



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Bachelorarbeit

Julia Nissen

**Augmented Classroom - Die Erweiterung der Lehre durch
virtuelle Objekte mit der Microsoft HoloLens**

*Fakultät Technik und Informatik
Studiendepartment Informatik*

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

Julia Nissen

**Augmented Classroom - Die Erweiterung der Lehre durch
virtuelle Objekte mit der Microsoft HoloLens**

Bachelorarbeit eingereicht im Rahmen der Bachelorprüfung

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

Betreuender Prüfer: Prof. Dr. Philipp Jenke
Zweitgutachter: Prof. Dr. Ulrike Steffens

Eingereicht am: 12.01.2018

Julia Nissen

Thema der Arbeit

Augmented Classroom - Die Erweiterung der Lehre durch virtuelle Objekte mit der Microsoft HoloLens

Stichworte

Augmented Reality, Bildung, Microsoft HoloLens

Kurzzusammenfassung

Diese Ausarbeitung befasst sich mit der Entwicklung und prototypischen Umsetzung eines zweiteiligen Anwendungsszenarios zum Einsatz von Augmented Reality in der Bildung mithilfe der Microsoft HoloLens. Der erste Teil des Anwendungsszenarios umfasst die Erweiterung von Textbüchern mit virtuellen Elementen. Hierfür werden Marker genutzt, die an geeigneter Stelle des Textbuches eingefügt werden können und zur Anzeige des passenden virtuellen Inhalts dienen. Der zweite Teil des Anwendungsszenarios unterstützt den Klavierunterricht. Zum Erleichtern des Notenlernens werden Notenblätter ergänzt durch die Notenbezeichnungen und auf einer virtuellen Klaviatur werden die zu spielenden Tasten hervorgehoben. Unter Zuhilfenahme von bereits vorhandenen Erkenntnissen dieses Themengebiets erfolgt abschließend eine Evaluation der Ergebnisse.

Julia Nissen

Title of the paper

Augmented Classroom - The enhancement of teaching through virtual objects with Microsoft HoloLens

Keywords

Augmented Reality, Education, Microsoft HoloLens

Abstract

This thesis contains the development and implementation of a prototype of a use case in two parts for augmented reality in education. The first part is about enhancing text books with virtual elements. For this purpose, markers are placed at a convenient position in a text book and are used to display the matching information. The second part of the use case helps learning to play the piano. Sheet music is labeled with the correct term of the notes and the associated key is highlighted on a virtual keyboard. With the assistance of present knowledge in this matter, the results are conclusively evaluated.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation	1
1.2	Zielsetzung	1
1.3	Aufbau der Ausarbeitung	2
2	Grundlagen	3
2.1	Augmented Reality und die Abgrenzung zu Virtual Reality	3
2.1.1	Virtual Reality	5
2.1.2	Augmented Reality	6
2.2	Augmented Reality Displays	9
2.2.1	See-Through HMDs	9
2.2.2	Handheld Displays	10
2.3	Microsoft HoloLens	12
2.3.1	Entwicklung	12
2.3.2	Hardware Bestandteile und Funktion	14
2.3.3	Steuerung	18
2.4	Trackingverfahren	20
2.4.1	Tracking ohne Marker mit der Microsoft HoloLens	20
2.4.2	Tracking mit Marker	21
2.5	Related Work	23
2.5.1	Nutzung von AR zur visuellen Ergänzung von Büchern	23
2.5.2	Wichtige Eigenschaften von AR für den Einsatz in der Bildung	24
2.5.3	AR im Vergleich zu anderen Technologien zur Förderung von Lernprozessen	25
2.5.4	Die Auswirkungen von AR auf das Erlangen von Verständnis über Gaseigenschaften	26
2.5.5	Ergänzung von Gebäuden mit Konstruktionsinformationen mithilfe von AR	26
3	Idee und Konzeption	28
3.1	Ideen und mögliche Anwendungsfälle für den Einsatz der Microsoft HoloLens im Schulunterricht	28
3.1.1	Augmented Books	28
3.1.2	Virtuelle Versuche	30
3.1.3	Augmented Music	30

3.2	Konzeption des Prototypen	31
3.2.1	Umzusetzende Anwendungsfälle	31
3.2.2	Anforderungsanalyse	33
4	Entwicklung des Prototypen	35
4.1	Anlegen eines AR Projektes in Unity	35
4.1.1	Cinema4D	35
4.1.2	Unity 3D	36
4.1.3	Mixed Reality Toolkit	36
4.1.4	Vuforia	36
4.1.5	Visual Studio	37
4.1.6	HoloLens Emulator	37
4.2	Augmented Books	37
4.2.1	Marker	38
4.2.2	Skripte	39
4.3	Augmented Music	42
4.3.1	Skripte	45
4.4	Bereitstellen der Applikation auf der HoloLens	45
5	Evaluation	46
5.1	Chancen und Möglichkeiten	46
5.2	Hindernisse und Grenzen	47
6	Ausblick	49

1 Einleitung

1.1 Motivation

Im Laufe der Zeit ist eine Entwicklung in der Bildung deutlich zu erkennen. Jedes Jahr steigt das Wissen an. Forscher entdecken neue Dinge, Technologien werden weiterentwickelt und neue Erkenntnisse werden gewonnen.

Doch die Schulzeit und somit der Zeitraum zum Erlernen von Inhalten wächst nicht mit. Ganz im Gegenteil wird die Schulzeit teilweise sogar verkürzt, so bei der Einführung des Abiturs in 12 statt 13 Jahren, bei der sich der Lehrplan nicht verändert hat. Auch Diplom-Studiengänge wurden ersetzt durch das Bachelor- und Master-System, um eine schnelle Ausbildung von fähigen Fachkräften zu fördern und die Beitragszahlerbasis im Sozialversicherungssystem zu erhöhen. [Huebener und Marcus (2015)]

Schüler und Studenten stehen somit vor der Herausforderung, ihr Wissen in immer kürzerer Zeit zu erlangen und erfolgreich zu verinnerlichen. Die Motivation dieser Ausarbeitung ist es, diesen Prozess durch aktuelle Technik zu fördern.

