optik oder Magnetismus dienen. Ochiai u. a. [19] benutzen beispielsweise lenkbaren Ultraschall und einen Femtosekunden Laser (Abb. 2.12 b).

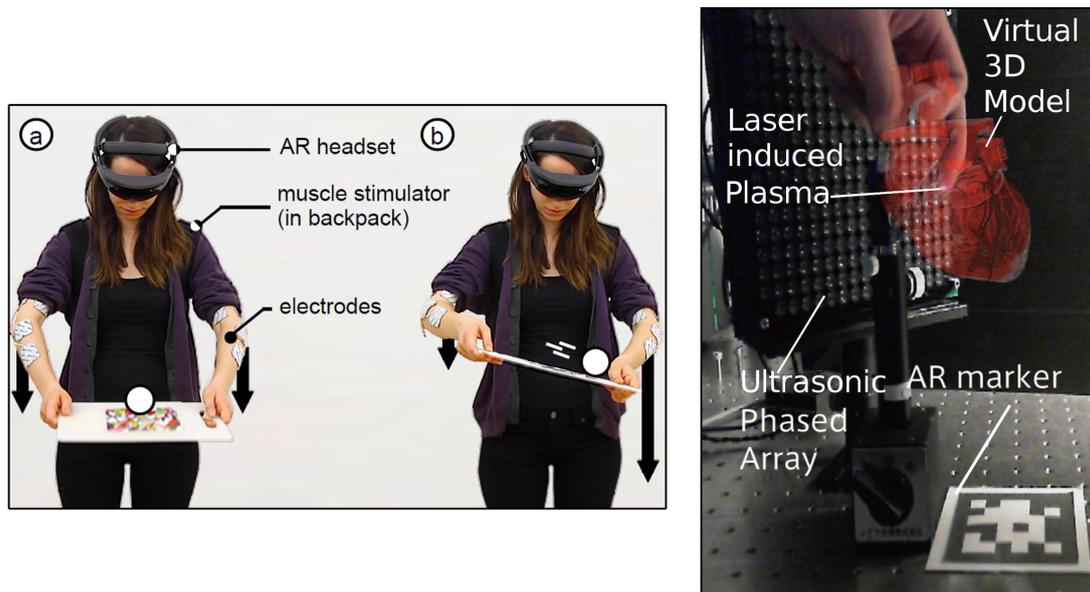


Abbildung 2.12: a) „EMS“, Quelle: Lopes u. a. [13]

b) „Light and Acoustic Field“, Quelle: Ochiai u. a. [19], leicht abgeändert

Die Systeme für komplexes, haptisches Feedback sind meist kostspielig und kommerziell noch nicht weit verbreitet. Das liegt zum einen daran, dass die Update Rate der Daten deutlich höher gehalten werden muss als bei der optischen Informationsvermittlung. Jedes Update muss dementsprechend in kurzer Zeit verarbeitet werden. Zudem müssen bei komplexen, virtuellen Objektmodellen auch viele aufwändige Kollisionsabfragen durchgeführt werden. Um diese zu reduzieren, sollte neben dem optisch hoch aufgelösten auch ein simpleres Modell für die Haptik bereitgehalten werden, das nebenbei verwaltet werden muss. Die technischen Anforderungen sind demnach relativ hoch (Dörner u. a. [7]). Um die Anschaffungskosten für ein Museum möglichst niedrig zu halten, könnten nur einige wenige Stationen mit den Systemen aufgebaut werden. Alternativ müsste ein Zeitpunkt abgewartet werden, zu dem die Forschung und die Kosten für den Bau der Hardware auf einem Stand sind, der es erlaubt die Systeme günstiger zu kaufen.

Dem technischen Aufwand entsprechend konzentrieren sich die oben genannten Interfaces auf begrenzte Teile des Körpers und Empfindungen. Während der Exoskelett-Handschuh ausschließlich die Krümmung von vier Fingern unterstützt, stellen die beiden Aufsätze für die Finger nur das Empfinden an diesen vereinzelt Stellen nach. Im Gegensatz dazu kann der EMS¹⁹ Ansatz zwar die Schultern, Arme und Handgelenke beeinflussen, jedoch

¹⁹EMS: Elektro-Muskel-Stimulation

nicht die einzelnen Finger. Das System, das Ultraschall und Laser nutzt, kann theoretisch an allen Körperteilen ein Berührungsempfinden hervorrufen, dafür ist der Raum, in dem das passieren kann, durch den Aufbau begrenzt. Es ist nicht tragbar, wie die anderen. Allerdings ist es für Menschen natürlich sich frei im Raum zu bewegen zu können. Außerdem sollte der Anwender im Kontext der AR wie gewohnt mit der Realität interagieren können, was bei Exoskeletten, wie dem Aufsatz für die Fingerspitzen, schnell erschwert wird. Da die durch die Interfaces abgedeckten Interaktionsmöglichkeiten eingeschränkt sind, müssten die Anwendungen an diese angepasst werden.

Im Zusammenspiel mit Augmented Reality ist es außerdem wichtig, dass das Tracking der Realität nicht negativ beeinflusst wird. Mechanisch basierte Systeme neigen mit ihrem Exoskelett artigen Aufbau dazu, Teile des Körper zu verdecken. Demnach beeinflussen sie dann die Bildanalyse der Realität. In dieser Hinsicht wäre es von Vorteil ein System wie z.B. das EMS basierte zu benutzen, das leicht kaschiert werden kann. Jedoch können generell auch kleine Exoskelett-Teile wie z.B. das oben genannte „Altered Touch“ von Takaki u. a. [27] zusammen mit der HoloLens benutzt werden (Takaki u. a. [27]).

Bei einem Einsatz im Museum muss darauf geachtet werden, dass das System von vielen verschiedenen Menschen ausprobiert werden wird. Bei Exoskeletten muss also sichergestellt werden, dass man ein Exemplar hat, das verschiedenen Körpergrößen angepasst werden kann. Ein Device auf der Grundlage von EMS müsste immer wieder neu kalibriert werden. So eine Kalibrierung ist zeitaufwändig und erfordert geschultes Personal. Deshalb ist ein EMS System zu diesem Zeitpunkt noch nicht für die Integration in eine Museumsausstellung geeignet.

Generell wäre die Anwendung von haptischem Feedback für ein Museum interessant, weil Besucher die meisten Ausstellungsstücke nicht anfassen dürfen. Ansonsten käme es zu schnell zu Verschleiß oder gar zur Zerstörung der entsprechenden Exponate. Wenn virtueller Ersatz geschaffen wird, könnte der Drang dazu entsprechende Stücke haptisch zu erkunden zufrieden gestellt werden. Zusätzlich könnte es blinden Personen so erleichtert werden, einen Eindruck von Ausstellungsstücken zu bekommen. Es können auch physische 3D Modelle zum Ertasten in die Ausstellung gestellt werden bis die Interfaces leichter zugänglich und weit genug entwickelt sind. Andererseits sind auch diese mit der Zeit abgenutzt und können nur von einer Person zur Zeit benutzt werden. Diese Probleme würden mit virtuellen Erweiterungen umgangen werden.

Olfaktorische Darstellung

Die olfaktorischen Interfaces sind laut Tönnis [29] neben den gustatorischen am wenigsten weit verbreitet und entwickelt.

Gerüche in chemischer Form bereit zu stellen ist die am häufigsten eingesetzte Methode der Darstellung. Dazu werden Geruchsträger in flüssiger, gelartiger oder poröser Form gebraucht. Je nach Beschaffung wird der Duft durch Erhitzung, Zerstäubung oder einen Luftzug verteilt. Zuletzt wird er u.a. durch Schläuche, Luftströme oder durch eine natürliche Verteilung in der Luft zu den Geruchsrezeptoren des Benutzers getragen. (Herrera und McMahan [10])

Chemisch basierte Systeme lassen sich wiederum in stationäre und in vom User getragene Varianten unterteilen. Getragen wird z.B. der Ketten-Anhänger von Dobbstein u. a. [6] (Abb. 2.13). Er enthält bis zu acht Kammern mit unterschiedlichen ätherischen Ölen, die durch einen Arduino gesteuert erhitzt werden. Ein Ventilator bläst dann die Dämpfe heraus und in das Gesicht des Nutzers.



Abbildung 2.13: „InScent“, Quelle: Dobbstein u. a. [6]

Der Prototyp von Hasegawa u. a. [9] besteht aus einem an der Wand hängenden, verstellbaren Array aus Generatoren von Ultraschallwellen und einer Kinect Kamera. Die Kamera trackt das Gesicht des Anwenders. Die Ultraschallwellen erzeugen daraufhin einen zielgerichteten Luftzug, der den Duft von im Raum stehenden Duftquellen zu dieser Person weht.

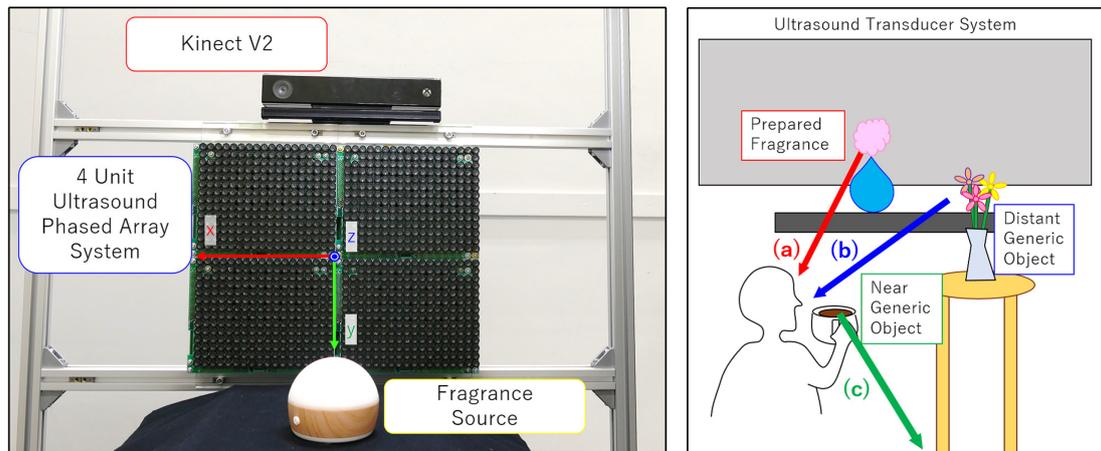


Abbildung 2.14: a) System Setup, b) Possible Setups
Quelle: Hasegawa u. a. [9]

Anstatt die Wahrnehmung von Gerüchen auf eine so direkte Art und Weise zu gestalten, ist auch denkbar die Reize zu simulieren. Dafür kann elektrische Stimulation eingesetzt werden. Dieser Ansatz wurde bisher nicht so umfangreich untersucht und ausprobiert wie die chemische Variante. Hariri u. a. [8] weisen darauf hin, dass die Wirkung elektrischer Stimuli größtenteils bei invasiven Operationen beobachtet werden konnte. Bei diesen Eingriffen wurden die dafür zuständigen Teile des Gehirns elektrischen Strömen ausgesetzt. Die Ergebnisse unterscheiden sich von Patient zu Patient. Deshalb schlagen Hariri u. a. [8] vor die Wirksamkeit weiter zu untersuchen. Die Autoren wollen die Geruchsrezeptoren innerhalb der Nasenmuschel mithilfe von zwei Silber Elektroden stimulieren (Abb. 2.15). Der Versuch soll zukünftig an Personen durchgeführt werden.

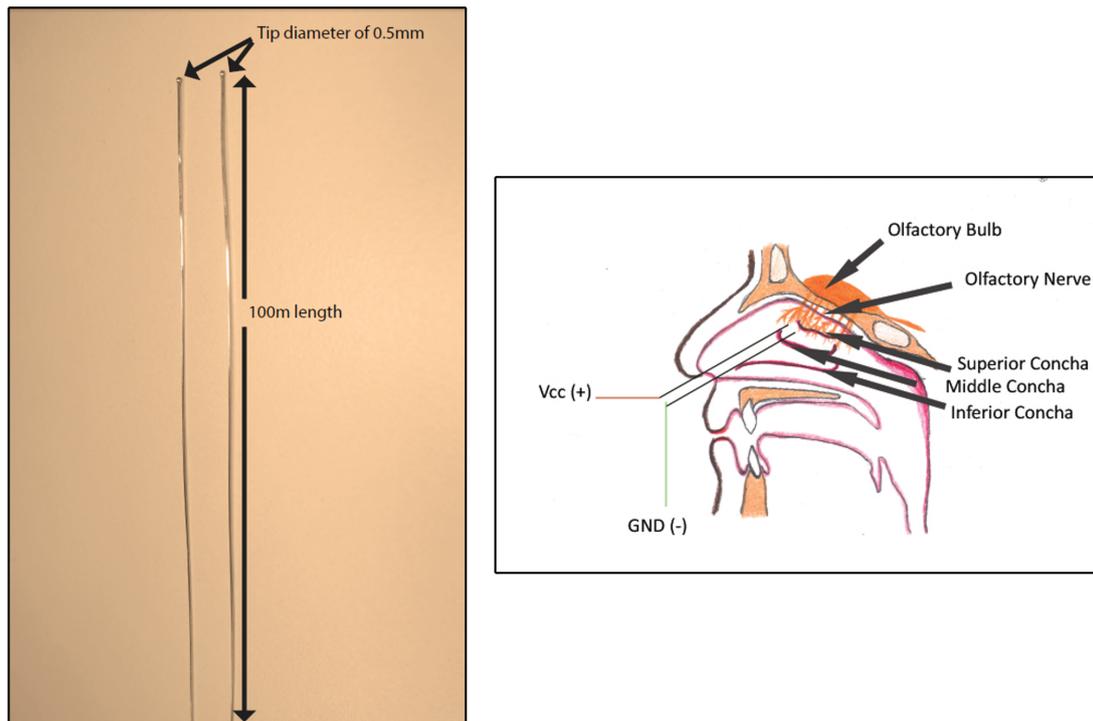


Abbildung 2.15: a) Elektroden, b) Versuchsaufbau
Quelle: Hariri u. a. [8]

Gerüche elektronisch wahrnehmbar zu machen hätte einige Vorteile gegenüber der chemischen Herangehensweise. Die Anwendung wäre nicht von dem dauerhaft ausreichenden Vorkommen der Duftquellen abhängig. Hinzukommend würden allergische Reaktionen auf chemische Stoffe umgangen werden. Auch der Zeitpunkt der Wahrnehmung könnte punktgenauer abgepasst werden, da keine Latenz durch die Verteilung von Luft entsteht. Der Geruch würde zudem nicht in der Umgebung des Benutzers verteilt werden, sondern wäre nur von genau diesem wahrnehmbar. Des Weiteren haben äußere Faktoren, wie ungewollte Luftstöße in der Umgebung, keinen Einfluss. In der Theorie wäre so die Anzahl der Gerüche leichter skalierbar und die verschiedenen Nuancen leichter umsetzbar. Trotzdem ist die chemische Herangehensweise viel besser untersucht und leichter umsetzbar. Das liegt nicht zuletzt daran, dass die elektrische Stimulation ein relativ invasiver Eingriff ist.

Eine Anwendung im Museum sollte bei allen Besuchern dasselbe gewollte Ergebnis erzielen. Bis die elektronische Herangehensweise gut genug untersucht wurde um das garantieren zu können, ist sie für dieses Umfeld ungeeignet. Die zuvor aufgezählten Nachteile

der chemisch basierten Variante zeigen, dass diese auch noch ihre Schwächen hat. Jedoch könnten durchaus spezielle Anwendungsfälle im Museumskontext damit umgesetzt werden. Diese Anwendungsfälle sollten darauf zugeschnitten sein, dass die Nachteile den User möglichst nicht beeinträchtigen bzw. gar nicht zum Tragen kommen. Zum Beispiel sollten nur wenige Gerüche verbreitet werden, die andere Menschen in der Umgebung nicht stören. Das setzt voraus, dass es dem Museum möglich ist, trotz des experimentellen Standes der Systementwicklung das System erwerben zu können.

Gustatorische Darstellung

Auch die Arbeiten, die sich mit der Übertragung virtueller Geschmäcker in die Realität befassen, können laut Vi u. a. [30] in zwei Kategorien eingeteilt werden.

