



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Bachelorarbeit

Marcel Lange

**Szenarien für Augmented Reality - Vergleichende Studie und
prototypische Implementierung**

*Fakultät Technik und Informatik
Studiendepartment Informatik*

*Faculty of Engineering and Computer Science
Department of Computer Science*

Marcel Lange

**Szenarien für Augmented Reality - Vergleichende Studie und
prototypische Implementierung**

Bachelorarbeit eingereicht im Rahmen der Bachelorprüfung

im Studiengang Bachelor of Science Angewandte Informatik
am Department Informatik
der Fakultät Technik und Informatik
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Betreuender Prüfer: Prof. Dr. Wendholt
Zweitgutachter: Prof. Dr. Sarstedt

Eingereicht am: 27. Dezember 2018

Marcel Lange

Thema der Arbeit

Szenarien für Augmented Reality - Vergleichende Studie und prototypische Implementierung

Stichworte

Augmented Reality, AR-Buch, Microsoft HoloLens

Kurzzusammenfassung

Diese Arbeit fokussiert sich auf die Untersuchung des heutigen Untersuchungsstandes von Augmented Reality. Im ersten Teil der Arbeit werden Anwendungsbereiche für Augmented Reality identifiziert und anhand ausgewählter Szenarien vorgestellt. Im zweiten Teil wird mit der Entwicklung eines Konzeptes und der prototypischen Implementierung eines ausgewählten Szenarios, der technologische Reifegrad heutiger Hard- und Software untersucht.

Marcel Lange

Title of the paper

Augmented Reality Scenarios - Comparative Study and prototypical Implementation

Keywords

Augmented Reality, AR-Book, Microsoft HoloLens

Abstract

This thesis focuses on the study of today's research in augmented reality. In the first part of this work, applications for augmented reality are identified and presented using selected scenarios. In the second part, the technological maturity of today's hardware and software is examined by developing a concept and the prototypical implementation of a selected scenario.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation	1
1.2	Zielsetzung	1
1.3	Gliederung	2
2	Grundlagen	3
2.1	Mixed Reality und Abgrenzung von VR und AR	3
2.2	Phasen für die Produktion einer AR-Anwendung	4
2.3	Geschichte von AR	6
2.4	Ausgabegeräte	9
2.5	Vergleich der Head Wearables	12
2.5.1	Daqri Smart Glasses	12
2.5.2	Meta 2	13
2.5.3	Epson Smart Glasses/Moverio Pro BT-2200	14
2.5.4	HoloLens	15
2.5.5	Zusammenfassung	16
2.6	Technologien der HoloLens	17
2.7	User Interfaces und Interaktionen der HoloLens	19
2.8	Szenarien von Augmented Reality	20
2.8.1	Medizin	20
2.8.2	Tourismus	23
2.8.3	Unterhaltung	25
2.8.4	Design, Montage und Wartung	27
2.8.5	Persönliche Informationssysteme	29
2.8.6	Schulung und Training	31
2.8.7	Planung	32
2.8.8	Bewertung	34
2.9	Zusammenfassung	34
3	Anforderungsanalyse	36
3.1	Allgemeine Beschreibung	36
3.2	Akteure	37
3.2.1	Benutzer	37
3.2.2	System	37
3.2.3	Content-Provider	37

3.3	Anwendungsfälle	37
3.3.1	Linke Seite: Modellmodus	38
3.3.2	Linke Seite: Lebensraummodus	39
3.3.3	Rechte Seite lesen	40
3.3.4	Bild erkennen	41
3.3.5	Button selektieren	41
3.4	Anforderungen	42
3.4.1	Funktionale Anforderungen	42
3.4.2	Nicht funktionale Anforderungen	42
3.5	Zusammenfassung	43
4	Entwurf	44
4.1	Externe Tools	44
4.1.1	Verwendete Tools	44
4.2	Systemüberblick	46
4.3	Aufbereitung des multimedialen Contents für das AR-Buch	47
4.4	Umsetzung in Unity	49
4.4.1	Szenengraph	49
4.4.2	Abbildung des Systems auf Unity	51
4.5	Entwicklungsstand des Prototyps	55
4.5.1	Walkthrough	55
4.5.2	Rechte Seite Videodarstellung	57
4.5.3	Abdeckung der Anforderungen	58
4.5.4	Lesson learned	59
4.6	Zusammenfassung	60
5	Fazit	61
5.1	Zusammenfassung	61
5.2	Ausblick	61
	Abkürzungsverzeichnis	70
	Glossar	71

Abbildungsverzeichnis

2.1	Mixed Reality Taxonomie	4
2.2	Beispiel einer Handheld AR-Anwendung	10
2.3	Beispiel einer Projektor AR-Anwendung	11
2.4	Beispiel einer Spatial AR-Anwendung	12
2.5	Vitalwertanzeige mit CardioLens	21
2.6	Röntgenblick mit dem NARVIS System	22
2.7	Holografische Sicht auf das Gefäßsystem eines Patienten	23
2.8	AR-TCG mit Stereo Cards	25
2.9	Unterstützungssystem für schwerhörige und gehörlose Personen durch Speech-bubbles	30
2.10	Visualisierung des Stadtmodells von Toronto mit der HoloLens	33
3.1	Erstes Layout des Prototyps	36
3.2	Anwendungsfalldiagramm des Prototyps	38
4.1	Systemdesign des AR-Buches	46
4.2	Aufbereitung des multimedialen Contents des AR-Buches	47
4.3	Bilderauswahl für Vuforia Developer Portal	48
4.4	Beispiel eines Szenengraphens	50
4.5	Abbildung des Systems auf Unity Teil 1 (Vuforia und Image Tagets)	51
4.6	Abbildung des Systems auf Unity Teil 2 (Modellmodus/Lebensraummodus)	52
4.7	Abbildung des Systems auf Unity Teil 3 (Videodarstellung)	54
4.8	Das fertiggestellte Layout des AR-Buches	55
4.9	Walkthrough Modellmodus	56
4.10	Walkthrough Modellmodus Animationswechsel	56
4.11	Walkthrough Lebensraummodus	57
4.12	Walkthrough Videodarstellung	57

Tabellenverzeichnis

3.1	Anwendungsfall "Linke Seite: Modellmodus"	39
3.2	Anwendungsfall "Linke Seite: Lebensraummodus"	40
3.3	Anwendungsfall "Rechte Seite lesen"	40
3.4	Anwendungsfall "Bild erkennen"	41
3.5	Anwendungsfall "Button selektieren"	41
3.6	Funktionale Anforderungen	42
3.7	Nicht funktionale Anforderungen	43
4.1	Einschätzung des Entwicklungsstandes	58

1 Einleitung

1.1 Motivation

Auch wenn Augmented Reality (AR) bei Experten und Forschern bereits seit Jahren bekannt ist und in verschiedenen Formen bereits verwendet wird, ist Augmented Reality noch vielen Verbrauchern unbekannt. Dabei besitzt diese Technologie viele Anwendungsmöglichkeiten in den verschiedensten Einsatzgebieten. AR erlaubt es Benutzern Komplexes verständlich zu machen, zum Beispiel in der Industrie kann AR verwendet werden, um 3D-Modelle und Prototypen für die Entwickler leichter zu veranschaulichen. Mit verschiedenen Interaktionsmöglichkeiten kann das 3D-Modell dann direkt während einer Besprechung manipuliert werden. Dasselbe Prinzip ist auch in der Unterhaltung zu sehen. Bei Sportübertragungen werden Abseitslinien und andere Details durch AR hervorgehoben. Selbst im Marketing wird AR verwendet, um Produkte direkt vor dem Benutzer darzustellen, dadurch kann dieser sich einen gezielten Eindruck über das angebotene Produkt machen. Dies macht sich die "IKEA Place"-Anwendung zu eigen. Der Benutzer kann sich Möbel direkt in sein Wohnzimmer stellen, womit er sich einen Eindruck über die Größe und das Aussehen machen kann. Ebenfalls ist AR durch die neuen Errungenschaften in Hard- und Software bereits für Verbraucher zugänglich. Dadurch das sehr viele Menschen heutzutage Smartphones besitzen, ist nahezu jeder in der Lage auf AR-Technologien zuzugreifen. Weiterhin werden AR-Brillen immer kompakter, fortgeschrittener und preiswerter, wodurch selbst Privatentwickler und kleinere Firmen sich diese Technologie leisten können. Hinzu kommt noch dazu, dass viele Tools zum Entwickeln größerer AR-Anwendungen frei oder für wenig Geld zu Verfügung stehen. Das erlaubt es sogar Privatpersonen kommerzielle Augmented Reality Anwendungen zu entwickeln, die vorher nur mit teurer Hardware und Software möglich waren.

1.2 Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit ist es zum einen, einen Überblick über die möglichen Einsatzgebiete und den momentanen Stand der Technik in Augmented Reality zu verschaffen. Dafür werden die

Einsatzgebiete beschrieben und Beispiele der sich aus den Forschungen ergebenden Anwendungen gezeigt. Darüber hinaus soll eine Entscheidung darüber getroffen werden, welche dieser Einsatzgebiete in Hinblick auf die Zukunft als die vielversprechendsten gelten. Zum zweiten soll mit der Entwicklung eines Prototyps für ein AR-Szenario, der technologische Reifegrad heutiger Hard- und Software untersucht werden.

1.3 Gliederung

Kapitel 2 legt die Grundlagen der in diesem Kapitel vorgestellten Szenarien von AR, sowie die Grundlagen für die Technologien des Prototyps und untersucht anhand ausgewählter Szenarien den heutigen Untersuchungsstand. Abschließend wird am Anschluss der Szenarien das Einsatzgebiet des Prototyps formuliert.

Das Kapitel 3 beschreibt die Funktionsweise des AR-Buches und formuliert die Anforderungen an den Prototypen des AR-Buches.

In Kapitel 4 wird als Erstes der allgemeine Entwurf des Prototyps entworfen. Es wird erläutert, wie der multimediale Content produziert und überführt wird. Daraufhin wird gezeigt, wie der Entwurf in die Entwicklungsumgebung Unity umgesetzt werden kann. Mit einem Walkthrough wird der Entwicklungsstand des Prototyps dargestellt. Abschließend wird die Erfüllung der Anforderungen bewertet.

Das letzte Kapitel 5 fasst die Ergebnisse zusammen.

2 Grundlagen

In diesem Kapitel werden die wesentlichen Herausforderungen und möglichen Probleme für das Erstellen von Augmented Reality (AR) Anwendung erläutert. Es werden grundlegende Begriffe eingeführt und ein Exkurs in die Geschichte von AR geschaffen. Weiterhin wird ein für den Prototyp geeignetes Ausgabegerät identifiziert. Szenarien für AR werden vorgestellt und eine passende Anwendungsdomäne für den Prototyp ermittelt.

In Abschnitt 2.1 werden die für die Arbeit benötigten grundlegenden Begriffe wie Mixed Reality (MR), AR und Virtual Reality (VR) eingeführt und differenziert. Um ein Verständnis für die Entwicklung einer AR-Anwendung zu schaffen, befasst sich der Abschnitt 2.2 mit den Phasen für die Entwicklung einer AR-Anwendung. Es werden die benötigten Phasen genannt und kurz erläutert. Mit dem Abschnitt 2.3 wird gezeigt, dass das Konzept und die Basistechnologien von AR bereits seit den 80er Jahren existiert und sich im Laufe der Jahre stetig weiterentwickelt hat. Verschiedene AR-Anwendungen benötigen unterschiedliche Ausgabegeräte, die in Abschnitt 2.4 erläutert werden. Da sich Head Mounted Displays (HMDs) als vielversprechend herausgestellt haben, wird in Abschnitt 2.5 genauer auf die in 2.4 beschriebenen Head Wearables eingegangen. In einem Vergleich der vier momentan bekanntesten/geläufigsten AR-Brillen wird argumentiert, dass die HoloLens sich als die vielversprechendste AR-Brille herausgestellt hat. Weshalb für die spätere Entwicklung des Prototyps in 2.6 näher auf die Technologien und in 2.7 auf die Interaktionsmöglichkeiten der HoloLens eingegangen wird. In dem Abschnitt 2.8 werden mögliche Szenarien für AR vorgestellt und ein für diese Arbeit geeigneter Anwendungsbereich identifiziert. Im letzten Abschnitt 4.6 werden die Ergebnisse zusammengefasst.

2.1 Mixed Reality und Abgrenzung von VR und AR

MR ist ein Kontinuum, welches alle Ausprägungen von Realität bis hin zur Virtuellen Realität umfasst, wobei der Anteil der Realität kontinuierlich abnimmt und der Anteil der Virtualität entsprechend steigt. Die von Paul Milgrim et al. (1995) eingeführte MR-Taxonomie [1] (siehe Abbildung 2.1) ist allgemein anerkannt [2].

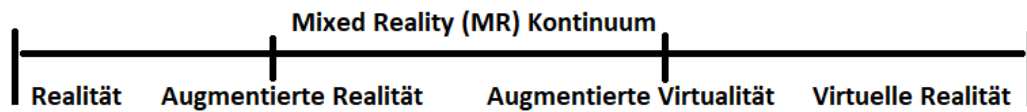


Abbildung 2.1: Die Mixed Reality Taxonomie.

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Milgram et al. (1995) [1]

Realität (Real Environment oder auch reale Umgebung), beschreibt eine Umgebung, die den physikalischen Gesetzen unterliegt. **Augmentierte Realität (AR)** ist eine Überlagerung der realen Welt mit computergenerierten virtuellen Inhalten (für beliebige Sinne), also eine Kombination von Realität und Virtualität. Dies geschieht aber nicht statisch und einmalig, sondern kontinuierlich und an den Standpunkt des Benutzers angepasst. AR kann zum Beispiel über Tablets, Smartphones, AR-Brillen und Projektoren wahrgenommen werden. **Augmentierte Virtualität** ist eine überwiegend virtuelle Umgebung, wo der Benutzer mittels realer Objekte, wie z. B. den Händen, virtuelle Objekte manipulieren kann. **Virtuelle Realität (VR)** ist eine mehrere Sinne umfassende, in Echtzeit computergenerierte, interaktive, immersive und rein virtuelle Umgebung (Virtual Environment). Die virtuelle Umgebung kann eine Nachahmung der realen Welt, mit physikalischen Gesetzen, oder vollständig fiktional mit eigenen Gesetzen sein. Als Ausgabegeräte werden dreidimensionale Displays, wie beispielsweise HMDs (z. B. HTC Vive), verwendet.

Im folgenden Abschnitt wird auf die Entwicklungsphasen von AR-Anwendungen eingegangen. Dadurch wird ein besseres Verständnis, was im späteren Verlauf für die Szenarien von AR und der Prototyp Planung wichtig ist, für die Entwicklung und die Herausforderungen einer AR-Anwendung geschaffen [2].

2.2 Phasen für die Produktion einer AR-Anwendung

Die wesentlichen Herausforderungen für das Erstellen einer AR Anwendung sind das Tracking der Ausgabegeräte, des Benutzers und der physischen Objekte. Weitere Probleme könnten durch unzureichende Hardware, Computergrafik, Tracking-Verfahren und Objekterkennungsverfahren auftreten. In diesem Abschnitt wird ein grundlegendes Verständnis für die Phasen der Entwicklung einer AR-Anwendung geschaffen. Diese Phasen sind:

- Videoaufnahme
- Objekterkennung und Objektverfolgung
- Tracking

- Registrierung
- Darstellung
- Ausgabe

Videoaufnahme

Es wird ein Videobild oder Videostream der Umgebung des Benutzers aufgenommen. Dadurch kann der Benutzer die reale Umgebung wahrnehmen. Dies kann mit einer beliebigen Kamera passieren (Webcam, Smartphone-Kamera, usw.). Dazu muss die Kamera zuvor aber entsprechend kalibriert werden. Die Kalibrierung dient dazu das AR-System an den Benutzer anzupassen, denn jeder Benutzer hat andere Parameter (wie einen unterschiedlichen Augenabstand oder der Benutzer hält das Gerät anders). Wenn diese Parameter nicht richtig eingestellt sind, kann es passieren, dass virtuelle Inhalte nicht die richtige Größe haben oder sogar verzerrt sind [2].

Objekterkennung und Objektverfolgung

Mit der Objekterkennung können Formen von Objekten und deren Position im Raum, anhand des vorher aufgenommenen Videostreams/Videobilds erkannt und identifiziert werden.

Objektverfolgung wird verwendet um 3D Content, Positions- und Lageabhängig korrekt anzuzeigen und lässt sich in Marker und featurebasierte Tracking-Verfahren unterteilen. Marker Tracking verwendet das zuvor aufgenommene Videobild oder den Videostream, um physische Marker zu finden und ihre relative Position im Verhältnis zur Kamera zu ermitteln. Solche Marker sind beispielsweise Bilder oder kleine Objekte. Diese Marker werden in die Anwendung fest einprogrammiert. Anhand des fest einprogrammierten Markers kann das System erkennen, um welchen Marker es sich handelt und dementsprechend den zugehörigen virtuellen Inhalt zuordnen (wie ein 3D Objekt, oder Sound) [3].

Feature-Tracking ist ein bildbasiertes Tracking-Verfahren. Das Verfahren erkennt Eigenschaften wie Ecken, Kanten und Punkte von Objekten, um diese zuordnen zu können. Diese Eigenschaften, müssen in dem System fest einprogrammiert sein. Die gängigen AR-Frameworks unterstützen alle featurebasierten Verfahren. Jedoch sind diese Frameworks unterschiedlich performant und robust [3].

Tracking

Tracking ist die Berechnung bzw. Schätzung der Position und/oder Lage/Orientierung einer Person. Wichtig bei AR ist es, zu jedem Zeitpunkt den Blickpunkt und gegebenenfalls auch die Hände für Interaktionen des Benutzers so genau wie möglich zu erfassen. Dadurch können dem Benutzer die richtigen virtuellen Inhalte aus dem richtigen Blickwinkel gezeigt werden. Dies geschieht durch Schätzungen der Position anhand des vorher aufgenommenen Videobildes [2].

Registrierung

Die (geometrische) Registrierung sorgt dafür, dass ein künstliches Objekt in der Realität korrekt positioniert ist. Auf Basis der Positions- und Lageeinschätzung des Tracking-Verfahrens, werden das Koordinatensystem der einzelnen virtuellen Objekte/Inhalte und der realen Umgebung so in Bezug gebracht, dass virtuelle Objekte in der Realität unabhängig von der Position des Benutzers fest verankert (registriert) sind [2].

Darstellung

Basierend auf der sich durch die geometrische Registrierung ergebenden Transformation und der jeweiligen Kameraperspektive werden virtuelle Inhalte wiedergegeben (Rendering). Das aufgenommene Bild wird bei Video-See-Through-Displays mit virtuellen Objekten perspektivisch korrekt überlagert, wodurch die eigentliche Augmentation erfolgt. Bei Optical-See-Through-Displays findet eine transparente optische Überlagerung statt [2].

Ausgabe

Anschließend wird das augmentierte Bild über ein Display ausgegeben. Dieses Display kann beispielsweise ein Handgeldgerät wie ein Smartphone, ein Tablet, oder eine AR-Brille sein [2].

2.3 Geschichte von AR

Das Konzept von Augmented Reality existiert schon seit den 80er Jahren. Am Anfang bestand die Technologie aus eher experimentellen Prototypen mit spezieller Hard- und Software. Heutzutage hingegen hat sich AR als eigenständigen kommerziellen Bereich bewährt. Dies ist auf den Errungenschaften von aktueller stand- und leistungsfähiger Hardware, sowie auf den Entwicklungen in Computergrafik und Computer-Vision zurückzuführen. In diesem Kapitel wird gezeigt, dass die Basistechnologien schon zu Beginn der AR-Technologie existierten und stetig verbessert wurden.

Die Geschichte der AR-Forschung und Entwicklung lässt sich in vier Phasen unterteilen:

1. **Vor 1980er Jahre:** Experimentieren: Frühe Experimente, die helfen das Konzept der Augmented Reality zu definieren und die dafür benötigten Technologien zu zeigen [4]
2. **1980 bis Mitte der 90er Jahre:** Grundlagenforschung: Erforschung von grundlegenden Technologien wie Tracking, Displays und Eingabegeräte [4]
3. **Mitte der 1990er Jahre bis 2007:** Tools und Anwendungen: Frühzeitige Anwendung und Erforschung von Interaktionstechniken, Benutzerfreundlichkeit und Designtheorie mithilfe von AR-Enabling-Technologien [4]
4. **2007 bis heute:** Kommerzielle Anwendungen: Weit verbreitete AR Verfügbarkeit in unterschiedlichen Anwendungsbereichen, wie Gaming, Medizin, Mobile und Marketing [4]

Experimentieren Der erste AR-Prototyp erschien 1968 und wurde von Ivan Sutherland, Bob Sproull, Studenten der Harvard University und Studenten der University of Utah entwickelt [5]. Sie nutzten einen See-Through-Display, um 3D-Grafiken darzustellen. Dies wurde während der 1970er und 1980er Jahren, von einer kleinen Gruppe von Forschern des Armstrong Laboratory der US Air Force, des NASA Ames Research Center, der Massachusetts Institute of Technology und der University North Carolina in Chapel Hill fortgesetzt. In dieser Zeit wurden mobile Geräte wie der Sony Walkman (1979), Digitaluhren und Personal Digital Organizers eingeführt [6].

Grundlagenforschung In den 1990er Jahren wurden Personal Computer klein genug, um jederzeit getragen werden zu können. Wodurch der Weg für Wearable Computing geebnet wurde. Frühe Palmtop-Computer sind z. B. der Psion I (1984), Apple Newton MessagePad (1993), sowie der Palm Pilot (1996). Heutige mobile Plattformen, die AR unterstützen sind zum Beispiel Personal Digital Assistants (PDAs), wie Tablet-PCs und Mobiltelefone. Erst in den frühen 1990ern wurde der Begriff "Augmented Reality" von Caudell und Mizell [7], Wissenschaftlern der Boeing Corporation geprägt. Diese haben ein experimentelles AR-System entwickelt, um Arbeitern beim Zusammensetzen von Kabelbäumen zu helfen. Echte mobile AR war zurzeit noch unerreicht, aber einige Jahre später wurde ein GPS-basiertes Outdoor-System, das Sehbehinderten eine Navigationshilfe mit räumlichen Audio-Overlays bietet entwickelt [8].

Zusätzlich zu tragbaren AR-Systemen wurde auch an erste Handheld-Geräte geforscht. Die ersten Handheld-AR-Schnittstellen waren Liquid-crystal displays (LCDs), die an Desktop-Computer angebunden wurden und die Tracking- und Grafikgenerierung ermöglichten. Zum Beispiel das Fitzmaurice Chamäleon-System (1993) [9] ermöglichte es einer Person, die ein LCD über ein Stück Papier bewegte virtuelle Inhalte zu sehen.

Bis Mitte der 1990er Jahre war die Forschung von Schlüsseltechnologien für AR, wie Tracking, Display und Interaktion im vollem Gange [6][4].

Tools und Anwendungen In den späten 1990er Jahren wurde AR zu einem eigenständigen Forschungsgebiet.

1998 fand die erste Forschungskonferenz statt, die Augmented Reality gewidmet war, der IEEE / ACM "International Workshop for Augmented Reality" (IWAR). Darauf folgte das "International Symposium on Mixed Reality" (ISMR) von 1999 und das "International Symposium on Augmented Reality" (ISAR) im Jahr 2000. Alle diese Treffen wurden kombiniert in das "International Symposium on Mixed and Augmented Reality" (ISMAR) von 2002, welches die führende Forschungskonferenz für AR bleibt.

Ebenfalls entstanden die ersten Organisationen wie das Mixed Reality Systems Laboratory (MRLab) in Nottingham [10] und das ARVIKA-Konsortium in Deutschland [11].

Kato und Billinghurst entwickelten mit ARToolKit [12] eine Bibliothek für Tracking. Sie ermöglichte Marker basiertes Tracking in Echtzeit für quadratische Marker. ARToolKit löste zwei grundlegende Probleme, es ermöglichte das Tracking des Benutzerstandpunktes und die Interaktion mit realen Objekten. ARToolKit erschien als Open Source Software im Jahre 2000. Durch frei zur Verfügung stehender Software-Toolkits wie dem ARToolKit konnten AR-Anwendungen schnell erstellt werden.

1997 erhielten die ersten Mobiltelefone Kameras. Mohring und Bimber [13] demonstrierten die erste Handy-basierte AR-Anwendung im Jahr 2004. Darauf folgte die Portierung von ARToolKit auf Mobiltelefone [14]. Dadurch besaßen zum ersten Mal Millionen von Menschen die Technologie, die es ihnen ermöglichte, AR-Anwendungen auszuführen.

Die Entwicklung von PC-basierten AR-Tracking führte auch zu den ersten AR-Unternehmen. Das erste war Total Immersion [15], ein 1998 gegründetes französisches Unternehmen, das sich anfangs darauf konzentrierte, AR für standortbezogene Erfahrungen und Veranstaltungen und Marketingkampagnen bereitzustellen. ARToolworks [16] wurde 2001 gegründet, um die ARToolKit-Software zu kommerzialisieren und wurde das erste AR-Unternehmen, das AR-Tools für Entwickler getestet hat (2015 wurde ARToolworks von DAQRI übernommen [17]). Metaio [18] wurde 2003 aus einem ersten industriellen AR-Projekt mit Volkswagen im ARVIKA-Projekt erstellt und ist seitdem zu einer AR-Plattform für Desktop- und mobile AR-Anwendungen gewachsen (2015 wurde Metaio von Apple Inc. übernommen [19]) [4].

Kommerzielle Anwendungen Im Oktober 2007 wurde das Spiel Eye of Judgement für die Sony PlayStation 3 veröffentlicht [20]. Dies war eine der ersten weit verbreitetsten AR-Erfahrungen für Konsumenten und wurde über 300.000 Mal verkauft. Dieses auf Karten basierte Kampfspiel verwendete die Kamera der PlayStation 3 und eine Ableitung von Sonys ursprünglichen CyberCode, um AR-Charaktere auf physische Spielkarten zu zeigen. AR-Technologien wurden benutzt um Live-Übertragungen im Fernsehen, AR-Hinweise hinzuzufügen. Für Sportübertragungen wurden z. B. virtuelle Flaggen den Spielern hinzugefügt, um Ihre Länder unterscheiden zu können.