1.2 Zielsetzung

Zur Verwirklichung dieser Idee wird im Rahmen dieser Arbeit Augmented Reality (AR) - also die Erweiterung der Realität durch virtuelle Elemente - als Hilfsmittel zur Unterstützung der Schulbildung untersucht. AR ist ein vergleichsweise junges Gebiet, das erst in den letzten 20 Jahren - etwa seit der Definition von Azuma (1997) - immer mehr an Aufmerksamkeit gewonnen hat. Daher ist ein wichtiger Teil dieser Arbeit die Abgrenzung und Erläuterung dieses Themengebiets und die Darstellung und Evaluation des aktuellen Wissensstands.

Auf Basis dieser Erkenntnisse wird dann ein System entwickelt, das prototypisch den Einsatz von AR im Schulunterricht und dessen Möglichkeiten zur Förderung des Unterrichts auf digitale Art und Weise. Als Umgebung für den zu entwickelnden Prototyp wurde als ein Beispiel für den aktuellen technologischen Fortschritt die Microsoft HoloLens gewählt, die erst seit gut eineinhalb Jahren in der Development Edition erhältlich ist und sich noch im Entwicklungsstadium befindet.

Kern des Prototypen ist ein zweiteiliger Anwendungsfall, in dem einerseits Textbücher mit inhaltlich passenden 3D-Modellen versehen werden und andererseits Notenblätter mit den korrekten Bezeichnungen und einer Animation der zu spielenden Tasten auf einem Klavier ergänzt werden.

Während diese Informationen auch mithilfe eines regulären Computermonitors angezeigt werden könnten, bietet AR mit der HoloLens die Möglichkeit, dass alles an einem Ort ist. Der Blick muss nicht von dem Textbuch oder dem Klavier gehoben und auf den Monitor gerichtet werden, alle Zusatzinformationen werden direkt in die reale Umgebung eingebettet. Zusätzlich können mehrere Schüler denselben Inhalt an demselben Ort sehen, was das gemeinsame Arbeiten fördert und erleichtert.

1.3 Aufbau der Ausarbeitung

Im Anschluss folgt eine Erklärung über die verwendeten Begrifflichkeiten im Rahmen einer Darstellung der technischen Grundlagen. Hierfür werden verwandte Arbeiten aufgegriffen und in Zusammenhang mit AR in der Bildung gesetzt. Ebenso wird die Technologie der HoloLens von Microsoft erläutert.

Basierend auf diesen Grundlagen werden dann Ideen und Vorstellungen für den Einsatz von AR in der Bildung vorgestellt, aus denen das Konzept und die Anforderungen für den Prototyp generiert werden.

Anschließend folgt ein Überblick über die Implementierung dieses Prototypen sowie eine Evaluation über den Nutzen und die Einsatzmöglichkeiten des Prototypen sowie ein Ausblick auf die weiteren Entwicklungsmöglichkeiten.

2 Grundlagen

Für das vollständige Verständnis der Vorgehensweise in dieser Arbeit folgen hier einige technische Grundlagen zu den Technologien die genutzt wurden, um den Prototypen zu erstellen. Zudem wird ein Blick auf die technischen Details von Datenbrillen - insbesondere der Microsoft HoloLens - geworfen. Zum Schluss werden mit dem Thema dieser Arbeit verwandte Arbeiten aufgeführt.

2.1 Augmented Reality und die Abgrenzung zu Virtual Reality

Augmented Reality und Virtual Reality sind nicht dasselbe, hängen allerdings eng zusammen und sollten gemeinsam betrachtet werden. Trotz der steigenden Bekanntheit beider Technologien gibt es keine klare und konsistente Definition dieser Begriffe, teilweise durch das relativ junge Alter der Themengebiete sowie des ständigen technischen Wandels begründet. So verwischen die Grenzen zwischen diesen Technologien leicht.

Milgram u. a. (1995) entwarfen ein Konzept zur Klassifizierung von Technologien, welche die Realität mit virtuellen Komponenten verschmelzen lassen und welches in dieser Arbeit herangezogen wird, um Klarheit zu schaffen.

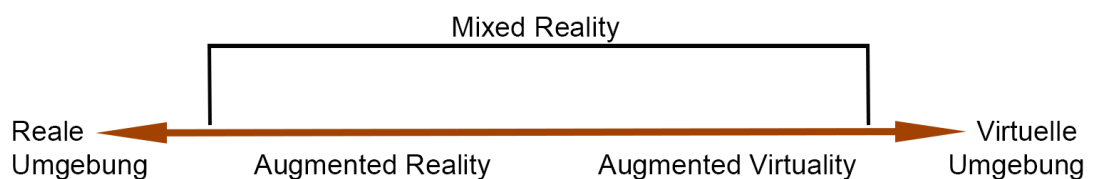


Abbildung 2.1: Reality-Virtuality Continuum nach Milgram u. a. (1995)

Abbildung 2.1 zeigt das sogenannte Reality-Virtuality Continuum (VRC) nach Milgram u. a. (1995), aus dem deutlich wird, dass Augmented Reality und Virtual Reality keineswegs gegensätzlich sind. Ganz im Gegenteil befinden sie sich zwischen den Enden dieses Kontinuums, sodass es je nach Anwendung unterschiedliche Überschneidungen beider Begriffe geben kann.

Am linken Ende des Kontinuums liegt die reale Umgebung, also eine Umgebung, die ausschließlich aus realen Objekten und allem was bei realer Betrachtung dazugehört besteht. Am rechten Ende dieses Kontinuums befindet sich hingegen die virtuelle Umgebung, die also rein aus virtuellen Objekten besteht.

Alles zwischen diesen beiden Extremen wird als Mixed Reality bezeichnet und umfasst jene Umgebungen, in der sowohl virtuelle als auch reale Objekte vorkommen. So ergibt sich ein fließender Übergang vom einen Ende zum anderen. Im linken Bereich des Kontinuums befinden sich die größtenteils durch reale Umgebungen dominierten Anwendungen, die nur durch gewisse virtuelle Bereiche erweitert werden. Daher der Begriff Augmented Reality - Erweiterte Realität.

Je weiter die Verschiebung im Kontinuum hin zur virtuellen Umgebung fortschreitet, desto stärker dominieren die virtuellen Elemente der Anwendung. Im rechten Bereich des Kontinuums befinden sich somit virtuelle Umgebungen, die durch reale Objekte erweitert werden, daher der Begriff Augmented Virtuality (AV) - Erweiterte Virtualität. Ein Beispiel für eine AV-Anwendung wäre eine virtuelle Umgebung, in die reale Personen bei einem Konferenzeruf eingebettet werden.