Die erste Kategorie ruft mit chemischen Substanzen auf natürliche Weise Geschmäcker hervor. Zu dieser Kategorie zählen zwei Systeme von Vi u. a. [30]. Beim ersten (Abb. 2.16 a) werden Lösungen mit verschiedenen Geschmäckern, zu verschiedenen Zeitpunkten in ein Mundstück gepumpt. Dieser Ablauf wird über einen Arduino gesteuert. Das zweite hält mit steuerbaren Ultraschallwellen kleine Mengen von Nahrungsmitteln in der Luft und manövriert sie so zum gewollten Zeitpunkt in den Mund des Benutzers (Abb. 2.16 b).²⁰

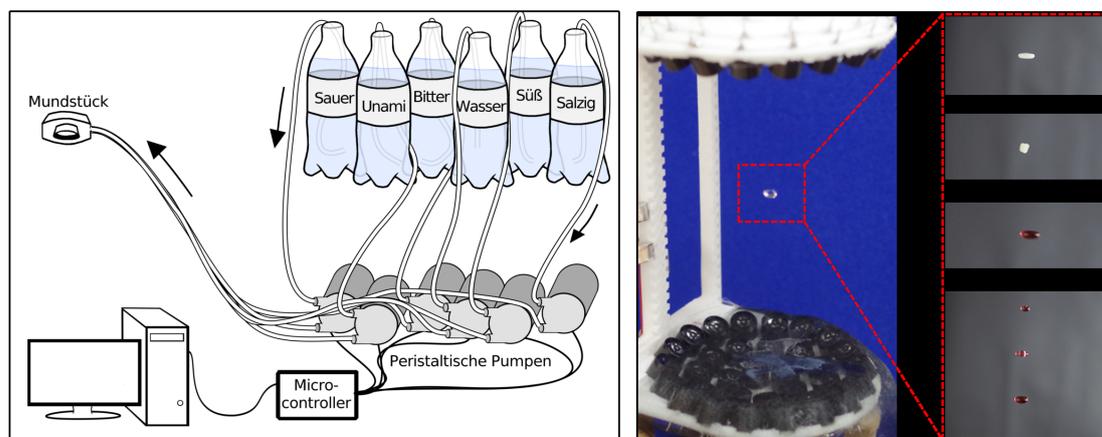


Abbildung 2.16: a) „TasteBud“, Quelle: Vi u. a. [30] nachempfunden

b) „TastyFloats“, Quelle: Vi u. a. [30]

Die zweite Kategorie nutzt elektrische und/oder thermische Impulse, um die Geschmacksnerven auf der Zunge zu stimulieren. Durch eine Erwärmung der Zungenspitze zwischen

²⁰Für nähere Informationen: Vi, Chi Thanh; et al.: Tasty Floats: A Contactless Food Delivery System, 2017, <https://doi.org/10.1145/3132272.3134123> (letzter Zugriff 10.07.2018)

20C und 40C kann z.B. ein süßer Geschmack simuliert werden (Samshir u. a. [23]). Alternativ können über Silberkathoden mithilfe elektrischer Ströme verschiedene Geschmacksrichtungen nachgestellt werden (Abb. 2.17). (Ranasinghe und Do [21])

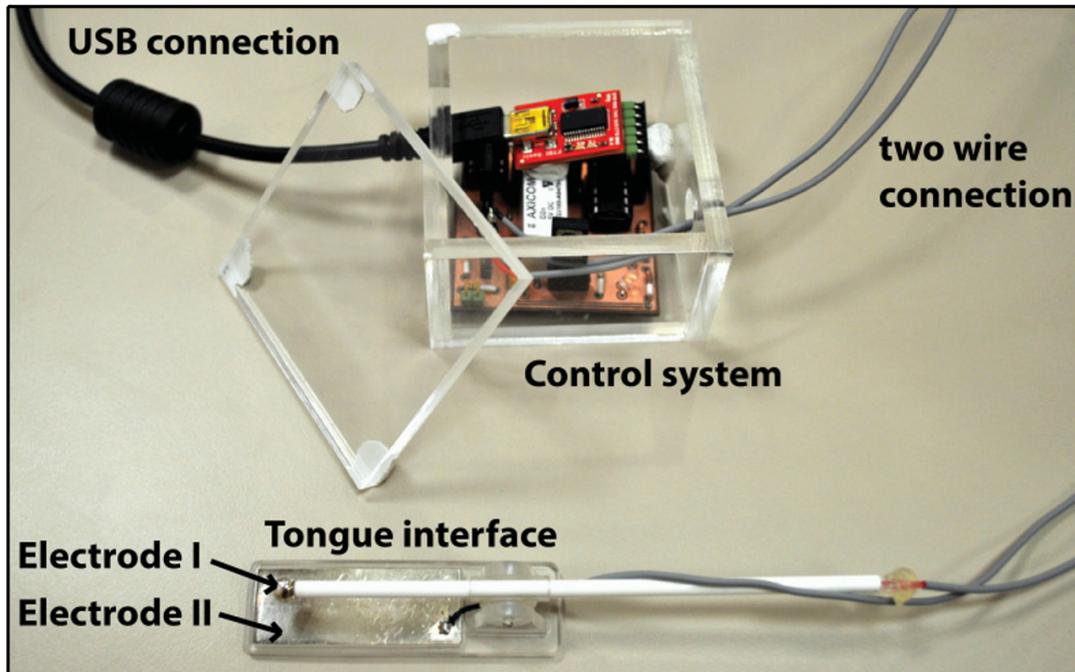


Abbildung 2.17: „Digitaler Lollipop“
Quelle: Ranasinghe und Do [21]

Beide Kategorien haben noch eindeutige Schwächen. Die genannten und weitere Beispiele von Vi u. a. [30] und Ranasinghe u. a. [22] zeigen, dass sich die meisten Versuche auf die grundlegenden Geschmacksrichtungen konzentrieren. Die komplexen Nuancen realer Geschmäcker werden damit noch nicht erreicht. Dadurch sind die Einsatzmöglichkeiten begrenzt. Zudem sind chemische Lösungen nicht so schnell skalierbar, von dem ausreichenden und frischen Vorkommen der Substanzen abhängig und über längere Strecken hinweg unflexibel. Dadurch schränken sie die Bewegungsfreiheit des Anwenders ein. Außerdem können chemische Stoffe allergische Reaktionen hervorrufen. Bei einem Einsatz mit Museumsbesuchern müsste sichergestellt werden, dass das verhindert wird. Die beschriebenen, elektronisch und thermal basierten Versuche erzielen nicht bei jedem Benutzer gleich intensive oder eindeutige Ergebnisse. Das ist ebenfalls problematisch, wenn das System von einer breiten Masse von Besuchern benutzt werden soll. Da sich die vorgestellten gustatorischen Interfaces darüber hinaus durch die Ansteuerung des Mundraumes

eher unnatürlich anfühlen, sind sie von dem Ziel der gefühlten Präsenz virtueller Inhalte noch weit entfernt. Aufgrund der genannten Nachteile, sind die gustatorischen Interfaces aktuell für eine Museumsausstellung noch nicht geeignet.

Fazit: Darstellungsmöglichkeiten

Eine Darstellung virtueller Objekte mittels verschiedener Sinne fördert den Eindruck der Präsenz. Aufgrund der unterschiedlich weiten Entwicklung der Display Arten sind jedoch nicht alle zum aktuellen Zeitpunkt geeignet für den Einsatz in einer öffentlichen Museumsausstellung.

Insbesondere die Erforschung olfaktorischer und gustatorischer Interfaces steht bisher noch am Anfang. Auch haptisches Feedback ist bisher nur eingeschränkt möglich. Da jedoch an allen Ansätzen geforscht wird, werden sie sich wahrscheinlich in der Zukunft weiterentwickeln. Deshalb wird eine Erweiterung mittels aller Sinne für die möglichen Anwendungsfälle einer AR Anwendung in einem Museum in Kapitel 3 in Betracht gezogen.

3 Anwendungsfälle in Museen

Der Einsatz von AR Systemen in Museen wurde im letzten Kapitel auf technischer Ebene untersucht. Im Folgenden wird ergründet, welche Erweiterungen von Ausstellungen auf einer Anwendungsebene möglich sind. Dazu dienen einerseits Fälle aus der Forschung und andererseits denkbare Fälle, die aber noch nicht umgesetzt wurden. Je nach Zweck der Erweiterung werden die Anwendungsfälle in Kapitel unterteilt.

3.1 Informationsdarstellung

In den Museen aus dem Anhang A.1 wird ein Großteil der Informationen über Bild- und Texttafeln dargestellt. Das Völkerkundemuseum Hamburg stellt unter anderem eine Vitrine mit einer Vielzahl von Tongefäßen aus (Abb. 3.1 a). Daneben befindet sich eine Tafel, auf der zu jedem einzelnen Exponat ein nummerierter Text und eine ebenfalls nummerierte Zeichnung abgebildet sind (Abb. 3.1 b). Um einen Textabschnitt einem Tongefäß zuzuordnen zu können, muss der Besucher erst auf dem Bild darüber die passende Zeichnung finden. Über die Nummern kann er herausfinden, welcher Text zu der Zeichnung gehört. Wenn er die Informationen mit dem Exponat vergleichen will, muss er es in der Vitrine erst einmal wiederfinden.



Abbildung 3.1: a) Exponate in einer Vitrine, b) Tafel mit Beschreibungen
Quelle: Nadia Hintze 2018

Mit einem AR System könnte stattdessen für jedes Tongefäß der dazugehörige Textabschnitt virtuell angezeigt werden, sobald das Exponat betrachtet wird. Eine Möglichkeit das zu tun wäre ein zweidimensionales Textfenster mit 3D Bezug zu Tongefäß. Diese Methode wird in Kapitel 4 angewandt. Alternativ können die Informationen ohne diesen Bezug als eine AR Anwendung im weiteren Sinne wiedergegeben werden. Das tat Scott Gillam für das Canadian Museum of Human Rights.¹ Dort wurde ein bestickter Stoff aus Chile, der sich Arpillera nennt, ausgestellt. Er dient als natürlicher Marker für die Anwendung „Stitching Our Struggles“².

¹Gillam, Scott: Spotlight VR/AR: Innovation in transformative storytelling, MW17: MW2017, Published February 28, 2017, <https://mw17.mwconf.org/paper/spotlight-vrar-innovation-in-transformative-storytelling/> (Letzter Zugriff 11.12.2018)

²Canadian Museum for Human Rights: Stitching Our Struggles, Android: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.cmhr.stitching.our.struggles>, iOS: <https://itunes.apple.com/us/app/stitching-our-struggles/id1149976553?mt=8>, (Letzter Zugriff 11.12.2018)

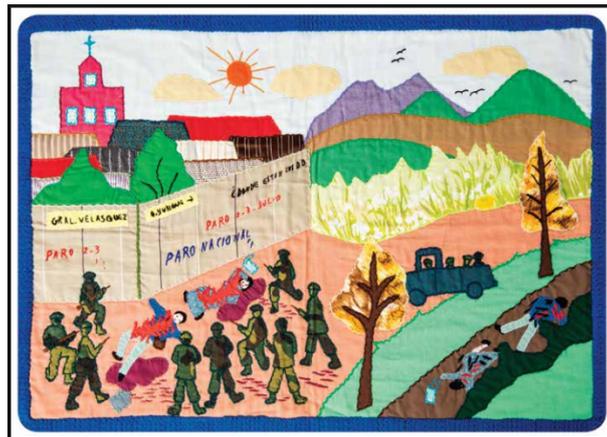


Abbildung 3.2: Foto des ausgestellten Arpilleras, Quelle: *Stitching Our Struggles*. PDF-Datei: https://humanrights.ca/sites/default/files/cmhr-mcdp-ar_letter.pdf (Letzter Zugriff 11.12.2018)

Sobald das optische Tracking den Marker erkannt hat, wird das Overlay aus Abb. 3.3 a angezeigt. Die Bildelemente, zu denen es weitere Informationen gibt, werden blau markiert. Diese Markierungen haben einen 3D Bezug zum Exponat. Wenn sie am Smartphone Display berührt werden, wird an den betroffenen Bildausschnitt heran gezoomt und Textinformationen werden angezeigt (Abb. 3.3 b). Im Gegensatz zu den blauen Markierungen beziehen der gezeigte Bildausschnitt und das Textfenster sich nicht mehr räumlich auf das Ausstellungsstück.

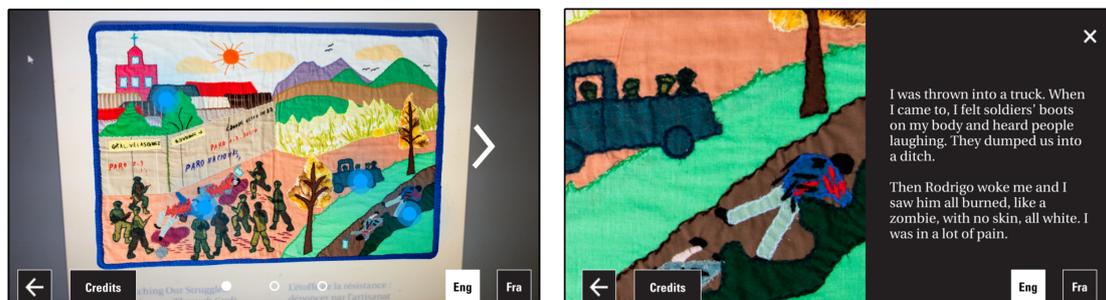


Abbildung 3.3: a) Virtuelles Overlay, b) Zusatzinformationen
Quelle: Screenshots der Anwendung in Benutzung mit der dazugehörigen .PDF-Datei

Im Gegensatz zur Verwendung der Texttafel mit den Tongefäßen zu Beginn des Kapitels 3, muss der Museumsbesucher hier keine Zeit damit verbringen, den Text einem einzelnen

Referenzpunkt zuzuordnen. Die Informationen stehen ihm direkt bei der Betrachtung des Objektes zur Verfügung. Außerdem kann er schnell zwischen der Ansicht des Exponats und der des Textes hin und her schalten.

Anstatt Informationen in Textform darzustellen, könnten sie außerdem bei der Betrachtung des Exponats akustisch abgespielt werden. In manchen Museen gibt es bereits Audioguides. Die dazugehörenden Tonspuren würden sich in diesem Rahmen mit einbinden lassen. Eine weitere Möglichkeit der Erweiterung ist es, passend zu den Erzählungen eine virtuelle Figur zu zeigen, die den Besucher informiert. Das haben Dastageeri u. a. [5] für das archäologische Museum und Römerkastell Saalburg realisiert. In der AR Anwendung wird mittels GPS und optischem Tracking die Position des Benutzers ermittelt, während er sich auf einer nachgestellten, römischen Militäranlage befindet. An bestimmten Stellen werden verschiedene Videos von Geistern ehemaliger Bewohner eingeblendet, die dem Besucher etwas zu der Anlage erzählen. Das wurde gemacht, indem Museumspädagogen vor einem Green- bzw. Bluescreen gefilmt wurden. Der Hintergrund der Aufnahme wurde entfernt und der Geist wurde als 2D Videoaufnahme in die Umgebung des Benutzers gesetzt. Alternativ wäre auch denkbar, die Personen als 3D Modelle darzustellen und sich im Raum bewegen zu lassen. So würden sie noch realistischer und damit präsenter wirken. Zusätzlich könnte man beispielsweise noch die Geräuschkulisse der Militäranlage mit augmentieren. Der Besucher könnte sich damit noch stärker in das nachgestellte Szenario hineinversetzen.

Die von Wüest u. a. [31] entwickelte *Swissarena App*³ ist ein weiteres Beispiel für die Erweiterung durch Zusatzinformationen, die sich auf Positionen innerhalb eines Ausstellungsstücks beziehen. Sie bereichert ein 200m großes, begehbare Orthofoto der Schweiz um geographische Informationen mit 3D Bezug zur Karte. Das erste von drei Software-Modulen ermöglicht dem Besucher eine Adresse in der Schweiz zu suchen. An der gesuchten Stelle wird die Karte markiert (Abb. 3.4 a). Wenn der Ort noch nicht im Blickfeld der Smartphone Kamera ist, erscheint ein Pfeil als Richtungsindikator. Das zweite Modul zeigt aktuelle Wetterstationsdaten zu bestimmten Standorten (Abb. 3.4 b). Das dritte wertet aktuelle Transponderdaten aus, um abzubilden welche Flugzeuge sich gerade wo über der Schweiz befinden. Ihre Flugbahnen und weitere Informationen zu den Flügen werden oberhalb der Karte gekennzeichnet (Abb. 3.4 c).

³Verkehrshaus der Schweiz: LIVEMAP, <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.fhnw.swissarena&hl=de> (Letzter Zugriff 12.12.2018)

3 Anwendungsfälle in Museen



Abbildung 3.4: a) Adresssuche, b) Wetterdaten, c) Flugverkehr
Quelle: Wüest u. a. [31]

Ähnlich wie in der vorherigen Anwendung „Stitching Out Struggles“ profitiert auch hier die Übersichtlichkeit davon, dass zwischen den drei Arten von Informationen gewechselt werden kann. Durch den 3D Bezug zu der großen Karte sind außerdem die Ausmaße von geographischen Distanzen näher an der Realität als wenn man die Anzeige auf einem Bildschirm betrachten würde. Auf diese Weise muss der Besucher einige Schritte tun, um die Entfernung zurückzulegen und kann dabei auf der Karte betrachten, was auf dem Weg liegt. Somit bietet die Umsetzung als AR Anwendung Vorteile gegenüber einer Anzeige als Bildtafel oder an einem Bildschirm.