2009 war ein Wendepunkt für Augmented Reality. Augmented Reality wurde durch die Entstehung von Flash-basierten AR, Smartphone-basierten AR und die Verwendung von AR für globale Marketingkampagnen immer beliebter. Flash-basiertes AR entstand Ende 2008, als Adobe die beliebte Flash-Plattform um Kameraunterstützung erweiterte. Zwei japanische

Entwickler, namens Sqoosha und Nyatla, portierten die ARToolKit-Bibliothek in Flash und erstellten dadurch die FLARToolKit [21]. Da die Entwicklung für Flash viel leichter ist, als das Schreiben von Anwendungen in C und C++, war es viel mehr Entwicklern möglich AR-Anwendungen zu entwickeln. Ein weiterer wichtiger Faktor war der Aufstieg des Smartphones. Der Start des iPhones im Jahre 2007 stellte eine Smartphone-Plattform, für die man Anwendungen leicht entwickeln konnte, einen Prozessor hatte, der leistungsfähig genug für Echtzeit-Computer-Vision-Tracking war und über leistungsstarke 3D-Grafik verfügte.

Im Oktober 2008 erschienen die ersten Android Handys. Dadurch wurde eine Plattform geboten, die die Kamera und Grafik des iPhones mit GPS und Trägheit-Kompass-Sensoren kombinierte. Wodurch eine gute Plattform für Outdoor-AR geschaffen wurde. Das österreichische Unternehmen Mobilizy veröffentlichte gegen Ende 2008 den Wikitude AR Browser [22] für Android Geräte. Mit Wikitude konnten Benutzer virtuelle Tags über Livevideos sehen, um Zusatzinformationen zu erhalten.

Mit der Zusammenarbeit von Saatchi & Saatchi erschien 2007 eine der weltweit ersten mobilen AR-Kampagnen. Durch AR wurden virtuelle Tiere über einer Zeitungsanzeige für einen lokalen Zoo gezeigt. Seit dem wurden viele Mobile Kampagnen für Unternehmen wie Nike [23], Coke [24], Ford [25] und andere erstellt. Der Einsatz von AR-Technologien in der Werbung führte zum weiteren Anstieg der Popularität und Bekanntheit von AR.

Heutzutage ist es, einfacher als je zuvor AR-Anwendungen zu erstellen. Denn dank verfügbaren Tracking-Bibliotheken wie ARToolKit (frei verfügbar), Vuforia (nicht frei verfügbar) [26] und Authoring-Tools wie ATOMIC Authoring Tool (frei verfügbar) [27], können sogar Nicht-Programmierer AR-Erfahrungen erstellen.

Vom Internet über Smartphones bis zu HMDs wie Microsoft HoloLens (noch nicht für den Endverbrauchermarkt geeignet), existieren eine Menge von Plattformen, die es Benutzern ermöglicht einen einfachen Zugriff auf die Technologien zu haben. Der einfache Zugang führte zur Benutzung von AR-Technologien in Unternehmen in verschiedenen Formen und zu einem schnell wachsenden kommerziellen Markt [4].

2.4 Ausgabegeräte

Verschiedene Anwendungsbereiche von AR benötigen unterschiedliche Voraussetzungen. Dies betrifft aber nicht nur die oben erwähnten Phasen, sondern auch die Wahl der Ausgabegeräte. Die wohl bekanntesten sind Handheld-Geräte und Head Wearables. Im Folgenden werden die momentan verwendeten Ausgabegeräte kurz erläutern.

Head Wearables

Diese Technologie wird von dem Benutzer auf dem Kopf getragen. Das Display oder die Displays (für jedes Auge eins) befindet/befinden sich direkt vor dem Auge des Benutzers. Die Darstellung des Bildes geschieht entweder durch Video-See-Through oder Optical-See-Through. **Video-See-Through** nimmt mithilfe einer Kamera in ungefähre Augenhöhe des Benutzers den Videostream auf. Das Video wird mit virtuellen Objekten überlagert und anschließend auf einem undurchsichtigen Display ausgegeben. **Optical-See-Through** hingegen benutzt ein

durchsichtiges Display, sodass der Benutzer die reale Welt sieht. Der Vorteil vom Optical-See-Through liegt unter anderem darin, dass es durch das transparente Display realer wirkt und kein schwarzer Bildschirm durch Fehler des Geräts entstehen kann. Beim Video-See-Through hingegen ist, z. B. die Platzierung von Objekten und die Überlagerung der virtuellen Objekte besser.

HMDs sind in vielen Bereichen besonders vielversprechend, denn der entscheidende Vorteil ist, dass HMDs immer am Körper bzw. auf dem Kopf getragen werden können. Dadurch hat der Benutzer die Informationen immer im Blickfeld und hat zusätzlich die Hände frei, was z. B. bei Montage und medizinischen Tätigkeiten wichtig ist.

Handheld

Die wohl bekanntesten Handheld-Geräte sind Tablets oder Smartphones. Anwendungen für mobile Geräte, wie zum Beispiel Inkhunter [28], gehören zur Kategorie AR. Hierzu werden die sich in den Geräten befindlichen Kameras und der Technologieart Video-See-Through zu Hilfe genommen. In der Applikation wird die reale Welt, in diesem Fall die Haut des Benutzers mit virtuellen Tattoos erweitert (Abbildung 2.2).

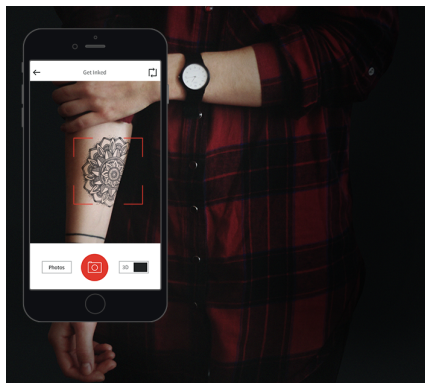


Abbildung 2.2: Inkhunter ist eine App zum Testen von Tattoos durch Augmented Reality.
Quelle: Mit freundlicher Genehmigung von Oleksandra Rohachova [28]

Projektion

Diese Art der Technologie benutzt Projektoren, um die Informationen darzustellen. Ein bekanntes Beispiel ist eine Sandbox. Durch Projektoren und Tiefenkamera werden auf der Oberfläche eines Sandkastens Höhenunterschiede grafisch dargestellt. Dieser Sandkasten [29] ist interaktiv, bewegt man nun den Sand entstehen neue Höhen und Tiefen, welche wieder grafisch dargestellt werden (Abbildung 2.3).



(a) Systemaufbau der Sandbox

(b) Höhen und Tiefen werden auf den Sand projiziert

Abbildung 2.3: Die beiden Projektbilder, zeigen den Aufbau und Funktionsweise der Sandbox.
Quelle: Mit freundlicher Genehmigung von Oliver Kreylos [30]

Spatial

Im Gegensatz zu am Körper befindlichen Displays (HMD oder Handheld), befindet sich bei Spatial-Displays der Großteil der Technologie nicht am Benutzer selbst, sondern werden in der Umgebung platziert. Diese Technologie ist gut geeignet für große Präsentationen und Ausstellungen mit eingeschränkter Interaktion. Es gibt drei verschiedene Ansätze, um diese Technologie zu realisieren, mit Video-See-Through-Displays, Optical-See-Through-Displays oder projektiven Displays. Räumliches Video-See-Through überlagert Videos mit virtuellen Inhalten und geben diese auf einem normalen Monitor aus. Die räumlichen Optical-See-Through-Displays erzeugen im Gegensatz zu tragbaren Optical-See-Through-Displays Bilder, die anhand der realen Umgebung ausgerichtet sind. Planare oder gekrümmte Spiegelstrahlkombinierer, transparente Bildschirme oder optische Hologramme finden Verwendung in solchen Displays. Räumliche projektive Displays verwenden statische, lenkbare und mehrere Projektoren, um Bilder direkt auf physische Objekte zu projizieren, anstatt sie auf einer Bildebene im Sichtfeld des Benutzers anzuzeigen.

Ein Beispiel für spatial AR ist der Virtual Showcase. Der Virtual Showcase ermöglicht die dreidimensionale grafische Vergrößerung von einem echten wissenschaftlichen und kulturellen Artefakt (Abbildung 2.4). Dazu verwendet der Virtual Showcase ein Stereoskopisches-Multi-User-Display. Das Display ist ein halbtransparenter, halb versilberter Spiegel, die es den Benutzern erlaubt durch sie hindurch, ein reales Objekt in der Vitrine zu sehen. Weiterhin

reflektieren die Spiegel ein computergeneriertes, stereoskopisches Bild, das mit dem realen Objekt überlagert und registriert wird.



Abbildung 2.4: Das Ausstellungsstück kann durch ein Stereoskopisches-Multi-User-Display beobachtet werden.

Quelle: Mit freundlicher Genehmigung von Oliver Bimber [31]

2.5 Vergleich der Head Wearables

Aufgrund der in 2.4 erwähnten Vorteile von HMDs werden im folgenden Abschnitt die derzeit verwendeten Head Wearables dargestellt und miteinander verglichen. Dabei werden die AR-Brillen anhand technischer Kriterien katalogisiert und vergleichbar gemacht.

2.5.1 Daqri Smart Glasses

Die von Daqri entwickelte AR-Brille ist für industrielle Zwecke entwickelt. Sie soll dem Benutzer dabei helfen, Maschinen zu warten und zu überwachen [17].

Gewicht Die Smart Glasses wiegt alleine 335g und das Berechnungspaket 496g.

Prozessor und RAM ein Intel Core m7 Prozessor (Bis zu 3.10 GHz) und es ist keine Angabe über den RAM gegeben.

Optik Sie verfügt über ein 44° diagonales Field-Of-View (FOV), mit einer Auflösung von 1360x768 bei einer Frame Rate von 90 FPS.

Linsen Typ Optical-See-Through.

Audio Die AR-Brille besitzt zwei Mikrofone mit Rauschunterdrückung.

I/O Ports 2 USB 3.1 Type C Ports, 3.5 mm Headphone Buchse

Sensoren Eine RGB 1080p HD Kamera mit 30 FPS, eine 166° diagonale Weitwinkel-Fischaugenobjektiv AR-Tracking-Kamera mit 640x480 bei 30 fps, eine 640x480 Tiefensensorkamera mit einer Reichweite von 0,4 m bis 4 m bei 30,60,90 FPS.

Speicher Weiterhin besitzt die Brille eine 64 GB SSD (Solid-State-Drive).

Betriebsbereich Ist Designed für Indoor und Outdoor benutzung bei einer Temperatur von 0 bis 30 °C.

Batterie Verfügt über ein eingebautes 5800 mAh Lithium-Ionen-Akku, mit einer Lebensdauer von ungefähr 4 Stunden.

Konnektivität Konnektivität durch Wi-Fi 802.11 a/b/g/n/ac 2.4/5 GHz und Bluetooth.

OS DAQRI Visual Operating System (VOS).

Software DAQRI Smart Glasses wird mit Worksense Standard geliefert, einer Suite von Produktivitäts-Apps für AR-Aufgaben. Diese sind Daqri Show, Daqri Scan, Daqri Tag, Daqri Model und Daqri Guide. Daqri Show ermöglicht eine bessere Video- und Sprachzusammenarbeit, durch interaktiven Zuschauen (der Zuschauer kann durch Markierungen dem Benutzer Informationen oder Anweisungen geben). Daqri Scan erlaubt es den Benutzern einen Umgebungsscan zu tätigen, zur Erstellung von 3D-Modellen. Mit Daqri Tag können virtuelle Tags an realen Objekten angehängt werden. Durch Daqri Model können 3D-Objekte aus Autodesk BIM 360 Docs visualisiert werden. Und mithilfe von Daqri Guide können Schritt-für-Schritt Anleitungen erstellt werden.

Preis Bei einem Preis von 4995 USD ist sie die Teuerste der vorgestellten AR-Brillen (bis auf HoloLens Commercial Suite).

2.5.2 Meta 2

Meta 2 wurde von Meta für das Entwickeln von AR-Applikationen entwickelt [32] [33].

Gewicht Sie wiegt 500g.

Prozessor und RAM Besitzt keinen eingebauten Prozessor und RAM.

Optik Mit einem 90° Field-Of-View, besitzt die Meta 2 das breiteste Sichtfeld was momentan AR-Brillen anbieten. Mit einer Auslösung von 2560x1440 und einer Aktualisierungsrate von 60Hz.

Linsen Typ Optical-See-Through.

Audio Sie verfügt über drei Mikrofone und vier Surround-Sound-Lautsprecher.

I/O Ports Eine USB 3.0, HDMI und Stromanschluss-Buchse.

Sensoren Eine 720p RGB Frontkamera und ein Sensor-Array für Gestensteuerung.

Speicher Die AR-Brille hat keinen eingebauten Speicher.

Betriebsbereich Hat einen eingeschränkten Bewegungsradius von 2.7 m.

Batterie Besitzt keine eingebaute Batterie.

Konnektivität 2.7 m-HDMI-Kabel für Video, Daten und Stromversorgung

OS Kein eigenes Betriebssystem.

Software Keine Angaben.

Preis Dafür ist sie mit einem Preis von 1495 USD die günstigste AR-Brille.

PC-Mindestsystemanforderungen Da die Meta 2 keinen eingebauten Rechner besitzt, muss sie mit einem Computer verbunden sein, der Anforderungen erfüllen muss. Die angegebenen PC-Mindestsystemanforderungen für die Meta 2 sind, Windows 10 (64-Bit), ein Intel Core i7-6700 Prozessor oder AMD FX 9590 (evtl. etwas Gleichwertiges oder Besseres), 16 GB RAM DDR4 oder mehr, eine NVIDIA GeForce GTX 1050 Ti or AMD Radeon RX 480 (evtl. etwas Gleichwertiges oder Besseres), wobei AMD nur im erweiterten Modus und nicht im direkten Modus unterstützt wird, ein HDMI 1.4b Port, ein USB 3.0 Port oder höher, Unity 5.6 oder höher (mit Unity C# SDK) und Unity 2017.2 und mindestens 10 GB Festplattenspeicher.

2.5.3 Epson Smart Glasses/Moverio Pro BT-2200

Epson bietet mehrere AR-Brillen an, die Neuste ist die Epson Moverio Pro BT-2200 [34].

Gewicht Das Headset wiegt ca. 290g (ohne Kabel), die Steuereinheit 265g ohne Batterien und 365g mit (ca. 50g pro Batterie).

Prozessor und RAM Der eingebaute Prozessor ist ein TI OMAP 4460 1.2Ghz Dual Core, mit 1 GB RAM.

Optik Mit nur 23° hat die AR-Brille das kleinste Field-Of-View. Weiterhin beträgt die Auflösung 960x540, welches die schlechteste Auflösung der momentanen AR-Brillen darstellt, mit einer Aktualisierungsrate von 60Hz.

Linsen Typ Optical-See-Through.

Audio Verfügt über ein Mikrofon.

I/O Ports Micro-USB, microSD-Kartensteckplatz, eine Buchse für 4-poligen Klinckenstecker (Kopfhörer mit Mikrofon, der dem CTIA-Standard entspricht).

Sensoren Eine 5 Megapixel Kamera mit einer Standbildauflösung von 2596x1948, Filmauflösung von 1920x1080 und Tiefenmessung von 640x480. Die eingebauten Sensoren umfassen GPS, einen Beschleunigungsmesser (IMU), ein Gyroskop (IMU), ein Kompass in der Steuereinheit, einen Geomagnetischen und Umgebungslicht Sensor.

Speicher Als internen Speicher gibt es 8 GB, als externer maximal 2 GB mit microSD und maximal 32 GB mit microSDHC.

Betriebsbereich Die Brille ist geeignet für Indoor und Outdoor Benutzung bei Temperaturen von 0 bis 40 °C.

Batterie Verfügt über zwei austauschbare Lithium-Ionen-Akkus 1.240 mAh (hält ca. vier Stunden bei voller Leistung) und ein Wechselstrom-Adapter 100 V - 240 V Wechselspannung +/- 10%, 50 Hz/ 60 Hz.

Konnektivität Konnektivität durch Wi-Fi IEEE 802.11 b/g/n/a, Bluetooth 3.0 und Bluetooth 4.0 LE.

OS Android 4.0.4.

Software Keine Angaben.

Preis Die Moverio Pro BT-2200 ist für einen Preis von 1999 USD erhältlich.

2.5.4 HoloLens

Die von Microsoft entwickelte HoloLens ist die momentan weitverbreitete AR-Brille.

Gewicht Mit einem Gewicht von 579g besitzt sie die größte Kopflast.

Prozessor und RAM In der Brille enthalten, ist ein Intel 32-Bit-Architektur 1GHz mit TPM 2.0-Unterstützung, mit 2 GB RAM und eine Custom-Built Microsoft Holographic Processing Unit (HPU 1.0, mit 1 GB RAM).

Optik Sie besitzt einen 35° Field-Of-View, eine 720p oder 1268x720 Auflösung pro Auge (die zweitschlechteste Auflösung) mit 60 FPS. Die optische Einheit der HoloLens besitzt zwei See-Through-Holographic-Linsen (Wellenleiter), zwei HD 16:9-Licht-Generatoren und eine integrierte automatische Pupillen-Abstands-Kalibrierung. Holografische Auflösung umfasst 2,3 Millionen Gesamtlichtpunkte und die holografische Dichte ist größer als 2,5k Radianten (Lichtpunkte pro Radiant).

Linsen Typ Optical-See-Through.

Audio Enthält vier Mikrofone und einen eingebauten Lautsprecher.

I/O Ports Eine 3.5 mm Audio-Buchse

Sensoren Vier "Environment-Understanding-Cameras" (Sie bieten die Grundlage für das Kopf-Tracking), eine Tiefenkamera, eine 2.4 MP (2048x1152) Foto- / 1.1 MP (1408x792) HD Videokamera, eine Inertiale Messeinheit (IMU) (Beschleunigungsmesser, Gyroskop und Magnetometer), eine Mixed-Reality-Erfassung und einen Umgebungslichtsensor.

Speicher Als Speicher stehen 64 GB Flash-speicher zur Verfügung.

Betriebsbereich keine Angaben.

Batterie Die eingebaute Batterie hat 16,500 MWh, die zwei bis drei Stunden bei aktiver Nutzung und zwei Wochen auf Standby hält.

Konnektivität Konnektivität durch Wi-Fi IEEE 802.11 ac, Micro USB 2.0, Bluetooth 4.1 LE.

OS Windows 10.

Software Windows Store, Holograms, Microsoft Edge, Photos, Settings, Windows Feedback, Calibration, Learn Gestures.

Preis Es werden zwei Versionen angeboten, mit unterschiedlichen Preisen und Features. Die beiden Versionen beinhalten dieselbe Technik, wobei die Developer Edition für einzelne Entwickler und die Commercial Suite für den Einsatz in Firmen gedacht ist. Dabei ist die günstigere der beiden Versionen die Developer Edition, mit einem Preis von 3299,00 Euro (3.854,50 USD) ist sie die drittteuerste AR-Brille. Die Commercial Suite ist mit einem Preis von 5489 Euro (6.413,27 USD) die Teuerste, bringt jedoch einige für den Gebrauch in einem Unternehmen sehr praktische Softwarefeatures mit sich. Zum Beispiel enthält sie eine Geräteverschlüsselung (BitLocker), die Möglichkeit Updates zu blockieren, einen Kiosk Modus (womit dem Nutzer Berechtigungen gegeben werden können, wie z. B. das Öffnen/Schließen von Apps, usw.) und einige mehr.

2.5.5 Zusammenfassung

Hinsichtlich der eingebauten Hardware und der mitgelieferten Software, schneiden die HoloLens und die Daqri Smart Glasses von den vieren, durch ihre Prozessor-/RAM-Leistung, ihrer guten Optik, der vielen Sensoren und der großen eingebauten internen Speicher am besten ab. Des Weiteren sind die beiden AR-Brillen gut dokumentiert. Weshalb im Folgenden diese beiden HMDs genauer gegenübergestellt werden.

Die reine Kopflast der HoloLens ist mit 500g größer als die der Daqri Smart Glasses, da diese das Gewicht in Kopflast 335g und Körperlast 496g unterteilt. Der eingebaute Prozessor der Daqri Smart Glasses ist leistungsfähiger, jedoch besitzt die HoloLens noch eine zusätzliche Custom-Built-Holographic-Processing-Unit (HPU). Weiterhin besitzt die HoloLens einen Arbeitsspeicher von 2GB und einen zusätzlichen Arbeitsspeicher von 1GB in der HPU. Daqri hat bezüglich des Arbeitsspeichers in der AR-Brille keine Angaben gegeben. Mit 44° Field-Of-View und einer Auflösung von 1360x768 schlägt die Daqri AR-Brille die HoloLens, welche nur über ein 35° Field-Of-View und eine Auflösung von 1268x720 verfügt. Die HoloLens hat vier eingebaute Mikrofone und einen Lautsprecher. Die Daqri Smart Glasses hat nur zwei Mikrofone und verfügt über keinen eingebauten Lautsprecher. Auch wenn beide AR-Brillen über gute Tracking-, Tiefen- und RGB-Kameras verfügen, sticht hier die HoloLens durch eine Inertiale Messeinheit (IMU) und durch einen Umgebungslichtsensor hervor. Die Daqri Smart Glasses hat eine Betriebsdauer von ca. 4 Stunden, wobei die HoloLens nur 2-3 Stunden hat. Der Preis der HoloLens für Einzelentwickler ist mit der Developer Edition, niedriger als der Preis für die Daqri Smart Glasses. Dafür ist aber der Preis der Commercial Suite teurer als der von der Daqri AR-Brille und somit die Teuerste der vorgestellten Brillen. Die HoloLens ist für

keine spezifische Branche spezialisiert, wodurch die möglichen Einsatzgebiete vielfältig sind. Daqri Smart Glasses hingegen ist für die Industriebranche entwickelt worden, was sich auch in der mitgelieferten Software zeigt. Beide AR-Brillen stellen sich als vielversprechende Geräte heraus. Jedoch sticht die HoloLens durch eine bessere Sensorik und eines geringeren Preises für Einzelentwickler als die flexiblere Brille heraus. Dazu kommt noch, dass die HoloLens gut dokumentiert ist und es bereits viele Tutorials und Anwendungsbeispiele gibt.

2.6 Technologien der HoloLens

Da sich die HoloLens für den Verbraucher als die attraktivere und vielversprechendere AR-Brille herausgestellt hat, wird im Folgenden auf die Technologien der HoloLens eingegangen. Die HoloLens bietet durch ihren Funktionsumfang ein sehr gutes Verständnis für den realen Raum, was das Platzieren von virtuellen Inhalten im realen Raum vereinfacht. Weiterhin sind die Technologien gut dokumentiert und es gibt viele Beispiele für verschiedenste Anwendungen.

Spatial-Mapping Räumliches Mapping (engl. spatial mapping) liefert eine virtuelle Nachbildung von realen Oberflächen einer Umgebung. Die Spatial-Map kann einmal aufgenommen und abgespeichert werden oder dynamisch aufgenommen werden, sodass die Umgebung durchgehend erfasst wird und Veränderungen in die Spatial-Map eingetragen werden. Zum Erstellen einer Spatial-Map wird der Spatial-Surface-Observer verwendet, welcher ein oder mehrere Boundingvolumes umfasst. Diese Boundingvolumes definieren die für die Spatial-Map abzubildende Umgebung. Sie können stationär sein (an einem festen Ort in Bezug auf die reale Welt) oder an der HoloLens befestigt sein (sie bewegen sich, drehen sich jedoch nicht mit der HoloLens, wenn sie sich durch die Umgebung bewegt). Wird der Scanvorgang gestartet, muss sich der Benutzer in der realen Umgebung umschauchen, wodurch diese von der HoloLens erfasst wird. Daraufhin werden die Boundingvolumes mit Spatial-Surfaces befüllt. Diese Spatial-Surfaces beschreiben reale Oberflächen in einem kleinen Raumvolumen und werden als Dreiecksnetze dargestellt, welche an ein räumlich festgelegtes Koordinatensystem gebunden sind.

Mithilfe des Spatial-Mapping erhält man viele Möglichkeiten der Verarbeitung von Hologrammen in der realen Welt. Man kann Hologramme auf realen Gegenständen, wie beispielsweise einem Tisch platzieren (Placement). Hologramme können zwischen Gegenständen im Raum navigieren, sodass eine virtuelle Figur um den Tisch herumläuft und nicht hindurch (Navigation). Weiterhin können physikalische Gegebenheiten simuliert werden, indem Hologramme mit Objekten im realen Raum interagieren können. Eine virtuelle Figur kann auf der Couch herumspringen oder vom Tisch fallen (Physics). Ein weiterer Nutzen ist das gegenseitige Verdecken von realen Objekten und Hologrammen (Occlusion). Im Normalfall, werden die Spatial-Maps aufgrund zu hoher Rechenleistung nicht visualisiert. Es ist aber beispielsweise vom Vorteil die Spatial-Maps zu visualisieren, wenn der Benutzer den Raum aufnimmt, damit er die Genauigkeit kontrollieren kann. Wichtig beim Erstellen der Spatial-Map ist, dass sich der Benutzer Zeit zur Aufnahme lässt, damit der Raum möglichst vollständig abgebildet wird und

nicht zu viele Lücken entstehen [35]. Das Spatial-Mapping umfasst die Phasen Videoaufnahme, Tracking und Registrierung.

Spatial-Understanding Spatial-Understanding ist eine Erweiterung von Spatial-Mapping. Für das bessere Platzieren von Hologrammen im realen Raum, ist ein besseres Verständnis der realen Umgebung vorteilhaft. Spatial-Understanding erweitert das Spatial-Mapping, indem es aus den unebenen Spatial-Map-Daten ein geschlossenes, flaches Dreiecksnetz erstellt. Ist der Scanvorgang beendet, wird das Dreiecksnetz, vollständig geschlossen. Damit wird ein lückenhaftes Dreiecksnetz verhindert.