Dieser fließende Übergang zwischen den unterschiedlichen Mixed Reality Bereichen zeigt auf, wie schwierig eine eindeutige Zuordnung von Anwendungen zu einem der Bereiche ist. Es gibt keine klaren Grenzen, die besagen, ab welchem Anteil an virtuellen Elementen es nun Augmented Virtuality ist oder ähnliches. Eine Einteilung erfolgt daher immer rein subjektiv und es ist nicht ungewöhnlich, dass Anwendungen im Zusammenhang mit unterschiedlichen Begriffen aus dem Kontinuum genannt werden.

Die folgenden Abschnitte gehen näher auf die Begriffe Virtual Reality und Augmented Reality ein. Die grundlegenden Definitionen in diesen Abschnitten richten sich nach den Definitionen von [Milgram u. a. \(1995\)](#) im Gesamten sowie von [Burdea und Coiffet \(2003\)](#) für Virtual Reality und die am breitesten akzeptierte Definition von [Azuma \(1997\)](#) für Augmented Reality.

2.1.1 Virtual Reality



Abbildung 2.2: VR-Brille Oculus Go (Quelle: <https://www.oculus.com/go/>)

Unter Virtual Reality (deutsch: Virtuelle Realität) versteht man eine computergenerierte virtuelle Realität. Der Benutzer sieht diese virtuelle Realität in der Regel über ein Head-Mounted Display, bei dem die reale Umgebung komplett abgeschirmt wird, sodass der Benutzer ausschließlich die auf dem Display dargestellten Inhalte wahrnimmt. [Abbildung 2.2](#) zeigt die Virtual Reality Brille Oculus Go, die Anfang 2018 erhältlich sein soll.

Im Realitäts-Virtualitäts-Kontinuum ist Virtual Reality ganz rechts angesiedelt, bei der virtuellen Umgebung. Virtual Reality ist eine reine Simulation; der Nutzer sieht nichts mehr von der realen Umgebung. Zusätzlich zu den visuellen Effekten erfasst die Brille über Lagesensoren beispielsweise Rotationen des Kopfes, wodurch der Nutzer die Szene möglichst natürlich erkunden kann. Zusätzlich sind gewisse Bewegungsmöglichkeiten möglich, da die Position der Brille und somit des Nutzers in der realen Umgebung durch Sensoren registriert wird. Um eine unfallfreie Bewegung zu gewährleisten, sollte der Nutzer vor der Nutzung einen Bereich in der realen Umgebung markieren, in dem er sich gefahrlos und uneingeschränkt bewegen kann, da es sonst schnell zu Kollisionen mit der realen Welt kommen kann.

Die Interaktionen des Nutzers werden daraufhin in Echtzeit verarbeitet und erzeugen Reaktionen der virtuellen Umgebung auf den Nutzer, wodurch ein erhöhtes Realitätsempfinden erzeugt wird. Dieser Effekt, dass der Nutzer die virtuelle Umgebung als real empfindet, nennt sich Immersion (was so viel wie 'Eintauchen' bedeutet). Je höher die Immersion ist, desto besser ist die virtuelle Realität.

Als "perfekte" Virtual Reality gilt jene virtuelle Realität, bei der der Benutzer nicht mehr zwi-

schen der realen und der virtuellen Realität unterscheiden kann. Je mehr Sinne angesprochen werden, desto höher ist die Immersion, vorausgesetzt die Sinne werden sehr gut angesprochen. Neben dem Abschirmen der realen Welt durch die Virtual Reality-Brillen sorgen zum Beispiel die visuelle Qualität der virtuellen Elemente und das Abschirmen und Ersetzen realer Geräusche durch virtuelle Geräusche mithilfe eines Headsets für eine höhere Immersion. Zusätzlich kann durch weitere Hardware wie beispielsweise Controller die Immersion erhöht werden, da diese die Interaktion mit der virtuellen Welt ermöglichen.

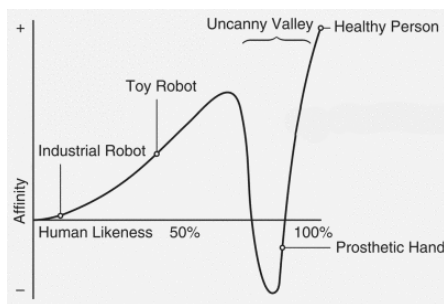


Abbildung 2.3: Uncanny Valley
(nach Mori (1970))

An dieser Stelle sei eine Einschränkung der Steigerung des Realitätsempfindens zu erwähnen, das Phänomen "Uncanny Valley". Erstmals von Mori (1970) definiert, beschreibt es den Einbruch des Realitätsempfindens künstlicher Elemente. Als Beispiel wird in der Abbildung 2.3 eine Hand-Prothese aufgeführt, die optisch sehr real aussieht, bei der Berührung jedoch ein unangenehmes Gefühl des Erkennens auslöst, dass die Hand nicht real ist.

2.1.2 Augmented Reality

Azuma (1997) nennt drei Kerneigenschaften von Augmented Reality (AR):

1. Es verbindet realen und virtuellen Inhalt: Virtuelle Elemente werden durch ein geeignetes Anzeigegerät in die reale Umgebung eingebettet.
2. Es ist in Echtzeit interaktiv: Die Anwendung stellt eine Möglichkeit zur Verfügung, in Echtzeit mit den virtuellen Elementen zu interagieren, zum Beispiel durch Sprachbefehle oder Gesten.
3. Es wird als 3D registriert: Die virtuellen Elemente erscheinen nicht planar wie ein aufgeklebtes Bild in der Umgebung, sondern sind eindeutig als dreidimensional zu identifizieren.