Eine weitere mögliche Augmentierung kann bei Unvollständigkeit eines Exponats vorgenommen werden. Die Farben archäologischer Funde können beispielsweise über die Zeit verblichen oder abgeblättert sein. Das ist bei den Überresten des Parthenons im British Museum passiert (Abb. 3.5).



Abbildung 3.5: a) Parthenon Überreste im British Museum, Quelle: Nadia Hintze 2018
b) Rekonstruktion einer griechischen Metope, Quelle: Wikipedia Commons: Antike Polychromie 1.jpg, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Antike_Polychromie_1.jpg (Letzter Zugriff 19.12.2018)

Dort könnte eine virtuelle Rekonstruktion über die Überreste geblendet werden. Dafür wird das digitale 3D Modell an derselben Stelle und ein wenig größer dargestellt als das Exponat. Dadurch wird die Rekonstruktion anstatt des Ausstellungsstücks betrachtet. Zusätzlich könnten im British Museum die abgebrochenen Statuen vervollständigt werden. Diese Methodik lässt sich auch auf andere unvollständige Ausstellungsstücke übertragen. Eine beispielhafte Umsetzung folgt in Kapitel 4.

Zum Zeitpunkt des Museumsbesuches (siehe Anhang A.1) informierte ein Film⁴ auf einem entfernt stehenden Bildschirm die Besucher über die Rekonstruktionen. Die Darstellung war auf die Größe des Bildschirms und eine 2D Anzeige begrenzt. Im Gegensatz dazu können die Ausstellungsstücke in AR in demselben Umfang gezeigt werden wie das reale Exponat. Zudem kann sich der Benutzer im 3D Raum relativ dazu bewegen und es betrachten, wie er es auch bei dem realen Exponat tut. Die Darstellung fügt sich besser in die Realität ein als die eines unabhängigen, entfernten Bildschirms. Daher kann angenommen werden, dass die Wirkung näher an der einer Betrachtung des heilen Originals ist. Zudem kann der Benutzer zwischen der Betrachtung der Rekonstruktion und des realen Exponats schneller wechseln. So kann er leichter Vergleiche anstellen.

Auch bei paläontologischen und Naturkunde-Ausstellungen spielen Rekonstruktionen eine Rolle. Hier zeigen sie, wie verstorbene Lebewesen ausgesehen haben könnten, von denen das Museum Skelette oder Fossilien ausstellt. Ähnlich wie in dem Beispiel aus dem British Museum kann dafür ein virtuelles 3D Modell über das Exponat gelegt werden. Eine solche AR Anwendung wurde für das Smithsonian National Museum of Natural History Washington D.C. erstellt.⁵ Neben unbeweglichen 3D Rekonstruktionen wird im Fall eines Fledermaus Skeletts eine animierte Version davon gezeigt. Dadurch können ihre Bewegungsmuster veranschaulicht werden. Zudem werden in der Nähe von ausgewählten Exponaten passende 2D Text- und Bild-Fenster mit Informationen eingeblendet. Die Fenster haben jedoch keinen 3D Bezug zu den Exponaten (Abb. 3.6).

⁴Der Film ähnelte dem folgenden Video:

The British Museum: A Parthenon metope: history and reconstruction, https://www.youtube.com/watch?v=EW5Dms1g_OE (Letzter Zugriff 11.12.2018)

⁵Smithsonian Institution: Skin Bones, <https://itunes.apple.com/us/app/skin-bones/id929733243?mt=8> (Letzter Zugriff 11.12.2018)



Abbildung 3.6: Skin & Bones Applikation, Quelle: Smithsonian's National Museum of Natural History: Skin & Bones promotional video, <https://www.youtube.com/watch?v=7agVb4IG16M> (Letzter Zugriff 11.12.2018)

Bislang werden Rekonstruktionen in Naturkundemuseen häufig als 2D Bilder oder 3D Figuren präsentiert. Die Nutzung virtueller Rekonstruktionen hat den Vorteil, dass sie keinen zusätzlichen Platz wegnehmen. Wie in der Einleitung bereits erwähnt wurde ist in der Paläontologie unter Umständen gewünscht verschiedene mögliche Rekonstruktionen darzustellen. Das ist ohne ein Platzproblem leichter zu realisieren. Ein Beispiel dafür aus der Paläontologie wird in Kapitel 4 angeführt.

Ein denkbares Szenario für eine olfaktorische und gustatorische, sowie akustische Erweiterung bietet die Ausstellung „S(e)oul Food“ im Völkerkundemuseum Hamburg. Unter anderem wird dort ein koreanischer Markt nachgestellt (Abb. 3.7). Der Eindruck des Marktes wäre realistischer, wenn er durch die Geräusche der Menschen auf dem Markt und die Gerüche der dort dargestellten Gerichte erweitert werden würde. Augmented Reality würde außerdem die Möglichkeit bieten, Marktverkäufer optisch einzublenden. Wenn gustatorische Interfaces weit genug entwickelt wären, könnte man diese dann Proben der Nahrung anbieten lassen.



Abbildung 3.7: Nachgestellter Markt im Völkerkundemuseum
Quelle: Nadia Hintze 2018

Die erläuterten Beispiele zeigen, dass die Einbindung virtueller Darstellungen für eine Museumsausstellung einige Vorteile bezüglich der Informationsdarstellung hat. Dadurch dass sich Inhalte flexibel verändern lassen, können sie übersichtlicher gestaltet werden. Zudem werden sie mithilfe des Trackings genau an den Stellen angezeigt, auf die sich die Informationen beziehen. Außerdem wird ermöglicht den Eindruck der Realität künstlich zu verändern.

3.2 Erweiterung durch virtuelle Exponate

Ersatz entnommener Exponate

Bei den Museumsbesuchen aus Anhang A.1 kam es ab und zu vor, dass Exponate einer Ausstellung entnommen wurden. Dann wurde meistens ein Schild in die Vitrine gestellt, das darauf hinwies, dass ein Exponat fehlt. Dieses Schild oder ein dort platziertes Foto des Exponats können als natürliche Marker dienen. An dieser Stelle kann ein virtuelles Modell des Exponats gezeigt werden, das beispielsweise mithilfe von 3D Scan Technologien erschaffen werden kann.

Virtuelle Darstellung neuer Exponate

Auch neue Ausstellungsstücke, die nicht Teil der Sammlung sind, können hinzugefügt werden. In der bereits vorgestellten Anwendung „Stitching Our Struggles“ werden neben Informationen zu einem ausgestellten Arpillera auch weitere Arpilleras virtuell angezeigt. Das reale Exponat dient als Marker.



Abbildung 3.8: Darstellung verschiedener Arpilleras

Quelle: Screenshots der Anwendung *Stitching Our Struggles*

Google Play Store: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.cmhr.stitching.our.struggles> (Letzter Zugriff 11.12.2018)

Dazugehörige .PDF-Datei: https://humanrights.ca/sites/default/files/cmhr-mcdp-ar_letter.pdf (Letzter Zugriff 11.12.2018)

Ein weiterer möglicher Anwendungsfall ist ein Naturkundemuseum, das sich mit der Evolutionstheorie beschäftigt. Es gibt in der Geschichte der Evolution einige Lebewesen, die in diesem Zusammenhang für die Forschung eine große Rolle spielen. Eines davon ist der Archäopteryx. Von ihm wurden weltweit nur 12 Fossilien gefunden. Aufgrund seiner wichtigen Rolle in der Evolutionstheorie würden Fossilien des Tieres jedoch zum Gesamtverständnis einer solchen Ausstellung beitragen. Ein anderer Anwendungsfall wäre eine Kunstaussstellung, die viele, aber nicht alle Bilder eines Künstlers beinhaltet. Da die Bilder einmalig sind, befinden sich manche von ihnen mit hoher Wahrscheinlichkeit woanders. Anhand einer virtuell vervollständigten Sammlung könnte man beispielsweise den gesamten Werdegang eines Künstlers präsentieren. Allgemein profitieren Ausstellungen von diesem Ansatz einer AR Anwendung, wenn es seltene Objekte gibt, die nicht im Besitz des Museums sind, die jedoch bei der gewünschten Wissensvermittlung einer Ausstellung helfen würden.

Das British Museum stellt große Teile seines Bestandes mithilfe von 3D Scan Technologien digital zur Verfügung.⁶ Auf diese Weise können die Modelle virtuell anderen Ausstellungen hinzugefügt werden. Je mehr Museen diesem Beispiel folgen, desto größer ist die Auswahl von Exponaten aus denen Kuratoren weltweit eine mit AR erweiterte Ausstellung zusammenstellen können.

⁶The British Museum, <https://sketchfab.com/britishmuseum> (Letzter Zugriff 12.12.2018)

3.3 Abwechslung durch sich verändernde Inhalte

Zu den Stärken einer virtuellen Darstellung gehört die mögliche Änderung zur Laufzeit. Indem mit der Zeit variierende Inhalte ausgestellt werden, kann laut Rob Warren et al. auch ein wiederholter Museumsbesuch noch interessant sein.⁷

In Kapitel 3.1 wurde die Anwendung von Wüest u. a. [31] vorgestellt. Das System augmentiert eine 200m große Karte. Unter Anderem stellt es dar welche Flugzeuge sich zum Betrachtungszeitpunkt an welchen Positionen über der Schweiz befinden. Durch den Echtzeit Charakter dieser Daten werden zu unterschiedlichen Zeiten unterschiedliche Flüge angezeigt. Besucher können bei der Betrachtung somit immer wieder neue Entdeckungen machen.

Rob Warren et al. befassen sich mit theoretischen Anwendungsfällen. Einer davon bezieht sich auf das Haus der Anne Frank. In dem Museum wird ihr Leben anhand von Bildern, Erinnerungen von Zeitzeugen und Dokumenten nachgestellt. In der Ausstellung befindet sich eine Wand mit Postkarten, Postern und Bildern. Welche dort zu Anne Franks Lebenszeit hingen änderte sich von Zeit zu Zeit. Diese Veränderung kann man bei einer virtuellen Darstellung der Objekte zeigen. Rob Warren et al. schlagen vor den in der Ausstellung behandelten Zeitraum auf einen realen Zeitraum abzubilden. Somit variieren die an der Wand gezeigten Objekte.

3.4 Individualisierung

Eine weitere Möglichkeit ist die Anpassung der virtuellen Inhalte an die individuellen Eigenschaften des Users. Damit können die Bedürfnisse des Besuchers stärker im Vordergrund stehen. Es gibt verschiedene Methoden, um diese Eigenschaften festzustellen. Ein Weg darauf zu schließen, ist das bisherige Verhalten des Nutzers zu beobachten. Dafür ist jedoch notwendig, dass die AR Anwendung an vielen Stellen zum Einsatz kommt.

Device Tracking kann dabei helfen ein grobes Nutzerverhalten zu identifizieren. Damit kann herausgefunden werden, wann und wie lange ein Museumsbesucher bestimmte Exponate durch das System betrachtet. Diese Methode wird in Kapitel 4 umgesetzt.

Mit einer detaillierteren Analyse beschäftigen sich Damala u. a. [4]. Sie tracken nicht

⁷Warren, Rob; et al.: Data-driven enriched exhibits using augmented reality, In MW2015: Museums and the Web 2015, 2015, <https://mw2015.museumsandtheweb.com/paper/data-driven-augmented-reality-for-museum-exhibits-and-lost-heritage-sites/>(Zugriff 20.12.2018)

nur das Device, sondern auch die Blickrichtung des Museumsbesuchers. So kann eine genauere Aussage über den Aufmerksamkeitsschwerpunkt getroffen werden. Zusätzlich benutzen sie Sensoren, um die körperliche Reaktion eines Benutzers messen. Dazu gehören Biosignale wie die Herzschlagfrequenz oder die Atemschnelligkeit. Außerdem misst ein Mikrofon den Geräuschpegel der Umgebung. Gemeinsam mit dem Eye-Tracking kann z.B. festgestellt werden, ob und ab wann die Geräusche ablenkend wirken. Das Museo Nacional de Artes Decorativas⁸ sehen die Autoren als einen möglichen Einsatzort. Dort wird eine mit unterschiedlich bemalten Fliesen ausgekleidete Küche ausgestellt. Zu jeder dieser Fliesen gibt es einige Hintergrundinformationen mit verschiedenem inhaltlichem Fokus. Mit ihrem System möchten Damala u. a. [4] den inhaltlichen Fokus der virtuell angezeigten Informationen den vorherigen Reaktionen des Nutzers entsprechend auswählen.

Eine dritte Methode zur Aufzeichnung von Benutzereigenschaften entwickelten Theodorakopoulos u. a. [28]. Ihr AR System erstellt bei der Inbetriebnahme ein Interessenprofil auf der Basis von Social Media Daten. Alternativ kann der Benutzer ein Profil selber zusammenstellen. Während der Benutzung wird es um Informationen zu den am meisten genutzten Arten der Informationsdarstellung erweitert. Als Anwendungsfall nannten Theodorakopoulos u. a. [28] das archäologische Museum Tripolis. Es enthält eine Statue zu der Museologen Informationen mit verschiedenen Themenschwerpunkten vorbereitet haben. Anhand des Profils werden die darzustellenden Informationen ausgesucht.

Gesammelte Informationen zu dem Benutzerverhalten könnten ebenfalls für eine Evaluation des Systems benutzt werden. Man könnte ihnen entnehmen welche Teile der Anwendung zu welchen Exponaten besonders häufig von Museumsbesuchern benutzt wurden.

⁸Zu Deutsch: Nationalmuseum für dekorative Kunst

4 Entwicklung des Prototypen „Augmented Museum“

Im Folgenden wird eine AR Anwendung für eine fiktive Museumsausstellung entwickelt. Sie setzt einige der in Kapitel 3 erwähnten Anwendungsfälle um.

4.1 Konzept

4.1.1 System Komponenten

In Kapitel 2 wurden unterschiedliche Komponenten eines AR Systems vorgestellt. Nach der Abwägung verschiedener Displays in Kapitel 2.2.2 wurde sich zugunsten einer Entwicklung für Handheld Devices entschieden. Zum Testen der Anwendung stehen die Smartphones Motorola Moto G (1. Generation)¹, Samsung Galaxy S9² und Google Nexus 6P³ zur Verfügung. Darauf sind die Betriebssysteme Android 5.1, 8.0 und 9.0 installiert.

Von den in Kapitel 2.2.1 genannten Tracking Methoden werden für die Applikation optisches Tracking und eine IMU, sofern das Device eine verbaut hat, benutzt. Die Vuforia Engine 7.5.20⁴ stellt optische, modell-basierte Tracking Verfahren zur Verfügung. Bei Smartphones, auf denen Android mit einer höheren Version als 7.0 installiert ist und eine IMU verbaut wurde, kann über Vuforia zusätzlich das Tracking von ARCore⁵ eingebunden werden.⁶ Im Gegensatz zu Vuforia arbeitet ARCore modell-frei. Dadurch dass

¹Wikipedia: Motorola Moto G, https://de.wikipedia.org/wiki/Motorola_Moto_G/ (Letzter Zugriff 19.12.2018)

²Samsung: Galaxy S9/S9+, <https://www.samsung.com/de/smartphones/galaxy-s9/> (Letzter Zugriff 19.12.2018)

³Wikipedia: Nexus 6P, https://de.wikipedia.org/wiki/Nexus_6P (Letzter Zugriff 19.12.2018)

⁴PTC: Vuforia Engine, <https://www.vuforia.com/engine.html> (Letzter Zugriff 16.12.2018)

⁵Google: ARCore, <https://developers.google.com/ar/> (Letzter Zugriff 16.12.2018)

⁶PTC: Vuforia Fusion, <https://library.vuforia.com/articles/Training/vuforia-fusion-article.html> (Letzter Zugriff 16.12.2018)

ARCore sich ein Bild der gesamten Umgebung macht, kann das Device getrackt werden, ohne ein festes Referenzmodell im Sichtfeld der Kamera zu benötigen.

4.1.2 Entwicklungstools

Vuforia wurde 2017 in die Unity Engine⁷ integriert. Obwohl Vuforia auch ohne sie nutzbar wäre, wurde die Entwicklung in der Unity Engine 2018.2.11f1 gewählt. 3D Modelle und dazugehörige Animationen werden mit Maya 2018⁸ erstellt. Für die Anfertigung der Texturen werden zusätzlich Mudbox 2018⁹, xNormal¹⁰ und GIMP 2¹¹ benutzt. Auch 2D Assets werden mit GIMP gestaltet.