Danach werden nutzbare Flächen wie Boden, Decken und Wände identifiziert und gekennzeichnet. Daraufhin können mit Topologie-Queries, Shape-Queries und Object-Placement-Queries gut geeignete Plätze für Objekte gefunden werden. Topologie-Queries sind schnelle Abfragen, die basierend auf der Topologie des Raumes, einem ermöglichen schnell grundlegende Flächen, wie Wände und Boden zu finden. Shape-Queries verwenden die Ergebnisse der Topologie Queries, um horizontale Oberflächen für benutzerdefinierte Formen zu finden. Object-Placement-Queries verwenden komplexere Abfragen, die basierend auf einer Reihe von Regeln und Einschränkungen für das Objekt den am besten geeigneten Platz finden. Beispielsweise für das Finden von Objektecken mit bestimmter Größe und Länge werden Object-Placement-Queries verwendet [35]. Beim Spatial-Understanding werden wie beim Spatial-Mapping, die Phasen Videoaufnahme, Tracking und Registrierung umfasst.

Spatial-Sound In der realen Welt können wir Objekte, die wir nicht sehen können, trotzdem oft noch hören. Durch eine in der HoloLens eingebauten Audio-Engine, können Entwickler 3D-Sound mithilfe von Richtungs-, Entfernungs- und Umweltsimulationen simulieren. Mittels Spatial-Sound können Entwickler Klänge in einem dreidimensionalen Raum, der kugelförmig um den Benutzer herum steht, platzieren. Durch das Hinzufügen vom Klang zu Hologrammen, ist es Entwicklern möglich eine noch höhere Immersion zu erzeugen. Hologramme sind nur sichtbar, wenn der Benutzer sein Blick auf sie richtet, Klänge können allerdings aus jeder beliebigen Richtung kommen, womit man in Anwendungen Benutzer auf bestimmte Sachen (z. B. bestimmte Hologramme) aufmerksam machen. Obwohl der Sichtbereich des Menschen beschränkt ist (ca. 217°) und der Sichtbereich der HoloLens noch mehr begrenzt ist (35°), kann der Benutzer die komplette Umgebung mittels seines Gehörs wahrnehmen.

Je nachdem, wie der Schall unsere Ohren erreicht, bestimmt das Gehirn aus welcher Richtung und Entfernung der Ton eines Objektes kommt. Head-related transfer functions (HRTFs) sind Messungen, die die Richtcharakteristiken von menschlichen Ohren beschreiben, daher eine Beschreibung, wie Schall, der aus der gegebenen Richtung ankommt, unser Ohr erreicht. Die HRTFs einer Person hängen von der Richtung, der Höhe, der Entfernung, der Frequenz des Schalls und der Physiognomie des Benutzers ab. Um die HRTF einer Person zu messen, werden eine Reihe von Lautsprechern um eine Person herumgedreht, die kleine Mikrofone in ihren Ohren hat. Dieser Prozess benötigt spezielle Ausrüstung und ist lang und umständlich. Mithilfe von maschinellem Lernen können persönliche HRTFs durch das Wissen über Maßen einer Person (Anthropometrie) erzeugt werden. Je mehr Parameter man über eine Person weiß, wie z.

B. die Kopfbreite, Höhe, Tiefe und Eingangskordinaten der Gehörgänge, desto personalisierter sind die HRTFs. Es können 10-12 Spatial-Sound Quellen in einer Anwendung verwendet werden. Hierfür werden in etwa 12% der CPU beansprucht [35]. Für Spatial-Sound werden die Phasen Darstellung und Ausgabe verwendet.

Spatial-Anchors Ein Spatial-Anchor (räumlicher Anker) ist ein wichtiger Punkt in der Umgebung, den das System im Laufe der Zeit verfolgen sollte. Um sicherzustellen, dass Hologramme an einem Ort fixiert sind, verfügt jeder Anker über ein eigenes Koordinatensystem, welches sich nach Bedarf relativ zu anderen Ankern oder Bezugsrahmen anpassen kann. Durch das Abspeichern von Spatial-Anchors auf Festplatten, kann eine Applikation selbst über mehreren Sitzungen hinweg dieselbe Platzierung in der Umgebung ermitteln. Das Rendern eines Hologramms in einem Anker-Koordinatensystem gibt zu jedem Zeitpunkt die genaueste Positionierung für das Hologramm an. Da das System ein Hologramm fortlaufend relativ zur realen Umgebung in Position bringt, kommt es mit der Zeit zu kleinen Anpassungen an der Position des Hologramms. Für ein kabelgebundenes Desktop-Headset, das einen Durchmesser von 5 Metern hat, kann in der Regel anstatt von Spatial-Anchorn ein einzelnes Koordinatensystem, mittels Stage-Frame verwendet werden. Benötigt die Applikation mehr als 5 Meter Bewegungsfreiheit, weil sie möglicherweise auf einer Etage oder in einem ganzen Haus betrieben wird, werden Spatial-Anchors benötigt, um den Inhalt stabil zu halten. Einmal platzierte Spatial-Anchors können nicht bewegt werden, was gut für stationäre Hologramme geeignet ist [35]. Die von Spatial-Anchors verwendeten Phasen sind Tracking und Registrierung.

2.7 User Interfaces und Interaktionen der HoloLens

AR-Systeme sind interaktive Systeme. Die HoloLens bietet viele Interaktionsmöglichkeiten an, weshalb in diesem Abschnitt die verschiedenen angebotenen Möglichkeiten näher beschreiben werden.

Gaze Gaze ist die erste und primäre Form der gezielten Eingabe in Augmented Reality. Es lässt sich mit einem Maus-Cursor auf einem Desktop-Computer vergleichen. Im Gegensatz zu Augen-Tracking, verwendet Gaze die Position und Ausrichtung des Kopfes des Benutzers, um den Blickwinkel zu bestimmen. Man kann sich diesen Blickwinkel als einen Laserpointer vorstellen, der geradeaus direkt zwischen den Augen des Benutzers verläuft. Schaut sich der Benutzer nun im Raum um, wird durch die Schneidung des Blickwinkels mit Hologrammen und dem Netz der Spatial-Map bestimmt, auf welche realen oder virtuellen Objekte der Benutzer guckt. Hat eine Interaktion begonnen, kann das Hologramm mit Gesten gesteuert, oder manipuliert werden [35].

Gestures Zur Interaktion mit virtuellen Objekten bzw. Hologrammen werden Handgesten (Gestures) benutzt. Der Vorteil besteht darin, dass der Benutzer keine weiteren technischen Geräte benötigt, um mit virtuellen Objekten interagieren zu können. Die HoloLens kann entweder eine oder beide Hände gleichzeitig erfassen. Dazu müssen sich die Hände im Gesture

Frame befinden. Der Gesture Frame ist ein rechteckiges Volumen im vorderen, unteren Bereich der HoloLens.

Die zwei Hauptgesten der HoloLens sind "Air Tap" (Select-Geste) und "Bloom" (Home-Geste). Sie sind die niedrigste Ebene der räumlichen Eingabedaten, auf die ein Entwickler zugreifen kann (Low-Level-Gesten). Mit ihnen ist die Grundlage für eine Vielzahl möglicher Interaktionen gegeben. Durch das Kombinieren von Tippen, Halten, Loslassen und der Bewegung der Hand können komplexere zusammengesetzte Gesten ausgeführt werden. Diese Composite- oder High-Level-Gesten bauen auf den Low-Level-Räumlichen-Eingabedaten von "Air Tap" und "Bloom" auf. Zusammengesetzte Gesten sind beispielsweise "Tap and Hold", "Manipulation" und "Navigation". Das Erstellen von benutzerdefinierten Gesten wird nicht unterstützt [35].

Motion Controller Die Motion Controller der HoloLens sind Hardware Zubehör, mit denen Benutzer in Mixed Realities agieren können. Ein entscheidender Vorteil von Bewegungssteuerungen gegenüber zu Gesten besteht darin, dass die Controller eine genaue Position im Raum haben, was eine feinere Interaktion mit virtuellen Objekten ermöglicht. MR-Motion Controller extrapolieren anhand der Geschwindigkeit und der Richtung die genaue Position des Controllers, sodass keine weitere Hardware an den Wänden im Raum installieren werden muss [35].

VoiceInput Eine weitere Art der Eingabe ist die Sprachsteuerung (VoiceInput). Die HoloLens bietet nur eine englischsprachige Sprachsteuerung, die für eine U.S. amerikanischer Aussprache optimiert ist. Durch die Sprachsteuerung kann der Benutzer mit den Hologrammen interagieren, ohne Gesten oder andere Steuerelemente zu benutzen. Der "Select"-Befehl wird durch einen Schlüsselwort-Erkennungsalgorithmus mit niedriger Leistungsaufnahme aktiviert, sodass sie jederzeit mit minimalem Einfluss auf die Akkulaufzeit erkannt werden kann. HoloLens benutzt ein "see it, say it" Modell für die Spracheingabe, wo Beschriftungen auf Tasten dem Benutzer sagt, welche Sprachbefehle zur Verfügung stehen. Durch Sprachsteuerung kann der Benutzer die Buchstaben diktieren, statt sie einzutippen. Cortana lässt sich durch "Hey Cortana" aktivieren und ermöglicht Sprachbefehle wie "what can I say?", "Launch", "Go Home", oder "Increase the volume" [35].

2.8 Szenarien von Augmented Reality

Augmented Reality besitzt ein großes Einsatzgebiet, welche im Laufe der Jahre immer weiter angestiegen ist. AR-Systeme werden in Bereichen wie Medizin, Industrie, Toursimus, Unterhaltung und zur persönlichen Unterstützung verwendet.

2.8.1 Medizin

Die Einsatzmöglichkeiten im medizinischen Bereich sind zahlreich. Mit AR können wichtige Informationen in Echtzeit visuell dargestellt werden. Dies hilft nicht nur Fachpersonal, sondern auch für die Ausbildung und Schulung jenes Fachpersonals. Im Folgenden werden genauere Beispiele für die Möglichkeiten von Augmented Reality in der Medizin erläutert.

In der Medizin können Krankenschwestern und Ärzte von wichtigen Informationen profitieren, die direkt auf ihre Brille übertragen werden. Mithilfe der von McDuff et al. für die HoloLens entwickelten CardioLens [36] können beispielsweise Ärzte und Krankenschwestern physiologische Messungen mehrerer Personen, einschließlich des Trägers, gleichzeitig und in Echtzeit vornehmen. Die physiologischen Signale werden dann mittels der HoloLens in der realen Welt visualisiert, sodass der Benutzer vergrößerte Blutdurchblutung und Vitalfunktionen sehen kann (Abbildung 2.5). Das System kombiniert State-Of-The-Art-Computer-Vision-Methods mit der Microsoft HoloLens. CardioLens benutzt die vordere Kamera der HoloLens für entfernte physiologische Messungen. **Ballistokardiographie** und **Photoplethysmographie** werden zur Bildgebung der Kardiographie verwendet. Die Photoplethysmographie ist eine Methode zum Erfassen des Blutvolumenpulses über kleine Abwandlungen des von der Haut reflektierten Lichts [37]. Remote-Imaging-Photoplethysmographie (iPPG) [38], ist eine Reihe von Computer-Vision-Methoden, die die Photoplethysmographie-Messung mit einer Webcam und Umgebungslicht erlaubt. Durch Remote-Imaging-Photoplethysmographie wird das Pulssignal gemessen. Ballistokardiographie ist eine Methode zum Erfassen der Herzfunktion, durch minimale Bewegungen des Körpers, die durch das Durchfließen des Blutes im Körper einer Person entsteht [39]. Mithilfe von Bildgebungs-Ballistokardiographie (iBCG), was eine komplementäre Gruppe von Videoverarbeitungsverfahren ist, können physiologische Signale des Benutzers erfasst werden. Wie bei iPPG, können iBCG-Messungen ebenfalls von Webcam-Videos abgerufen werden. Dies ist durch das Tragen des Gerätes am Kopf möglich [40]. Durch die iPPG- und iBCG-Messungen, kann die Herzfrequenz, die Atemfrequenz und Herzfrequenzvariabilität einer Person aus den Pulssignal gewonnen werden.



Abbildung 2.5: Die Vitalwerte werden auf der HoloLens angezeigt.

Quelle: Mit freundlicher Genehmigung von Daniel McDuff [36]

Weiterhin kann Augmented Reality als Visualisierungs- und Trainingshilfe für die Chirurgie nützlich sein, indem es den Ärzten einen "Röntgenblick" verschafft. Mit dem von Heining und seinem Team entwickelten System NARVIS (navigation augmented reality visualisation) [41] kann der Benutzer ein zuvor aufgenommenes Ultraschall, Computertomographie (CT) oder Magnetresonanztomographie (MRT) Bild auf dem Fuß einer Person sehen (Abbildung 2.6), um so einen besseren Eindruck zu erhalten. Die AR-Brille benutzt Video-See-Through, um mit einer an der Brille befestigten Videokamera die reale Szene zu beobachten. Der Videostream wird aus zwei leicht unterschiedlichen Blickwinkeln aufgenommen, die den Augen des Benutzers

entsprechen. Dieser Videostream wird dann mit einem zuvor aufgenommenen Ultraschall, CT oder MRT Bild in Echtzeit überlagert und auf zwei, vor den Augen des Benutzers, angebrachte Displays dargestellt. Mit Tracking-Systemen wird die Position des Benutzers und dessen Kopfes ermittelt. Dadurch wird sichergestellt, dass die überlagerten Informationen für den Benutzer auch an der richtigen Stelle eingeblendet werden und so reale und virtuelle Welt exakt miteinander übereinstimmt.

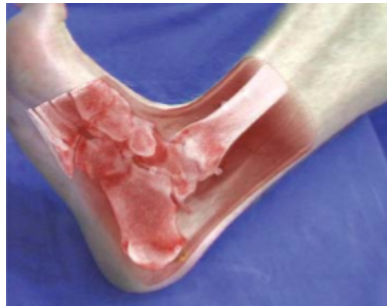


Abbildung 2.6: Der Augmentierte Fuß eines Patienten mit dem NARVIS System.

Quelle: Foto von Jörg Traub, mit freundlicher Genehmigung von Anja Steiling [41]

Kuhlemann et al. haben ein Echtzeit-Navigations-Framework für die HoloLens entwickelt, das eine 3D-holografische Sicht auf das Gefäßsystem eines Patienten ermöglicht (Abbildung 2.7), ohne dass Strahlung benötigt wird [42]. Sie extrahieren die Oberfläche und den **vaskulären** Baum des Patienten aus den vorher aufgenommenen Computertomographiedaten und registrieren sie unter Benutzung eines magnetischen Tracking-Systems beim Patienten. Die Gefäßstrukturen werden durch ein vaskuläres Phantommodell (Blue phantom FAST Trauma Full Torso Ultrasound-Training Model) und der Microsoft HoloLens dargestellt. Durch Verwendung einer Landmarken-basierten Oberflächenregistrierung eines CT-Scans und einer **Marching-Cube-Segmentation** des Gefäßbaumes ist es möglich, die Oberfläche und die Gefäße zu visualisieren. Mit der Verwendung eines magnetischen Tracking-Systems kann die Position eines Katheters in den Gefäßen angezeigt werden. Das System wurde in Unity und C# entwickelt. Mit einer Middleware [43] für Tracking-Systeme, die auf einem mit der HoloLens über Wi-Fi verbundenen Desktop-PC läuft, kann die Position elektromagnetischer Marker nahezu in Echtzeit zur HoloLens gestreamt werden. Das Aurora V3-System von NDI [44] wird zusammen mit einem Flachbildschirm-Wandler verwendet, um zwei magnetische Marker zu verfolgen. Der eine magnetische Marker ist ein Zeigewerkzeug für die Registrierung und der andere ein Katheterwerkzeug, das in den Gefäßbaum des Phantoms eingeführt werden kann.

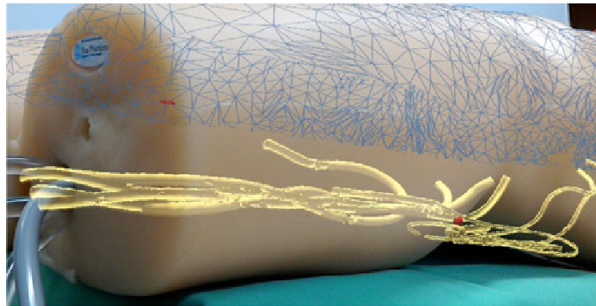


Abbildung 2.7: Der rote Punkt ist die momentane Position eines eingeführten Katheters.
Quelle: Mit freundlicher Genehmigung von Ivo Kuhlemann [42]

Aruanno et al. [45] benutzen die HoloLens als therapeutisches Werkzeug für Menschen mit Alzheimer-Krankheiten, um mit Aktivitäten das Kurzzeitgedächtnis und das räumliche Denken zu stimulieren. Hierzu muss der Patient drei Aufgaben lösen. Mithilfe der HoloLens werden die virtuellen Objekte direkt auf dem Tisch vor den Patienten oder frei im Raum platziert. Die erste Aktivität wird zum Aufwärmen und als Training für das Kurzzeitgedächtnis verwendet. Dem Benutzer wird ein virtuelles Objekt vorgesetzt, das als Referenzobjekt dient. Nach dem Starten muss der Benutzer das Referenzobjekt, welches unter einem 2x4 Gitter von virtuellen Boxen versteckt ist, wiederfinden. Die zweite Aktivität im Prinzip "Memory". Der Benutzer muss zwei gleiche virtuelle Objekte finden und wird dann befragt, ob die zwei aufgedeckten Objekte gleich sind. Die dritte und letzte Aktivität ähnelt der zweiten, jedoch muss sich der Benutzer nicht nur merken, was unter den Boxen ist, sondern auch noch wo sie im physikalischen Raum platziert sind. Der Unterschied zur zweiten Aktivität besteht darin, dass die Boxen nicht mehr in einem 2x4 Gitter vor dem Benutzer platziert sind, sondern sich frei im realen Raum befinden.

2.8.2 Tourismus

In der Tourismus Industrie kann AR dazu dienen Ausstellungen mit spielerischen Elementen oder mit Zusatzinformationen anzureichern. Weiterhin kann sie benutzt werden um Touristen auf interessante Orte und Plätze hinzuweisen.

Schmalstieg und Wagner [46] bauen und entwickeln einen kostengünstigen PDA um einen voll interaktiven 3D Augmented Reality Tour Guide für Museen zu erzeugen. Der Tour Guide soll alle Exponate einer Ausstellung in eine Geschichte einbetten und Spielmechanismen bieten, um die Ausstellung für den Benutzer spannender zu gestalten. Das Ziel ist es einen mysteriösen Kriminalfall zu lösen. Hierzu werden eine Reihe von Rätseln zur Verfügung gestellt, die die Besucher in bestimmte Exponate des Museums leiten. Das Abschließen eines Rätsels führt zu einer Auflösung eines Teils der Geschichte. Bis auf die drahtlose Kommunikation zwischen den Benutzern und die Vermittlung des Datenbankzugriffs ist keine weitere Serverinfrastruktur nötig. Das System beinhaltet einen Datenbankservers für den Informationsraum, der für eine sehr große Anzahl von Museumsbesucher skalierbar ist. Eine geometrische Datenbank verbindet den realen Museumsraum mit dem virtuellen Raum. Das Design entspricht der realen

Museumsgeometrie und -eigenschaften. Ein Multi-User-Kommunikationssystem wird für die Interaktion zwischen Benutzergruppen verwendet. Während der Tour werden die Besucher (Ziel 10-14 Jahre) in zwei Teams unterteilt, die in die Rolle von Ermittlern schlüpfen.

Ein weiteres Beispiel um einen Museumsbesuch mithilfe von AR zu verbessern, ist die von Pollalis et al. [47] entwickelte Anwendung HoloMuse. HoloMuse erlaubt es den Benutzern mittels der HoloLens, direkt mit Hologrammen von archäologischen Artefakten zu interagieren. Mit dem Prototyp können Benutzer ein Hologramm aus der Anonymus-Museums-Collection (eine virtuelle Galerie) auswählen und das Artefakt mithilfe von Gesten und Sprachbefehlen manipulieren und im Raum platzieren. Benutzer können mehrere Hologramme im Raum platzieren und so ihre persönliche Ausstellung einrichten. Momentan können Benutzer nur durch die Übergabe der HoloLens an andere Personen, diese zu ihrer Ausstellung einladen. Mit einem zukünftigen "Besuchermodus" soll das aber auch ohne das Vertauschen der HoloLens möglich sein. Es ist ebenfalls ein Interface für Museumskuratoren und Fakultäten geplant, um Inhalte für die Anwendung hochzuladen. HoloMuse wurde mit Unity 5.4.0f3-HTP (Unity HoloLens Technical Preview), Visual Studio 2015 (Update 3) und Windows 10 SDK (10.0.10586) installiert und für die HoloLens entwickelt.

Fritz et al. arbeiten an dem Projekt PRISMA [48]. Das Ziel ist die Entwicklung von erweiterten Münzferngläsern, mit dessen Hilfe Benutzer personalisierte und interaktive Informationen über Denkmäler und historische Gebäude einer Stadt erhalten sollen. Diese Münzferngläser können durch das Hinzufügen von AR einen viel detaillierteren Überblick über die Gebäude und Straßen von Gebieten, sowie Natur- und Kultstätten verschaffen. Dies geschieht durch das Hinzufügen von Texten und Informationen, sowie die Möglichkeit Sehenswürdigkeiten in der Nähe des Zuschauers zu vergrößern. Die erweiterte Aussicht kann das Interesse von Touristen an Sehenswürdigkeiten und Besuchsorten erhöhen. PRISMA ist ein Video-See-Through-System, das aus einer Kamera zur Aufzeichnung des Videostreams in Echtzeit, einem Fernglas als Sichtmedium und einem Trägheitssensor zur Verfolgung des Blickpunktes und der Drehung des Fernglases besteht. Ein 5DT HMD 800-40 Head Mounted Display wird als Ausgabegerät verwendet, eine Kamera und ein Intersense Inertiacube2 als Trägheitssensor wurden an dem Fernglas befestigt. Mithilfe von ARToolkit werden spezielle Marker im Videostream erkannt und die Kameraposition und -ausrichtung relativ zu den physischen Markern berechnet. Die virtuellen Objekte werden zuvor im virtuellen Raum so platziert, dass sie mit der Entfernung und dem Winkel vom Benutzer zu den Sehenswürdigkeiten übereinstimmen. Eine virtuelle Kamera wird von dem Trägheitssensor so gesteuert, dass sie wie die reale Kamera ausgerichtet ist. Das Sichtfeld des Benutzers wird von der am Fernglas montierten Kamera erfasst und an die Verarbeitungseinheit gesendet. In der Verarbeitungseinheit werden die von der virtuellen Kamera erfassten virtuellen Objekte zu dem Videostream hinzugefügt und an das HMD, was als Bildschirm des Fernglases dient, gesendet. Durch die Trägheitssensoren wird der aktuelle Standort und die Ausrichtung des Fernglases bestimmt. Die Verarbeitungseinheit wandelt diese Daten in einen Orientierungsvektor und steuert über diesen die virtuelle Kamera, sodass Blickpunkt der virtuellen Kamera mit dem realen Blickpunkt der realen Kamera übereinstimmt.

2.8.3 Unterhaltung

Die Unterhaltungsindustrie besitzt viele Einsatzmöglichkeiten für AR. Diese können beispielsweise Spiele oder Übertragungen von Veranstaltungen und verschiedene Interaktionsmöglichkeiten sein.

Augmented Reality kann ebenfalls in der Unterhaltungsindustrie genutzt werden. Nguyen et al. [49] entwickeln eine neue Art von Trading Card (genannt Stereo Card), welche in Trading Card Games (TCG), wie Magic: The Gathering, YuGiOh und Pokemon verwendet werden. Das Ziel der Stereo Cards ist es, die momentan genutzten Sammelkarten zu ersetzen. Stereo Cards, in Gegensatz zu den aktuellen Sammelkarten, sind mit normalen Digitalkameras oder Webcams numerisch lesbar. Daher sind Stereo Cards nicht nur für die Sammlung geeignet, sondern auch für AR-Anwendungen und Spiele. Mit den AR-Karten können Eigenschaften, wie Helligkeit, Kontrast, Skalierung und Effekte wie Geräusche und Regentropfen dargestellt werden. Zur Erkennung der Karten wird ein featurebasiertes Tracking-System verwendet. Hierzu wird auf jede Karte ein Binärcode gedruckt. Im Vergleich zu anderen AR-Kartenspielen (wie Eye of Judgement [20]), bietet die vorgestellte Technologie zwei Vorteile. Der Erste ist, dass die Binärcodierung nicht aus schwarzen und weißen Quadraten besteht, sondern aus dem Grundbild der Karte gewonnen wird. Der Zweite ist, die Unabhängigkeit vom Aussehen des Musters. Es können eine breite Palette von Bildmustern verwendet werden, um denselben Binärcode zu platzieren (Abbildung 2.8a zeigt den Vergleich einer normalen zu einer Stereo Card). Für das Spielbrett wird eine Spielmatte aus Stoff mit einem aufgezeichneten Gitter verwendet, auf der an einer Seite eine HD-Webkamera befestigt wird (Abbildung 2.8b). Diese Kamera bleibt an einer festen Position und überblickt das gesamte Spielfeld.



(a) Links die Stereo Card und rechts die originale Karte (b) Spielumgebung mit Tracking-Kamerakonfiguration

Abbildung 2.8: Die Stereo Card besitzt eine aus dem original Bild gewonnene Binärcodierung (a). Eine Stoffmatte mit Kachelmuster dient als Spielumgebung mit Tracking-Kamerakonfiguration (b).