Auch bei der erweiterten Realität, ist es wichtig, dass die virtuellen Elemente real erscheinen, damit die Anwendung vom Nutzer akzeptiert wird. Dafür müssen die virtuellen Objekte akkurat und korrekt mit den realen Objekten wahrgenommen werden, wobei Fehler auftreten

können, da das menschliche Auge extrem hochauflösend und sehr sensibel gegenüber kleinen Veränderungen ist. Diese Fehler fallen in zwei Kategorien: statische Fehler, die auftreten während der Nutzer still steht, und dynamische Fehler, die durch Systemverzögerungen bei Bewegungen des Nutzers auftreten. Letztere sind meistens die größere Fehlerquelle [Azuma (1995)]. Augmented Reality wird teilweise als Variation von Virtual Reality beschrieben (So auch von Azuma (1997)). Auf dem VRC in Abbildung 2.1 erkennt man, dass VR am rechten Ende des Kontinuums liegt, während AR wesentlich weiter links bei der realen Umgebung angesiedelt ist. Das liegt daran, dass bei VR der Nutzer komplett von der realen Umgebung abgeschirmt ist, bei AR hingegen die reale Umgebung weiterhin sichtbar ist und die virtuellen Objekte in oder in Verbindung mit der Umgebung angezeigt werden. Die realen Gegenstände und Oberflächen werden hierbei erkannt und genutzt, sodass virtuelle Objekte korrekt auf, neben oder hinter realen Objekten dargestellt werden.

Die Interaktion mit virtuellen Objekten fällt dem Nutzer leichter, da die eigenen Hände sichtbar und gewohnt einsetzbar sind und sogar direkte Veränderungen der virtuellen Objekte hervorrufen können, wenn diese Funktionalität implementiert ist. Somit ergänzt Augmented Reality die Realität statt sie komplett zu ersetzen. [Azuma (1997)]

Auch bei der erweiterten Realität, ist es wichtig, dass die virtuellen Elemente real erscheinen, damit die Anwendung vom Nutzer akzeptiert wird. Dafür müssen die virtuellen Objekte akkurat und korrekt mit den realen Objekten wahrgenommen werden, wobei Fehler auftreten können, da das menschliche Auge extrem hochauflösend und sehr sensibel gegenüber kleinen Veränderungen ist. Diese Fehler fallen in zwei Kategorien: statische Fehler, die auftreten während der Nutzer still steht, und dynamische Fehler, die durch Systemverzögerungen bei Bewegungen des Nutzers auftreten. Letztere sind meistens die größere Fehlerquelle. [Azuma (1995)]

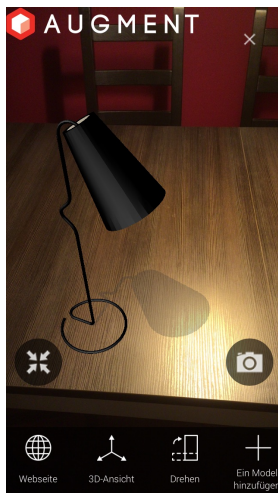


Abbildung 2.4: Augment App

Für die Darstellung der virtuellen Elemente ist nun keine abschottende Brille mehr nötig, AR Anwendungen existieren in großer Zahl auch für aktuelle Smartphones und es werden mit steigender Zahl jedes Jahr mehr, denn die Neuheit und Zukunftsfähigkeit lockt immer mehr Entwickler an. Das große Potential dieser Technologien bleibt auch bei namenhaften Firmen nicht unentdeckt. Um ihre Produkte AR und VR fähig zu machen, entwickelten beispielsweise Apple und Google die Frameworks ARKit (Apple) und ARCore (Google), die die Erkennung von Objekten, Nutzerbewegungen und Lichtverhältnissen wesentlich verbessern und damit viele neue Möglichkeiten für Entwickler und Anwender schaffen. Neben den Smartphone Anwendungen gibt es auch für AR spezielle Brillen, welche in dem Abschnitt 2.2 erläutert werden. Abbildung 2.1 zeigt eine beispielhafte Smartphone AR Anwendung, die kostenfreie iOS-App Augment¹.

Die wohl bekannteste AR Anwendung ist das 2016 erschienene Spiel Pokémon Go³, welches für Handheld Geräte wie Smartphones oder Tablets erschienen ist und AR der breiten Masse bekannt gemacht hat. Der Nutzer kann in der App virtuelle Monster - Pokémon - fangen, trainieren und mit ihnen kämpfen, um so an Erfahrung zu gewinnen. Das Fangen der Pokémon wird hierbei mit AR über die Kamera des Geräts realisiert, indem das zu fangende Pokémon in die reale Umgebung eingeblendet wird (siehe Abbildung 2.5). Das Spiel ist positionsbezogen, was bedeutet, dass der Nutzer unterschiedliche Pokémon an unterschiedlichen Orten fangen kann und auch Belohnungen für zurückgelegte Strecken bekommt, weshalb im Sommer 2016 scharenweise Menschen an öffentlichen Plätzen unterwegs waren.⁴

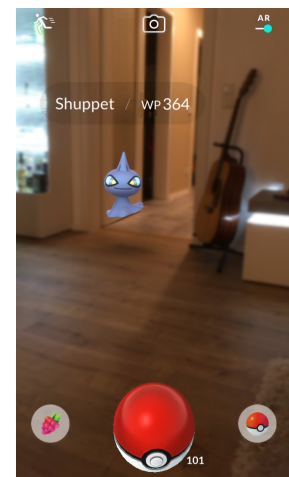


Abbildung 2.5: Pokémon Go

²www.augment.com (07.01.2018)

³Im Appstore abrufbar unter:

<https://itunes.apple.com/de/app/pokémon-go/id1094591345?mt=8> (07.01.2018)

⁴<https://www.pokemongo.com/de-de/> (07.01.2018)

2.2 Augmented Reality Displays

Während man für VR Anwendungen Brillen benötigt, die komplett geschlossen sind und somit nichts von der realen Welt zeigen, gibt es für AR Anwendungen verschiedene Möglichkeiten, um die gewünschten Objekte in der realen Welt anzeigen zu lassen.

Die in Abschnitt 2.1.2 beschriebenen drei Kerneigenschaften von AR definieren auch die technischen Anforderungen an ein AR System, es muss über ein Display verfügen, das realen und virtuellen Inhalt kombiniert, ein Computer System, das interaktive Grafiken generieren kann, die in Echtzeit auf den Nutzer reagieren und es muss über ein Tracking System verfügen, welches die Position und Orientierung des Geräts und somit des Nutzers erkennt und die virtuellen Objekte auf dieser Basis an einem Punkt in der realen Welt verankert. [Billinghurst u. a.]

Im Folgenden wird auf See-Through Head-Mounted Displays (HMDs) sowie auf Handheld Displays als wichtigste Vertreter von AR Displays und die Microsoft HoloLens eingegangen. Die Erläuterungen zu den Displayarten richtet sich nach [Zhou u. a. (2008)] und [Milgram u. a. (1995)].