4.1.3 Anwendungsfälle

Die fiktive Museumsausstellung dreht sich um die bereits ausgestorbene Fischart *Diplomystus Dentatus*. Die Anwendung augmentiert in dem Rahmen zwei fossile Abdrücke. Um die beiden Exponate erweitern zu können, müssen sie zunächst mithilfe von Vuforia getrackt werden. Für Fossil A (Abb. 4.1 a) gibt es zwei mögliche Herangehensweisen. Entweder wird ein Foto davon als 2D- oder ein 3D Scan als 3D-Referenzmodell genommen. Ersteres könnte in diesem Fall trotz der Dreidimensionalität funktionieren, da das Fossil einige optische Kontraste und eine relativ flache Vorderseite hat. Fossil B liegt dagegen nur als Foto vor (Abb. 4.1 b). Das Bild wird als 2D Referenzmodell für das Tracking benutzt. Fossil B ist ebenfalls kontrastreich und hat eine flache Oberfläche. Sofern ein Foto von Fossil A als 2D Modell zur Erkennung des Exponats reicht, kann daher angenommen werden, dass auch das originale Fossil B mit dem Foto als Referenz erkannt werden könnte. Somit wäre es in diesem Fall möglich keine zusätzlichen Marker zu benutzen.

⁷Unity3D, <https://unity3d.com/de> (Letzter Zugriff 20.12.2018)

⁸Autodesk: Maya, <https://www.autodesk.de/products/maya/overview> (Letzter Zugriff 16.12.2018)

⁹Autodesk: Mudbox, <https://www.autodesk.com/products/mudbox/overview> (Letzter Zugriff 16.12.2018)

¹⁰xNormal, <http://www.xnormal.net/> (Letzter Zugriff 16.12.2018)

¹¹GIMP, <https://www.gimp.org/> (Letzter Zugriff 16.12.2018)



Abbildung 4.1: a) Diplomystus Fossil A, Quelle: Nadia Hintze 2018
b) Foto Diplomystus Fossil B,
Quelle: FunkMonk: Diplomystus Vienna, https://zh.wikipedia.org/wiki/File:Diplomystus_Vienna.jpg
(Letzter Zugriff 16.12.2018)

Sobald ein Fossil von Vuforia erkannt wurde, wird es um ein virtuelles 2D Fenster mit 3D Bezug zu dem Exponat erweitert. In diesem Fenster werden verschiedene Seiten mit Text- und Bildinformationen gezeigt. Zwischen diesen Seiten kann der Benutzer hin- und her wechseln. Die Darstellung soll vergleichbar zu der via Text- oder Bildtafel sein, um daraus Schlüsse zu der Übersichtlichkeit der Darstellungsform ziehen zu können. Bei Fossil A ist nur der Diplomystus zu sehen. Daher beziehen sich die Informationen ausschließlich auf diesen Fisch. Bei Fossil B werden dagegen auch Informationen zu dem anderen Fisch in seinem Maul und zu seiner Todesursache vermittelt.

Eine Seite zeigt für das jeweilige Fossil an einem Zeitstrahl, wann die im Fossil zu sehenden Fische gelebt haben. Sofern der Benutzer zuerst Fossil B und dann Fossil A betrachtet, soll der Zeitstrahl nicht nur den Diplomystus sondern auch den Fisch in seinem Maul in Fossil B beinhalten. Dafür braucht die Anwendung ein Gedächtnis darüber, welche Exponate vom Benutzer bereits angeschaut wurden.

Außerdem werden virtuelle Rekonstruktionen der Fische eingeblendet, ähnlich wie in der Applikation Skin Bones aus Kapitel 3. Da es sich hier jedoch um bereits seit Jahrmillionen ausgestorbene Tiere handelt, deren damaliges Aussehen nicht sicher bekannt ist, werden mehrere mögliche Rekonstruktionen gezeigt.

4.2 Umsetzung

4.2.1 Tracking mit Vuforia

Um das Image Tracking von Vuforia einsetzen zu können, muss zuerst eine Datenbank mit den Referenzbildern erstellt werden. Dafür wird der von Vuforia bereit gestellte Target Manager benutzt.¹² Mittels einer Bewertung von bis zu fünf Sternen wird dort angegeben, wie gut das Bild voraussichtlich wiedererkannt wird. Einen Einfluss darauf haben Detailreichtum, hohe Kontraste und das fehlen wiederholter Muster.¹³ Zusätzlich werden bei jedem hochgeladenen Bild die Interest Points angezeigt, an denen die Tracking-Algorithmen das Bild in der Realität wiedererkennen. Je mehr Details und Kontraste ein Bild enthält, desto mehr Interest Points können benutzt werden. Das Foto von Fossil B sowie eine hellere Version mit höheren Kontrasten wurden testweise auf der Website hochgeladen (Abb. 4.2).

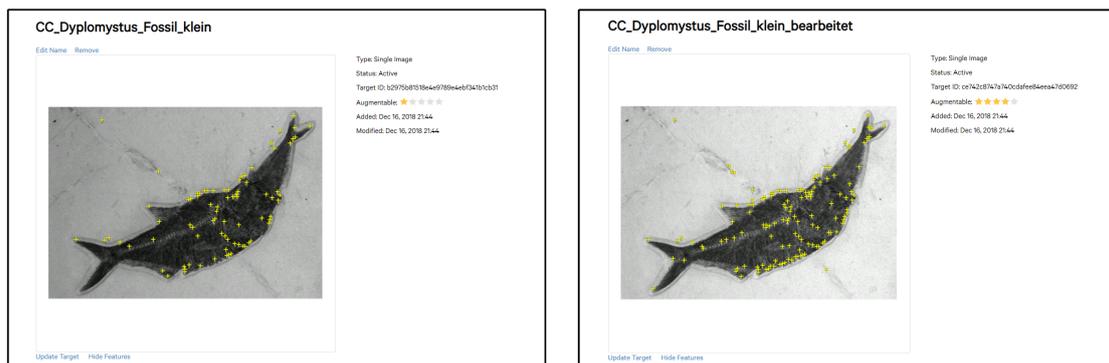


Abbildung 4.2: a) Fossil B unbearbeitet, b) Fossil B heller und mit stärkeren Kontrasten
Quelle: Nadia Hintze 2018

Auf der zweiten Version wurden deutlich mehr Interest Points vermerkt. Auch die Gesamtbewertung ist von einem auf vier Sterne gestiegen. Daher wird diese Version für die Anwendung eingesetzt.

¹²PTC: Target Manager, <https://developer.vuforia.com/targetmanager/project/checkDeviceProjectsCreated> (Letzter Zugriff 16.12.2018)

¹³PTC: Optimizing Target Detection and Tracking Stability, <https://library.vuforia.com/articles/Solution/Optimizing-Target-Detection-and-Tracking-Stability> (Letzter Zugriff 16.12.2018)

Im nächsten Schritt wird entschieden, was für ein Referenzmodell für Fossil A verwendet wird. Wie in Kapitel 4.1.3 bereits beschrieben wurde, stehen zwei Möglichkeiten zur Auswahl.

Die erste wäre ein CAD Modell als 3D Target¹⁴ zu benutzen. Der Seite „Supported Object Types“¹⁵ lassen sich Eigenschaften entnehmen, die ein 3D Objekt mitbringen muss, um von Vuforia auf diese Weise erkannt zu werden. Dazu gehört eine genaue Deckungsgleichheit des CAD Modells und des realen Objekts. Daher wäre es erforderlich einen 3D Scan des Fossils zu machen. Außerdem werden viele komplexe, geometrische Details benötigt. Als Beispiel wurde der Viking Lander¹⁶ der Nasa genannt. Dieses Beispiel konnte erfolgreich nachgestellt werden (Abb. 4.3).

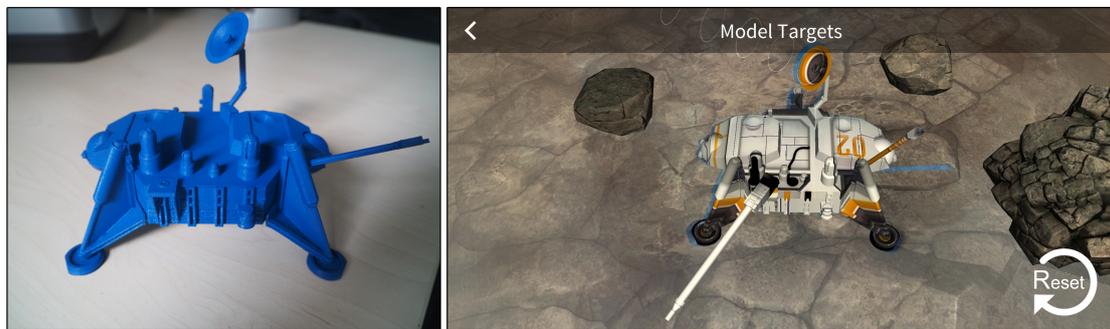


Abbildung 4.3: a) Viking Lander 3D Druck, Quelle: Nadia Hintze 2018
b) Screenshot der Vuforia 3D Model Tracking Anwendung
Quelle: PTC: Vuforia Model Targets,
<https://assetstore.unity.com/packages/templates/packs/vuforia-model-targets-107218>
(Letzter Zugriff 16.12.2018)

Das Fossil beinhaltet jedoch nicht derartig viele geometrische Details. Für 3D Targets gibt es keine Bewertung durch Vuforia, die Aufschluss darüber gibt, ob ein Objekt erkannt werden kann. Um abschätzen zu können auf welche Objekte das zutrifft, wurde daher ein Testprojekt mit zwei anderen Objekten erstellt. Die CAD Modelle dazu stehen bereits zur Verfügung und ihr geometrischer Aufbau ist ähnlich detailarm wie der des Fossils.

¹⁴Bei Vuforia werden die Modelle, die bei modell-basierten Tracking Algorithmen als Referenz dienen, Target genannt.

¹⁵PTC: Supported Object Types, <https://library.vuforia.com/content/vuforia-library/en/articles/Solution/model-targets-supported-objects.html> (Letzter Zugriff 16.12.2018)

¹⁶Nasa: Viking Lander – STL, <https://nasa3d.arc.nasa.gov/detail/viking-lander> (Letzter Zugriff 16.12.2018)

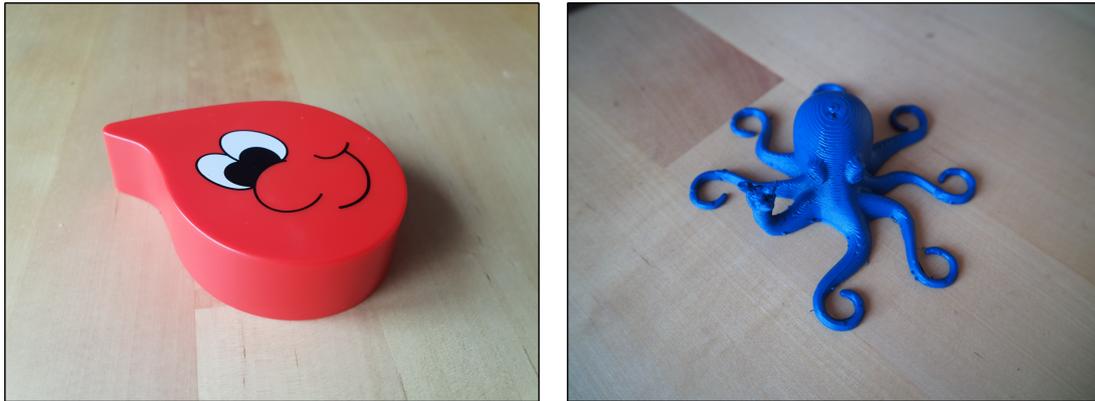


Abbildung 4.4: Andere versuchte 3D Objekte, Quelle: Nadia Hintze 2018

Beide Objekte konnten im Versuch auf diese Weise nicht von Vuforia erkannt werden. Daher ist die Aussicht auf Erfolg bei dem Fossil ebenfalls gering. Außerdem wäre der Zusatzaufwand eines 3D Scans relativ groß. Daher wird zunächst die zweite Möglichkeit ausprobiert.

Diese besteht darin ein Foto der Vorderseite als Bild Target zu verwenden. Das unbearbeitete Foto bewertet der Target Manager mit null Sternen (Abb. 4.5 a). Trotzdem wurde das Fossil hin und wieder damit erkannt. Um auszuprobieren, ob sich die Erkennung stabilisieren lässt, werden hellere Versionen des Fotos mit höheren Kontrasten erstellt (Abb. 4.5 b und 4.5 d). Außerdem werden in weiteren Kopien Stein-Unebenheiten ausgeblendet, da sich verändernde Schattenwürfe am realen Fossil zu anderen Interest Points führen könnten (Abb. 4.5 c und 4.5 e). Somit könnten diese das Tracking ungewollt beeinflussen.

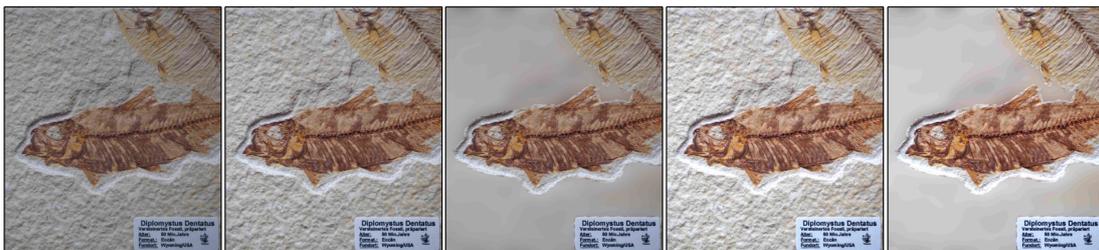


Abbildung 4.5: a-e) Ausprobierte Referenzbilder Fossil A, Quelle: Nadia Hintze 2018

Obwohl auch an den Unebenheiten laut dem Target Manager einige Interest Points entstehen (Abb. 4.6), erhalten die Versionen mit den Ausblendungen dieselben Bewertungen wie diejenigen, bei denen nur die Kontraste und die Helligkeit verändert wurden. Abb. 4.5 b und 4.5 c werden mit zwei und Abb. 4.5 d und 4.5 e mit jeweils vier Sternen bewertet.

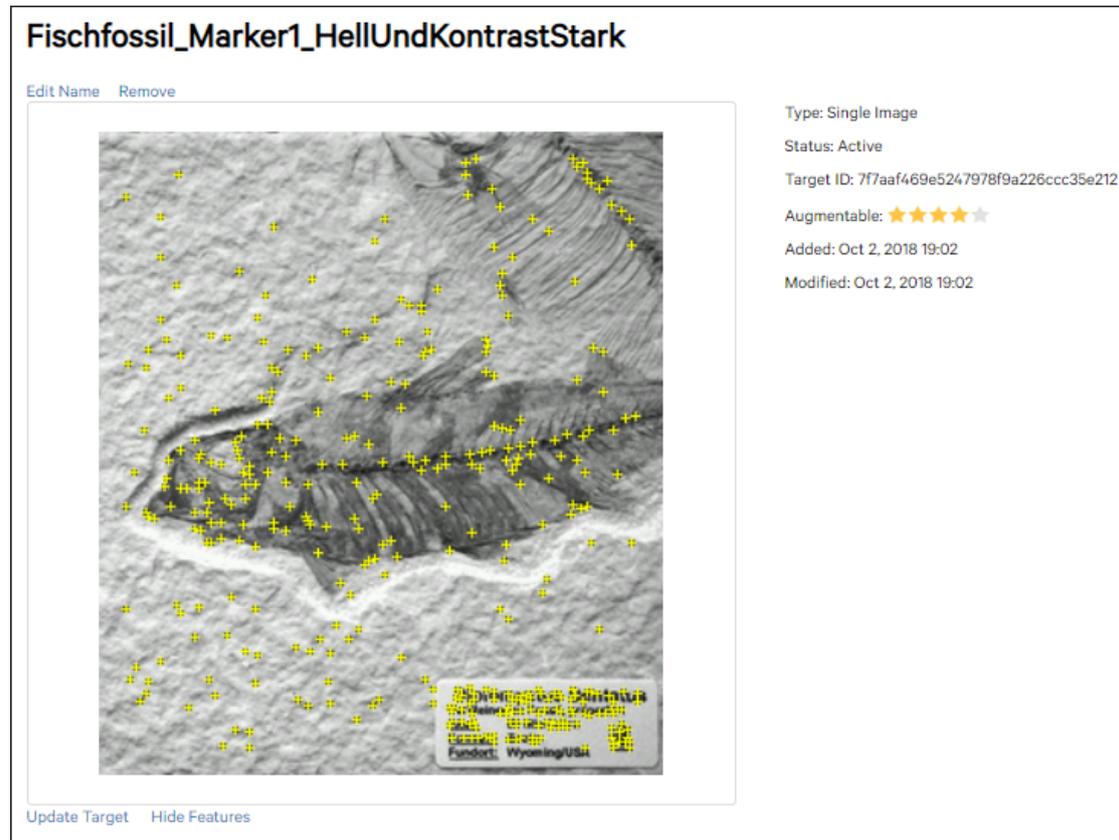


Abbildung 4.6: Interest Points von Referenzbild Abb. 4.5 d), Quelle: Nadia Hintze 2018

Nun wäre denkbar, dass die optische Veränderung der Referenzbilder zu weit von dem realen Fossil abweicht, um es noch tracken zu können. Um das zu überprüfen wurde ein Unity Projekt erstellt, das bei der Erkennung eines Markers ein bestimmtes virtuelles Objekt zu dem Fossil augmentiert (Abb. 4.7). An dem erscheinenden Objekt kann so festgestellt werden, welches Referenzbild zur Erkennung des Fossils geführt hat.