Quelle: Mit freundlicher Genehmigung von Minh Nguyen [49]

ARQuake, ist eine von Piekarski und Thomas [50] entwickelte Erweiterung des Computerspiels Quake von id Software [51], ein First-Person-Shooter aus dem Jahre 1996. Dieses AR-System

ermöglicht es sich in der physischen Welt frei zu bewegen und gleichzeitig computergenerierte Monster und Objekte zu erleben. Die Position und Orientierung des Benutzers wird aktualisiert, indem der Benutzer sich frei in der realen Welt bewegt. Um das Spiel richtig spielen zu können, muss erstmals eine Quake-Karte erstellt werden, die ein vollständiges Modell aller Wände, Zäune, Durchgänge, usw. darstellt. In dem Projekt wurde ein vollständiges Modell aller Gebäude eines Campus als Quake-Karte erstellt. Die Gebäude wurden als solide schwarze Objekte erstellt, sodass sie nicht gerendert werden müssen. Die Gebäude dienen als sichtbare und haptische Feedbacks. Das Modell des Campus umfasste 30 Gebäude und war ungefähr 350x450 Meter groß. Die Hardware wurde auf dem Rücken des Benutzers getragen und umfasste in der Testphase einen Toshiba Pentium-233 Laptop mit Linux, der ein I-Glasses PAL-Farbdisplay steuert, einen Precision Navigation TCM2-80 Orientierungssensor und Garmin GPS12XL mit DGPS zur Positionsbestimmung. Es wurde eine Waffe aus einer Spielzeugpistole gebaut, die als haptisches Feedback dienen soll. Das Feedback wird durch eine Zylinderspule und einem großen Gewicht erzeugt. Die Waffe wird mit entsprechenden Schnittstellen in der Hardware mit dem Laptop verbunden. Momentan hat die Waffe aber noch keine Tracking-Vorrichtung und kann deshalb auch nicht als Zeigergerät verwendet werden. Das Ziel wird durch die Ausrichtung des Kopfes ermittelt.

Weitere AR-Spiele sind z. B. Roboraid [52] ein von Microsoft entwickeltes Spiel für die HoloLens, indem sich der Spieler vor virtuellen Robotern verteidigen muss, AR-Bowling [53] und ein mit AR-erweitertes Poolbillard Spiel [54].

AR beschränkt sich in der Unterhaltungsbranche jedoch nicht nur auf Spiele. Han et al. [55] haben ein neues Augmented-Reality-System entwickelt, mit dem visuelle Verbesserungen für Fernsehübertragungen entwickelt werden können. Mithilfe einer virtuellen Kamera, die von der Originalkamera abgeleitet ist, können eine Vielzahl von virtuellen Szenen, wie beispielsweise eine Szene aus der Sicht eines Spielers, abgeleitet werden. Das System wurde bereits mit einigen Sportvideos mit Tennis, Badminton und Volleyball getestet und zeigte vielversprechende Ergebnisse. Als Erstes wird mit einem Einzelansicht-Broadcast-Video die Feature-Punkte im 3D-Raum gewonnen. Dies geschieht durch die Verwendung eines **Expectation Maximization (EM)-Algorithmus**, der auf der Grundlage eines Wahrscheinlichkeits-Frameworks diese Feature-Punkte ermittelt. Anhand der Feature-Punkte kann eine Projektionsmatrix erstellt werden. Danach wird die Projektionsmatrix in extrinsische (von außen her) und intrinsische (von innen her) Parameter zerlegt. Diese Parameter werden verwendet, um eine virtuelle Kamera zu erzeugen. Durch die Genauigkeit des Algorithmus kann das System einen freien Blickwinkel erschaffen. Weiterhin kann das System einen effizienten Ersatz für das manuelle Steuern der Videokamera sein, um den Blick auf ein interessantes Objekt zu steuern oder es zu verfolgen.

Des Weiteren kann AR für die Erweiterung von Mensch-zu-Mensch Interaktionen eingesetzt werden. HoloFace ist ein Open Source Framework für Gesichtserweiterung mit Augmented Reality, welches von Kowalski et al. [56] für die HoloLens entwickelt wurde. Es erlaubt dem Benutzer augmentierten Content auf das Gesicht anderer Personen anzuzeigen. Eingangsbilder werden über die in der HoloLens eingebauten Kamera aufgenommen. Das Gesicht der Zielperson wird zwischen jedem Frame verfolgt und in jedem Frame wird die Position des 3D Objektes neu geschätzt. Da die HoloLens nur eine begrenzte Laufzeit hat, wurden zwei verschiedene

featurebasierte Gesichtserkennungsmethoden implementiert. Die Erste ist eine lokal laufende auf Geschwindigkeit optimierte Methode die auf **Regressionsbäumen** basiert [57] und die Zweite ist eine leistungsfähigere und genauere Deep-Learning-Methode, die auf neuronalen Netzen basiert [58]. Die Deep-Learning-Methode läuft auf einem entfernten Backend und ist über Wi-Fi mit der HoloLens verbunden. Der Benutzer kann zu jederzeit die Methode wechseln. Beide benutzen eine automatische Fehlererkennung die schätzt, ob das 3D Modell auch an der richtigen Stelle ist. Zum Ermitteln der Position des Kopfes, wird ein deformierbares 3D-Gesichtsmodell mit Landmarkpositionen erzeugt. Da dieses Modell deformierbar ist, kann man Gesichtsattribute, wie beispielsweise Mund auf oder Lächeln einschätzen. Diese Gesichtsattribute kann man dann als Auslöser (trigger) verwenden um bestimmte Aktionen zu starten. Das größte Problem ist momentan aber die Latenz, denn dadurch entsteht eine signifikante Verzögerung zwischen Erhalten und Rückgabe des Bildes. Die größte Latenz entsteht durch die Kamera. Die App ist Open Source unter der MIT Lizenz und benutzt die Unity 3D Engine [59]. Zukünftig, kann an einer neuen lokalen Gesichtserkennungsmethode gearbeitet werden, die genauer wäre und die Validierung mit einer Remote-Methode macht. Weiterhin kann auch an einer neuen Kamera mit niedriger Latenz gearbeitet werden, dies würde zu einer geringeren Zeit zwischen Erhalt des Bildes und dem Rendering führen.

2.8.4 Design, Montage und Wartung

Design, Montage und Wartung sind typische Bereiche, in denen AR nützlich sein kann. Dies findet sowohl in der Industrie, als auch in militärischen Einrichtungen statt.

Fiorentino et al. [60] stellten die SpaceDesign MR-Anwendung vor, welche auf der StudierStube-Bibliothek [61] basiert. Damit ist es beispielsweise möglich, eine Visualisierung und Modifikation der Autokrümmung und des Motorlayouts eines Autos zu ermöglichen. Die Designer können ihre Ideen mithilfe eines konfigurierbaren, Werkbank artigen Arbeitsbereiches und unter Verwendung von 3D-Eingabegeräten visualisieren. Die von dem System unterstützten Interaktionskonfigurationen sind, Konzepterstellung und physische Überprüfung eines Prototyps. Das System bietet eine VR und eine AR Möglichkeit und erlaubt es den Designern, gemeinsame Modelle zu teilen. Dies wird durch eine konsistente mathematische Darstellung des digitalen Modells während des Design-Workflows ermöglicht. Für die Interaktion werden vier Geräte verwendet: eine AR-Brille für die Visualisierung, ein Stift als Eingabegerät, eine transparente Palette auf dem das Menü gelegt wird und eine Navigator-Achse für das Objekt-Tracking in VR (für AR wird das virtuelle Modell direkt auf einem physischen Modell überlagert). Für das Tracking wurden drei Kameras aufgestellt, die das Tracking der Geräte zuständig sind. Dies geschieht durch an den Geräten fest fixierten optischen Trackern. Die Auflösung, Aktiv / Passiv-Stereo und Kameraposition werden mit ASCII-Textdateien konfiguriert, wodurch CRT / LCD-Monitore, Projektoren und Head Mounted Displays unterstützt werden. Die 3D-Eingabegeräte werden mit der OpenTracker-Bibliothek [62] gehandhabt. Die OpenTracker-Bibliothek bietet eine offene Softwarearchitektur, die auf einem modularen Design und einer XML-Konfiguration basiert. OpenTracker wurde noch mit dem Tracking-System ART dtrack [63] erweitert.

Ebenfalls können komplexe und abstrakte Modelle aus der Informatik durch AR visualisiert und modifiziert werden. Ein Unified Modeling Language (UML)-Diagramm ist ein solches Modell. Mikkelsen et al. [64] haben es sich zum Ziel genommen, UMLs mit AR durch die HoloLens so zu präsentieren, das es leicht zu verstehen ist und sich unabhängig von der Größe und Komplexität einer Softwarearchitektur gut skalieren lässt. 3DML wurde entwickelt, um UML-Objekte im 3D-Raum anzuzeigen, zu erstellen und zu manipulieren. Das Ziel ist es UML-Objekte, aus verschiedenen Perspektiven, Beziehungen und Abstraktionen zu erforschen. Das Manipulieren von UML-Diagrammen, wie das Zusammenfallen und Erweitern von UML-Elementen, soll die wahrgenommene Komplexität und verwirrende Semantik reduzieren. Als Ausgabegerät wird die HoloLens verwendet. Als Interaktionsmöglichkeiten werden Gaze, Gestures und VoiceInput benutzt.

Lee und Park [65] entwickelten den "Augmented Foam". Dieser bietet räumliche Interaktion mit virtuellen Objekten. Es hilft bei der Entwicklung neuer Produkte, durch das Hinzufügen einer anfassbaren und greifbaren Schnittstelle. Beim "Augmented Foam" wird ein blaues physisches Schaummodell mit einem virtuellen 3D-Objekt überlagert, das mit dem gleichen Computer-aided design (CAD)-Modell gerendert wird, das für die Mock-Up-Produktion verwendet wird. Die Stärken von Augmented Foam sind, ein haptisches Feedback, ein physisches Modell, was beispielsweise Schatten ermöglicht und einfache Anpassungsmöglichkeiten, wie das Ändern der Farbe. Das System verwendet AR-Technologien und blaue Schaumstoffe, die kostengünstig, einfach zu schneiden sind und in kurzer Zeit durch Computer Numerical Control (CNC) erstellt werden können. Diese Schaumstoffmodelle, werden dann durch mit virtuellen Objekten überlagert, das aus dem gleichen CAD-Modell gerendert wird. Für die Registrierung des virtuellen Objektes, auf dem Schaumstoffmodell, werden Marker verwendet. Für das Marker-Tracking wird die ARToolKit2.65-Bibliothek [12] benutzt. Die Videoaufnahme geschieht durch eine IEEE 1394-Webkamera (iBOT) und die Darstellung durch ein Video-See-Through-HMD mit SVGA-Auflösung (I-Visor DH-4400VPD).

Komplexe Montage- und Wartungsarbeiten sind ausgezeichnete Bereiche für AR-Anwendungen. Die Notwendigkeit einer guten Ausbildung und der Zugang zu großen Mengen an Dokumentationen sind Bedingungen, die den Einsatz von AR-Techniken vielversprechend machen. Hakkarainen et al. [66] bieten ein Montage-System, mit dem Benutzer komplexe Modelle auf ihren Mobiltelefonen anzeigen können. Mit diesem System können Benutzer eine AR-Ansicht sehen, die eine Schritt-für-Schritt-Anleitung für eine reale Montageaufgabe bereitstellt. Das System basiert auf einer Client-Server-Architektur. Die Mobiltelefone dienen als Thin Client Access Devices und die komplexen Modellinformationen befinden sich auf einem PC. Weiterhin kann durch AR ein "Röntgenblick" erzeugt werden, wodurch der Benutzer in das Innere einer Maschine gucken kann. Durch die automatische Untersuchung der Umgebung von zusätzlichen Sensoren kann die Aufmerksamkeit des Benutzers auf Problemstellen gelenkt werden. Das Prototypsystem besteht aus einer PC-Server-Software und einen Visualisierungs-/Controller-Client auf einem Symbian (Nokia) Smartphone. Der Server verwendet eine AugAsse-Software [67] und das serverseitige Marker basierte Tracking-System eine angepasste Version von AR-Toolkit4.06 [12]. Der Server rendert das virtuelle Montagemodell mithilfe eines Szenengraphs und der OpenSceneGraph 2.0-Bibliothek [68]. Die Telefon-Client-Software wird verwendet, um Bilder am Montageort aufzunehmen, diese an den Server zu schicken und das augmentierte

Bild darzustellen. Durch eine Reihe von Unterbildern, die auf dem Hauptbild platziert werden, erstellt der Server eine Erweiterung der AR-Szene. Jedes dieser Unterbilder besitzt eine Bitmap, die aussagt, welche Pixel zu zeigen sind und welche transparent sind. Dadurch ist es möglich, dass das überlagerte virtuelle Objekt nur die korrekten Stellen des physischen Modells überdeckt. Die Telefon-Client-Software ist eine Symbian-Anwendung in C++. Das clientseitige Rendering geschieht durch die vom Server erstellten Bitmaps der Unterbilder. Die Verbindung zwischen Server und Client erfolgt über eine Bluetooth oder WLAN-Verbindung.

2.8.5 Persönliche Informationssysteme

Genau wie AR Hilfestellungen in der Industrie leisten kann, kann sie auch als persönliche Hilfestellung genutzt werden.

Durch AR-Unterstützungssysteme können alltägliche Aktivitäten vereinfacht werden. Mit dem von Quintana und Favela [69] beschriebenen Ambient aNotation System (ANS), werden Menschen mit Alzheimer-Krankheit und deren Betreuer unterstützt. Pflegepersonal kann Umgebungsnotizen erstellen und verwalten, um Menschen mit Gedächtnisproblemen zu helfen. Die mit Alzheimer erkrankten können dann mit einem Mobiltelefon, das sich um ihren Hals befindet, die Umgebungsnotizen (Tags) erkennen und erhalten so Informationen in Form von Text und Bild. ANS besteht aus zwei Haupt-Subsystemen. Das erste ist der Tag Manager und der zweite das Benachrichtigungs-Subsystem, welches wiederum aus dem ANS Client (läuft auf einem Mobiltelefon) und der ANS Tag Search Engine (läuft auf dem Server). Der Tag-Manager wird vom Pflegepersonal benutzt, um Tags zu erzeugen. Das Pflegepersonal sucht sich anhand von vorher aufgenommenen Bildern des gewünschten Raumes ein Bild aus auf dem das gewünschte Objekt darauf ist. Danach zeigt das System mehrere andere Bilder an, in denen das System das gleiche Objekt erkennt. Das Pflegepersonal kann dann die entsprechenden Bilder auswählen, um die featurebasierte Objekterkennung zu verbessern. Diesem Tag wird ein entsprechender Text und/oder eine Audiodatei hinzugefügt. Der ANS-Client nimmt kontinuierlich Bilder durch die Kamera des Mobiltelefons auf und sendet diese an den Server. Hat der Server einen Tag gefunden, wird der Benutzer über den Client durch Audio und/oder Vibration darauf aufmerksam gemacht und zeigt die Information des Tags auf dem Display an. Die Tag-Suchmaschine erhält die Bilder vom Client und verwendet den **SURF-Algorithmus** [70], um die Tags zu erkennen. Wird ein Tag gefunden, benachrichtigt er den Client. Durch die vom Client gesendeten Bilder kann der Server ebenfalls den Raum bestimmen, indem sich der Benutzer befindet. Durch die Bestimmung des Raumes wird der Suchvorgang beschleunigt. Das System schätzt die Position des Benutzers, alle 6 Systemabfragen ab. Der Server übernimmt den Großteil der Verarbeitung, da die Merkmalsextraktion und die Objekterkennung eine beträchtliche Verarbeitung erfordert. Der Client verwendet ein Android-Mobiltelefon und der Server ein AMD Athlon 64 X2 Dual Core Prozessor, das auf Windows 7 läuft. Für den SURF-Algorithmus, wird die OpenSURF-Bibliothek verwendet, die wiederum OpenCV (eine Bibliothek für Computer-Vision in Echtzeit) benutzt. Die Bilder werden mit einer Auflösung von 800x480 aufgenommen.

SpeechBubbles, welches von Peng et al. [71] für die HoloLens entwickelt wurde, ist ein Pro-

gramm was schwerhörigen und gehörlosen Personen eine bessere Möglichkeit geben soll, selbst Gespräche mit mehreren Teilnehmern mitverfolgen zu können. Hierzu werden bei jedem Sprecher die zugehörigen Texte als Sprechblasen angezeigt (Abbildung 2.9). In jeder Sprechblase werden mehrere Zeilen gleichzeitig angezeigt und in einem "rising bubble"-Verfahren dargestellt. Für Sprecher, die nicht im Sichtfeld des Benutzers sind, werden Texte entsprechend links, oder rechts vom Benutzer angezeigt. Zum Erkennen der Positionen der Sprecher, wird ein Microphone-Array-Setup verwendet. Die Position der Sprechblasen wird durch die von den Microphone-Array-Setup zugehörigen Positionsinformationen gewonnen. Die Microsoft HoloLens wird als Visualisierung und ein Aputure Lavalier-Mikrofon für die Tonverarbeitung verwendet. Das System besteht aus zwei Hauptteilen. Der erste ist die Erkennungsseite und die zweite ist die Interfaceseite. Für die Spracherkennung wurde die Google Speech API verwendet. Die Interfaceseite zeigt die von der Erkennungsseite gesendeten Daten durch die HoloLens und Unity [59] an. Der Server sammelt von allen Rednern die Konversations- und Richtungsinformationen und sendet diese über SimpleHTTPServer an die HoloLens.



Abbildung 2.9: Das gesprochene Wort wird durch Sprechblasen für den Benutzer visualisiert.
Quelle: Mit freundlicher Genehmigung von Yi-hao [71]

Eine weitere Möglichkeit für unterstützende AR-Anwendungen ist die Navigation. Lilitis et al. [72] haben den Travel Companion entworfen und implementiert. Travel Companion unterstützt einen Reisenden durch verschiedene Beratungsfunktionen und bietet personalisierte Erinnerungen und Empfehlungen, die auf dem aktuellen Standort des Benutzers und den von der Mobiltelefonkamera gesammelten Informationen basieren. Der Travel Companion hat eine Wissensbasis, in dem Informationen wie das Profil des Benutzers, Tickets und Reisen gespeichert sind. AR wird verwendet, um das Verständnis des Reisenden auf seinen aktuellen Standort zu verbessern. Wird beispielsweise mit der Kamera ein für die Reise relevantes Schild (z. B. im Flughafen) erkannt, kann der Reisende benachrichtigt werden, selbst wenn das Schild in einer für den Reisenden unbekannt Sprache ist. Die featurebasierte Objektkennung erlaubt es Objekte auf Bildern, die mit der Handycamera eines Mobiltelefons aufgenommen wurden, zu erkennen. Dazu wird die Vuforia API [26] verwendet. Die Präferenzen des Benutzers beziehen sich auf Facebook Likes. Diese werden verwendet, um Empfehlungen zu geben. Während einer Reise wird, jede Strecke für die der Benutzer keine Tickets hat, mithilfe von Google Maps alle verfügbaren Routen mit öffentlichen Verkehrsmittel geladen. Die Benutzeroberfläche wurde mit Unity [59] entwickelt und dient als Interaktion und Verfolgung der Reise.

2.8.6 Schulung und Training

Augmented Reality kann auch für Schulung und Training verwendet werden. Einige der bereits vorgestellten Anwendungen benutzen AR zu genau diesem Zweck. Durch spielerische Anwendungen können vor allem bei jungen Personen die Interesse am Lernen geweckt werden. Weiterhin kann durch Schritt-für-Schritt Anleitungen die Schulung von Montage und Wartungsarbeiten visuell veranschaulicht werden, wodurch das Verständnis vereinfacht werden kann.

Es gibt eine Vielzahl an Möglichkeiten Menschen zu schulen. MR-/AR-Bücher, wie dem von Grasset et al. [73] haben, durch die Verwendung von AR-Markern zugriff auf 3D-Modelle und Ton, welches das Verständnis des Buchinhaltes verbessert. Der verwendete Prototyp besteht aus einem Buch, Standard-Desktop-Computer-Hardware, einem Handheld-Gerät als Visualisierungsgerät und für die Tonausgabe, greifbare Interaktionsgeräte, wie Würfel mit AR-Markern und ein Greenscreen. Das Handheld-Gerät besteht aus einem Display, einer Kamera und Kopfhörern. Die Darstellung geschieht durch Video-See-Through. In dem Projekt wurde das Buch "The House that Jack Built" leicht modifiziert, um verschiedene AR-Marker zu beinhalten (Markerbasiertes Tracking durch Marker, die auf den Seiten des Buches gedruckt sind). Mithilfe der Marker werden 2D Objekte im Buch als 3D Objekte dargestellt. Weiterhin wird featurebasiertes Tracking verwendet, um herauszufinden, auf welcher Seite des Buches sich der Benutzer befindet. Dadurch können die passenden Animationen zu den richtigen Seiten ermittelt werden. Der Prototyp umfasste Hintergrundmusik, Voiceover eines Erzählers, räumlich registrierte 2D-Inhalte (beispielsweise die Bewegung eines Bootes entlang einer Seite, oder 2D-Anmerkungen), 3D-Inhalte (beispielsweise 3D-Sound und 3D-Objekte), Verwendung von physischen Objekten (wie ein Würfel mit AR-Markern), um Animationen und Interaktionen auszulösen, mit einem Würfel kann der Benutzer Inhalte aus dem Buch auswählen und aus der Seite herausziehen (beispielsweise 3D-Haus, 3D-Kuh usw.) und durch einen Greenscreen kann ein anderer Benutzer in dem Buch auftauchen.

Ein weiteres Beispiel für ein solches AR-Buch ist, das "Book of Ellie" von Papadaki et al. [74]. "Book of Ellie" ist eine erweiterte Version eines Schulbuchs, welches Grundschulkindern das griechische Alphabet beibringen soll. Die Buchstaben des Alphabets und deren Kombinationen werden mit einem stetig ansteigenden Schwierigkeitsgrad eingeführt. Jeder Buchstabe oder jede Kombination von Buchstaben verfügen über relevante Bilder und Texte. Zu jedem Buchstaben gibt es eine Kurzgeschichte, die sich um eine griechische Familie dreht, in der Ellie die Protagonistin ist. Mit dem System kann durch die physischen Buchseiten und Lernkarten (welche beispielsweise Buchstaben, einfache Objekte oder Tiere darstellen) interaktiv interagiert werden. Das Buch besitzt einen Buch- und einen Spielmodus. In dem Buchmodus kann der Benutzer mit dem Finger auf Buchstaben oder Textabschnitte zeigen und sich die Aussprache anhören. Während des Spielmodus soll der Benutzer eine Reihe von Testfragen beantworten. Dies geschieht durch das richtige platzieren von Lernkarten auf dem Tisch (Arbeitsbereich). Das System besteht aus einem Fernsehbildschirm (32 Zoll (0,81 m)) als Ausgabegerät, einer RGBD-Kamera Äsus Xtion Proünd einem PC, auf dem die Software läuft. Mit der RGBD-Kamera werden die Buchseiten, die Lernkarten und die Fingerposition erkannt und lokalisiert.

Ein anderer Ansatz eines AR-Buches ist, das Projekt QOOK von Zhao et al. [75]. QOOK ist ein auf Papierbüchern basiertes Lesesystem, das die Vorteile digitaler Bücher mit denen von physischen Büchern kombiniert, um ein besseres Wiederauffinden von Informationen und ein besseres Leseerlebnis zu erzeugen. QOOK ermöglicht das Umblättern von Seiten, wie bei einem echten physischen Buch und gleichzeitig die Verwendung von digitalen Funktionen wie Stichwortsuche, Hervorheben und Lesezeichen. Das System besteht aus einem Projektor als Ausgabegerät und einer Kinect 0,8 m für das Finger- und Hand-Tracking, welche auf die Oberfläche eines Papierbuchs zeigen. Die Inhalte des Buches werden mit einer Auflösung von 1280x800 Pixeln auf das Papierbuch projiziert. Die Kinect und der Projektor sind mit einem Computer verbunden, der sich um die Farb- und Tiefenbildverarbeitung und um das Rendern des Outputs kümmert. Das Papierbuch und die umgebende Tischoberfläche dienen als Benutzerschnittstelle. Jede Seite des Buches besitzt einen Referenzmarker, der von Bonnard et al. [76] entwickelt wurde und ist sonst leer. Durch Identifizieren und Verfolgen der Referenzmarker, kann das System das Umblättern der Seiten erkennen und entsprechende Inhalte auf die Buchseiten projizieren. Eine Kinect ist am Projektor angebracht und dient zur Erkennung von Finger- und Handaktivitäten (wie Umblättern, Wörter Markieren usw.). Die Erkennung geschieht ähnlich wie bei OmniTouch [77], um Finger, Fingerspritzen und Fingergesten auf der Benutzerschnittstelle zu erkennen.

Die oben genannten Ansätze für AR-Bücher haben jedoch dasselbe Problem. Die AR-Bücher benötigen zum Funktionieren eine vorher aufgebaute Vorrichtung, welche technisch aufwendig sind und somit nicht für den Laien geeignet sind.

Kaufmann et al. [78] stellen das Tool Construct3D für die Schulung in Mathematik und Geometrie vor, das auf der StudierStube-Bibliothek basiert [61]. Construct3D ermöglicht das Erstellen und Manipulieren von Geometrischen 3D Objekten. Ein Benutzer kann alleine arbeiten oder in einer Gruppe. Das System verwendet ein Personal Interaction Panel (PIP) [79], was ein zweihändiges 3D-Interaktionstool, das die Interaktion von 3D-Modellen vereinfacht ist. Der PIP besteht aus einem Stift und einem Panel. Mit dem zum PIP gehörigen Stift, können die Benutzer mit dem PIP-Panel interagieren, um so Punkte, Linien, Ebenen, Boxen, Kugeln, Kegel und Zylinder erstellen und manipulieren zu können. Weiterhin kann der Benutzer ausgewählte Elemente löschen, den momentanen Stand speichern, alles löschen und momentane Auswahl aufheben. Als Ausgabegerät wird ein HMD mit halbtransparenten Display benutzt (Virtual IO i-glasses). Für die Positionserkennung von Kopf, Stift und PIP wird ein Magnet Tracking-System (Ascension Flock of Birds) verwendet. Die Bilder werden auf einem SGI Indigo2 Impact oder einer Intergraph Wildcat-Workstation mit der StudierStube-Bibliothek gerendert.

2.8.7 Planung

In der Planung findet AR in der Visualisierung von Daten statt. Dies führt zu einem besseren Verständnis der Eigenschaften einer Umgebung.