2.2.1 See-Through HMDs

HMDs sind Displays, die auf den Kopf des Nutzers aufgesetzt werden (Daher der Name Head-Mounted Displays). Sie werden dafür verwendet, dass der Nutzer die reale Welt sehen kann, mit virtuellen Objekten eingeblendet. Zhou unterteilt diese Displayart grundsätzlich in zwei Kategorien: optical see-through und video see-through HMDs.

Optical see-through (OST) HMDs haben ein durchsichtiges Display, sodass der Nutzer weiterhin die reale Umgebung sehen kann und die virtuellen Objekte werden auf dem Display eingeblendet. Diese Displays haben den Vorteil, dass die komplette reale Umgebung sichtbar ist und bei dem Nutzer somit ein Gefühl der Natürlichkeit entsteht.

Eine Herausforderung von OST HMDs ist es, die richtigen Licht- und Schattenverhältnisse zwischen der realen Welt und den virtuellen Objekten zu erzeugen, da die Licht- und Schattenverhältnisse der realen Welt korrekt erfasst werden müssen um die virtuellen Objekte daran anzupassen. [Bimber und Frohlich (2002)] beschreiben eine Lösungsvariante, bei der auf realen Objekten hinter oder unter virtuellen Objekten Schatten erzeugt werden, wodurch ein größeres Realitätsempfinden beim Nutzer entsteht.

In der Praxis hat sich diese Technik als gängige Lösung etabliert.

Video see-through Head Mounted Displays (VST HMD) hingegen sind ähnlich wie die VR-Brillen, allerdings werden über Kameras Videos von der realen Umgebung aufgezeichnet, die dann mit virtuellen Objekten angereichert werden. Der Vorteil dieser Displays liegt darin, dass die Aufzeichnungen der realen Welt ebenfalls nachbearbeitet werden können und somit eine bessere Anpassung von virtuellem und realem Inhalt möglich ist. Neben der optischen Anpassung bieten VST HMDs den großen Vorteil, dass die Latenz der übertragenen Videos der realen Umgebung an die Latenz der berechneten virtuellen Objekte angepasst werden kann. Je nach Anwendung bietet entweder OST oder VST die bessere Lösung, keins von beidem bietet für alles die beste Lösung.

2.2.2 Handheld Displays

Handheld Displays - also Displays, die in der Hand gehalten werden - sind eine gut geeignete Alternative zu HMDs, größtenteils da sie nur wenig störend, sozial akzeptiert, gut verfügbar und enorm mobil sind. Es gibt mehrere Handheld Geräte, die für AR Anwendungen genutzt werden, so zum Beispiel das allgegenwärtige Smartphone oder ein Tablet. Bei dieser Art wird auf dem Display des Anzeigegeräts nur ein Bild gezeigt und nicht wie bei den vorhergehenden VST HMD zwei.

Die Kamera des Geräts zeichnet die reale Umgebung auf und die Anwendung ergänzt diese Aufzeichnung durch die gewünschten virtuellen Objekte. Um die Verankerung mit der realen Umgebung gewährleisten zu können wird die Entfernung von der Smartphone Kamera zu den realen Objekten berechnet, sodass eine feste Platzierung in der korrekten Skalierung möglich ist.

Die Immersion ist bei dieser Display Art geringer, da der User stets auf das Smartphone Display gucken muss und den Unterschied von real und virtuell so sehr deutlich sieht. Zusätzlich muss das Gerät stets in der Hand gehalten werden und man hat nicht beide Hände frei wie bei HMDs. Durch die Alltagstauglichkeit dieser Display Art ist sie allerdings am Einfachsten zu verbreiten und somit am Gängigsten und auch sozial akzeptiert. Daher nutzen auch immer mehr Firmen diese Technologie, um Augmented Reality zu Marketingzwecken zu nutzen.

Abbildung 2.6 zeigt die mit dem ARKit⁵ von Apple entwickelte iOS App "Ikea Place"⁶, die Ikea 2017 veröffentlicht hat und die es dem Nutzer ermöglicht, die Möbel aus dem Katalog zu Hause über die App zu platzieren und so zu überprüfen, ob das gewünschte Produkt zu der eigenen

⁵<https://developer.apple.com/arkit/> (07.01.2018)

⁶Im Appstore abrufbar unter:
<https://itunes.apple.com/de/app/ikea-place/id1279244498?mt=8> (07.01.2018)



Abbildung 2.6: Die mit Apples ARKit entwickelte iOS App Ikea Place

Einrichtung passt. In der Abbildung ist eine Kommode von Ikea zu sehen, einmal in der realen Umgebung und in der App das gleiche Modell virtuell daneben eingeblendet. Optische Unstimmigkeiten sind eindeutig zu erkennen, beispielsweise stimmen auch hier die Lichtverhältnisse nicht, was wie bereits erwähnt ist die Erkennung der realen Beleuchtungsverhältnisse sehr schwer und die Anpassung der virtuellen Objekte ist daher eine große Herausforderung von AR Anwendungen. Die Größenverhältnisse passen durch die Kalibrierung von ARKit sehr gut, was in diesem Beispiel durch die identischen Objekte - einmal real, einmal virtuell - besonders gut erkennbar ist. Der Nutzer bekommt so trotz der Unstimmigkeiten in Licht und Schatten einen sehr guten Eindruck von dem Produkt und kann eventuell leichter über einen Kauf entscheiden.

2.3 Microsoft HoloLens



Abbildung 2.7: Microsoft HoloLens (Quelle: Microsoft <https://www.microsoft.com/de-de/hololens> (07.01.2018))

Die HoloLens von Microsoft ist ein optical See-Through Head-Mounted Display, oft - auch offiziell von Microsoft - als Mixed-Reality-Brille bezeichnet. Die Microsoft HoloLens ist gänzlich kabellos und funktioniert ohne externe Geräte wie ein Smartphone oder einen zusätzlichen Computer.

Die Brille ermöglicht es dem Nutzer, in der realen Welt mit virtuellen Inhalten zu agieren. Für diese Interaktionen stehen dem Nutzer Gesten mit der Hand, Sprachbefehle und Kopfbewegungen zur Verfügung.

Obwohl Microsoft selber den Begriff "Hologramme" nutzt für die eingeblendeten Elemente, sind sie es nach Definition nicht, denn ein Hologramm ist laut Definition "eine 3D Projektion die sich frei im Raum befindet und die ohne 3D Brillen etc. für jeden sichtbar ist"⁷. Der Träger der HoloLens bekommt allerdings den Eindruck, holografische Elemente zu sehen, obwohl die zugrundeliegende Technik eine andere als bei der Holographie ist.