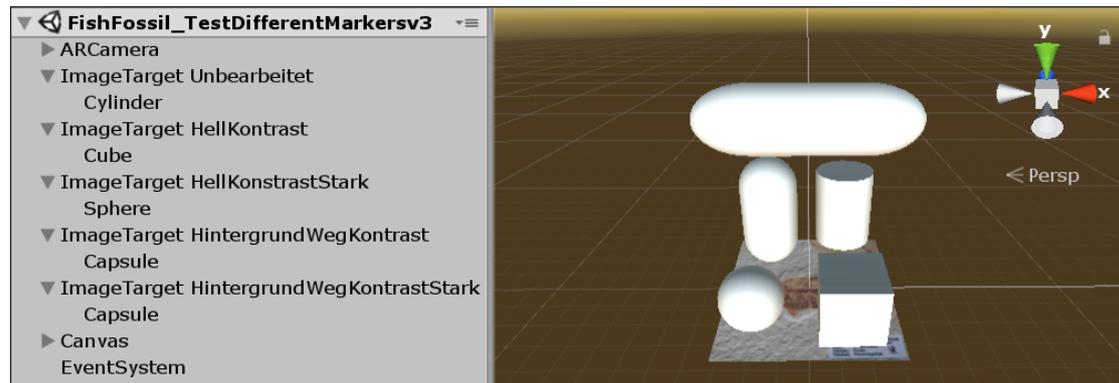


Abbildung 4.7: Fossil A Erkennungstest, Quelle: Nadia Hintze 2018

Da beobachtet wurde, dass sich das Ergebnis je nach Sichtfeld der Kamera bei Systemstart verändert, wurden vier Startpositionen für den Versuch gewählt. Für jede Startposition wurde die Anwendung zehnmals gestartet. In der Tabelle 4.1 wurde die Anzahl der Erkennungen festgehalten.

Tabelle 4.1: Anzahl der Marker Erkennungen

	4.5 a	4.5 b	4.5 c	4.5 d	4.5 e
Fossil im Sichtfeld, dunkler Hintergrund	0	0	1	3	6
Fossil nicht in Sicht, dunkler Hintergrund	0	2	1	3	4
Fossil im Sichtfeld, heller Hintergrund	0	0	0	9	1
Fossil nicht in Sicht, heller Hintergrund	0	0	0	6	4

Auch hier scheinen die Ausblendungen wenig Einfluss auf das Tracking zu haben. Da das Tracking damit zuverlässig funktioniert, fällt die Entscheidung auf die Benutzung des Bildes Abb. 4.5 d.

Für Fossil B wurde somit dieselbe Methode benutzt, um das Referenzbild zu erstellen, wie für Fossil A. Außerdem ist die Oberflächenbeschaffenheit des originalen Fossils B der von Fossil A ähnlich. Das lässt vermuten, dass auch das originale Fossil von der Anwendung erkannt werden würde.

4.2.2 Augmentierung: Informationsfenster

Im Folgenden werden die Fossile um virtuelle Textfenster erweitert. Dafür wird zuerst das Referenzbild in die Unity Szene geladen.

Herstellung des 3D Bezuges

Um ein virtuelles Objekt räumlich am realen Objekt zu verankern, wird es als Child des Referenzbildes in die Hierarchie gesetzt (Abb. 4.8). Im Rahmen der Registrierung (Kapitel 2.2.1) wird das räumliche Verhältnis zwischen dem Referenzbild und der virtuellen Kamera dem der realen Äquivalente angepasst. Durch die Übertragung der räumlichen Eigenschaften des Referenzbildes auf die Children, verhalten sie sich, als wären sie am realen Objekt befestigt. Das gilt bei zwei- sowie bei dreidimensionalen Referenzmodellen.

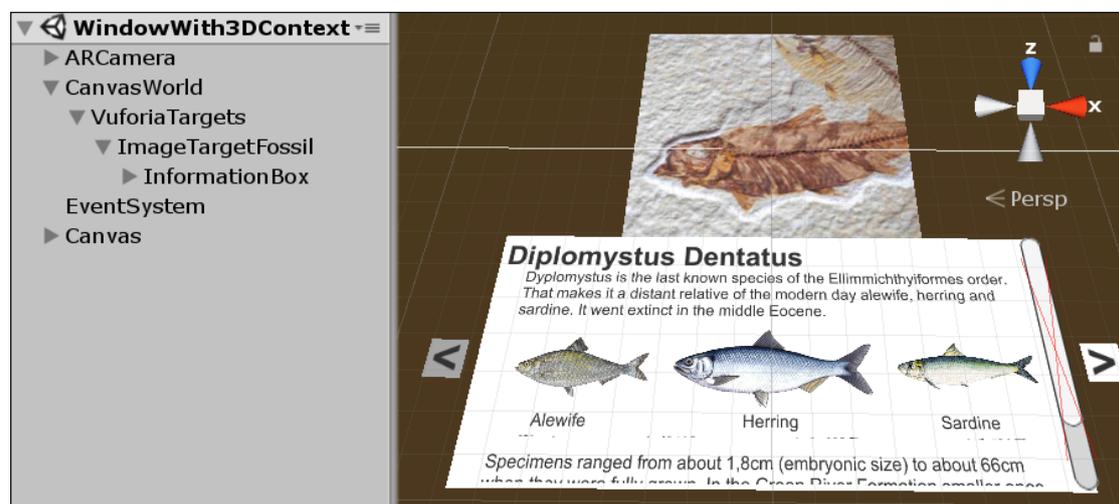


Abbildung 4.8: Fenster mit 3D Bezug in Unity, Quelle: Nadia Hintze 2018

Das Canvas bestimmt die Umgebung, in der UI Elemente wie das Informationsfenster angezeigt werden. Die darzustellenden Elemente werden als Children an das Canvas gehängt. „Canvas World“ bezieht sich auf das dreidimensionale Koordinatensystem. Wenn nun Elemente ohne 3D Bezug erstellt werden sollen, wird dafür ein entsprechendes anderes Canvas benötigt (Abb. 4.9). Auf diese Weise werden im Folgenden Buttons eingefügt und das Menü gestaltet.

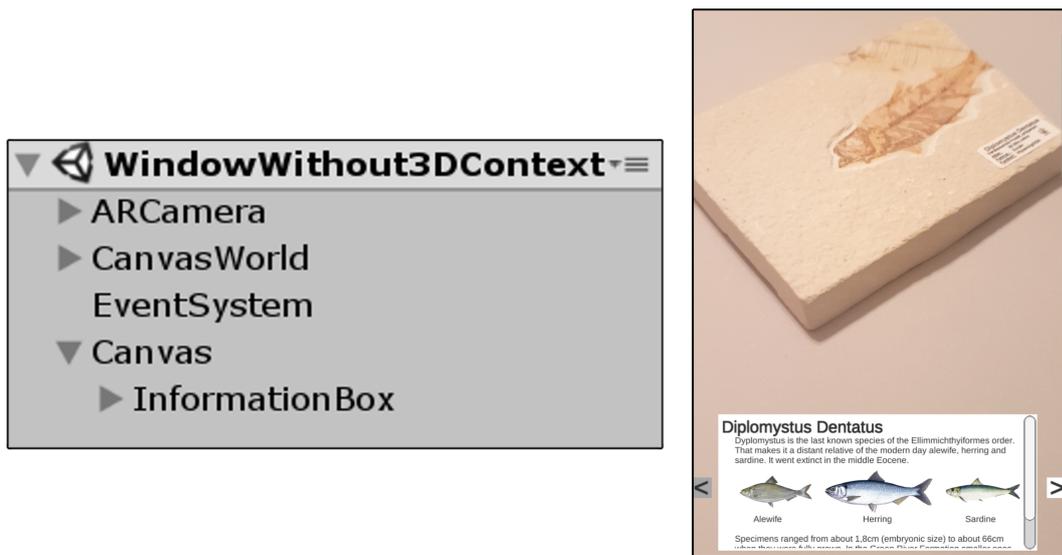


Abbildung 4.9: Fenster ohne 3D Bezug, Quelle: Nadia Hintze 2018

Inhalt der Seiten

Das Bild- und Textfenster zu Fossil A kann zwei Seiten anzeigen. Die erste beinhaltet Informationen zu der Fischart *Diplomystus*. Die Informationen werden deutsch- und englischsprachigen Wikipedia Seiten entnommen.¹⁷ Dazu kommen Bilder der noch lebenden Nachfahren (Abb. 4.10).¹⁸

¹⁷Wikipedia: *Diplomystus*, <https://de.wikipedia.org/wiki/Diplomystus> (Letzter Zugriff 17.12.2018), <https://en.wikipedia.org/wiki/Diplomystus> (Letzter Zugriff 17.12.2018)

¹⁸Raver, Duane (U.S. Fish and Wildlife Service), Alewife fosh.jpg, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Alewife_fish.jpg (Letzter Zugriff 17.12.18)
Márton, Zsoldos, Caspialosa kessleri pontica Dunai hering.jpg, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Caspialosa_kessleri_pontica_Dunai_hering.jpg (Letzter Zugriff 17.12.2018)
Gervais, H.: *Sardina pilchardus* Gervais.jpg, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sardina_pilchardus_Gervais.jpg (Letzter Zugriff 17.12.2018)

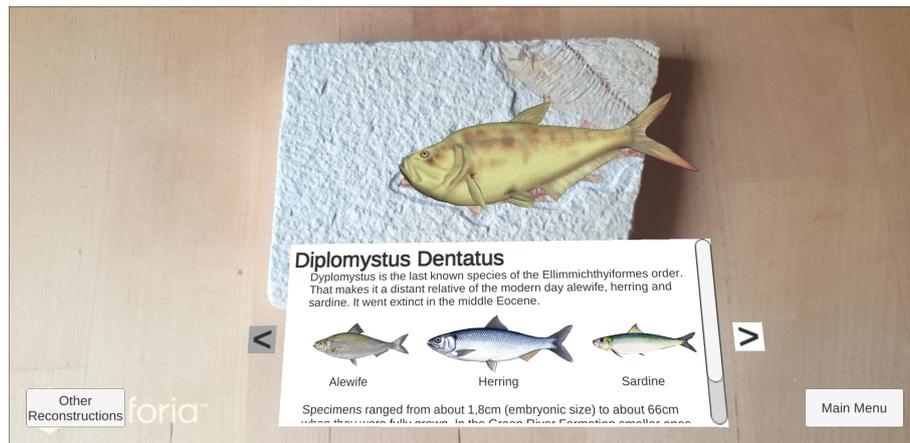


Abbildung 4.10: Diplomystus Informationsseite zu Fossil A, Quelle: Nadia Hintze 2018

Die zweite Seite zeigt den Zeitraum, in dem die Fischart aufgetreten ist (Abb. 4.11).

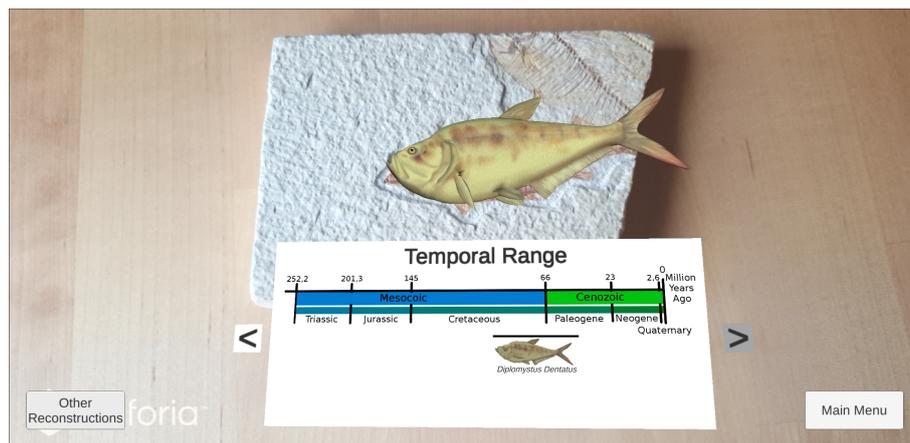


Abbildung 4.11: Zeitstrahl Seite zu Fossil A, Quelle: Nadia Hintze 2018

Das Fenster für Fossil B beinhaltet ebenfalls die Seite mit Informationen zu der Fischart. Zusätzlich wurde für diese fiktive Ausstellung angenommen, dass das Exponat in einem ausgetrockneten Flussbett gefunden wurde, aus dem auch andere Diplomystus Fossile stammen. Eine weitere Seite enthält Informationen dazu und Fotos des Flussbetts.¹⁹

¹⁹National Park Service: Fossil Fish Species, <https://www.nps.gov/fobu/learn/nature/fossil-fish.htm> (Letzter Zugriff 17.12.2018)
James St. John: Green River Formation, <https://www.flickr.com/photos/jsjgeology/25427090785> (Letzter Zugriff 17.12.2018)
Kmusser: Greenrivermap.png, <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:>

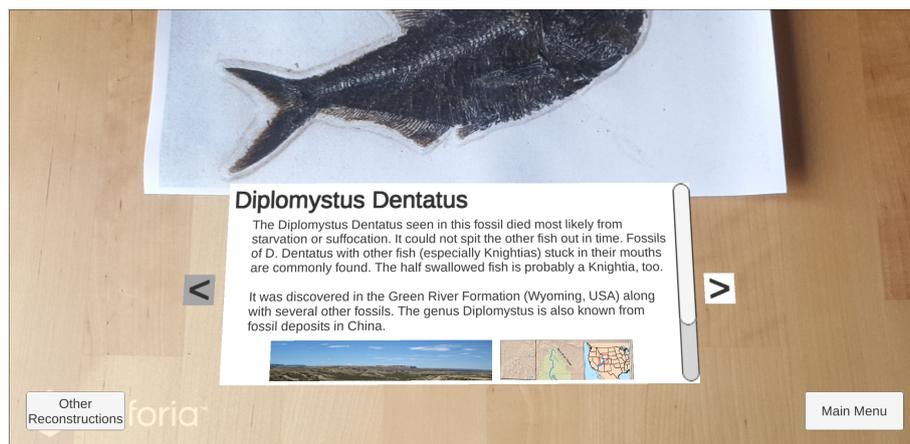


Abbildung 4.12: Seite mit Informationen zu Fossil B, Quelle: Nadia Hintze 2018

Außerdem wurde angenommen, dass der Fisch im Maul des Diplomystus ein Knightia war, da andere Fossile dieser Art gefunden wurden. Die dritte Seite wurde mit Informationen zu der Fischart Knightia gefüllt. Diese Informationen wurden ebenfalls den dazugehörigen englisch- und deutschsprachigen Wikipedia Seiten entnommen.²⁰

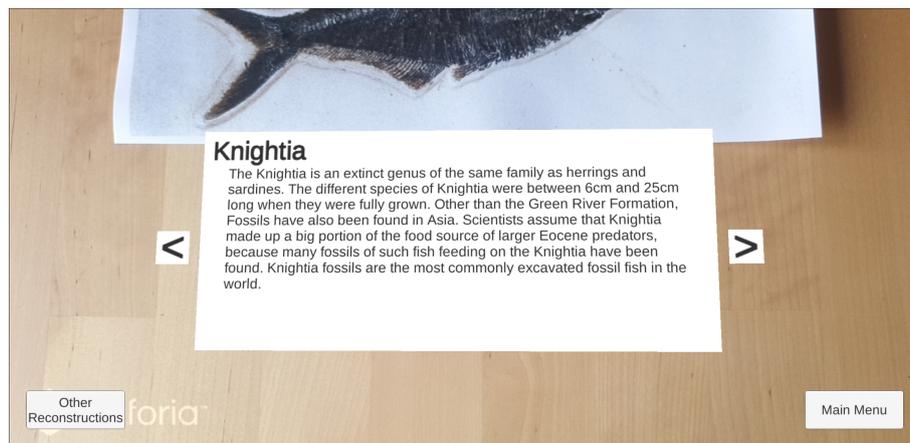


Abbildung 4.13: Seite mit Informationen zur Knightia Art, Quelle: Nadia Hintze 2018

Greenutrivermap.png (Letzter Zugriff 17.12.2018)

²⁰Wikipedia: Knightia, <https://de.wikipedia.org/wiki/Knightia> (Letzter Zugriff 17.12.2018), <https://en.wikipedia.org/wiki/Knightia> (Letzter Zugriff 17.12.2018)

Wie bei Fossil A besteht die letzte Seite bei Fossil B ebenfalls aus einem Zeitstrahl. Auf diesem ist neben dem Zeitraum, in dem der *Diplomystus* auftrat, auch die Phase der *Knightia* Art eingezeichnet.