Visualisierung von Daten ist entscheidend für die Verbesserung der Planung und Verwaltung einer Stadt. Zhang et al. [80] präsentiert eine Methode zur Visualisierung eines 3D-Stadtmodells von Toronto und verschiedener Arten von Stadtdatei mithilfe der Microsoft HoloLens. Das

ursprüngliche Stadtmodell, was ungefähr 220 offene Stadt Datensätze der Stadt Toronto umfasst, besteht aus mehreren AutoCAD-3D-Daten. Die Stadtmodell Daten waren nicht im richtigen Format und mussten deshalb erstmals konvertiert werden. Die Datensätze decken eine Vielzahl von Bereichen ab, einige davon sind beispielsweise Verkehr, Stadtregierung, Wirtschaft und Gesundheit. Die verarbeiteten Stadtmodelle und Datensätze wurden dann in eine HoloLens-Anwendung importiert. Die HoloLens läuft unter Windows 10, die Anwendung wurde mit der Unity-Engine, C# und dem HoloToolkit implementiert. Das vollständige Stadtmodell besteht aus mehreren Kacheln, welche benutzt wurden, um Teilregionen zu bauen. Ist der Datensatz geladen, kann durch ein Menü, von einer Liste von Stadt datentypen ausgewählt werden. Wurde ein Datensatz (z. B. Orte von Interesse, Taxisstände und Fahrradgeschäfte) gewählt, können seine Daten einfach auf das 3D-Stadtmodell abgebildet werden.



Abbildung 2.10: Die importierten Daten werden auf einem Tisch dargestellt.

Quelle: Mit freundlicher Genehmigung von Longyu Zhang [80]

Das Lösen und Visualisieren partieller Differentialgleichungen in der MR könnte potenziell in Bereichen wie Gebäudeplanung und Sicherheitstechnik genutzt werden. HoloFEM ist eine von Logg et al. [81] für Microsoft HoloLens entwickelte Anwendung. Diese Anwendung ermöglicht es einem Benutzer, ein physikalisches Problem zu definieren und mit der **Poisson-Gleichung** zu lösen, die umgebende reale Geometrie werden als Eingabedaten verwendet. Sowohl das Problem als, auch die Lösung werden durch Hologramme visualisiert. Die Finite-Elemente-Methode wird verwendet, um die Poissonsche Gleichung zu lösen. HoloFEM hat drei Hauptphasen. Die Erste ist das Erstellen eines Dreiecksnetzes mit dem Spatial-Mapping der HoloLens. Das von dem Spatial-Mapping erstellte Dreiecksnetz ist jedoch nicht für die numerische Berechnung geeignet, denn es erstellt ein Oberflächennetz und für die Berechnung wird ein Volumennetz zum Lösen benötigt. Weiterhin ist die Dreiecksnetzqualität nicht ausreichend. Weshalb die Hauptebenen aus dem Oberflächennetz extrahiert werden. Diese stellen dann die Wände, den Boden und die Decke des Raumes, in dem sich der Benutzer befindet dar. Daraus kann dann das Berechnungsvolumennetz konstruiert werden. Als Zweites folgt die Simulationsphase, in der das mathematische Problem formuliert und gelöst wird. Der Benutzer kann, durch in den Raum platzierte Punktquellen und Randbedingungen an den Hauptoberflächen, Problemparameter konfigurieren. Ist der Benutzer mit der Problemspezifikation zufrieden, wird das Problem mit der **Finite-Elemente-Methode diskretisiert**. Der Code für die Finite-Elemente-Assemblierung wird durch den FEniCS Form Compiler [82, 83] erzeugt.

Das sich ergebene lineare System kann dann mit Standardtechniken, wie vorkonditionieren **Krylow-Unterraum-Verfahren**, gelöst werden. Und als letztes folgt die Darstellungsphase, in der die Lösung visualisiert wird. Dies geschieht durch das Platzieren von Hologrammen an den Knotenpunkten des Berechnungsnetzes.

2.8.8 Bewertung

Im Laufe der Jahre haben Forscher eine Vielzahl an Einsatzmöglichkeiten, die von Augmented Reality profitieren können, publiziert. Da die Forschung noch voll im Gange ist, ist es schwer jetzt schon eine Aussage darüber zu treffen, welches der Einsatzgebiete eine feste Verwendung im alltäglichen Leben finden wird. Die wohl am vielversprechendsten Einsatzgebiete sind die Industriebranche, die Unterhaltungsbranche, die Medizinbranche und die Bildungsbranche. Wie oben beschrieben kann AR in der Industrie sowohl für die Schulung, als auch für das Arbeiten im Betrieb genutzt werden. Komplexe Montage- und Wartungsarbeiten können durch AR-Anwendungen erleichtert werden. In der Unterhaltungsbranche sind aus der Sicht der Verbraucher, Spiele und das Augmentieren von Sport- und Festivalübertragungen besonders interessant. Für die Medizin hingegen können AR-Anwendungen wichtige Informationen direkt ins Blickfeld des Fachpersonals dargestellt werden und auch in dieser Branche ist die Ausbildung von Fachpersonal durch AR-Anwendungen vielversprechend. Weiterhin kann die Bildungsbranche von AR profitieren. Die Notwendigkeit einer guten Ausbildung und der Zugang zu großen Mengen an Dokumentationen sind Bedingungen, die den Einsatz von AR-Techniken in der Industrie und der Medizin vielversprechend machen. Dies beschränkt sich jedoch nicht nur auf das Arbeitswesen, sondern kann auch für die Bildung von jüngeren Personen benutzt werden. Durch spielerische Anwendungen könnte nicht nur das Interesse am Lernen geweckt werden, sondern auch für ein leichteres Verständnis gesorgt werden.

Da Anwendungen im medizinischen und industriellen Bereich ein großes Maß an umfangreichen und speziellen Fachwissen erfordern, kommt für diese Arbeit die Bildung und Unterhaltung als Anwendungsdomäne infrage. Die Bildungsbranche ist besonders vielversprechend, da sie in vielen anderen Branchen Verwendung findet. Angelehnt an die Projekte, von Grasset et al. [73] und Papadaki et al. [74], soll ein AR-Buch entwickelt werden. Das AR-Buch soll im technischen Aufbau einfacher gestaltet werden, statt vorher aufzubauende Vorrichtungen wie Projektoren, soll das AR-Buch ein HMD mit Tracking verwenden.

2.9 Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurden die für diese Arbeit benötigten grundlegenden Begriffe wie MR, AR und VR eingeführt und differenziert. Weiterhin wurde mit den Phasen für die Entwicklung einer AR-Anwendung, ein Verständnis für die technischen Anforderungen geschaffen. Der Exkurs in die Geschichte der AR hat gezeigt, dass die Basistechnologie von AR zwar schon seit den 80er Jahren existiert, aber anfangs aus eher experimentellen Prototypen mit spezieller Hard- und Software bestanden. Heute hingegen ist AR sowohl im Bezug auf Software als auch Hardware auf einem technologischen Stand, der selbst den Einsatz im kommerziellen Bereich möglich macht. Dies gilt insbesondere für die HMDs. Des Weiteren wurden die von AR verwendeten

Ausgabegeräte erläutert und anhand eines Anwendungsbeispiels veranschaulicht. Da sich das HMDs durch die Flexibilität an Anwendungsbereichen, als das vielversprechendste der Ausgabegeräte im Vergleich zu anderen Ausgabemedien gezeigt hat, wurde in einem Vergleich der gängigsten AR-HMDs die HoloLens als das vielversprechendste identifiziert. Im weiteren Verlauf für die Entwicklung des Prototyps wird die HoloLens als Ausgabegerät verwendet. Darauf folgend wurden auf die Technologien und die Interaktionsmöglichkeiten der HoloLens eingegangen. In einer umfangreichen Analyse wurde abschließend Anwendungsszenarien für AR in den Bereichen Medizin, Tourismus, Unterhaltung, Industrie (Design, Montage und Wartung), persönliche Informationssysteme, Bildung (Schulung und Training) und Planung vorgestellt und näher beschrieben. Die meisten der diskutierten Anwendungsbeispiele erfordern umfangreiches Fachwissen in der jeweiligen Domäne, sodass für diese Arbeit der Bereich der Bildung als Gegenstand für die prototypische Umsetzung eines Szenarios gewählt wurde.

3 Anforderungsanalyse

In diesem Kapitel werden die Bedingungen bestimmt, die das prototypische AR-Buch erfüllen muss. Zunächst wird in Abschnitt 3.1 die Funktionalität des AR-Buches anhand einer allgemeinen Beschreibung festgelegt. Darauf folgt in Abschnitt 3.2 eine kurze Beschreibung der Akteure des Systems. In Abschnitt 3.3 werden die Anwendungsfälle aus der Beschreibung abgeleitet und näher erläutert. Die funktionalen und nicht funktionalen Anforderungen an das AR-Buch werden in Abschnitt 3.4 aus den Anwendungsfällen ermittelt und aufgestellt. Im letzten Abschnitt 4.6 werden die Ergebnisse zusammengefasst.

3.1 Allgemeine Beschreibung

Zu entwickeln ist ein prototypisches AR-Buch für die HoloLens, als Lehr- und Werbebuch für einen Zoo oder Tierpark. Die Zielgruppe besteht hauptsächlich aus jungen Personen. Die Benutzung des Prototyps soll für den Benutzer (Leser) leicht verständlich, intuitiv und selbst bei längerer Benutzung nicht ermüdend sein. Das Buch soll gleichzeitig als eigenständiges Bilderbuch dienen, welches von Benutzern ohne HMD gelesen werden kann.

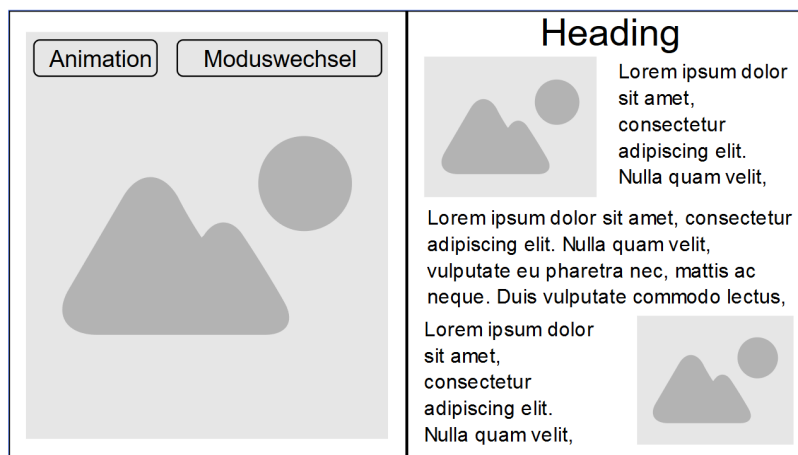


Abbildung 3.1: Die Erste Skizze des AR-Buches.
Quelle: Eigene Darstellung

Auf den einzelnen Seiten des Buches sind Bilder gedruckt, die ein Tier oder Standbilder aus dazugehörigen Videos darstellen. Der Benutzer verfügt über eine HoloLens, womit die durch Augmented Reality erweiterten Inhalte des Buches beim Lesen betrachtet werden

können. Dreht der Benutzer das Buch, drehen sich die virtuellen Inhalte mit. Informationen zu jedem Tier erstrecken sich über eine Doppelseite. Die linke Seite besteht aus einem Bild und die rechte Seite aus Informationen, wie Texten und Bildern über das im linken Bild angezeigte Tier. Die linke Seite verfügt über einen Modell- und einem Lebensraummodus. Der Modellmodus ist der Standardmodus, welcher beim ersten Erblicken des linken Bildes dargestellt wird. Schaut der Benutzer auf das Bild, erscheint ein 3D-Modell des entsprechenden Tieres, im stillstehenden Zustand. Der Benutzer kann mit dem Buch interagieren, um zwischen verschiedenen Animationen in einer vorher festgelegten Reihenfolge zu wechseln. Weiterhin wird das Bild mit einem virtuellen Podest, auf dem sich das 3D-Modell befindet, überdeckt. Der Lebensraummodus zeigt die Hohlform einer Viertelkugel (die in das Buch hineingeht), die eine annähernde Nachbildung des natürlichen Lebensraums des Tieres repräsentiert. In dieser Viertelkugel befindet sich ebenfalls ein 3D-Modell des Tieres, welches eine für das Tier charakteristische Aktion durch Ton und Animationen ausführt (beispielsweise Heulen des Wolfes und Brusttrommeln des Gorillas). Die Bilder auf der rechten Seite sind Standbilder von Videos mit und ohne Ton. Diese Videos können vom Benutzer an und ausgeschaltet werden. Der Benutzer kann mit seiner Hand mit dem Buch interagieren. Dies geschieht beim Wechseln der Modi, der Animationen und beim Ein-/Ausschalten von Videos.

3.2 Akteure

Für den Prototyp können die Akteure Benutzer, System und Content-Provider identifiziert werden. Wobei auf den Content-Provider im weiteren Verlauf nicht näher eingegangen wird, weil der Content zum größten Teil nicht selbst erzeugt wird und deshalb für diese Arbeit von geringer Bedeutung ist.

3.2.1 Benutzer

Der Benutzer ist der Leser des AR-Buches. Er interagiert mit dem Buch.

3.2.2 System

Das System gibt dem AR-Buch die Funktionalität.

3.2.3 Content-Provider

Der Content-Provider erstellt den Content mit dem das physische Buch erweitert wird. Darunter fallen Videos, Sounds, Bilder, 3D-Modelle, Texturen und die Animationen der Modelle.

3.3 Anwendungsfälle

Aus der allgemeinen Beschreibung des AR-Buches können folgende Anwendungsfälle abgeleitet werden. Der Erste befasst sich mit dem Modellmodus der linken Seite, der Zweite mit dem Wechsel in den Lebensraummodus der linken Seite, der Dritte stellt das Lesen und die

Interaktion mit der rechten Seite dar, der Vierte erläutert die Bildererkennung und der Letzte befasst sich mit der Button Selektierung.

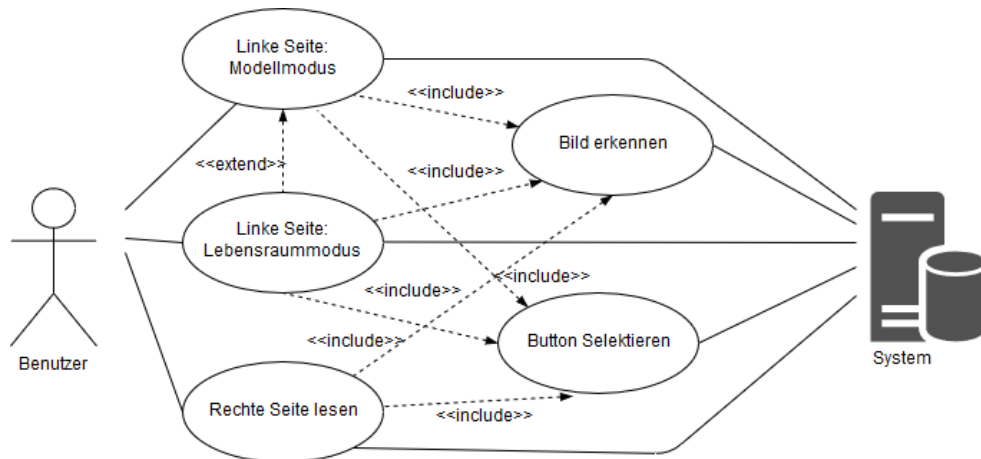


Abbildung 3.2: Das Anwendungsfalldiagramm zeigt, die Beziehungen zwischen den einzelnen Anwendungsfällen und der Akteure.
Quelle: Eigene Darstellung

3.3.1 Linke Seite: Modellmodus

Beim Lesen des Buches öffnet der Benutzer das Buch auf eine willkürliche Doppelseite und blickt auf das Bild der linken Seite. Daraufhin erscheint ein 3D-Modell auf einem Podest und eine virtuelle GUI, die aus zwei Buttons besteht, auf der oberen Kante des Bildes/Podestes. Der eine Button ist zum Wechseln von Animationen in einer vorher festgelegten Reihenfolge und der andere Button ist für den Moduswechsel da. Der Benutzer kann mit der GUI interagieren, indem er seine Hand auf die entsprechenden Elemente führt.

Name	Linke Seite: Modellmodus
Nummer	U1
Akteur	Benutzer, System
Vorbedingung	Der Benutzer hat die HoloLens aufgesetzt, die Anwendung installiert, für ausreichende Lichtverhältnisse gesorgt und das Buch vor sich liegen.
Nachbedingung	Das 3D-Modell wird auf einem Podest auf der linken Seite des Buches angezeigt und führt verschiedene Animationen aus.
Essenzielle Schritte	<ol style="list-style-type: none"> 1. Der Benutzer startet die zu dem Buch gehörende Anwendung. 2. Der Benutzer öffnet das Buch auf eine beliebige Stelle. 3. Der Benutzer schaut auf das sich links befindende Bild der momentan offenen Seite. 4. U4: Bild erkennen. 5. Das System stellt das zu dem Bild gehörende 3D-Modell auf einem Podest in Stillstehender Animation dar. 6. Das System stellt auf der oberen Kante des Podestes eine GUI in Form von Buttons, zum Wechseln der Modi und der Animationen dar. 7. Der Benutzer überdeckt den Button zum Animationswechsel mit seiner Hand. 8. U5: Button selektieren. 9. Das System führt die nächste Animation aus. 10. Der Benutzer dreht das Buch. 11. Das System dreht die virtuellen Inhalte mit.

Tabelle 3.1: Anwendungsfall "Linke Seite: Modellmodus"

3.3.2 Linke Seite: Lebensraummodus

Führt der Benutzer seine Hand auf den entsprechenden Button für den Moduswechsel, an der oberen Kante des linken Bildes, wechselt das Buch vom Modellmodus in den Lebensraummodus. Dieser zeigt das Tier, welches eine für das Tier charakteristische Aktion durch Ton und Animationen ausführt. Das Tier befindet sich in einer in das Buch hineinführende Landschaft, die an den Lebensraum des Tieres angelehnt ist.

Name	Linke Seite: Lebensraummodus
Nummer	U2
Akteur	Benutzer, System
Vorbedingung	U1 Punkt 1-6
Nachbedingung	Wechseln des Modus.
Essenzielle Schritte	<ol style="list-style-type: none"> 1. Der Benutzer legt seine Hand auf den entsprechenden virtuellen Button auf der oberen Kante der momentanen Seite, um in den Lebensraummodus zu wechseln. 2. U5: Button selektieren. 3. Das System wechselt in den Lebensraummodus und stellt eine Viertelkugel (die in das Buch hineingeht) dar, die eine annähernde Nachbildung des natürlichen Lebensraums des Tieres repräsentiert. 4. Das System stellt ein 3D-Modell des Tieres dar, welches eine Animation ausführt.

Tabelle 3.2: Anwendungsfall "Linke Seite: Lebensraummodus"

3.3.3 Rechte Seite lesen

Schaut der Benutzer auf die rechte Seite, sieht er Bilder und Texte. Führt der Benutzer seine Hand auf eins dieser Videos, startet das Video in Dauerschleife. Wiederholt er diese Geste, pausiert das Video.

Name	Rechte Seite lesen
Nummer	U3
Akteur	Benutzer, System
Vorbedingung	Der Benutzer hat die HoloLens aufgesetzt, die Anwendung installiert, für ausreichende Lichtverhältnisse gesorgt und das Buch vor sich liegen.
Nachbedingung	Die Videos können gestartet und pausiert werden.
Essenzielle Schritte	<ol style="list-style-type: none"> 1. Der Benutzer schaut auf die rechte Seite, liest den Text und betrachtet die zugehörigen Bilder. 2. U4: Bild erkennen. 3. Das System stellt die zu den Bildern gehörenden Videos im pausierten Zustand dar. 4. Der Benutzer legt seine Hand auf ein Video, welches ein virtueller Button ist. 5. U5: Button selektieren. 6. Das System startet das entsprechende Video in Dauerschleife. 7. Der Benutzer legt seine Hand auf dasselbe Video. 8. U5: Button selektieren. 9. Das System pausiert das Video.

Tabelle 3.3: Anwendungsfall "Rechte Seite lesen"

3.3.4 Bild erkennen

Damit auf dem Buch virtuelle Inhalte dargestellt werden können, die der aktuellen Seite entsprechen, soll das System vorher eingespeicherte Bilder erkennen können. Dazu soll das System Bildmerkmale aus Bildern und Bildausschnitten von Videos identifizieren können. Die identifizierten Bildmerkmale sollen mit Bildmerkmalen aus einer internen Datenbank von Bildern (mit dazugehörigen Bildmerkmalen) verglichen werden können. Weiterhin soll das System Bildern virtuelle Inhalte zuordnen können, damit die korrekten virtuellen Inhalte dargestellt werden.

Name	Bild erkennen
Nummer	U4
Akteur	System
Vorbedingung	Die Kamera ist auf ein Bild gerichtet.
Nachbedingung	Bild wurde identifiziert.
Essenzielle Schritte	<ol style="list-style-type: none"> 1. Das System extrahiert aus dem Kamerabild die Merkmale des aufgenommenen Bildes. 2. Das System vergleicht die Merkmale mit einer internen Datenbank von vorgeschichteten Bildmerkmalen. 3. Das System identifiziert das Bild.
Ausnahmeszenarien	<ol style="list-style-type: none"> 3. Das System kann das Bild keinem Bild aus der Datenbank zuordnen. 3a. Das System sucht weiter.

Tabelle 3.4: Anwendungsfall "Bild erkennen"

3.3.5 Button selektieren

Um mit dem Buch interagieren zu können sollen die GUI-Buttons selektierbar sein. Dazu soll das System erkennen können, ob der entsprechende Bereich des Bildes (wo sich der Button befindet) überlagert wurde. Das System soll die Überdeckung von Bildmerkmalen des Bildes ermitteln und den entsprechenden Button zuordnen können. Wurde ein Button betätigt, soll das System eine zugeordnete Aktion ausführen können.

Name	Button selektieren
Nummer	U5
Akteur	System
Vorbedingung	Der Benutzer überdeckt mit seiner Hand den Button.
Nachbedingung	Button wurde selektiert.
Essenzielle Schritte	<ol style="list-style-type: none"> 1. Das System erkennt anhand des überlagerten Bereiches des Bildes, welcher Button überdeckt wurde. 2. Das System führt eine zugeordnete Aktion aus.

Tabelle 3.5: Anwendungsfall "Button selektieren"

3.4 Anforderungen

Die Anforderungen werden aus den Anwendungsfällen abgeleitet. Diese dienen als Grundlage für die Umsetzung des Prototyps.

3.4.1 Funktionale Anforderungen

Die aus den Anwendungsfällen abgeleiteten funktionalen Anforderungen.

Nummer	Titel	Beschreibung
FA01	Erkennung der Bilder	Die Anwendung muss vordefinierte Bilder mit einem Algorithmus in Bildmerkmale zerlegen können und diese mit anderen Bildmerkmalen vergleichen können.
FA02	Bilderdatenbank	Die Anwendung muss eine Datenbank mit vordefinierten Bildern besitzen.
FA03	Virtuelle Erweiterung	Die Anwendung muss das Buch mit virtuellen Inhalten visuell erweitern können.
FA04	Virtuelles User Interface	Die Anwendung muss ein virtuelles User Interface in Form von Buttons stellen.
FA05	GUI-Elemente selektieren	Die Anwendung muss erkennen können, wenn der Benutzer mit seiner Hand das GUI-Element (Button oder Video) überlagert.
FA06	Animationen	Die Anwendung muss Animationen zu virtuellen Inhalten stellen.
FA07	Animation wechseln	Die Anwendung muss Animationen in einer vorher festgelegten Reihenfolge wechseln können.
FA08	Modus wechseln	Die Anwendung muss den Modus wechseln können und dementsprechend andere virtuelle Inhalte anzeigen können.
FA09	Videos abspielen/pausieren	Die Anwendung muss Videos in Dauerschleife starten und pausieren können.
FA10	Bilder Tracking	Die Anwendung soll die Bilder verfolgen und die virtuellen Inhalte perspektivisch korrekt darstellen können.

Tabelle 3.6: Funktionale Anforderungen

3.4.2 Nicht funktionale Anforderungen

In diesem Abschnitt werden die nicht funktionalen Anforderungen aufgestellt. Diese sollen zu einem besseren Umgang mit dem Prototyp führen.

Nummer	Titel	Beschreibung
NFA01	Intuitive Bedienung	Die Anwendung soll möglichst intuitiv bedienbar sein, so dass selbst für junge Benutzer alle verfügbaren Optionen des Buches verständlich sind.
NFA02	Benutzbarkeit	Die Anwendung soll selbst nach langer Benutzung nicht ermüdend sein.

Tabelle 3.7: Nicht funktionale Anforderungen

3.5 Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurde die grundlegende Funktionsweise des Prototyps und die Zielgruppe beschrieben. Aus dieser Beschreibung konnten dann die Akteure und die Anwendungsfälle "Linke Seite: Modellmodus", "Linke Seite: Lebensraummodus", "Rechte Seite lesen", "Bild erkennen" und "Button selektieren" abgeleitet werden. Die Anwendungsfälle wurden näher beschrieben und die essenziellen Schritte identifiziert. Mit den essenziellen Schritten konnten die funktionalen Anforderungen hergeleitet werden. Zum Schluss wurden die nicht funktionalen Anforderungen aufgestellt, welche lediglich ergonomischer Natur sind.

Im nachfolgenden Kapitel wird der Entwurf des Prototyps anhand der funktionalen Anforderungen, unter Berücksichtigung der nicht funktionalen Anforderungen aufgestellt.