2.3.1 Entwicklung

Am 21. Januar 2015 kündigte Microsoft im Rahmen des Ausblicks auf Windows 10 offiziell die Augmented-Reality-Brille namens HoloLens an und führte eine erste Demonstration vor, die einen vielversprechenden ersten Eindruck erzielte⁸. Während der Ankündigung wurde erklärt,

⁷<https://magic-holo.com/was-ist-ein-3d-hologramm/>

⁸<https://www.heise.de/newsticker/meldung/HoloLens-Augmented-Reality-Brille-fuer-Windows-10-2525390.html> (07.01.2018)

dass das Team bereits seit Jahren im Geheimen an der HoloLens gearbeitet hat.

Die erste Live-Stage-Demonstration der HoloLens folgte kurz darauf am 28. April 2015 im Rahmen der Build-Konferenz von Microsoft. Während jemand auf der Bühne die HoloLens trug und steuerte, wurden die virtuellen Elemente auf die Aufnahmen der Kameras übertragen, sodass die Zuschauer sehen konnten, was auf der HoloLens angezeigt wurde. [Abbildung 2.8](#) zeigt einen Ausschnitt einer Aufzeichnung der Konferenz von Youtube.

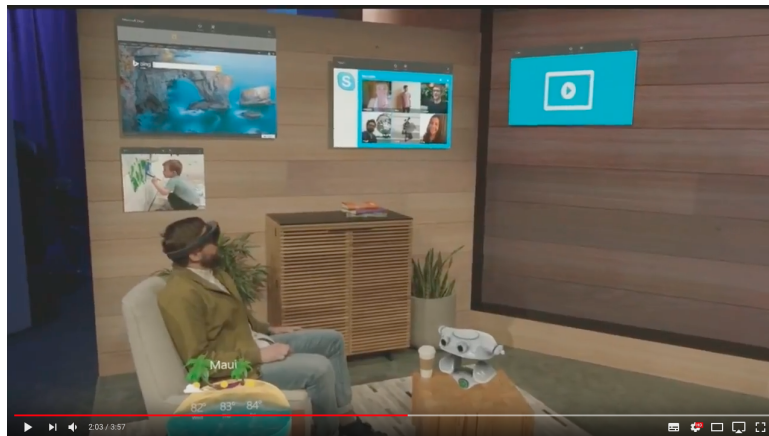


Abbildung 2.8: Ausschnitt aus der Live-Stage Demonstration der HoloLens von Youtube (<https://www.youtube.com/watch?v=3AADEqLIAlk> (07.01.2018))

Beinahe ein Jahr später, am 30. März 2016, erschien die HoloLens in der Development Edition, sodass interessierte Entwickler die Chance hatten, Anwendungen für die HoloLens zu entwickeln, bevor das Gerät auf den kommerziellen Markt kommt.

Im Februar 2017 berichtete das Online-Techmagazin *Thurrott*⁹ darüber, dass anonyme Quellen von Microsoft verraten haben, dass die zur Ankündigung der HoloLens 2015 verkündete zweite Version übersprungen wird, um die Marktreife der dritten Version zu beschleunigen. Diese dritte Version der HoloLens wird nicht vor 2019 erscheinen. Ein Erscheinungsdatum der HoloLens für den kommerziellen Markt ist noch nicht abzusehen. Neben der Development Edition existiert noch eine Commercial Suite, die die gleiche Hardware

⁹<http://www.thurrott.com/hardware/90780/microsoft-accelerates-hololens-v3-development-sidesteps-v2> (07.01.2018)

wie die Development Edition beinhaltet und zusätzlich eine Garantie sowie Software für Unternehmen bietet, die die Sicherheit und das Gerätemanagement verbessern.

2.3.2 Hardware Bestandteile und Funktion

Die in der HoloLens verbauten Hardwareteile sind kein Geheimnis, Microsoft hat mit dem Erscheinen der Development Edition eine Liste der Hardware-Details veröffentlicht¹⁰. Die exakte Funktionsweise dieser Bestandteile sind jedoch zum Teil unbekannt und daher nur auf Sachkenntnisse gestützte Vermutungen, denen die Erklärungen der Entwickler von Microsoft bei der Ankündigung der HoloLens als Grundlage dienen.

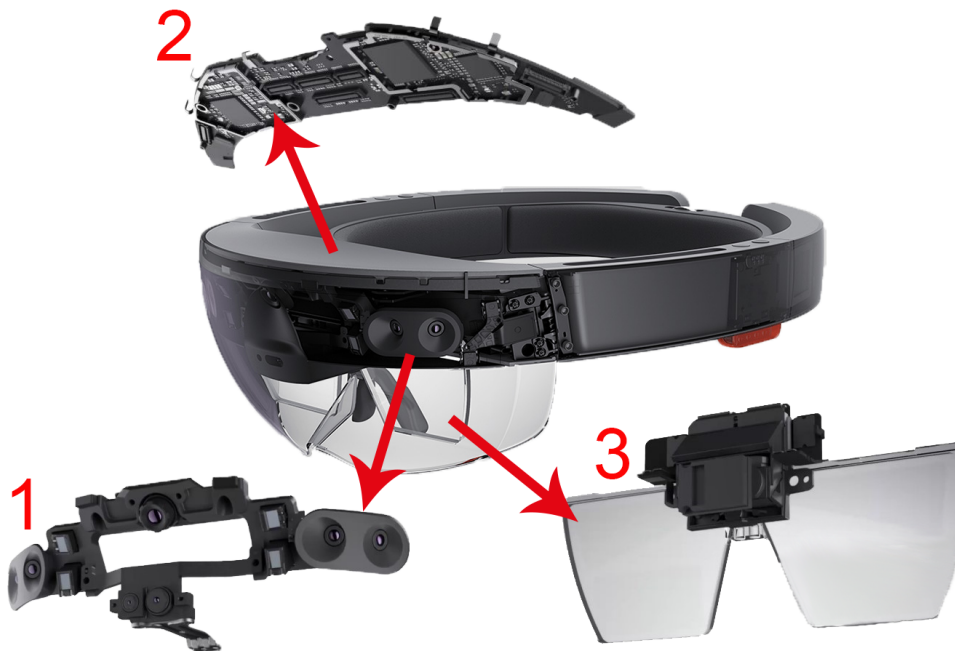


Abbildung 2.9: Technische Bestandteile der HoloLens Quelle:
https://developer.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/hololens_hardware_details (07.01.2018)

Abbildung 2.9 zeigt die Hauptbestandteile, die in der Microsoft HoloLens verbaut sind. Diese Teile sind zum Teil eingekauft, zum Teil hat Microsoft die Teile selber entwickelt.