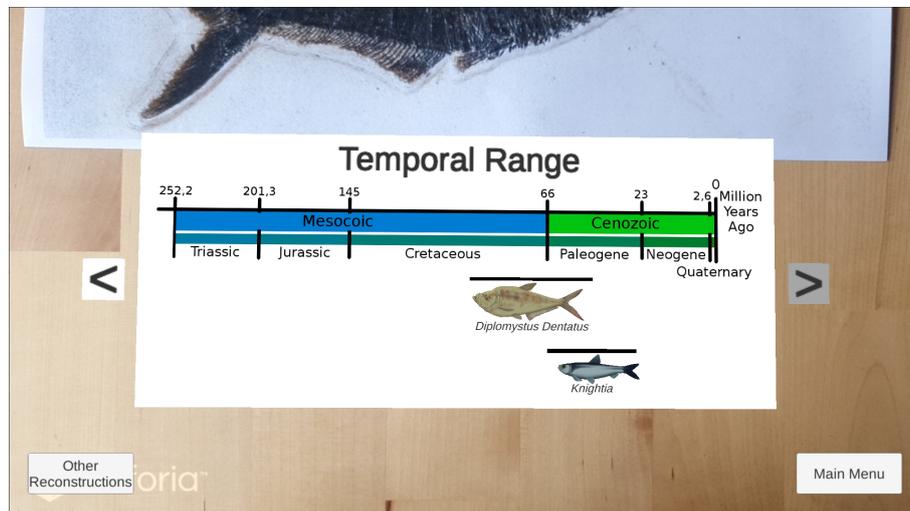


Abbildung 4.14: Zeitstrahl für Fossil B, Quelle: Nadia Hintze 2018

Gestaltung des Fensters

Unity bietet einige UI²¹ Objekte zur Gestaltung von Interfaces. Unter anderem einen Scroll View, Image Panels und Textfelder. Mit entsprechenden Anpassungen lassen sich aus diesen Objekten die benötigten Seiten zusammensetzen. Buttons gehören ebenso zu Unitys UI Objekten. Links und rechts vom Fenster werden diese eingesetzt, damit der User zwischen den Seiten wechseln kann. Dafür werden die Button-Objekte über ein C-Skript so angepasst, dass sie in einer festen Reihenfolge eine der Seiten aktivieren und die anderen deaktivieren. Somit sieht der Benutzer immer nur eine aktive Seite und kann diese benutzen.

Gedächtnis der Anwendung

Im Konzept (Kapitel 4.1) wurde beschrieben, dass die vorherige Betrachtung von Fossil B einen Einfluss auf die Augmentierung von Fossil A hat. Dafür muss die Anwendung sich merken, welche Exponate betrachtet wurden.

Zu jedem Vuforia Target gehört ein Event Handler. Dieser enthält Methoden, die ausgeführt werden, wenn das Target in der Realität gefunden oder wieder verloren wurde. Mithilfe von Zeitstempeln kann hier herausgefunden werden, wie lange ein gesuchtes Objekt

²¹ „UI“ steht für User Interface.

erfolgreich am Stück getrackt wurde. Die Kamera könnte auch bloß versehentlich kurz auf das Objekt gerichtet sein. Daher wird eine Betrachtung erst dann berücksichtigt, wenn sie länger als fünf Sekunden dauert. Dann wird ein Skript namens „userBehaviourObserver“ aufgerufen. Dieses Skript merkt sich die aufaddierte Betrachtungsdauer der verschiedenen Fossilien. Wenn nun ein am Zeitstrahl hängendes Script feststellt, dass Fossil B vor Fossil A betrachtet wurde, wird neben dem Diplomystus auch der Knightia angezeigt (wie in Abb. 4.14). Das wird gemacht, indem die Anzeigen für die beiden Zeiträume eigene Bild Objekte sind, die per Skript an- und ausgeschaltet werden können.

4.2.3 Augmentierung: Rekonstruktion

Die Fossilien werden außerdem um verschiedene virtuelle Rekonstruktionen der Fische erweitert. Im Folgenden werden zwei Rekonstruktionen des Diplomystus und eine des Knightias erstellt. Ein erster Ansatz ist, diese als zweidimensionale Bilder anzuzeigen. In diesem Fall wird der 3D-Kontext ähnlich wie im vorherigen Fall erzeugt. Die Rekonstruktion wird mit GIMP als .PNG-Datei mit Alphakanal erstellt und in die Unity Szene geladen (Abb. 4.15). Als Vorlage der eigenen Zeichnung wird ein Bild der Plattform DeviantArt benutzt.²²

²²Stolpergeist: Diplomystus, <https://www.deviantart.com/stolpergeist/art/Diplomystus-737183285> (Letzter Zugriff 17.12.2018)

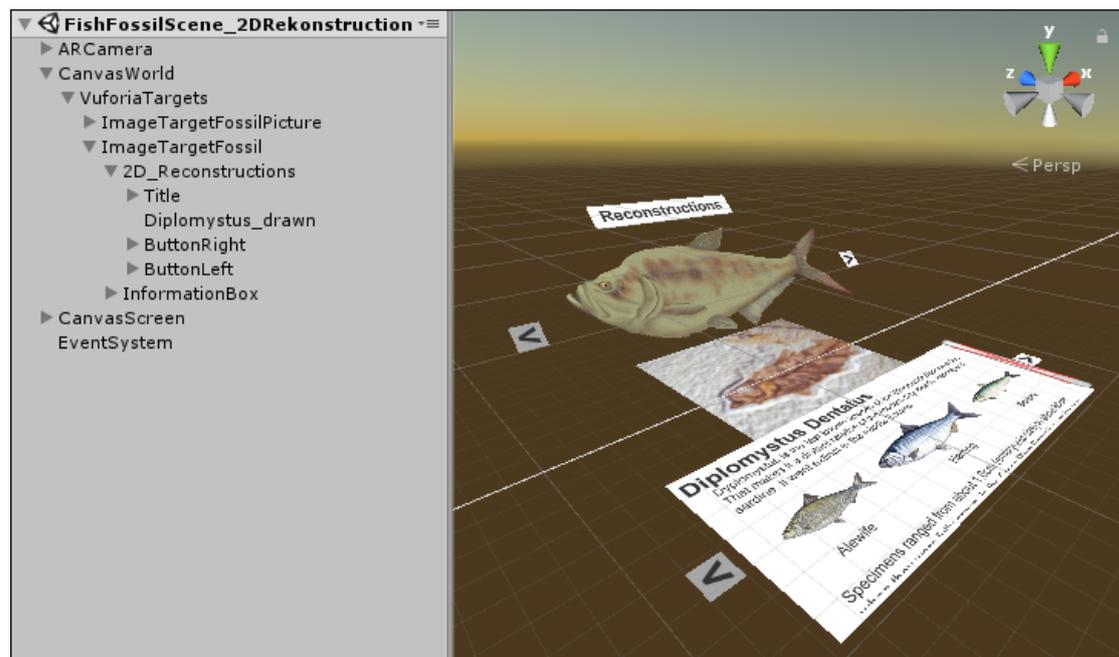


Abbildung 4.15: Augmentierung mit 2D Rekonstruktion, Quelle: Nadia Hintze 2018

Einer eigenen These zufolge wirken dreidimensionale Objekte präsenter als zweidimensionale Bilder. Deshalb werden die Rekonstruktionen als CAD Modelle umgesetzt. Zur Hilfestellung werden die Zeichnung und weitere Bilder als Image Plane in die Maya Szene eingefügt (Abb. 4.16 a).²³ In der Seitenansicht kann sich bei der Modellierung an dem Bild orientiert werden (Abb. 4.16 b).

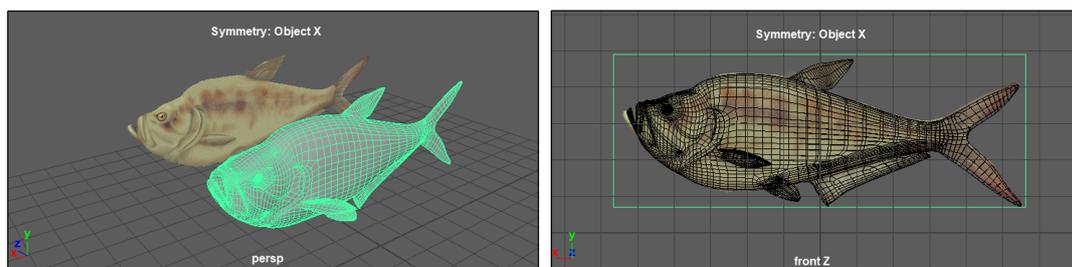


Abbildung 4.16: a) Modellierung der ersten Diplomystus Rekonstruktion in Maya, b) Seitenansicht mit Image Plane
Quelle: Nadia Hintze 2018

²³LEXLOTHOR: Diplomystus dentatus Model stock, <https://www.deviantart.com/lexlothor/art/Diplomystus-dentatus-Model-stock-589334106> (Letzter Zugriff 17.12.2018)
LEXLOTHOR: Knightia eocena Model stock, <https://www.deviantart.com/lexlothor/art/Knightia-eocaena-Model-stock-393653467> (Letzter Zugriff 17.12.2018)

Im Anschluss werden die Texturen der Modelle erstellt. Zuerst werden sie mit GIMP gezeichnet und anschließend mit Mudbox direkt am dazugehörigen 3D Modell nachbearbeitet. Im Beispiel der ersten Diplomyxus Rekonstruktion wurde die zuvor angefertigte Zeichnung als Grundlage benutzt (Abb. 4.17).

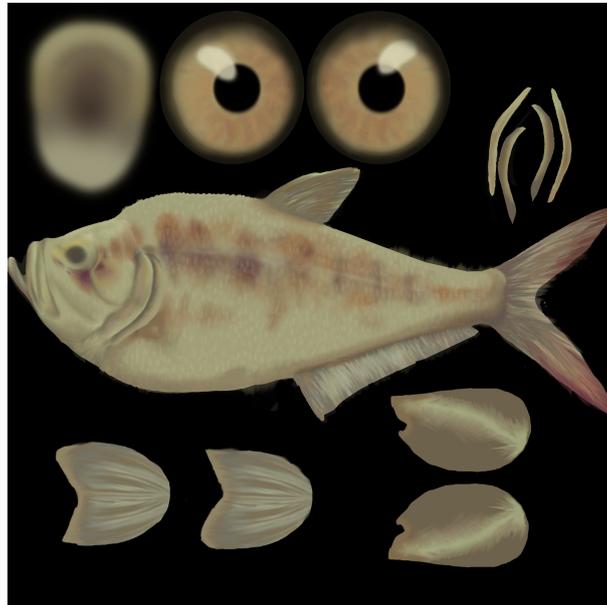


Abbildung 4.17: Diplomyxus Rekonstruktion 1 Textur, Quelle: Nadia Hintze 2018

Mithilfe von Animationen soll der 3D Bezug zu dem jeweiligen Fossil in der Wahrnehmung des Benutzers verstärkt werden. Dazu können Bewegungen der Rekonstruktionen abgespielt werden, die das reale Fossil direkt mit einzubeziehen scheinen. Um die Modelle animieren zu können, werden zunächst Bones und ein Rig in Maya dafür angefertigt (Abb. 4.18).

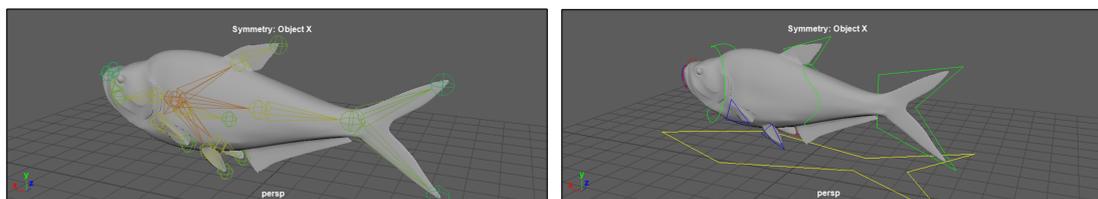


Abbildung 4.18: Bones und Rig der ersten Diplomyxus Rekonstruktion
Quelle: Nadia Hintze 2018

Eine Animation wird erstellt, indem jede Kurve zu bestimmten Zeitpunkten der Animation eine Position, Rotation und Skalierung zugewiesen bekommt. Entsprechend zuvor angelegter Weichtmaps werden Teile des Modells mitbewegt. Die Veränderungen zwischen diesen Zeitpunkten interpoliert Maya. Die dabei entstehenden Kurven können nach Belieben nachbearbeitet werden.

Um den 3D Bezug zum Fossil herstellen zu können, werden die Referenzbilder der Fossile in der Maya-Szene benutzt. Dadurch können die Größe und die Bewegungen der Fische darauf abgestimmt werden (Abb. 4.19).

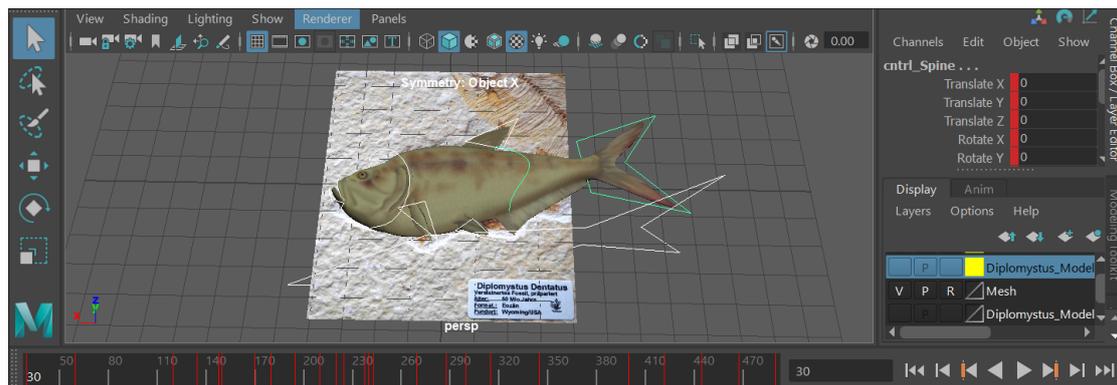


Abbildung 4.19: Animation der ersten Diplomystus Rekonstruktion

Quelle: Nadia Hintze 2018

Für Fossil A entstehen sechs Animation. Jeweils drei für jede Diplomystus Rekonstruktion. In der ersten Animation liegen sie tot auf dem Fossil, in der zweiten richteten sie sich auf und in der dritten schwimmen sie auf der Stelle.

Fossil B wird mit insgesamt sieben Animationen augmentiert. Die ursprüngliche Idee war für beide unterschiedlichen Diplomystus Versionen zu zeigen, wie sie versuchen den Knightia zu fressen, an ihm ersticken und zu Boden sinken. Jedoch ist das Mesh der ersten Rekonstruktion nicht dafür geeignet, den Mund des Fisches weit genug zu öffnen. Daher wird dieses Modell nur schwimmend gezeigt. Neben der Schwimm-Animation des zweiten Diplomystus und des Knightias kommt die Animation hinzu, die darstellt wie die beiden verenden. Weitere zwei Animationen zeigen die zwei Fische tot auf dem Fossil. Da die Animationen den Fossil Referenzbildern in Maya angepasst wurden, müssen die Modelle in Unity nur an die richtige Anfangsposition geschoben werden. Als Interface für den Benutzer dient ein Button, der die Anzeige der alternativen Rekonstruktionen des Diplomystus veranlasst. Zusätzlich wurden den Modellen Collider Objekte hinzugefügt. Diese nehmen grob die Formen der Meshes an und rufen Skripte auf, wenn diese Stelle z.B. durch einen Klick am Display berührt wurde (Abb. 4.20).