4 Entwurf

In diesem Kapitel werden der Entwurf und der Aufbau des Prototyps erläutert. Dafür werden die für die Entwicklung des Prototyps verwendeten Tools anhand der funktionalen Anforderungen unter Berücksichtigung der nicht funktionalen Anforderungen in Abschnitt 4.1 identifiziert und beschrieben. Darauf folgt in Abschnitt 4.2 das grundlegende Systemdesign des AR-Buches. In Abschnitt 4.3 wird darauf eingegangen, aus welchen Quellen die verwendeten 3D-Modelle, Bilder, Audiodateien und Videos kommen. Zusätzlich wird erklärt, auf welche Auswahlkriterien geachtet wurde. Die Umsetzung des Prototyps erfolgt in Unity 4.4, dazu wird beschrieben wie sich das Systemmodell auf einen Szenengraphen in Unity abbilden lässt. Danach wird das Systemdesign auf das Datenmodell in Unity abgebildet und es auf Implementierungsdetails eingegangen. Anhand einer Tabelle wird der Entwicklungsstand über die Erfüllung der Anforderungen gezeigt 4.5 und darüber berichtet, worauf bei der Implementierung am meisten darauf geachtet werden musste. Abschnitt 4.6 fasst das Kapitel zusammen.

4.1 Externe Tools

In diesem Abschnitt wird unter Berücksichtigung der funktionalen Anforderungen aus Kapitel 3.4, die für die Implementierung zu verwendenden Tools identifiziert und beschrieben.

Um das AR-Buch visuell mit virtuellen Inhalten zu Erweiterung und damit Anforderung FA03 zu erfüllen, wurde als Ausgabegerät die HoloLens von Microsoft verwendet. Als Entwicklungsumgebung für die HoloLens wird Unity empfohlen, hierzu gibt es auch auf der Entwicklerseite von HoloLens umfangreiche Tutorials. Mit Unity können die Anforderungen FA04 - FA09 verwirklicht werden. Für das Tracking der Bilder wurde nach einer Lösung gesucht, die featur-basiertes Tracking anbietet und leicht in die Entwicklungsumgebung/Tools zu integrieren ist. Vuforia leistet diese Voraussetzungen, womit die Anforderungen FA01 und FA10 erfüllt sind. Weiterhin erfüllt Vuforia auch die Anforderung FA02, denn mit dem Entwicklungs-Portal von Vuforia ist es möglich Bilder hochzuladen, welche durch Vuforia internen Algorithmen in Features zerlegt werden und in Datenbanken gespeichert werden können. Diese Datenbanken können dann in Unity importiert werden. Zusätzlich ist Vuforia für akademische Zwecke kostenlos nutzbar.

4.1.1 Verwendete Tools

Die für den Prototyp verwendeten Tools werden hier aufgeführt und kurz beschrieben.

HoloLens

Die Wahl für ein geeignetes Ausgabegerät für den Prototyp fiel auf die Microsoft HoloLens. Die Vorteile eines HMDs und der HoloLens wurden in 2.4 und 2.5 bereits näher erläutert. Auf der verwendeten HoloLens wurde das Windows 10 October 2018 Update (10.0.17763.134) installiert. Für die Entwicklung des AR-Buches wurde sich dafür entschieden, die von der HoloLens angebotenen Interaktionsmöglichkeiten und Technologien nicht zu verwenden. Für die Interaktion mit dem AR-Buch wurde Vuforia verwendet.

Um mit der HoloLens arbeiten zu können muss das System, auf dem entwickelt wird über dasselbe Update verfügen, welches auf der HoloLens installiert ist und der Entwicklermodus muss eingeschaltet sein. Weiterhin werden folgende Tools benötigt: Visual Studio 2017, Windows 10 SDK, Unity und Mixed Reality Toolkit (MRTK). Das Mixed Reality Toolkit (MRTK) ist eine Sammlung von Skripten und Komponenten, welche die Entwicklung von MR-Headsets beschleunigen soll. Da der Prototyp keine Funktionen der HoloLens nutzt, musste das MRTK für Unity nicht mitinstalliert werden.

Unity 3D

Unity ist eine Laufzeit- und Entwicklungsumgebung für 2D und 3D-Anwendungen für unterschiedliche Branchen. Sie wird in den Versionen Unity Pro für 115 Euro pro Monat, Unity Plus für 20 Euro pro Monat mit einem Jahr im Voraus bezahlen, oder 32 Euro monatlich und in Unity Personal, welche kostenlos ist, aber dafür einige Einschränkungen besitzt. Unity unterstützt 27 Plattformen und C#, UnityScript (JavaScript für Unity) und Boo, als Programmiersprachen. Für die Implementierung des Prototyps wurde die kostenlose Unity Personal Version mit dem Update 2018.2.18f1 (64 bit) verwendet. Die Skripte werden in C# entwickelt.

Visual Studio

Visual Studio ist eine von Microsoft angebotene Entwicklungsumgebung für viele Programmiersprachen (C, C++, C#, JavaScript, usw.). Als Entwicklungsumgebung zum Entwickeln der C#-Skripte, zum Testen und deployen der Anwendung, wurde Visual Studio Community 2017 15.9.4 verwendet.

Vuforia

Vuforia ist ein Software Development Kit (SDK) zum Entwickeln von Augmented Reality Anwendungen. Sie erkennt Bilder, 3D-Objekte, Text, Zylinder, Würfel und Marker. Vuforia unterstützt die Plattformen Android, iOS und Windows für Handheld Geräte und Optical-See-Through-HMDs. Seit dem Update 2017.2 von Unity ist Vuforia bereits in Unity integriert und muss nicht mehr als unitypackage importiert werden. Vuforia stellt viele nützliche vorkonfigurierte Module. Eine ist beispielsweise die ARCamera, welches ein spezieller Kamertyp ist, der Augmented-Reality-Apps für Handheld-Geräte und digitale Brillen unterstützt. Damit Vuforia ein Bild erkennen kann, muss vorher im Entwicklungs-Portal von Vuforia eine Bilder Daten-

bank angelegt und heruntergeladen werden. Diese Datenbank muss dann in Unity importiert werden.

Blender

Blender ist eine kostenlose 3D-Grafiksoftware, mit welcher sich Modelle, Texturen und Animationen erstellen lassen. Zum Erstellen zusätzlicher Animationen für die 3D-Modelle wurde das Tool Blender benutzt.

4.2 Systemüberblick

Das Systemdesign für die Entwicklung des Prototyps wird in diesem Abschnitt erläutert, ohne auf nähere Details der Implementierung einzugehen.

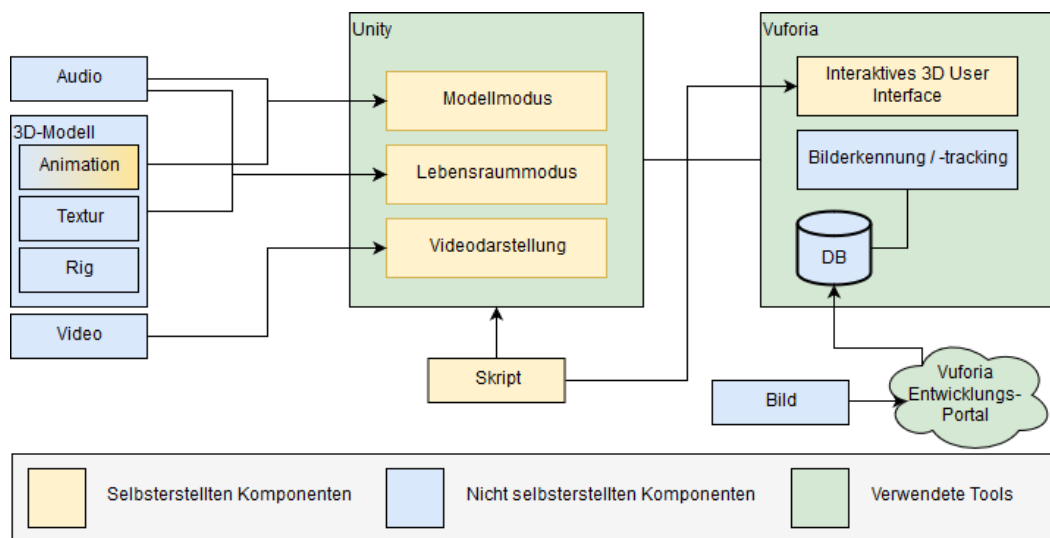


Abbildung 4.1: Das Grundlegende Systemdesign des Prototyps.
Quelle: Eigene Darstellung

Die Abbildung 4.1 zeigt das grundlegende Systemdesign des Prototyps. Das System wurde in 3 verschiedene Gruppen unterteilt (grün, blau und gelb). In Grün werden die verwendeten Tools dargestellt. Die nicht selbst erstellten Komponenten, wie die Bilderkennung und die verwendeten Medien werden in Blau und die selbst erstellten, wie die C#-Skripte und die Funktionen des AR-Buches in Gelb angezeigt.

Der Modellmodus zeigt ein 3D-Modell auf einem Podest, welcher Mithilfe eines interaktiven 3D User Interfaces Animationen wechseln kann. Der Lebensraummodus ist eine hohle Viertelkugel, die als Bühne für einen Animationsablauf dient und die Videodarstellung ist das Abspielen und Pausieren von virtuellen Videos. Die Interaktion mit dem Prototyp wird mit Virtual Buttons von Vuforia verwirklicht.

4.3 Aufbereitung des multimedialen Contents für das AR-Buch

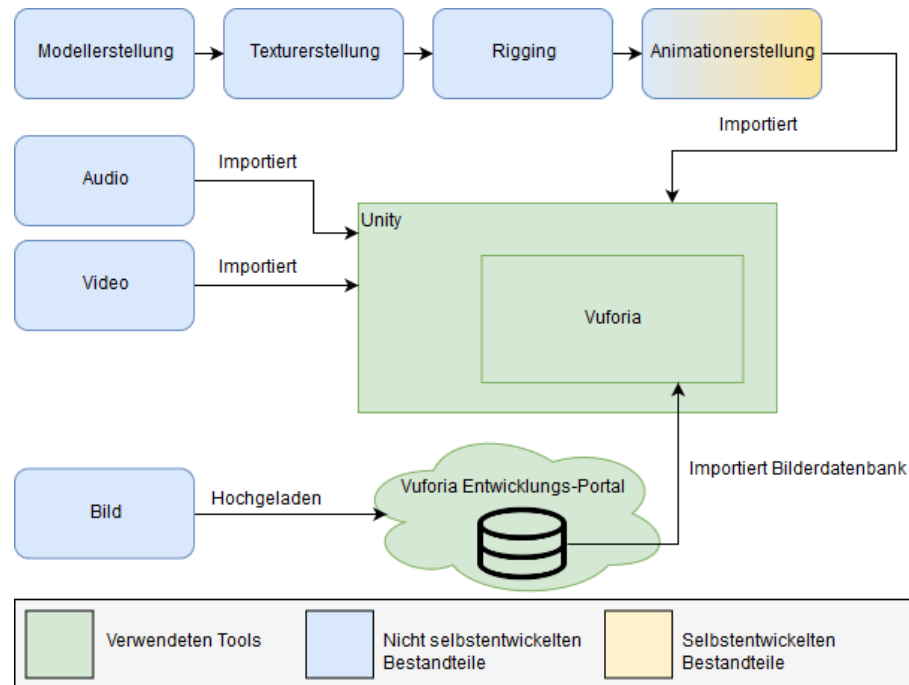


Abbildung 4.2: Der Ablauf der Aufbereitung des multimedialen Contents.

Quelle: Eigene Darstellung

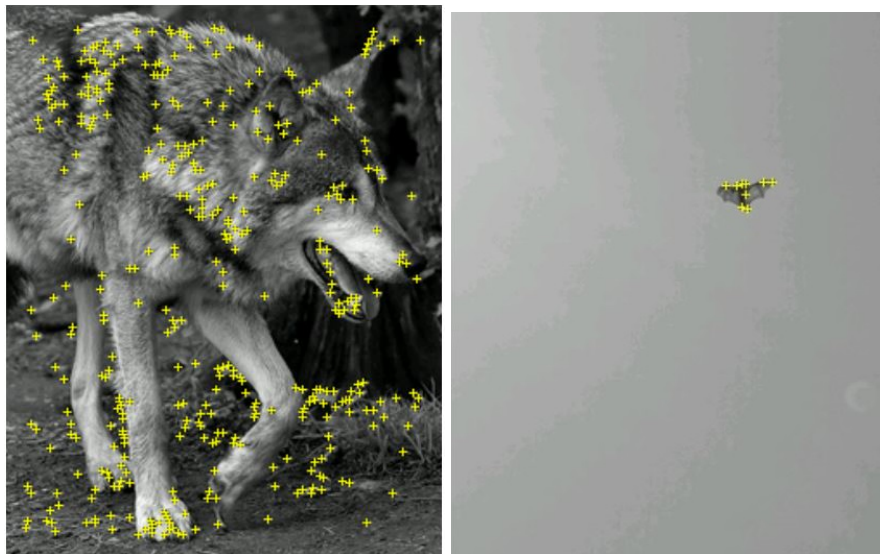
Für die Erstellung des AR-Buches wurde unterschiedlicher virtueller Content verwendet: 3D-Modelle, 3D-Animationen, Audiodateien, Videos und Bilder. Die Abbildung 4.2 zeigt den groben Ablauf, wie der mediale Content aufbereitet wurde. Die Farben verdeutlichen, welche Bestandteile selbst entwickelt, welche nicht selbst entwickelt und welche externen Bestandteile verwendet wurden.

Bilder

Für die Suche nach geeigneten Bildern wurde "Photos For Class" [84] verwendet. Dies ist eine für Lehrer und Schüler entwickelte Suchmaschine, die das Suchen für geeignetes Bildungsmaterial erleichtern soll. "Photos For Class" sucht nach geeigneten Bildern aus den Quellen Flickr [85] und Pixabay [86], welche kostenlose Bilder zur Verfügung stellen. Alle über die Suchmaschine gefundenen Bilder sind altersgerecht, werden automatisch zitiert (ein paar Zeilen, die dem Bild angehängt werden) und sind für den öffentlichen Gebrauch lizenziert. Dabei musste darauf geachtet werden, dass die Bilder reich an Details sind, über einen guten Kontrast verfügen, keine oder wenig sich wiederholende Muster besitzen und ein RGB- oder Graustufenbild mit 8- oder 24-Bit im PNG- oder JPG-Format sind, mit einer Größe von unter 2 MB. Die Mehrzahl der gefundenen Bilder überschritten die maximale Größe von 2 MB. Aus

diesen Bildern wurde dann ein Bildausschnitt genommen, anstatt des gesamten Bildes. Diese Bilder wurden dann in das Entwicklungs-Portal von Vuforia [87] hochgeladen und in eine Bilderdatenbank gespeichert. Die hochgeladenen Bilder wurden mit einem Vuforia internen Algorithmus in Bildmerkmale (Features) zerlegt und anhand eines Sternensystems (1-5 Sterne) bewertet. Die Anzahl der Sterne basiert auf die Anzahl der gefundenen Bildmerkmale des Bildes und der entsprechenden Erweiterbarkeit.

Nachdem alle Bilder hinzugefügt wurden, wurde die Datenbank als unitypackage heruntergeladen und in Unity importiert.



(a) Viele Bildmerkmale
Quelle des Originalbildes: [88]

(b) Fast keine Bildmerkmale
Quelle des Originalbildes: [89]

Abbildung 4.3: Wird auf die Auswahl der Bilder keinen großen Wert genommen, werden die Bilder schlecht oder nicht erkannt. Das linke Bild wurde von Vuforia mit 4 Sternen bewertet und das rechte mit 0 Sternen bewertet.

Quelle: Eigene Darstellung

Audios und Videos

Für die Audiodateien wurden Seiten wie "freesound" [90] und "freeSFX" [91] verwendet. Diese bieten frei verfügbare Audiodateien an. Die Audiodateien wurden, falls nötig in das mp3-Format konvertiert und in Unity importiert.

Die Suche nach frei verfügbaren Videos fiel schwerer aus. Deshalb wurden Videos aus "YouTube" [92] benutzt und ausreichend zitiert. Für die Verwendung der Videos in Unity wurden die Videos in das MP4-Format konvertiert. Weiterhin wurde ein Videoausschnitt, welches den oben genannten Kriterien entspricht genommen und der Datenbank aus dem Vuforia Entwicklungs-Portal hinzugefügt.

3D-Modelle

Die 3D-Modelle der Tiere sind frei verfügbare Modelle und stammen aus "cgtrader" [93]. Die verwendeten Modelle besaßen bereits Texturen, Rigs und grundlegende Animationen. Zusätzliche Animationen wurden dann mit dem Tool Blender erstellt und in das FBX-Format exportiert. Das sich daraus ergebende Modell, mit Animationen wurde ebenfalls in Unity importiert.

4.4 Umsetzung in Unity

Die Entwicklungsumgebung Unity verwendet Szenengraphen als Datenmodell für eine Szene. Hierzu wird im Folgenden das Prinzip eines Szenengraphen vorgestellt. Daraufhin wird das Systemdesign des Prototyps auf den Szenengraphen in Unity abgebildet. Weiterhin werden die Begriffe Image Target und Virtual Button erläutert und beschrieben, wie diese für die Implementierung des Prototyps verwendet wurden.

4.4.1 Szenengraph

Die notwendigen Informationen der inneren Struktur und das äußere Erscheinungsbild einer virtuellen Welt, werden mithilfe einer Szene beschrieben. Eine Szene ist ein spezielles 3D-Modell, das für alle 3D-Objekte nicht nur Geometrie- und Materialbeschreibungen, sondern auch Kameraeinstellungen, Licht und Audioquellen definiert. Die Inhalte einer Szene, die im Sichtfeld des Benutzers sind, werden zur Laufzeit gerendert und auf geeigneten Geräten wie beispielsweise HMDs, Monitoren, oder Projektionssystemen dargestellt. Eine Szene kann sich zur Laufzeit auf drei Arten dynamisch verändern:

Animiert

Wenn sich die Positionen von 3D-Objekten einer Szene mit der Zeit verändern.

Interaktiv

Wenn 3D-Objekte einer Szene auf die Eingabe des Benutzers reagieren.

Verhalten (engl. Behavior)

Wenn 3D-Objekte einer Szene auf Ereignisse, wie Zeitsteuerung oder Ereignissteuerung, durch Zustandsänderungen reagieren.

Für die Beschreibungsform einer Szene hat sich der Szenengraph als geeignetes Datenmodell durchgesetzt. Der Szenengraph ist ein gerichteter azyklischer Graph (engl. Directed Acyclic Graph - DAG), mit dem sich hierarchisch aufgebaute Szenen effizient beschreiben lassen. Der Graph besteht aus Knoten, die über gerichtete Kanten miteinander verbunden sind. Knoten A wird als Elternknoten bezeichnet und Knoten B als Kindknoten, wenn eine Kante von A nach B verläuft. Szenengraphen besitzen einen Wurzelknoten, dieser ist ein Knoten, der keine Elternknoten besitzt und den Einstiegspunkt der Szene darstellt. Blattknoten repräsentieren 3D-Objekte in einer Szene. Alle anderen Knoten haben eine gruppierende Funktion. Im Gegensatz zu Bäumen dürfen Kindknoten in Szenengraphen mehrere Elternknoten besitzen.

Dadurch ermöglichen Szenengraphen eine kompakte Repräsentation hierarchisch aufgebauter Objekte, die z. B. mehrfach in einer Szene auftreten. Der Szenengraph enthält nicht nur die geometrischen 3D-Objekte, sondern auch weitere Elemente, wie Audio- und Lichtquellen und virtuelle Kameras (Viewpoints auf die virtuelle Welt). Eine Besonderheit im Szenengraph sind die sogenannten Transformationsgruppen, die ein (lokales) Koordinatensystem für die Kindknoten definieren. Alle Transformationen im geometrischen Sinne (Verschiebung, Drehung und Skalierung) die im Kindknoten durchgeführt werden, werden in Bezug des lokalen Koordinatensystems des übergeordneten Elternknotens durchgeführt. Um die endgültige (globale) Position, Orientierung und Skalierung eines Objektes im Szenengraphen zu bestimmen, wird über den Pfad von der Wurzel, bis zu dem entsprechenden Objekt traversiert.

Abbildung 4.4 zeigt eine Szene anhand eines Fahrzeugs. Die Räder wurden in vier Transformationsknoten aufgeteilt. Diese verweisen auf ein 3D-Objekt, welches mehrfach verwendet wird. Durch Wiederverwendbarkeit der 3D-Objekte wird der benötigte Speicher reduziert. In diesem Beispiel, wird für das Fahrzeug nur ein Rad geladen, welches auf vier unterschiedlichen Positionen referenziert wird. [2]

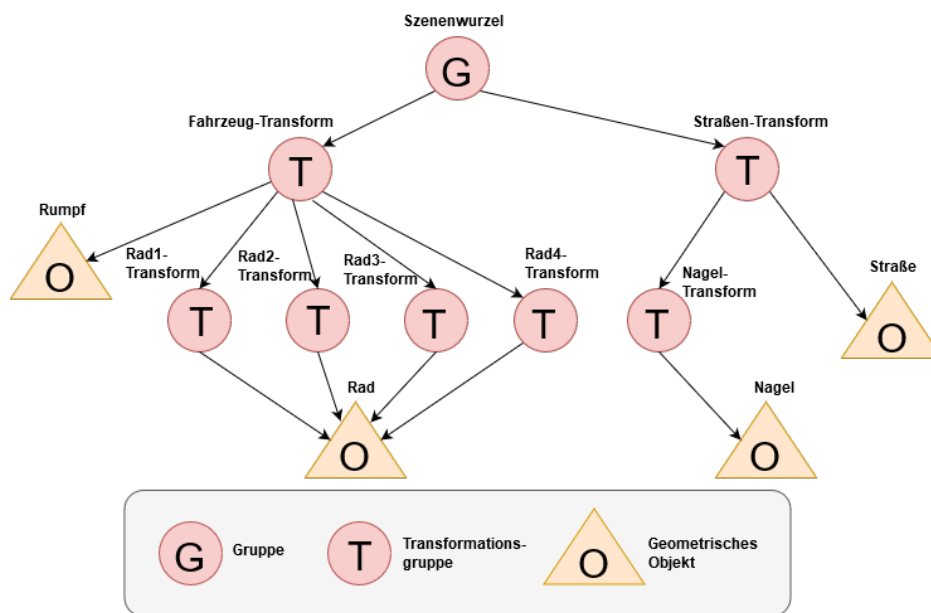


Abbildung 4.4: Beispiel eines Szenengraphen. In der dazugehörigen Szene wurde ein Fahrzeug mit vier Rädern modelliert. Dieses Fahrzeug befindet sich auf einer Straße, auf der sich ein Nagel befindet. Im Speicher liegt nur ein Rad, welches mehrfach verwendet wird.

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Ralf Dörner et al.[2, Seite 71]

4.4.2 Abbildung des Systems auf Unity

In diesem Abschnitt wird das System auf das Programmiermodell in Unity abgebildet. Wie bereits oben beschrieben, wird in Unity ein Szenengraph als Datenmodell für eine Szene verwendet. Der Szenengraph in Unity funktioniert genauso wie der Szenengraph im vorherigen Abschnitt, jedoch werden in Unity die Transformationsgruppen, GameObjects genannt. Weiterhin können Blattknoten nicht nur geometrische Objekte sein, sondern auch funktionale Erweiterungen, wie Skripte beinhalten und werden in Unity 3D-Components genannt. 3D-Components können auf andere Components desselben GameObjects direkt zugreifen. Der Zugriff auf Components in anderen GameObjects funktioniert in Unity nur über den Namen oder Tag der gesuchten Component.

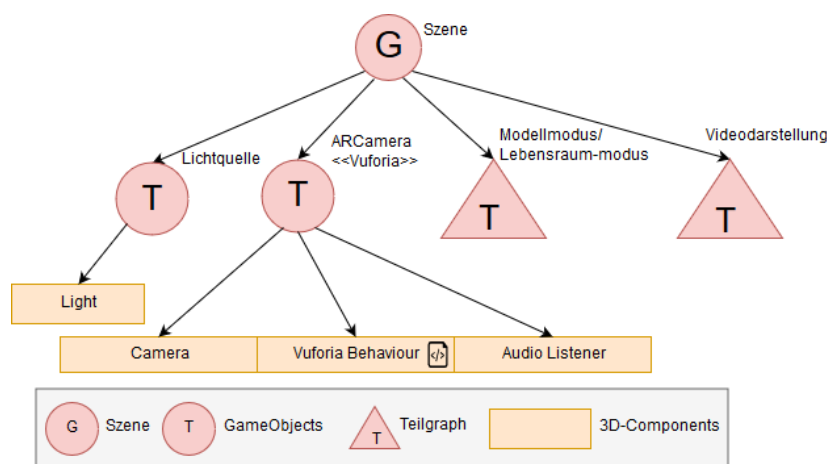


Abbildung 4.5: Der Szenengraph wurde zur Übersicht, in drei Teile geteilt.
Quelle: Eigene Darstellung

Für die Abbildung des Systems wurde nicht nur auf das Datenmodell in Unity geachtet, sondern auch auf das Vuforia Datenmodell. Für die Bilderkennung und -verfolgung wurden Image Targets (die Teilgraphen Modellmodus/Lebensraummodus und Videodarstellung sind jeweils Image Targets) verwendet. Image Targets sind von Vuforia bereitgestellte GameObjects und repräsentieren Bilder, die von der Vuforia Engine erkannt und verfolgt werden können. Dazu wurde eine Datenbank mit Bildmerkmalen mit dem Vuforia Entwicklungs-Portal erstellt und in Unity importiert. Dem Image Target wird das gewünschte Bild aus der Datenbank hinzugefügt. Die dem Image Target zugeordneten GameObjects werden beim Erkennen des Bildes angezeigt und mit dem Bild mitbewegt. Wird ein Bild erkannt, verfolgt Vuforia dieses, bis die Bildmerkmale sich nicht mehr im Sichtfeld der Kamera befinden (z. B. durch Verdeckung oder aus dem Sichtfeld bewegt worden).

Der Übersicht halber wurde die Abbildung des Systems in drei Teile geteilt. Die Abbildung 4.5 zeigt die *Lichtquelle*, die *ARCamera* von Vuforia und die Teilgraphen (Image Targets), die in Abbildung 4.6 und 4.7 näher erläutert werden. Zudem wurde die 3D-Component "Transform" nicht dargestellt, weil diese jedem GameObject zugeordnet ist.