¹⁰https://developer.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/hololens_hardware_details (07.01.2018)

1. Sensoren

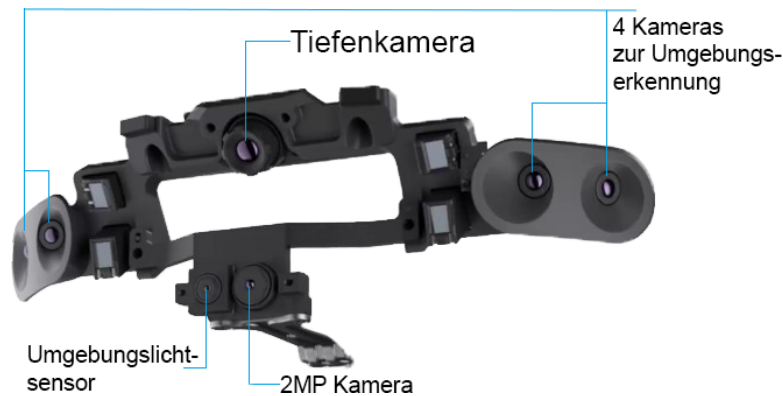


Abbildung 2.10: Sensoren Quelle:
https://developer.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/hololens_hardware_details (07.01.2018)

In Abbildung 2.10 ist die Sensorenleiste zu sehen, die in der Microsoft HoloLens verbaut ist. Die Sensorenleiste besteht aus folgenden Teilen:

Eine Tiefenkamera dient zum Einen dazu, die Hand des Nutzers und deren Bewegungen zu erkennen. Zum Anderen dient sie dazu, die Oberflächen der Umgebung zu erkennen, was elementar wichtig für die korrekte Platzierung der virtuellen Objekte ist.

Vier umgebungserkennende Kameras erkennen die Umgebung und die Bewegung des Kopfes, wodurch sich die Position und Ausrichtung des Nutzers ergibt. Diese Informationen bilden die Grundlage für das Tracking des Kopfes.

Ein Umgebungslichtsensor sorgt dafür, dass die Licht- und Schattenverhältnisse der realen Umgebung erkannt werden, sodass die virtuellen Objekte an diese Gegebenheiten angepasst werden können. Wie bereits in Abschnitt 2.2.1 erwähnt, ist die korrekte Anpassung der virtuellen Objekte an die Licht- und Schattenverhältnisse der realen Umgebung eine große Herausforderung von optischen See-Through Displays wie der HoloLens sowie von video see-through Displays.

Eine 2MP Kamera ermöglicht es dem Nutzer, Videos oder Bilder von allem zu machen, was er durch die HoloLens sieht, inklusive der virtuellen Objekte.

Zusätzlich zu den in der Sensorenleiste verbauten Sensoren sitzt in der Brücke der optischen Einheit noch eine inertielle Messeinheit (orig. inertial measurement unit IMU),

die Drehbewegungen und Beschleunigungen per Gyroskop und Beschleunigungssensor erfasst und mit diesen Bewegungsinformationen zur Bildstabilisierung und der Verbesserung des Trackings beiträgt.¹¹

2. Motherboard

Das Motherboard der HoloLens enthält im Kern eine eigens von Microsoft entwickelte Holographic Processing Unit (HPU), die alle Informationen der Sensoren verarbeitet und gebündelt an die 32bit Intel CPU weitergibt. Die HPU und die CPU verfügen jeweils über 1GB DDR3 RAM. Zum Speichern von Daten steht ein 64GB Flash-Speicher zur Verfügung.

3. Optik

Die Optik ist für die physikalische Darstellung der virtuellen Objekte zuständig. Wie in Abbildung 2.9 und 2.11 zu erkennen, besteht die Optik der HoloLens aus zwei Linsen, die durch eine Brücke miteinander verbunden sind.

In der Brücke befindet sich die bei der Beschreibung der Sensoren erwähnte IMU, eine



Abbildung 2.11: HoloLens Display und die verschiedenen Bereiche

automatische Kalibrierung für den Abstand der Pupillen des Nutzers und je eine Light Engine pro Linse. Diese Light Engines sind kleine Projektoren mit Liquid Crystal on Silicon (LCoS) Displays, wie man sie auch in einem normalen Projektor vorfinden würde. Die Projektoren senden die Bilder als Lichtstrahlen in die Linse, welche in dem in Abbildung 2.11 links grün markierten Bereich in den blauen Bereich umgelenkt wird und dort wiederum in das Auge des Nutzers umgelenkt wird. Die Linsen sind planare Lichtwellenleiter, sie leiten das Licht um und weiter. Derartige Lichtwellenleiter-Displays sind sehr kompakt und eignen sich daher hervorragend für ein Head-Mounted-Displays, allerdings ist der Nachteil dieser Technologie, dass der Austrittswinkel der Lichtstrahlen eingeschränkt wird durch die interne Reflexion und Umlenkung des Lichts (Wu u. a.

¹¹Zekavat und Buehrer (2011)

(2017)). Das Sichtfeld der HoloLens ist dadurch auch verhältnismäßig gering und verfügt nur über 30° in der Horizontale und 17,5° in der Vertikale.¹²

Abbildung 2.12 zeigt eine stark vereinfachte Darstellung der internen Lichtreflektion im Display der HoloLens. Die korrekte Funktionsweise der Displays und die korrekte Erkennung des Pupillenabstand des Nutzers ist enorm wichtig für die stabile Anzeige der virtuellen Elemente. Wenn die Bewegungen des Kopfes zum Beispiel nicht richtig oder nicht schnell genug verarbeitet werden würden, würden die angezeigten Objekte laut der Entwickler schwimmen und dem Nutzer würde schnell schlecht werden.¹³

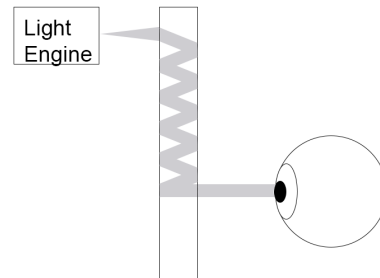


Abbildung 2.12: Lichtreflektion nach Microsoft Patent

¹²<http://www.kgutttag.com/2016/10/27/armr-combiners-part-2-hololens/> (07.01.2018)

¹³<http://www.tomshardware.com/news/microsoft-hololens-components-hpu-28nm,32546.html> (07.01.2018)

2.3.3 Steuerung

Die Microsoft HoloLens funktioniert komplett eigenständig, kabellos und ohne Peripheriegeräte. Trotzdem muss der Nutzer in dem Windows 10 basierten Betriebssystem nicht auf den gewohnten Mausklick verzichten.