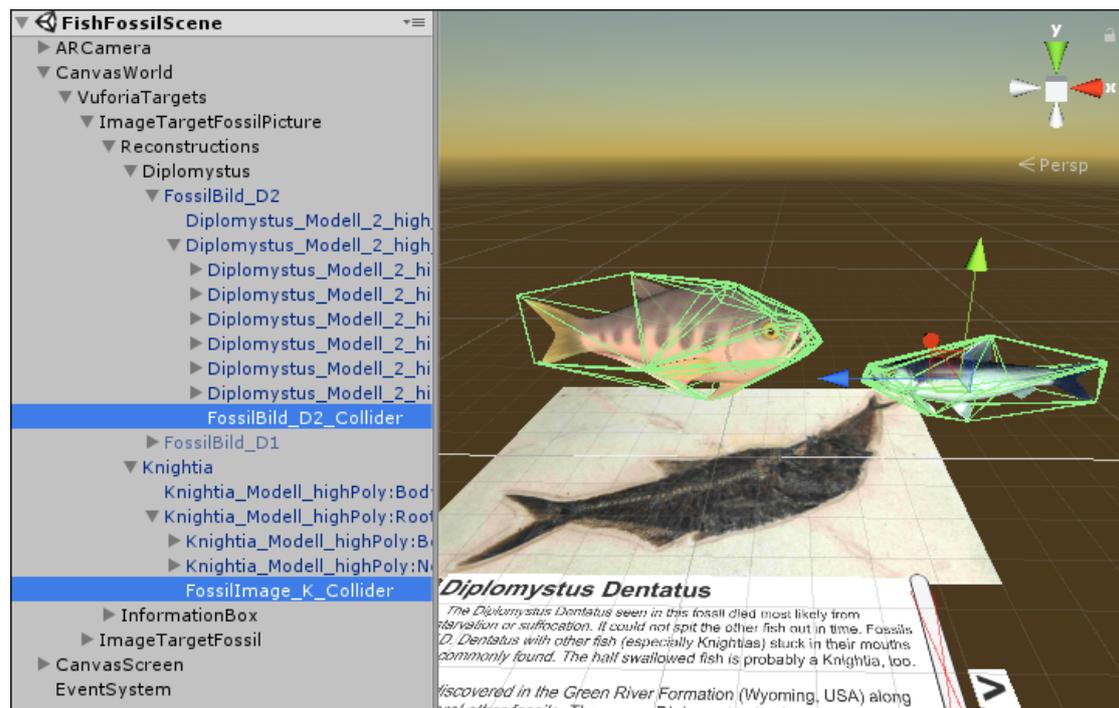


Abbildung 4.20: Fossil B Collider, Quelle: Nadia Hintze 2018

Wenn das Tracking der Anwendung Fossil A wahrnimmt, werden zunächst der Button unten links am Bildschirmrand und eine Diplomystus Rekonstruktion auf dem Fossil liegend gezeigt. Wenn nun der Button gedrückt wird, wird das Modell durch die andere Rekonstruktion ersetzt. Durch einen Klick auf den Fisch kann die Animation abgespielt werden, in der der Fisch sich aufrichtet. Während der Wiedergabe wird der Button auf inaktiv gestellt. Anschließend wird die Schwimm-Animation als Schleife abgespielt. Auch hier kann die Rekonstruktion wieder gewechselt werden. Wenn der Benutzer wieder auf den Fisch klickt, wird die Animation ‚GettingUp‘ rückwärts abgespielt, sodass er danach wieder auf dem Fossil liegt (Abb. 4.21).

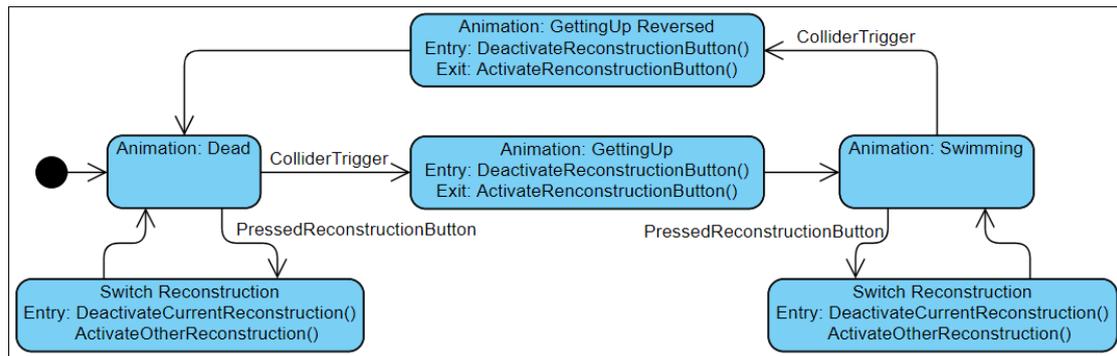


Abbildung 4.21: Fossil A Reconstruktionen State Machine, Quelle: Nadia Hintze 2018

In Unity gehört zu jedem animierten Objekt ein Zustandsdiagramm, das die Abläufe der verschiedenen Animationen beschreibt und eine Steuerung durch C-Skripte ermöglicht. Beide Reconstruktionen haben das gleiche Zustandsdiagramm. Bei der Animationserstellung wurde darauf geachtet, dass die Animationen für die verschiedenen Fische gleich lang sind. Deshalb können die Übergänge in beiden gleichzeitig geschaltet werden. Wenn eine Rekonstruktion gewechselt wird, befindet sich das neue Modell also an demselben Platz wie das alte.

Bei Fossil B schwimmen die Reconstruktionen des Diplomystus und des Knightias zu Beginn. Die Animation, in der der Diplomystus den Knightia frisst und an ihm erstickt, kann nur gezeigt werden, wenn die zweite Rekonstruktion ausgewählt wurde. Im Gegensatz zu Fossil A kann die erste Diplomystus Rekonstruktion nur gezeigt werden, während die Fische schwimmen. Auch hier werden die Sterbeanimationen gezeigt, wenn einer der Fische angeklickt wird (Abb. 4.22).

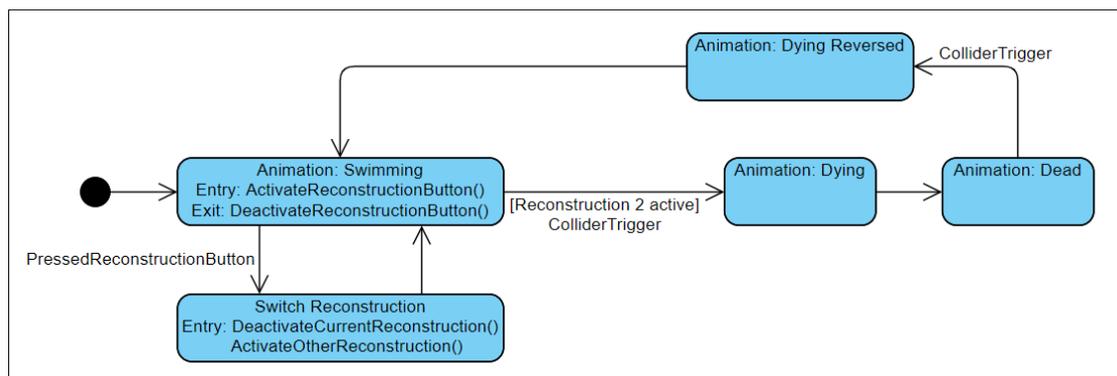


Abbildung 4.22: Fossil B Reconstruktionen State Machine, Quelle: Nadia Hintze 2018

Als Shader wurden für die Modelle diffused Shader ausgewählt, da diese die Performanz auf einem Handheld Device nicht so stark einschränken wie andere. Diese Shader lassen die Oberfläche matt wirken. Einer eigenen These zufolge wirken virtuelle Objekte jedoch besonders präsent, wenn sie realistisch aussehen. Daher wurde für den Knightia ein für den Mobile Gebrauch optimierter bumped specular Shader benutzt. Dieser lässt den Fisch glänzen und dadurch nass wirken. Zusätzlich wurden damit die einzelnen Fischschuppen etwas herausgestellt.

4.2.4 Menü

Zuletzt wird der Anwendung ein Menü hinzugefügt, das aus unterschiedlichen von Unity gebotenen UI-Elementen zusammengestellt wird. Darüber kann man die Anwendung starten und schließen sowie Verweise zu den benutzten Quellen finden.

Die Anwendung sollte auf möglichst vielen Devices laufen, damit viele Museumsbesucher sie benutzen können. Daher wurden alle virtuellen Objekte ohne 3D Bezug so realisiert, dass sie mit unterschiedlichen Displaygrößen skalieren.

4.3 Beurteilung

Zu Beginn dieser Abschlussarbeit wurden mehrere Ziele einer Museumsausstellung formuliert. Eines der Ziele ist eine allgemein verständliche und ansprechend dargebotene Informationsvermittlung. Dazu kommen die Darstellung des aktuellen Forschungsstandes und die Orientierung an den Bedürfnissen des Besuchers. Im Folgenden wird beurteilt, inwiefern die Anwendung die Erfüllung dieser Ziele unterstützen kann. Zusätzlich werden Beobachtungen hinsichtlich der Performanz geschildert.

Informationsdarstellung

Als erste Form der Darstellung wurden zweidimensionale Fenster mit Text- und Bildinformationen umgesetzt. Die Fenster haben einen dreidimensionalen Bezug zu den Exponaten. Alternativ könnten die Fenster ohne diesen Bezug dargestellt werden, wie es beispielsweise in der Anwendung „Stitching Our Struggles“ gemacht wird (Kapitel 3.1). In diesem Fall wackelt die Ansicht nicht, wenn der Benutzer sich bewegt. Das erleichtert das Lesen des Textes. Zudem kann er die Position stärker verändern, ohne dass der Text unleserlich wird, weil er sich davon wegbewegt. Die Darstellung eines Objektes mit 3D Bezug ist jedoch näher an der Wahrnehmung eines realen Objektes. Somit lässt

sich vermuten, dass es präsenter und natürlicher wirkt. Eine mögliche Folgerung dieser Überlegungen ist, längere Texte ohne 3D Bezug und kürzere Textinformationen mit 3D Bezug darzustellen (vgl. Wüest u. a. [31]). Alternative Darstellungsformen sind via Text- und Bildtafel oder mittels einer Audiospur realisierbar. Zwischen allen Herangehensweisen sind Mischungen denkbar. Um bewerten zu können, ob die Darstellungsformen die Kriterien ‚allgemein verständlich‘ und ‚ansprechend dargeboten‘ erfüllen, muss eine Nutzerstudie durchgeführt werden, da es sich um subjektive Kriterien handelt. In der Studie würden verschiedene Optionen präsentiert und die Wirkung auf verschiedene Benutzer verglichen werden. Die erstellte Anwendung ist eine Umsetzungsmöglichkeit, die für diese Vergleiche herangezogen werden kann.

Eine weitere umgesetzte Darstellungsform ist die Präsentation mithilfe von virtuellen 3D Modellen. Diese Modelle dienen zur Veranschaulichung der Rekonstruktion. Darüber hinaus zeigen Animationen nicht nur Bewegungsformen der Tiere (vgl. „Skin Bones“ aus Kapitel 3.1), sondern erzählen auch die Geschichte der Todesursache. Die Darstellungen beziehen sich sowohl inhaltlich als auch optisch auf das reale Exponat. Diese Form der Darstellung ist weitestgehend unabhängig von den individuellen Merkmalen eines Besuchers, wie beispielsweise seinen sprachlichen Kenntnissen. Daher kann angenommen werden, dass mehr Menschen diese Form verstehen können als eine Übermittlung in Textform, wie sie häufig in Museen benutzt wird. Für eine finale Beurteilung wäre jedoch auch in diesem Fall eine Nutzerstudie nötig.

Die Anwendung hat außerdem beispielhaft gezeigt, wie verschiedene virtuelle Informationen in einem Darstellungsbereich alternierend angezeigt werden können. Der Benutzer kann sich Seiten mit unterschiedlichen Informationen und mehrere Rekonstruktionen der Fische anzeigen lassen. Es kann viel Inhalt angeboten werden, ohne an die räumlichen Grenzen zu stoßen, die bei realen Gegenständen sind. Somit hat ein Museum mehr Möglichkeiten die Ausstellung zu erweitern. Jedoch sollte berücksichtigt werden, dass zunehmend mehr Speicherplatz benötigt wird.

Anpassungsfähigkeit an den aktuellen Forschungsstand

Die Anwendung stellt mehrere Rekonstruktionen der Fische dar. Dadurch können unterschiedliche Theorien über das Aussehen der Tiere abgedeckt werden. Außerdem ist die Masse an Informationen innerhalb des Informationsfensters wesentlich weniger eingeschränkt als bei realen Text- und Bildtafeln. Das macht es leichter den aktuellen Forschungsstand umfassend wiederzugeben. Jedoch muss für die Integration neuer virtueller Objekte das Unity Projekt verändert werden. Das kann allerdings weniger aufwändig sein als reale Tafeln oder 3D Modelle erstellen zu lassen.

Individuelle Bedürfnisse des Besuchers

In der Anwendung wurde ein grundlegendes Gedächtnis integriert. Es kann Aussagen darüber treffen, wie lange der Benutzer einzelne Exponate betrachtet hat. Aus diesen Informationen wird darauf geschlossen, für welche Exponate er sich interessiert. In der Anwendung werden diese Informationen benutzt, um zu bestimmen, welche Tierarten an einem Zeitstrahl angezeigt werden sollen. Zusätzlich wird so eine Verbindung zwischen den betrachteten Exponaten der Ausstellung geschaffen.

Performanz

Wie im Konzept (Kapitel 4.1) bereits erwähnt wurde, wurde bei den beiden Smartphones Samsung Galaxy S9 und Google Nexus 6P das erweiterte Tracking von Vuforia ausprobiert. Mit dessen Hilfe wird nicht nur modell-basiert sondern auch modell-frei getrackt. Das erweitert das Feld, in dem getrackt werden kann, auch wenn das Exponat nicht mehr ganz im Bild ist. Jedoch reicht diese Erweiterung nur begrenzt, wenn die virtuellen Objekte mit einer gewissen Distanz zum Fossil gezeigt werden.

Auf dem Motorola Moto G kommt es zudem zu Performance Einbrüchen. Das liegt unter anderem an dem Shader für die Glanzeffekte auf dem Knightia Modell.

4.4 Mögliche Weiterführung

Die genannte Evaluation hinsichtlich der Qualität der Informationsdarstellung kann durchgeführt werden, um eine genauere Beurteilung erreichen zu können. Außerdem kann mithilfe von Performance Messungen und Änderungen der Anwendung herausgefunden werden, was zu den Performance Einbrüchen auf dem Motorola Moto G beiträgt. Das wäre deshalb interessant, weil in einer öffentlichen Museumsausstellung möglichst viele Smartphones der Besucher bedient werden sollen. Dafür ist es gut zu wissen, welche Aspekte einer Anwendung eher Schwierigkeiten verursachen als andere. In diesem Rahmen könnte auch ein Äquivalent der Anwendung für iOS Smartphones erstellt werden.

Außerdem wäre der Prototyp um neue Anwendungsfälle erweiterbar. Zum Beispiel könnte dem Museumsbesucher ermöglicht werden, eigene Rekonstruktionen der Tiere zu zeichnen und hochzuladen. Die Zeichnung könnten der Anwendung hinzugefügt und von anderen Besuchern betrachtet werden. Zusätzlich könnte das Gedächtnis der Anwendung für weitere Dienste verwendet werden. Durch die registrierten Betrachtungszeiten könnte beispielsweise evaluiert werden, welche Exponate für die Besucher besonders interessant waren. Darüber hinaus ist denkbar, Anwendungen verschiedener Museen miteinander zu

kombinieren. So könnte es beispielsweise virtuelle Querverweise geben, wenn der Benutzer sich in einem anderen Museum bereits mit Exponaten zu demselben Thema beschäftigt hat. Zudem wäre eine Registrierung der Betrachtungszeiten aussagekräftiger bei der Einschätzung der Interessensgebiete. Der Detailgrad der angezeigten Informationen könnte sich so nach Themenschwerpunkten richten, mit denen der Benutzer viel Zeit verbracht hat. Wenn er beispielsweise viele Naturkunde-Ausstellungen besucht hat, könnten zu solchen Exponaten sehr detaillierte Informationen dargestellt werden. Schließlich weiß er bereits viel über das Thema.

Um eine Anpassungsfähigkeit an neue wissenschaftliche Erkenntnisse zu erleichtern, könnte der den Data-driven Approach von Rob Warren et al. verfolgt werden.²⁴ Diese Herangehensweise beschreibt eine automatisierte Anpassung einer Anwendung an eine Datenbank. Dort könnten Targets und die virtuellen Zusatzinformationen gespeichert werden. Dafür könnten die Streaming Fähigkeiten von Unity benutzt werden.

²⁴Warren, Rob; et al.: Data-driven enriched exhibits using augmented reality, In MW2015: Museums and the Web 2015, 2015, <https://mw2015.museumsandtheweb.com/paper/data-driven-augmented-reality-for-museum-exhibits-and-lost-heritage-sites/> (Letzter Zugriff 01.12.2018)

5 Schluss

5.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Kann eine AR Anwendung dabei helfen die Ziele einer Museumsausstellung zu erfüllen? Um diese Frage zu beantworten wurden drei Teilaufgaben bearbeitet.

Der erste Teil beschäftigte sich mit dem Aufbau eines AR Systems und der Frage, welche Komponenten für einen Einsatz im Museum geeignet sind. Die Wahl der System-Komponenten bestimmen die damit umsetzbaren Anwendungsfälle.

Die eingesetzten Tracking Verfahren geben vor, in welcher Umgebung das System benutzt werden kann. Je nach Ort und Gestaltung der Ausstellung können sich GPS- bzw. Netzwerk-basiertes Tracking, IMUs oder optisches Tracking anbieten. In vielen Fällen sind es jedoch Mischungen, die zum Einsatz kommen, um die Nachteile einzelner Methoden auszugleichen.