Das GameObject *Lichtquelle* stellt eine einfache, gerichtete Lichtquelle in der Szene dar. Das GameObject *ARCamera* wird von Vuforia geliefert und ist ein spezieller Kameratyp, der Augmented-Reality-Apps für Handheld-Geräte und digitale Brillen unterstützt. Die *ARCamera* enthält die 3D-Component *Camera*, das *Vuforia Behaviour Skript* und einen *Audio Listener*. Die *Camera* Component enthält die Kameraeinstellungen und repräsentiert den Blickwinkel des Benutzers auf die Szene. Das *Vuforia Behaviour Skript* enthält die Konfiguration von Vuforia, wie den Lizenz-Key, die Ausgabegeräteeinstellungen, die Bilderdatenbank und so weiter. Der *Audio Listener* empfängt Eingaben von beliebigen Audioquellen in der Szene und spielt den Sound auf den Lautsprechern des Ausgabegerätes ab.

Modellmodus/Lebensraummodus

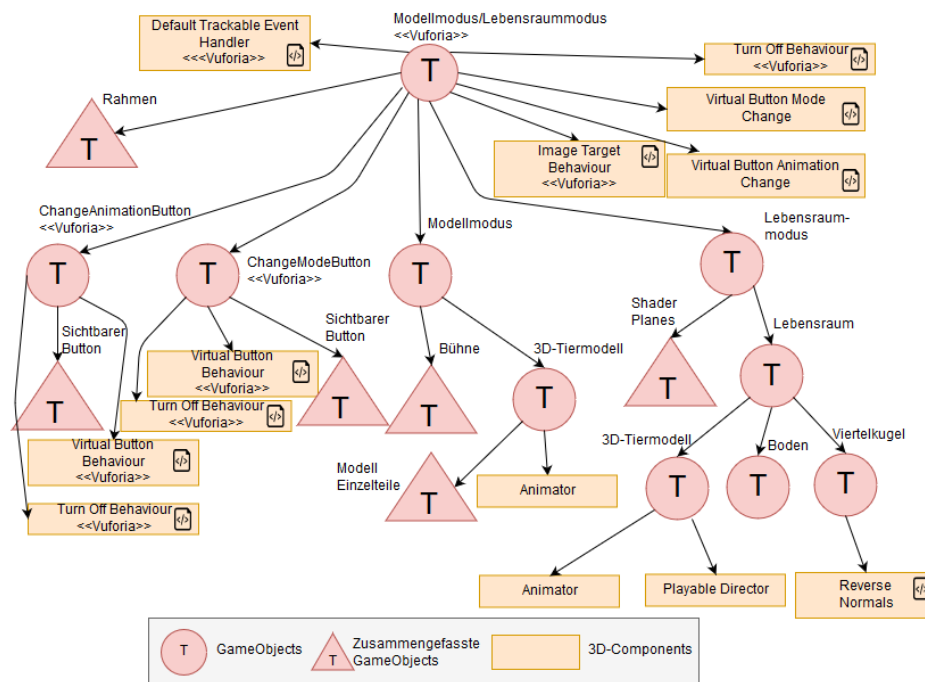


Abbildung 4.6: Die linke Seite des AR-Buches in Unity verwirklicht. komplexere Objekte die aus mehreren 3D-Components bestehen, wie der Lebensraum oder der Bilderahmen wurden zusammengefasst.

Quelle: Eigene Darstellung

Vuforia Image Target und dazugehörige Skripte Die Wurzel des Teilgraphens stellt ein Image Target GameObject dar. Die Skripte *Image Target Behaviour*, *Turn Off Behaviour* und *Default Trackable Event Handler*, sind ebenfalls von Vuforia mitgegebene Components. Das *Image Target Behaviour Skript*, steuert das Tracking des Bildes. In Unity enthält ein Image Target, das zu Trackende Bild als Textur. Somit ist es bei der Umsetzung leichter, die virtuellen

Inhalte repräsentativ zu dem Bild zu platzieren. Das *Turn Off Behaviour Skript* entfernt beim Rendern der Szene die Textur des Image Targets, da sich das reale Bild vor dem Benutzer befindet. Mit dem Skript *Default Trackable Event Handler*, kann Zustandsbasierend (ist das Bild sichtbar oder nicht) Code ausgeführt werden.

User Interface durch Vuforia Virtual Buttons Das interaktive 3D User Interface für den Modus- und Animationswechsel wurde mit Virtual Buttons gelöst. Vuforia bietet die Möglichkeit einem Image Target, ein oder mehrere Virtual Buttons hinzuzufügen. Ein Virtual Button wird auf dem Image Target platziert und definiert somit einen Bereich des Bildes. Das Selektieren der Virtual Buttons funktioniert durch Überdecken des definierten Bereiches. Damit der Button auch richtig aktivierbar ist, muss beim Definieren des Bereiches darauf geachtet werden, dass dieser eine ausreichende Länge und Breite besitzt, in der Nähe von Bildmerkmalen positioniert wird und nicht zu nah an anderen Buttons platziert wird. Da die Bereiche der Virtual Buttons für den Benutzer nicht sichtbar sind, wurden die Buttons mit 3D-Buttons visuell repräsentiert (ein sichtbarer Quader). Die Programmierlogik der Virtual Buttons befindet sich in dem dazugehörigen Image Target in Form von C#-Skripten (mit Skript Symbol gekennzeichnet). Die Virtual Buttons besitzen die Components *Turn Off Behaviour Skript*, wie die Image Targets und ein *Virtual Button Behaviour Skript*, welches die Funktionalität des Buttons beinhaltet.

Umsetzung der Modi des AR-Buches Der Modell- und Lebensraummodus wurden als GameObjects verwirklicht und sind demselben Image Target zugeordnet (Modellmodus/Lebensraummodus).

Umsetzung Modellmodus Das dem Modellmodus zugeordnete 3D-Tiermodell enthält eine *Animator* Component. Diese Component verfügt über einen Avatar (das Modell) und einen *AnimationController* der alle möglichen Animationen beinhaltet. Diese Animationen können dann anhand der Namen/Tags über den Virtual Button gesteuert werden. Der Animator startet im Zustand "none", dies ist ein leerer Zustand und besitzt keine zugehörige Animation. Wird der *ChangeAnimationButton* betätigt, wird anhand des Namens die abgespielte Animation geändert, was auch den aktuellen Zustand des *Animator* auf die neue Animation ändert. Bei jeder neuen Betätigung des Buttons wird eine vordefinierte Liste an Animation durchlaufen.

Umsetzung Lebensraummodus Das 3D-Tiermodell des Lebensraummodus, enthält einen *Animator* Component und eine *Playable Director* Component. Die *Animator* Component verfügt über keinen *AnimationController*, sondern nur über den Avatar. Der *Playable Director* beinhaltet eine Timeline, womit sich Animations- und Soundabläufe abhängig von Zeit steuern lassen, dazu erhält sie die *Animator* Component des zu steuernden Modells und Audiofiles von Audioquellen oder Audiotracks. Die *Playable Director* Component wurde im Lebensraummodus benutzt, um einen Animationsablauf mit Sound zu erstellen. Startet der Benutzer den Lebensraummodus, wird dieser Ablauf gestartet und in Dauerschleife abgespielt. Bei der Umsetzung der Viertelkugel kam das Problem auf, dass die Textur auf der falschen Seite des Objektes war. Dies wurde mit einem *Reverse Normals Skript* gelöst, welches aus dem Unity3d

Wiki[94] genommen wurde. Das *Reverse Normals Skript* wurde zu dem GameObject Viertelkugel als Component hinzugefügt. Das Skript dreht die Normalenvektoren der Viertelkugel beim Rendern um, wodurch die Texturen der Viertelkugel auf der richtigen Seite angezeigt werden.

Zusammengefasste Strukturen von GameObjects Die als Dreiecke dargestellten GameObjects, sind komplexere GameObject Strukturen von 3D-Objekten. Der Rahmen und die Bühne wurden durch mehrere aneinanderhängende Rechtecke verwirklicht. Die Sichtbaren Button, verfügen jeweils über einen Text und ein Rechteck, was die Button repräsentiert. Die *Shader Planes*, sind vier Planes (GameObjects), die sich um das Image Target herum befinden. Indem den Planes ein *Depth Mask Shader* als Material hinzugefügt wurde, sind sie für den Benutzer unsichtbar, überdecken aber dennoch virtuelle Objekte. Diese *Shader Planes* wurden benutzt, um ein Fenster in den Lebensraummodus zu schaffen.

Videodarstellung

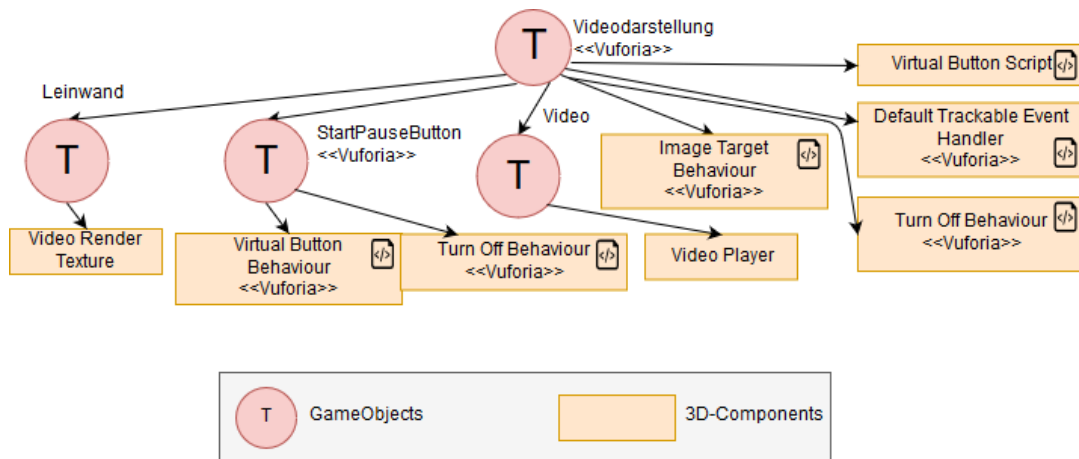


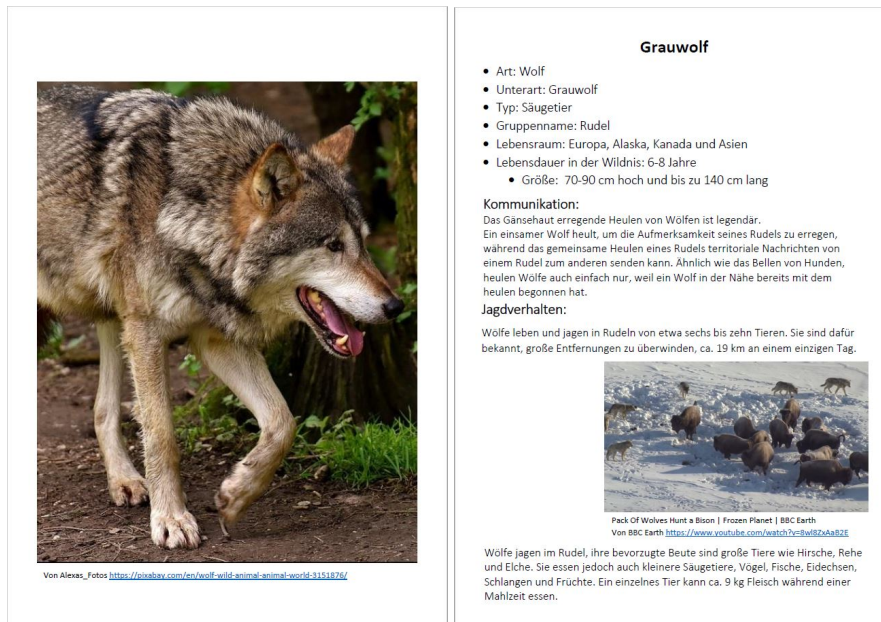
Abbildung 4.7: Die rechte Seite des AR-Buches in Unity verwirklicht. Die Darstellung gilt nur für ein Video.

Quelle: Eigene Darstellung

Wie im Modellmodus/Lebensraummodus, funktioniert hier das Image Target und der dazugehörigen Virtual Button gleich. In der Videodarstellung wird jedoch der Button nicht visuell repräsentiert, sondern nur die Größe des Buttons definiert (auf die Größe des Videos). Mit dem Virtual Button wird der Zustand des Videos gesteuert. Um in Unity ein Video abspielen zu können, wird die *Video Player* Component verwendet. Diese enthält das importierte Video und kann auf eine RenderTexture gerendert werden. Diese RenderTexture wird einem Plane als Texture hinzugefügt, wodurch während der Laufzeit eine Leinwand entsteht.

4.5 Entwicklungsstand des Prototyps

Der aktuelle Entwicklungsstand des Prototyps wird in diesem Abschnitt mit grafischen Bildern und Tabellen vorgestellt.



(a) Linke Seite: Großes Bild eines Tieres (b) Rechte Seite: Text mit zugehörigen Videos

Abbildung 4.8: Auf der linken Seite des AR-Buches ist ein größeres Bild eines Tieres dargestellt. Auf diesem Bild wird der Modellmodus und der Lebensraummodus überlagert. Die rechte Seite umfasst Informationen zum Tier und dazugehörige Bilder. Diese Bilder werden mit Videos überlagert.
Quelle: Eigene Darstellung

4.5.1 Walkthrough

Die Funktionsweise des AR-Buches wird durch ein Walkthrough vorgeführt, welcher aus von der HoloLens aufgenommenen Bildschirmfotos besteht. Bei der Bildschirmaufnahme der HoloLens wurden die Hologramme oft nicht perspektivisch korrekt dargestellt, weshalb die Funktionalität der Anwendung im Anschluss eines Kolloquiums präsentiert wird.

Linke Seite Modellmodus

Wenn der Benutzer das Bild auf der linken Seite fixiert, entsteht ein statisches 3D-Modell eines Wolfes auf einem Podest (Abbildung 4.9a und 4.9b). Der Benutzer hat jetzt zwei Optionen.

Er kann den Virtual Button oben links betätigen, welcher die Animation des 3D-Modells wechselt oder den Virtual Button oben rechts, welcher den Modus vom Modellmodus in den Lebensraummodus wechselt (Abbildung 4.9c).

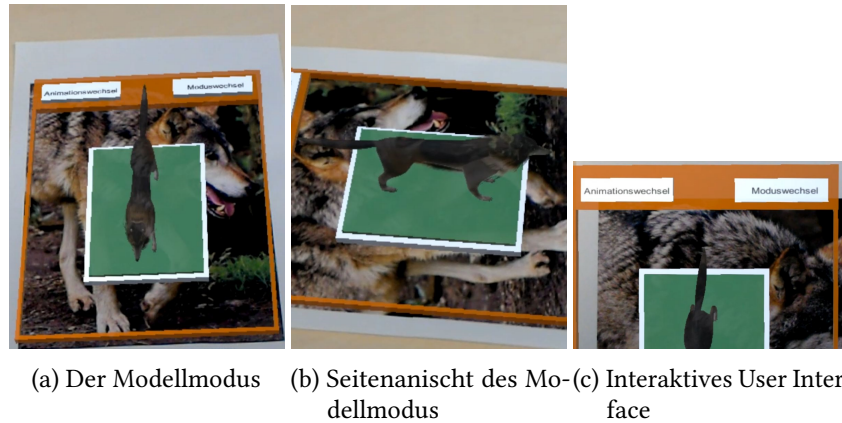


Abbildung 4.9: Im Modellmodus werden dem Benutzer stereoskopische Darstellungen gezeigt.
Quelle: Eigene Darstellung

Linke Seite Modellmodus Animationswechsel

Das Betätigen des Virtual Buttons funktioniert durch das Verdecken des Bildes an der entsprechenden Stelle. (Abbildung 4.10a). Bei jedem Betätigen des Virtual Buttons wird eine neue Animation in einer vorbestimmten Reihenfolge in Dauerschleife ausgeführt.

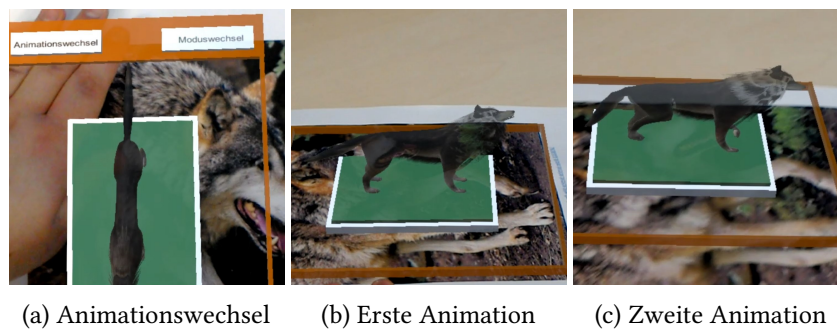


Abbildung 4.10: Durch das Verdecken des Virtual Buttons, wird eine neue Animation ausgeführt.
Quelle: Eigene Darstellung

Linke Seite Moduswechsel und Lebensraummodus

Selektiert der Benutzer den Virtual Button für den Moduswechsel, wechselt die Anwendung in den Lebensraummodus und stellt den Animationswechsel Virtual Button aus (Abbildung

4.11a). Im Lebensraummodus sieht der Benutzer den Wolf in einer kleinen Landschaft. Der Wolf führt Animationen und Sound aus und spielt in Dauerschleife eine kleine Szene ab. (Abbildung 4.11). Das erneute Selektieren des Virtual Buttons zum Moduswechsel, wechselt wieder in den Modellmodus (Abbildung 4.11c).



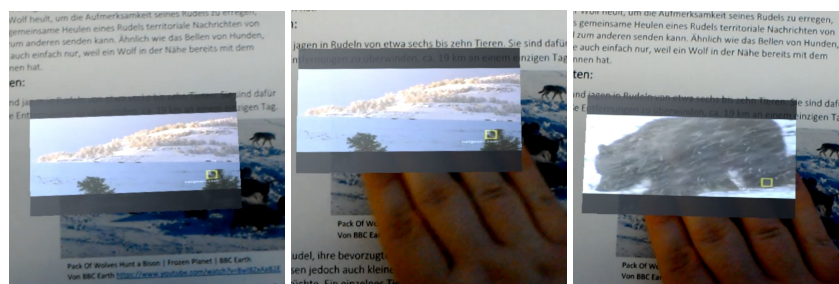
(a) Moduswechsel zum Lebensraummodus (b) Lebensraummodus (c) Moduswechsel zum Modellmodus

Abbildung 4.11: Der Lebensraummodus zeigt eine in das Buch hineinführende Landschaft. Der Wolf befindet sich in dieser Landschaft und führt einen Animationsablauf mit Sound aus.

Quelle: Eigene Darstellung

4.5.2 Rechte Seite Videodarstellung

Beim Fixieren des Bildes auf der rechten Seite, wird ein Video im pausierten Zustand dargestellt (Abbildung 4.12a). Die Selektion des dargestellten Videos startet das Video in Dauerschleife (Abbildung 4.12b). Die erneute Selektion des Videos pausiert dieses (Abbildung 4.12c).



(a) Die Videodarstellung (b) Selektion startet das Video (c) Erneute Selektion pausiert das Video

Abbildung 4.12: Das Video ist ein Virtual Button. Durch Verdeckung des Bildes wird dieser ausgewählt.

Quelle: Eigene Darstellung

4.5.3 Abdeckung der Anforderungen

Die untere Tabelle stellt den Umsetzungsreifegrad der funktionalen und nicht funktionalen Anforderungen aus 3.4 dar.

Ein Wertungssystem wurde in drei Kategorien (+, o und -) unterteilt. Die einzelnen Kategorien beschreiben, wie gut die Anforderungen gelöst worden sind. Wobei "+" gut gelöst, "o" verbesserungswürdig und "-" gar nicht gelöst steht.

Nummer	Anforderung	+	o	-
FA01	Erkennung der Bilder	x		
FA02	Bilderdatenbank	x		
FA03	Virtuelle Erweiterung	x		
FA04	Virtuelles User Interface	x		
FA05	UI-Elemente selektieren		x	
FA06	Animationen		x	
FA07	Animation wechseln	x		
FA08	Modus wechseln	x		
FA09	Videos abspielen/stoppen	x		
FA10	Bilder Tracking	x		
NFA10	Intuitive Bedienung	x		
NFA10	Benutzbarkeit	x		

Tabelle 4.1: Einschätzung des Entwicklungsstandes

FA01, FA02 und FA10

Das Erkennen (FA01) und Tracking (FA10) der Bilder war mit Vuforia einfach umzusetzen und funktioniert konsistent. Die einzige Schwierigkeit, die dabei aufkam, war die richtige Bildersuche, denn wie bereits oben beschrieben 4.3, benötigt Vuforia einige Voraussetzungen, damit das Tracking angemessen funktioniert. Die Umsetzung und das Importieren der Bilderdatenbank (FA02) wurde mit dem Vuforia Entwicklungs-Portal verwirklicht, welches einfach und intuitiv zu bedienen war.

FA03

Das AR-Buch ist durch die HoloLens und Unity visuell erweitert (FA03) worden, was zu keinen größeren Komplikationen geführt hat.

FA04, FA05, FA07, FA08 und FA09

Das virtuelle interaktive Interface wurde mit Vuforia Virtual Buttons realisiert (FA04). In Abschnitt 4.4.2 wurde bereits näher über die Voraussetzungen der Platzierung der Virtual Buttons eingegangen. Obwohl die Selektierung der Virtual Buttons angemessen funktioniert

(FA05), kann es zu Fehlselektierungen kommen. Diese können auftreten, wenn die zu trackenden Bilder ungleichmäßig beleuchtet sind, oder eine nicht ebene Fläche aufliegen. Für den Animationswechsel (FA07), Moduswechsel (FA08) und zur Videodarstellung wurden Skripte entwickelt und den Virtual Buttons hinzugefügt.

FA06

Animationen, die nicht bereits mit den Modellen geliefert wurden, wurden mit Blender erfolgreich hinzugefügt. Sie funktionieren einwandfrei, sind jedoch von eher einfacher Qualität, was nicht unter anderem den Kenntnisstand des Autors zu verschulden ist.

NFA01 und NFA02

Dadurch das die einzige Interaktionsmöglichkeit mit dem AR-Buch, die Virtual Buttons sind und diese durch Überdecken selektiert werden, ist die Benutzung des AR-Buches sehr Intuitiv (NFA01). Der Prototyp des AR-Buches umfasst kein ganzes Buch. Jedoch ist nicht zu erwarten, dass selbst bei längerer Benutzung des AR-Buches es bei Benutzern zu starker Ermüdung führt, da die einzige Ermüdung, durch das Tragen der HoloLens auftritt (NFA02).

4.5.4 Lesson learned

Bei der Umsetzung des Prototyps kam es zu keinen schwerwiegenden Komplikationen. Denn das Entwickeln mit Unity und Vuforia ist durch sehr ausführliche Dokumentationen und Tutorials leicht verständlich. Jedoch musste bei der Erstellung der Bilderdatenbank im Vuforia Entwicklungs-Portal darauf geachtet werden, dass das Bild auch die in Abschnitt 4.3 beschriebenen Eigenschaften besitzt. Verfügt das Bild nicht über diese Eigenschaften, werden nur eine geringe Anzahl an Features (Bildmerkmale) erkannt. Dies führte zu Problemen beim Tracking und Erkennen der Bilder. Weiterhin ist die Platzierung der Bereiche der Virtual Button sehr wichtig, da die Features des Bildes auch die Erkennung des Buttons beeinflusst. Wodurch die Selektion der Virtual Buttons teilweise nicht erkannt worden war.

Das Terrain GameObject ist eine Fläche, welche mit von Unity bereitgestellten Tools modelliert werden kann. Dadurch kann man Landschaften mit Höhen und Tiefen, sowie Textübergängen und Vegetation erstellen. Für die Erstellung des Lebensraummodus, welcher im 90° Winkel in das Buch hineingeht, konnte jedoch nicht das von Unity angebotene Terrain GameObject verwendet werden, da dieses aus Rendering Optimierungsgründen nicht standardmäßig rotierbar ist und dies seitens Unity auch nicht zu empfehlen ist. Deshalb wurde eine normale Fläche (Plane GameObject) als Untergrund verwendet, welches mit importierten Assets aus dem Unity Store gestaltet wurde. Dadurch ist die Qualität der Landschaft niedriger und der Aufwand höher.

4.6 Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurde der Prototyp eines AR-Buches entworfen und umgesetzt. Hierzu wurde zuerst unter Berücksichtigung der funktionalen Anforderungen der Anforderungsanalyse 3.4, die für die Umsetzung nötigen Tools identifiziert und beschrieben 4.1. Daraufhin wurde das Systemdesign des Prototyps entworfen. Dem Systemdesign war zu entnehmen, welche Tools und Medienformate für die Entwicklung des Prototyps verwendet wurden. Weiterhin zeigte das Systemdesign die selbst entwickelten und nicht selbst entwickelten Komponenten 4.2. Daran schließt der Workflow, der die Integration der verschiedenen Medienformate (Videos, Audiodateien, Bilder und 3D-Modelle) beschreibt 4.3. Im Folge dessen wurde erläutert, wie das Systemdesign in Unity überführt wurde (Szenengraphen) 4.4. Abschließend folgte ein Walkthrough und eine Einschätzung über den aktuellen Entwicklungsstand des Prototyps 4.5.

5 Fazit

5.1 Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurde anhand ausgewählter Szenarien der heutige Untersuchungsstand von Augmented Reality vorgestellt. Aus einem dieser Szenarien wurde ein eigenes Konzept eines AR-Buch-Prototyps abgeleitet und implementiert.

In Kapitel 2 wurde für ein allgemeines Verständnis, AR von MR und VR abgegrenzt. Für die Planung und Umsetzung der prototypischen Implementierung einer AR-Anwendung, wurden die typischen Phasen erläutert. Aus einer Gegenüberstellung der AR-Ausgabegeräte hatten sich HMDs als die flexibleren und vielversprechenderen Ausgabegeräte identifiziert. Bei dem Vergleich der AR-Brillen hat sich die HoloLens, aufgrund der guten Sensorik und der gut dokumentierten Bibliotheken, als die Beste herausgestellt. Mit der vergleichenden Studie der Szenarien von AR wurden die Anwendungsbereiche Medizin, Tourismus, Unterhaltung, Industrie (Design, Montage und Wartung), persönliche Informationssysteme, Bildung (Schulung und Training) und Planung identifiziert. Auf Basis einer Klassifikation wurde eine Anwendungsdomäne für den Prototyp ausgesucht. Aus einem Beispiel der ausgewählten Anwendungsdomäne abgeleitet, gab es eine Motivation für ein AR-Buch.