Die Darstellungskomponente kann die Wahrnehmung aller fünf Sinne erweitern. Aktuell eignen sich vor allem optische und akustische Augmentierung für eine Museumsausstellung. Das liegt zum einen an der fehlenden kommerziellen Verfügbarkeit und zum anderen an dem experimentellen Stand der haptischen, olfaktorischen und gustatorischen Displays. Die in Kapitel 2.2.2 genannten Beispiele sind nur für sehr begrenzte Anwendungsfälle nutzbar und erzeugen nicht immer bei jedem Benutzer dieselbe Wirkung. Da der gleichzeitige Eindruck aller Sinne jedoch der realistischste ist und virtuelle Objekte somit präsenter wirken, ist diese Art der Augmentierung für die Augmented Reality von Vorteil. Zusätzlich können auf diese Art und Weise Informationen dargestellt werden, die durch eine textuelle oder akustische Beschreibung weniger akkurat übermittelt werden. Auf diesen Grundlagen aufbauend wurden im zweiten Teil Anwendungsbeispiele präsentiert, die auf unterschiedlichen AR Systemen basieren. Dabei wurde gezeigt, dass sie unterschiedliche Funktionen erfüllen können. Dazu gehören neue Formen der Informationsdarstellung, eine Erweiterung des Ausstellungsumfangs, das Gefühl der Abwechslung durch die Darstellung sich verändernder virtueller Inhalte und eine Individualisierung der

Anwendung. In Form eines Prototypen wurden im dritten Teil für eine fiktive Ausstellung beispielhaft einige daran anknüpfende Anwendungsfälle realisiert.

5.2 Fazit

Das erste Ziel einer Museumsausstellung ist eine allgemein verständliche und ansprechend dargebotene Informationsvermittlung. Einige Anwendungsfälle in Kapitel 2 sowie in dem umgesetzten Prototypen zeigen, dass Augmented Reality neue Darstellungsformen in Museen ermöglicht. Sie kann Informationen an den Orten an denen sie gebraucht werden und somit übersichtlicher anzeigen. Zusätzlich kann die Flexibilität der virtuellen Inhalte dafür genutzt werden, auch bei wiederholten Besuchen einer Ausstellung interessant zu bleiben, wenn sie sich über die Zeit verändern. Zudem können die realistischen Eindrücke der Exponate aufrecht erhalten werden, obwohl sie durch virtuelle Informationen erweitert werden.

Das zweite Ziel ist eine Informationsdarstellung, die dem aktuellen Forschungsstand entspricht. Die Darstellung mithilfe von Augmented Reality ist nicht durch den Platz eines Ausstellungsortes begrenzt. Somit lassen sich mehr Informationen abdecken, die dem Forschungsstand eher gerecht werden können. Zudem ließen sich mithilfe des data-driven Approaches Updates und Erweiterungen des Systems um neue Informationen erleichtern. So lassen sie sich neuen Erkenntnissen leicht anpassen.

Das dritte Ziel ist die Orientierung an den Bedürfnissen der Besucher. Auch hier ist die Flexibilität der virtuellen Informationen von Vorteil. So können sie an spezielle Bedürfnisse angepasst werden, nachdem sich ein Bild von den Eigenschaften des Benutzers gemacht wurde.

Somit ist Augmented Reality eine Form der erweiterten Informationsvermittlung, die die Ziele einer Museumsausstellung erfüllt.

Literaturverzeichnis

- [1] AZUMA, Ronald T.: A Survey of Augmented Reality. In: *Presence: Teleoper. Virtual Environ.* 6 (1997), August, Nr. 4, S. 355–385. – URL <http://dx.doi.org/10.1162/pres.1997.6.4.355>. – ISSN 1054-7460
- [2] CAUDELL, Thomas ; MIZELL, David W.: Augmented Reality : An Application of Heads-Up Display Technology to Manual Manufacturing Processes. In: *Proceedings of the Twenty-Fifth Hawaii International Conference on System Sciences*, 2004
- [3] CHINELLO, Francesco ; MALVEZZI, Monica ; PACCHIEROTTI, Claudio ; PRATTICHIZZO, Domenico: Design and development of a 3RRS wearable fingertip cutaneous device. In: *IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics*, 07 2015
- [4] DAMALA, Areti ; STOJANOVIC, Nenad ; SCHUCHERT, Tobias ; MORAGUES, Jorge ; CABRERA, Ana ; GILLEADE, Kiel: Adaptive Augmented Reality for Cultural Heritage: ARtSENSE Project. In: *Progress in Cultural Heritage Preservation*. Springer Berlin Heidelberg, 2012, S. 746–755
- [5] DASTAGEERI, Habiburrahman ; STORZ, Martin ; COORS, Volker: SPIRIT – Videobasierte mobile Augmented Reality Lösung zur interaktiven Informationsvermittlung, 03 2015
- [6] DOBBELSTEIN, David ; HERRDUM, Steffen ; RUKZIO, Enrico: inScent: A Wearable Olfactory Display As an Amplification for Mobile Notifications. In: *Proceedings of the 2017 ACM International Symposium on Wearable Computers*. New York, NY, USA : ACM, 2017 (ISWC '17), S. 130–137. – URL <http://doi.acm.org/10.1145/3123021.3123035>. – ISBN 978-1-4503-5188-1
- [7] DÖRNER, Ralf ; BROLL, Wolfgang ; GRIMM, Paul ; JUNG, Bernhard: *Virtual und Augmented Reality (VR / AR)*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013

- [8] HARIRI, Surina ; AIN MUSTAFA, Nur ; KARUNANAYAKA, Kasun ; DAVID CHEOK, Adrian: Electrical stimulation of olfactory receptors for digitizing smell, 11 2016, S. 4. – ISBN 978-1-4503-4559-0
- [9] HASEGAWA, Keisuke ; QIU, Liwei ; SHINODA, Hiroyuki: Midair Ultrasound Fragrance Rendering. In: *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 24 (2018), April, Nr. 4, S. 1477–1485. – URL <https://doi.org/10.1109/TVCG.2018.2794118>. – ISSN 1077-2626
- [10] HERRERA, Nicolas S. ; MCMAHAN, Ryan P.: Development of a Simple and Low-Cost Olfactory Display for Immersive Media Experiences. In: *Proceedings of the 2Nd ACM International Workshop on Immersive Media Experiences*. New York, NY, USA : ACM, 2014 (ImmersiveMe '14), S. 1–6. – URL <http://doi.acm.org/10.1145/2660579.2660584>. – ISBN 978-1-4503-3122-7
- [11] KASAHARA, Shunichi: Headlight: Egocentric Visual Augmentation by Wearable Wide Projector. In: *ACM SIGGRAPH 2018 Emerging Technologies*. New York, NY, USA : ACM, 2018 (SIGGRAPH '18), S. 10:1–10:2. – URL <http://doi.acm.org/10.1145/3214907.3214926>. – ISBN 978-1-4503-5810-1
- [12] LOCHMANN, Hans: *Standards für Museen*. Deutscher Museumsbund e.V. and ICOM-Deutschland. 2006
- [13] LOPES, Pedro ; YOU, Sijing ; ION, Alexandra ; BAUDISCH, Patrick: Adding Force Feedback to Mixed Reality Experiences and Games Using Electrical Muscle Stimulation. In: *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. New York, NY, USA : ACM, 2018 (CHI '18), S. 446:1–446:13. – URL <http://doi.acm.org/10.1145/3173574.3174020>. – ISBN 978-1-4503-5620-6
- [14] MEHLER-BICHLER, Lothar: *Augmented Reality - Theorie und Praxis*. 2. Aufl. Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, 2014
- [15] MENDEZ, Roberto L.: Mobile Inside-out VR Tracking, Now Available on Your Phone: Extended Abstract. In: *ACM SIGGRAPH 2018 Appy Hour*. New York, NY, USA : ACM, 2018 (SIGGRAPH '18), S. 5:1–5:2. – URL <http://doi.acm.org/10.1145/3213779.3213781>. – ISBN 978-1-4503-5807-1
- [16] MILGRAM, Paul ; KISHINO, Fumio: A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays. In: *IEICE Trans. Information Systems* vol. E77-D, no. 12 (1994), 12, S. 1321–1329

- [17] MOORE, G. E.: Cramming more components onto integrated circuits, Reprinted from *Electronics*, volume 38, number 8, April 19, 1965, pp.114 ff. In: *IEEE Solid-State Circuits Society Newsletter* 11 (2006), Sep., Nr. 3, S. 33–35. – ISSN 1098-4232
- [18] NYCZ, C. J. ; BÜTZER, T. ; LAMBERCY, O. ; ARATA, J. ; FISCHER, G. S. ; GASSERT, R.: Design and Characterization of a Lightweight and Fully Portable Remote Actuation System for Use With a Hand Exoskeleton. In: *IEEE Robotics and Automation Letters* 1 (2016), July, Nr. 2, S. 976–983. – ISSN 2377-3766
- [19] OCHIAI, Yoichi ; KUMAGAI, Kota ; HOSHI, Takayuki ; HASEGAWA, Satoshi ; HAYASAKI, Yoshio: Cross-Field Aerial Haptics: Rendering Haptic Feedback in Air with Light and Acoustic Fields. In: *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. New York, NY, USA : ACM, 2016 (CHI '16), S. 3238–3247. – URL <http://doi.acm.org/10.1145/2858036.2858489>. – ISBN 978-1-4503-3362-7
- [20] OLWAL, Alex ; LINDFORS, Christoffer ; GUSTAFSSON, Jonny ; KJELLBERG, Torsten ; MATTSSON, Lars: ASTOR: An Autostereoscopic Optical Seethrough Augmented Reality System, 11 2005, S. 24– 27. – ISBN 0-7695-2459-1
- [21] RANASINGHE, Nimesha ; DO, Ellen Yi-Luen: Digital Lollipop: Studying Electrical Stimulation on the Human Tongue to Simulate Taste Sensations. In: *ACM Trans. Multimedia Comput. Commun. Appl.* 13 (2016), Oktober, Nr. 1, S. 5:1–5:22. – URL <http://doi.acm.org/10.1145/2996462>. – ISSN 1551-6857
- [22] RANASINGHE, Nimesha ; LEE, Kuan-Yi ; SUTHOKUMAR, Gajan ; DO, Ellen Yi-Luen: The Sensation of Taste in the Future of Immersive Media. In: *Proceedings of the 2Nd ACM International Workshop on Immersive Media Experiences*. New York, NY, USA : ACM, 2014 (ImmersiveMe '14), S. 7–12. – URL <http://doi.acm.org/10.1145/2660579.2660586>. – ISBN 978-1-4503-3122-7
- [23] SAMSHIR, Nur A. ; JOHARI, Nurafiqah ; KARUNANAYAKA, Kasun ; DAVID CHEOK, Adrian: Thermal Sweet Taste Machine for Multisensory Internet. In: *Proceedings of the Fourth International Conference on Human Agent Interaction*. New York, NY, USA : ACM, 2016 (HAI '16), S. 325–328. – URL <http://doi.acm.org/10.1145/2974804.2980503>. – ISBN 978-1-4503-4508-8
- [24] SCHAT, Dirk ; TSCHANZ, Nathaly ; BERGER, Rainer (Hrsg.): *Praxishandbuch Augmented Reality*. Bd. 1. Aufl. UVK Verlagsgesellschaft mbH, 2015. – ISBN 978-3-86496-930-0

- [25] SCHMALSTIEG, Tobias ; LEWIN, Laura (Hrsg.): *Augmented Reality - Principles and Practice*. Taub, Mark L., 2016
- [26] STEPTOE, W. ; JULIER, S. ; STEED, A.: Presence and discernability in conventional and non-photorealistic immersive augmented reality. In: *2014 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*, Sept 2014, S. 213–218
- [27] TAKAKI, Murakami ; TANNER, Person ; LASANTHA, Fernando C. ; KOUTA, Minamizawa: Altered Touch: Miniature Haptic Display with Force, Thermal and Tactile Feedback for Augmented Haptics. In: *ACM SIGGRAPH 2017 Posters*. New York, NY, USA : ACM, 2017 (SIGGRAPH '17), S. 53:1–53:2. – URL <http://doi.acm.org/10.1145/3102163.3102225>. – ISBN 978-1-4503-5015-0
- [28] THEODORAKOPOULOS, M. ; PAPAGEORGOPOULOS, N. ; MOURTI, A. ; ANTONIOU, A. ; WALLACE, M. ; LEPOURAS, G. ; VASSILAKIS, C. ; PLATIS, N.: Personalized augmented reality experiences in museums using Google Cardboards. In: *2017 12th International Workshop on Semantic and Social Media Adaptation and Personalization (SMAP)*, July 2017, S. 95–100
- [29] TÖNNIS, Marcus: *Augmented Reality - Einblicke in die Erweiterte Realität*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010 (Informatik im Fokus)
- [30] VI, Chi T. ; ABLART, Damien ; ARTHUR, Daniel ; OBRIST, Marianna: Gustatory Interface: The Challenges of ‘How’ to Stimulate the Sense of Taste. In: *Proceedings of the 2Nd ACM SIGCHI International Workshop on Multisensory Approaches to Human-Food Interaction*. New York, NY, USA : ACM, 2017 (MHFI 2017), S. 29–33. – URL <http://doi.acm.org/10.1145/3141788.3141794>. – ISBN 978-1-4503-5556-8
- [31] WÜEST, Robert ; ZWICK, Michael ; NEBIKER, Stephan: Geospatial Augmented Reality als interaktives Erlebnis im Museum am Beispiel der Swissarena App, 06 2016
- [32] ZHOU, Z. ; CHEOK, A. D. ; QIU, Y. ; YANG, X.: The Role of 3-D Sound in Human Reaction and Performance in Augmented Reality Environments. In: *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans* 37 (2007), March, Nr. 2, S. 262–272. – ISSN 1083-4427

A Anhang

A.1 Besuchte Museen 2018

- National Gallery London (02.02.2018)
- British Museum (03.02.2018)
- Tower of London (05.02.2018)
- Natural History Museum London (07.02.2018)
- Science Museum London (10.02.2018)
- Archäologisches Museum Hamburg (12.04.2018)
- Völkerkunde Museum Hamburg (17.04.2018)
- Zoologisches Museum Hamburg (21.04.2018)
- Museum für Naturkunde Berlin (06.05.2018)
- Dinosaurier Freiluftmuseum Altmühltal (02.09.2018)
- Naturkundemuseum Augsburg (06.09.2018)
- Deutsches Museum München (07.09.2018)
- Jura-Museum Eichstätt (08.09.2018)

A.2 HMDs/Mobile Devices mit IMUs

- **Head-Mounted-Displays**

- Microsoft: HoloLens Hardware Details, <https://docs.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/hololens-hardware-details> (Letzter Zugriff 02.12.2018)
- Vuzix: M300 Smart Glasses, <https://www.vuzix.com/Products/m300-smart-glasses> (Letzter Zugriff 02.12.2018)
- Osterhoutgroup: ODG R-7 Tech Sheet, <https://www.osterhoutgroup.com/downloads/pdf/product/R-7-TechSheet.pdf> (Letzter Zugriff 02.12.2018)
- Epson: Moverio BT-300, <https://www.epson.de/products/see-through-mobile-vie-moverio-bt-300#specifications> (Letzter Zugriff 02.12.2018)

- **Mobile Devices**

- Inside-Handy: Huawei P20 Lite, <https://www.inside-handy.de/handys/huawei-p20-lite-dual-sim> (Letzter Zugriff 02.12.2018)
- Apple: iPhone 8, <https://www.apple.com/de/iphone-8/specs/> (Letzter Zugriff 02.12.2018)
- Apple: iPhone X, https://support.apple.com/kb/SP770?locale=de_DE (Letzter Zugriff 02.12.2018)
- Saturn: Samsung Galaxy S9, https://www.saturn.de/de/product/_samsung-galaxy-html#technische-daten (Letzter Zugriff 02.12.2018)
- Inside-Handy: Samsung Galaxy S9+, <https://www.inside-handy.de/handys/samsung-galaxy-s9plus> (Letzter Zugriff 02.12.2018)

Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung einer Abschlussarbeit

Gemäß der Allgemeinen Prüfungs- und Studienordnung ist zusammen mit der Abschlussarbeit eine schriftliche Erklärung abzugeben, in der der Studierende bestätigt, dass die Abschlussarbeit „– bei einer Gruppenarbeit die entsprechend gekennzeichneten Teile der Arbeit [(§ 18 Abs. 1 APSO-TI-BM bzw. § 21 Abs. 1 APSO-INGI)] – ohne fremde Hilfe selbständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt wurden. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich zu machen.“

Quelle: § 16 Abs. 5 APSO-TI-BM bzw. § 15 Abs. 6 APSO-INGI

Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung der Arbeit

Hiermit versichere ich,

Name: _____

Vorname: _____

dass ich die vorliegende Bachelorarbeit – bzw. bei einer Gruppenarbeit die entsprechend gekennzeichneten Teile der Arbeit – mit dem Thema:

Entwicklung und Einsatzmöglichkeiten einer AR Anwendung im Rahmen von Museumsausstellungen

ohne fremde Hilfe selbständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht.

Ort Datum Unterschrift im Original