Kapitel 3 beschreibt zunächst die Funktionsweise des Prototyps. Aus dieser Beschreibung wurden Anwendungsfälle abgeleitet, aus denen die funktionalen und nicht funktionalen Anforderungen formuliert wurden.

Das Kapitel 4 stellte die für die Entwicklung des AR-Buches verwendeten Tools vor. Daraufhin wurde der Systementwurf erstellt und eine Beschreibung über den Workflow der Aufbereitung des multimedialen Contents folgte. Nach einer Abbildung des Entwurfs auf das Programmiermodell in Unity, wurde abschließend der Entwicklungsstand des Prototyps nachgewiesen.

5.2 Ausblick

Der entwickelte Prototyp bietet nur einen kleinen Einblick der Möglichkeiten eines AR-Tierbilderbuches. In dem Verlauf der Weiterentwicklung könnte das AR-Buch optimiert und durch zusätzliche Funktionen erweitert werden. Als Optimierungsmöglichkeit könnte die Verbesserung der 3D-Tiermodelle und der dazugehörigen Animationen deutlich die Qualität des AR-Buches erhöhen. Da Vuforia ein optisches Verfahren ist, kann es durch ungleichmäßige Lichtverhältnisse und dem Platzieren des User Interfaces auf unebenen Flächen zu Fehlselektionen des User Interfaces kommen. Dies könnte durch ein verlässliches Hand-Tracking-Verfahren mit einer Leapmotion ersetzt werden, wodurch die Fehlselektionen durch Lichtverhältnisse verhindert werden. Eine weitere Optimierung könnte durch die Umsetzung des Rotierens des

Terrain GameObjects in Unity realisiert werden. Dadurch könnte man auf die Modellierungstools für Terrain in Unity zugreifen, wodurch bessere Landschaften für den Lebensraummodus erstellt werden könnten.

Als Erweiterung des AR-Buches wäre das Rotieren des 3D-Modells mit der Hand des Benutzers vorstellbar, welches ebenfalls mit einem Hand-Tracking durch Leapmotion umgesetzt werden könnte. Vorstellbar wäre auch die Erweiterung des AR-Buches durch einen Livemodus. Hierfür könnte man die Technologien der HoloLens verwenden, um lebensgroße Tiere in das Zimmer des Benutzers zu stellen. Wodurch die relative Größe des Tieres für den Benutzer besser verständlich wird. Durch das Hinzufügen eines virtuellen Globus könnte man den Lebensraum des Tieres und wie sich die Population im Laufe der Jahre geändert hat besser veranschaulichen. Dies wäre durch einen 3D-Globus mit Animationsablauf zu verwirklichen. Eine weitere Möglichkeit wäre ein virtueller Zoobesuch durch die Wohnung des Benutzers. Auch hier kämen wieder die Technologien der HoloLens zum Einsatz, um virtuelle Gehege in der Wohnung des Benutzers zu platzieren und darzustellen.

Das Konzept des AR-Buches lässt sich nicht nur auf Tierbilderbücher beschränken, denn AR-Bücher sind vielseitig einsetzbar. Das Verständnis von beinahe jedem Buch kann durch das sinnvolle Hinzufügen von 3D-Modellen mit Animationen oder Videos verbessert werden. Zum Beispiel könnte der Physikunterricht in der Schule durch aufregende und leichter zu verstehende 3D-Modelle und Animationen interessanter gestaltet werden. Aber auch Lernbücher, in Bereichen wie Medizin, Industrie und Bildung wären denkbar. Dies zeigt, dass allein für dieses Konzept des AR-Buches eine Vielzahl an Verwendungsmöglichkeiten existiert.

Literaturverzeichnis

- [1] Paul Milgram, Haruo Takemura, Akira Utsumi, and Fumio Kishino. Augmented reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. In *Telem manipulator and telepresence technologies*, volume 2351, pages 282–293. International Society for Optics and Photonics, 1995.
- [2] Ralf Dörner, Wolfgang Broll, Paul Grimm, and Bernhard Jung. *Virtual und augmented reality (VR/AR): Grundlagen und Methoden der Virtuellen und Augmentierten Realität*. Springer-Verlag, 2014.
- [3] Saša Ćuković, Michele Gattullo, Frieder Pankratz, Goran Devedžić, Ernesto Carrabba, and Khelifa Baizid. Marker based vs. natural feature tracking augmented reality visualization of the 3d foot phantom. 2015.
- [4] Mark Billinghurst, Adrian Clark, Gun Lee, et al. A survey of augmented reality. *Foundations and Trends® in Human-Computer Interaction*, 8(2-3):73–272, 2015.
- [5] Ivan E Sutherland. A head-mounted three dimensional display. In *Proceedings of the December 9-11, 1968, fall joint computer conference, part I*, pages 757–764. ACM, 1968.
- [6] DWF Van Krevelen and Ronald Poelman. A survey of augmented reality technologies, applications and limitations. *International journal of virtual reality*, 9(2):1, 2010.
- [7] Thomas P Caudell and David W Mizell. Augmented reality: An application of heads-up display technology to manual manufacturing processes. In *System Sciences, 1992. Proceedings of the Twenty-Fifth Hawaii International Conference on*, volume 2, pages 659–669. IEEE, 1992.
- [8] Jack M Loomis, Reginald G Golledge, Roberta L Klatzky, Jon M Speigle, and Jerome Tietz. Personal guidance system for the visually impaired. In *Proceedings of the first annual ACM conference on Assistive technologies*, pages 85–91. ACM, 1994.
- [9] George W Fitzmaurice. Situated information spaces and spatially aware palmtop computers. *Communications of the ACM*, 36(7):39–49, 1993.
- [10] Mrlab. <https://www.nottingham.ac.uk/>. Zuletzt Aufgerufen am: 23.12.18.
- [11] Arvika. Originale Seite: <http://www.arvika.de/>. Status: Forschung abgeschlossen.
- [12] Hirokazu Kato and Mark Billinghurst. Marker tracking and hmd calibration for a video-based augmented reality conferencing system. In *Augmented Reality, 1999.(IWAR'99) Proceedings. 2nd IEEE and ACM International Workshop on*, pages 85–94. IEEE, 1999.

- [13] Mathias Mohring, Christian Lessig, and Oliver Bimber. Video see-through ar on consumer cell-phones. In *Proceedings of the 3rd IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, pages 252–253. IEEE Computer Society, 2004.
- [14] Anders Henrysson and Mark Ollila. Umar: Ubiquitous mobile augmented reality. In *Proceedings of the 3rd international conference on Mobile and ubiquitous multimedia*, pages 41–45. ACM, 2004.
- [15] Total immersion. <http://www.t-immersion.com/>. Zuletzt Aufgerufen am: 23.12.2018.
- [16] Artoolworks. <https://www.artoolworks.com>. May 13, 2015 übernommen von DAQRI.
- [17] Daqri. <https://daqri.com/>. Zuletzt Aufgerufen am: 23.12.2018.
- [18] Metaio. <http://www.metaio.com/>. 2015 wurde Metaio von Apple Inc. übernommen.
- [19] Apple inc. <https://www.apple.com/>. Zuletzt Aufgerufen am: 23.12.2018.
- [20] The eye of judgement. <https://www.playstation.com/en-us/games/the-eye-of-judgment-ps3/>, October 2007. Zuletzt Aufgerufen am: 23.12.2018.
- [21] Flartoolkit. <http://www.libspark.org/wiki/saqoosha/FLARToolKit/en>. Zuletzt Aufgerufen am: 23.12.2018.
- [22] Mobilizy. Wikitude. <https://www.wikitude.com/>. Zuletzt Aufgerufen am: 23.12.2018.
- [23] Nikeid. <https://news.nike.com/news/nikeid-direct-studio-london>, December 2017. Zuletzt Aufgerufen am: 23.12.2018.
- [24] Armenia Advertising Agency: Aurora Baréalisse Marketing & Branding, Yerevan. Coca-cola magic augmented reality. <https://tinyurl.com/yab5p27f>, December 2014. Zuletzt Aufgerufen am: 23.12.2018.
- [25] Israel Brand: Ford Advertising Agency: BBR Saatchi & Saatchi. Ford explorer print ad. <https://digitalsynopsis.com/advertising/ford-explorer-innovative-magazine-bbr-saatchi/>. Ford and agency BBR Saatchi & Saatchi (Israel), Zuletzt Aufgerufen am: 23.12.2018.
- [26] Vuforia. <https://www.vuforia.com/>. Zuletzt Aufgerufen am: 23.12.2018.
- [27] Atomic authoring tool. <https://sourceforge.net/projects/atomic-project/>, September 2008. Zuletzt Aufgerufen am: 23.12.2018.
- [28] Inkhunter. <http://inkhunter.tattoo/>, 2018. Zuletzt Aufgerufen am: 23.12.2018.
- [29] Sandbox. <https://arsandbox.ucdavis.edu/>, 2018. Zuletzt Aufgerufen am: 23.12.2018.
- [30] Sandbox Bilder. <http://idav.ucdavis.edu/~okreylos/ResDev/SARndbox/LinkPictures.html>, 2018. Zuletzt Aufgerufen am: 23.12.2018.

- [31] Florian Ledermann. The virtual showcase. <http://studierstube.icg.tugraz.at/virtualshowcase/>. Zuletzt Aufgerufen am: 23.12.2018.
- [32] Meta 2. <http://www.metavision.com/>. Zuletzt Aufgerufen am: 23.12.2018.
- [33] Kate Kyoto. Meta 2 specifications. <https://www.sizescreens.com/meta-2-specifications/>, July 2017. Zuletzt Aufgerufen am: 13.10.2018.
- [34] Epson Moverio BT-2200. <https://epson.com/>. Zuletzt Aufgerufen am: 12.10.2018.
- [35] Microsoft HoloLens. <https://docs.microsoft.com/de-de/windows/mixed-reality/>, 2018. Zuletzt Aufgerufen am: 23.12.2018.
- [36] Daniel McDuff, Christophe Hurter, and Mar Gonzalez-Franco. Pulse and vital sign measurement in mixed reality using a hololens. In *Proceedings of the 23rd ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, page 34. ACM, 2017.
- [37] John Allen. Photoplethysmography and its application in clinical physiological measurement. *Physiological measurement*, 28(3):R1, 2007.
- [38] Ming-Zher Poh, Daniel J McDuff, and Rosalind W Picard. Non-contact, automated cardiac pulse measurements using video imaging and blind source separation. *Optics express*, 18(10):10762–10774, 2010.
- [39] Isaac Starr, AJ Rawson, HA Schroeder, and NR Joseph. Studies on the estimation of cardiac output in man, and of abnormalities in cardiac function, from the heart's recoil and the blood's impacts; the ballistocardiogram. *American Journal of Physiology-Legacy Content*, 127(1):1–28, 1939.
- [40] Javier Hernandez, Yin Li, James M Rehg, and Rosalind W Picard. Bioglass: Physiological parameter estimation using a head-mounted wearable device. In *Wireless Mobile Communication and Healthcare (Mobihealth), 2014 EAI 4th International Conference on*, pages 55–58. IEEE, 2014.
- [41] Martina Merten. Erweiterte Realität: Verschmelzung zweier Welten. *Deutsches Ärzteblatt*, Jg. 104(Heft 13):A-840–, March 2007.
- [42] Ivo Kuhlemann, Markus Kleemann, Philipp Jauer, Achim Schweikard, and Floris Ernst. Towards x-ray free endovascular interventions—using hololens for on-line holographic visualisation. *Healthcare technology letters*, 4(5):184, 2017.
- [43] Volker Martens, Floris Ernst, Thomas Fränkler, Lars Matthäus, Stefan Schlichting, and Achim Schweikard. Ein client-server framework für trackingsysteme in medizinischen assistenzsystemen. *7. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Computer-und Roboterassistierte Chirurgie*, 7:7–10, 2008.
- [44] Ndi's aurora v3 system. <https://www.ndigital.com/ndi-introduces-the-aurora-v3-electromagnetic-tracking-system/>. Zuletzt Aufgerufen am: 23.12.2018.

- [45] Beatrice Aruanno, Franca Garzotto, and Mario Covarrubias Rodriguez. Hololens-based mixed reality experiences for subjects with alzheimer’s disease. In *Proceedings of the 12th Biannual Conference on Italian SIGCHI Chapter*, page 15. ACM, 2017.
- [46] Dieter Schmalstieg and Daniel Wagner. A handheld augmented reality museum guide. In *In Proc. IADIS International Conference on Mobile Learning*. Citeseer, 2005.
- [47] Christina Pollalis, Whitney Fahnbulleh, Jordan Tynes, and Orit Shaer. Holomuse: Enhancing engagement with archaeological artifacts through gesture-based interaction with holograms. In *Proceedings of the Tenth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction*, pages 565–570. ACM, 2017.
- [48] F Fritz, A Susperregui, and Maria Teresa Linaza. Enhancing cultural tourism experiences with augmented reality technologies. 6th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage (VAST), 2005.
- [49] Minh Nguyen, Wai Yeap, and Steffan Hooper. Design of a new trading card for table-top augmented reality game environment. In *Image and Vision Computing New Zealand (IVCNZ), 2016 International Conference on*, pages 1–6. IEEE, 2016.
- [50] Wayne Piekarski and Bruce Thomas. Arquake: the outdoor augmented reality gaming system. *Communications of the ACM*, 45(1):36–38, 2002.
- [51] Idsoftware. www.idsoftware.com. Zuletzt Aufgerufen am: 23.12.2018.
- [52] Roboraid. <https://www.microsoft.com/en-us/p/roboraid/9nblggh5fv3j>, January 2016. Zuletzt Aufgerufen am: 23.12.2018.
- [53] Carsten Matysczok, Rafael Radkowski, and Jan Berssenbruegge. Ar-bowling: immersive and realistic game play in real environments using augmented reality. In *Proceedings of the 2004 ACM SIGCHI International Conference on Advances in computer entertainment technology*, pages 269–276. ACM, 2004.
- [54] Tony Jebara, Cyrus Eyster, Joshua Weaver, Thad Starner, and Alex Pentland. Stochastics: Augmenting the billiards experience with probabilistic vision and wearable computers. In *Wearable Computers, 1997. Digest of Papers., First International Symposium on*, pages 138–145. IEEE, 1997.
- [55] Jungong Han, Dirk Farin, et al. A real-time augmented-reality system for sports broadcast video enhancement. In *Proceedings of the 15th ACM international conference on Multimedia*, pages 337–340. ACM, 2007.
- [56] Marek Kowalski, Zbigniew Nasarzewski, Grzegorz Galinski, and Piotr Garbat. Holoface: Augmenting human-to-human interactions on hololens. *arXiv preprint arXiv:1802.00278*, 2018.
- [57] Marek Kowalski and Jacek Naruniec. Face alignment using k-cluster regression forests with weighted splitting. *IEEE Signal Processing Letters*, 23(11):1567–1571, 2016.

- [58] Marek Kowalski, Jacek Naruniec, and Tomasz Trzcinski. Deep alignment network: A convolutional neural network for robust face alignment. In *Proceedings of the International Conference on Computer Vision & Pattern Recognition (CVPRW), Faces-in-the-wild Workshop/Challenge*, volume 3, page 6, 2017.
- [59] Unity. <https://www.unity3d.com/>. Zuletzt Aufgerufen am: 23.12.2018.
- [60] Michele Fiorentino, Raffaele de Amicis, Giuseppe Monno, and Andre Stork. Spacedesign: A mixed reality workspace for aesthetic industrial design. In *Proceedings of the 1st International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, page 86. IEEE Computer Society, 2002.
- [61] Zsolt Szalavári, Dieter Schmalstieg, Anton Fuhrmann, and Michael Gervautz. Studierstube: An environment for collaboration in augmented reality. *Virtual Reality*, 3(1):37–48, 1998.
- [62] Gerhard Reitmayr and Dieter Schmalstieg. An open software architecture for virtual reality interaction. In *Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology*, pages 47–54. ACM, 2001.
- [63] Art dtrack. <https://ar-tracking.com/>. Zuletzt Aufgerufen am: 23.12.2018.
- [64] Anders Mikkelsen, Sondre Honningsøy, Tor-Morten Grønli, and George Ghinea. Exploring microsoft hololens for interactive visualization of uml diagrams. In *Proceedings of the 9th International Conference on Management of Digital EcoSystems*, pages 121–127. ACM, 2017.
- [65] Woohun Lee and Jun Park. Augmented foam: A tangible augmented reality for product design. In *Proceedings of the 4th IEEE/ACM international symposium on mixed and augmented reality*, pages 106–109. IEEE Computer Society, 2005.
- [66] Mika Hakkarainen, Charles Woodward, and Mark Billingham. Augmented assembly using a mobile phone. In *Proceedings of the 7th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, pages 167–168. IEEE Computer Society, 2008.
- [67] Juha Sääski, Tapio Salonen, Mika Hakkarainen, Sanni Siltanen, Charles Woodward, and Juhani Lempiäinen. Integration of design and assembly using augmented reality. In *International Precision Assembly Seminar*, pages 395–404. Springer, 2008.
- [68] Robert Osfield, Don Burns, et al. Open scene graph. *Library-OSG*. <http://www.openscenegraph.org>, 2004. Zuletzt Aufgerufen am: 23.12.2018.
- [69] Eduardo Quintana and Jesus Favela. Augmented reality annotations to assist persons with alzheimers and their caregivers. *Personal Ubiquitous Comput.*, 17(6):1105–1116, August 2013.
- [70] Herbert Bay, Andreas Ess, Tinne Tuytelaars, and Luc Van Gool. Speeded-up robust features (surf). *Computer vision and image understanding*, 110(3):346–359, 2008.

- [71] Yi-Hao Peng, Ming-Wei Hsi, Paul Taelle, Ting-Yu Lin, Po-En Lai, Leon Hsu, Tzu-chuan Chen, Te-Yen Wu, Yu-An Chen, Hsien-Hui Tang, et al. Speechbubbles: Enhancing captioning experiences for deaf and hard-of-hearing people in group conversations. In *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, page 293. ACM, 2018.
- [72] Prodromos Lilitsis, Theodore Patkos, Giorgos Flouris, and Dimitris Plexousakis. Travel companion: A mobile system for trip assistance relying on artificial intelligence and augmented reality. In *Proceedings of the 10th Hellenic Conference on Artificial Intelligence, SETN '18*, pages 55:1–55:2, New York, NY, USA, 2018. ACM.
- [73] Raphael Grasset, Andreas Duenser, Hartmut Seichter, and Mark Billinghurst. The mixed reality book: a new multimedia reading experience. In *CHI'07 extended abstracts on Human factors in computing systems*, pages 1953–1958. ACM, 2007.
- [74] Eleni Papadaki, Xenophon Zabulis, Stavroula Ntoa, George Margetis, Panagiotis Koutlemanis, Polykarpos Karamaounas, and Constantine Stephanidis. The book of ellie: An interactive book for teaching the alphabet to children. In *2013 IEEE International Conference on Multimedia and Expo Workshops (ICMEW)*, pages 1–6. IEEE, 2013.
- [75] Yuhang Zhao, Yongqiang Qin, Yang Liu, Siqi Liu, Taoshuai Zhang, and Yuanchun Shi. Qook: enhancing information revisitation for active reading with a paper book. In *Proceedings of the 8th International Conference on Tangible, Embedded and Embodied Interaction*, pages 125–132. ACM, 2014.
- [76] Quentin Bonnard, Patrick Jermann, Amanda Legge, Frédéric Kaplan, and Pierre Dillenbourg. Tangible paper interfaces: interpreting pupils' manipulations. In *Proceedings of the 2012 ACM international conference on Interactive tabletops and surfaces*, pages 133–142. ACM, 2012.
- [77] Chris Harrison, Hrvoje Benko, and Andrew D Wilson. Omnitouch: wearable multi-touch interaction everywhere. In *Proceedings of the 24th annual ACM symposium on User interface software and technology*, pages 441–450. ACM, 2011.
- [78] Hannes Kaufmann, Dieter Schmalstieg, and Michael Wagner. Construct3d: a virtual reality application for mathematics and geometry education. *Education and information technologies*, 5(4):263–276, 2000.
- [79] Zsolt Szalavári and Michael Gervautz. The personal interaction panel—a two-handed interface for augmented reality. In *Computer graphics forum*, volume 16, pages C335–C346. Wiley Online Library, 1997.
- [80] Longyu Zhang, Sifeng Chen, Haiwei Dong, and Abdulmotaleb El Saddik. Visualizing toronto city data with hololens: Using augmented reality for a city model. *IEEE Consumer Electronics Magazine*, 7(3):73–80, 2018.

- [81] Anders Logg, Carl Lundholm, and Magne Nordaas. Solving poisson's equation on the microsoft hololens. In *Proceedings of the 23rd ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, page 87. ACM, 2017.
- [82] Anders Logg, Kent-Andre Mardal, and Garth Wells. *Automated solution of differential equations by the finite element method: The FEniCS book*, volume 84. Springer Science & Business Media, 2012.
- [83] Anders Logg, Kent-Andre Mardal, and Garth Wells. *Automated solution of differential equations by the finite element method: The FEniCS book*, volume 84. Springer Science & Business Media, 2012.
- [84] Photos for class. <https://www.photosforclass.com/>. Zuletzt Aufgerufen am: 23.12.2018.
- [85] Flickr. <https://www.flickr.com/>. Zuletzt Aufgerufen am: 23.12.2018.
- [86] Pixabay. <https://pixabay.com/de/>. Zuletzt Aufgerufen am: 23.12.2018.
- [87] Vuforia developer portal. <https://developer.vuforia.com/>. Zuletzt Aufgerufen am: 23.12.2018.
- [88] Alexas_Fotos. Wolf image. <https://pixabay.com/de/wolf-wildtier-tierwelt-raubtier-3151876/>, May 2017. Zuletzt Aufgerufen am: 23.12.2018.
- [89] Cazz. Fruit bat in flight. <https://www.flickr.com/photos/64249609@N08/8323620459>, December 2012. Zuletzt Aufgerufen am: 22.12.2018.
- [90] freesound. <https://freesound.org/>. Zuletzt Aufgerufen am: 23.12.2018.
- [91] freesfx. <https://www.freesfx.co.uk/>. Zuletzt Aufgerufen am: 23.12.2018.
- [92] Youtube. <https://www.youtube.com/>. Zuletzt Aufgerufen am: 23.12.2018.
- [93] cgtrader. <https://www.cgtrader.com/>. Zuletzt Aufgerufen am: 18.12.2018.
- [94] Unity3d wiki - reversenormals skript. <https://wiki.unity3d.com/index.php/ReverseNormals>. Zuletzt Aufgerufen am: 23.12.2018.

Abkürzungsverzeichnis

HMD Head Mounted Display

AR Augmented Reality

MR Mixed Reality

VR Virtual Reality

HRTF Head-related transfer function

CT Computertomographie

MRT Magnetresonanztomographie

UML Unified Modeling Language

PDA Personal Digital Assistant

LCD Liquid-crystal display

CAD Computer-aided design

CNC Computer Numerical Control

MRTK Mixed Reality Toolkit

Glossar

Ballistokardiographie Ballistokardiographie ist eine Methode zum Erfassen der Herzfunktion, durch minimale Bewegungen des Körpers, die durch das Durchfließen des Blutes im Körper einer Person entsteht [39]. 21

diskretisiert Die Diskretisierung ist die Gewinnung einer Teilmenge aus einer kontinuierlichen Daten- oder Informationsmenge. 33

Expectation Maximization (EM)-Algorithmus Der EM-Algorithmus wird verwendet, um eine maximale Wahrscheinlichkeitsschätzung von Parametern in statistischen Modellen zu finden. Abwechselnd wird ein Erwartungsschritt (E) und ein Maximierungsschritt (M) ausgeführt. 26

Finite-Elemente-Methode Die Finite-Elemente-Methode (FEM) ist ein numerisches Verfahren, das für unterschiedliche physikalische Aufgabenstellungen in der Ingenieurwissenschaft und der mathematischen Physik verwendet wird. Typische Problemgebiete sind die Strukturanalyse, Wärmeübertragung, Fluidströmung, Massentransport und das elektromagnetische Potenzial. 33

Krylow-Unterraum-Verfahren Krylow-Unterraum-Verfahren sind iterative Verfahren, die zum Lösen großer und dünn besetzter linearer Gleichungssysteme verwendet werden. Solche große und dünn besetzte lineare Gleichungssysteme entstehen beispielsweise bei der Diskretisierung von partiellen Differentialgleichungen. 34

Marching-Cube-Segmentation Marching Cubes ist ein Algorithmus, der zur Darstellung von Isoflächen in der 3D-Computergrafik verwendet wird. Er nähert eine Isofläche durch eine Polygongrafik an. Isoflächen sind Flächen, die entstehen wenn man benachbarte Punkte gleicher Werte (wie Temperatur oder Dichte) miteinander verbindet. 22

Photoplethysmographie Die Photoplethysmographie ist eine Methode zum Erfassen des Blutvolumenpulses über kleine Abwandlungen des von der Haut reflektierten Lichts [37]. 21

Poisson-Gleichung Die Poisson-Gleichung ist eine elliptische partielle Differentialgleichung zweiter Ordnung und beschreibt ein Randwertproblem, welches in weiten Teilen der Physik Anwendung findet. 33

Regressionsbäume Regressionsbäume oder Entscheidungsbäume sind geordnete, gerichtete Bäume, die zur Darstellung von Entscheidungsregeln benutzt werden. 27

SURF-Algorithmus SURF ist ein Algorithmus zur schnellen und robusten Erkennung von Bildmerkmalen. 29

Taxonomie Einordnung in ein bestimmtes System. 3

vaskulär Die [Blut]gefäße betreffend. 22

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit ohne fremde Hilfe selbständig verfasst und nur die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe.

Hamburg, 27. Dezember 2018 Marcel Lange