Die Steuerung der HoloLens kann über Sprachbefehle oder über Gesten erfolgen. Es gibt zwei Gesten, die zur Steuerung der HoloLens dienen:

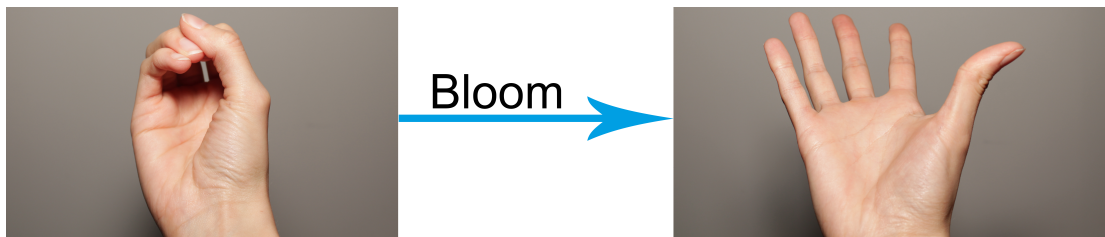


Abbildung 2.13: Die Bloom Geste

Bloom (deutsch: erblühen) dient dazu, das Hauptmenü der HoloLens zu öffnen. Dafür muss der Nutzer die Finger seiner Hand schließen und dann wieder öffnen, in etwa so wie eine Blume erblüht. Daraufhin kann der Nutzer aus dem Menü heraus zum Beispiel die aktuelle Anwendung beenden und eine neue Anwendung starten. Abbildung 2.13 zeigt die Bloom Geste.

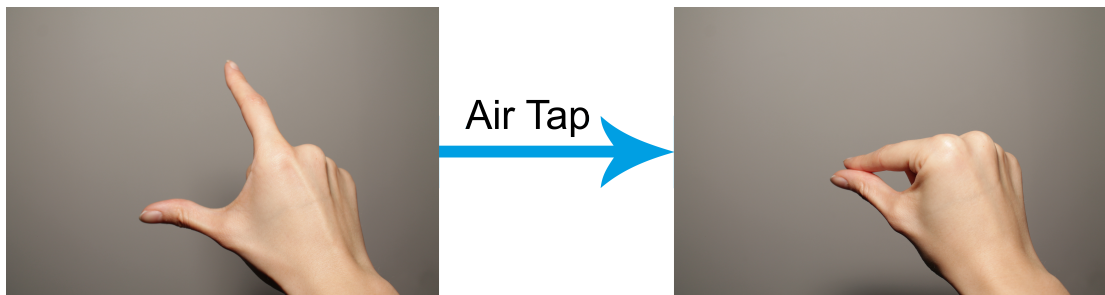


Abbildung 2.14: Die Air Tap Geste

Air Tap ersetzt den gewohnten Mausklick. Der Cursor der HoloLens ist ein fester Punkt mitten im Blickfeld des Nutzers, sodass dieser nur auf das anzuklickende Objekt schauen muss, welches dann per Air Tap - wie in Abbildung 2.14 zu sehen - anklickbar ist. Ein

kurzes Senken des Zeigefingers symbolisiert hierbei einen einfachen Mausklick, ein längeres Untenhalten des Zeigefingers ermöglicht eine Drag-Bewegung wie sie ebenfalls von einer Maus gewohnt ist. Durch das Ziehen können Objekte bewegt, gedreht und vergrößert oder verkleinert werden.¹⁴

¹⁴<https://developer.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/gestures>
(07.01.2018)

2.4 Trackingverfahren

Wie in Abschnitt 2.2 beschrieben, muss ein AR System gewisse Anforderungen nach Azuma (1997) erfüllen. Um die Anforderung der 3D-Registrierung zu erfüllen, benötigt das System die Fähigkeit, virtuellen Inhalt an einem Punkt in der realen Welt zu verankern. So bleibt der Inhalt an dem Ankerpunkt und der Nutzer kann sich beliebig im Raum bewegen, während der virtuelle Inhalt seine Position und seine Ausrichtung behält.

Trackingverfahren sorgen für eben diese Verankerung von virtuellem Inhalt in der realen Welt, sodass die virtuellen Elemente als ein Teil der Realität wahrgenommen werden.

Um den virtuellen Inhalt in der Welt zu verankern, muss die Position und Orientierung des Nutzers relativ zu einem Ankerpunkt in der realen Welt erfasst werden. Je nach Gerät und genutzter Technologie kann dieser Ankerpunkt ein physikalisches Objekt wie etwa ein auf Papier ausgedruckter Marker, oder aber eine definierte Position in der realen Welt sein. [Billinghurst u. a.]

Für den entwickelten Prototyp wird an dieser Stelle das Tracking ohne physikalischen Marker und das Tracking mit Marker im Zusammenhang mit der HoloLens kurz erläutert.

2.4.1 Tracking ohne Marker mit der Microsoft HoloLens

Für das Tracking ohne Marker nutzt die HoloLens in erster Linie die vier umgebungserkennenden Kameras und die Tiefenkamera, um Ecken und Kanten in der Umgebung zu erkennen [Čuković u. a. (2016)]. Für den User wird es nun sichtbar, wie kurz ein Dreiecksnetz auf den Wänden und Oberflächen des Raums erscheint (siehe Abbildung 2.1). Damit wird ein virtuelles Abbild der realen Umgebung erstellt und die HoloLens erkennt Wände, Objekte und Hindernisse. Diese Technik, die die HoloLens verwendet, um die Umgebung zu erkennen, nennt sich Spatial Mapping.

Wenn der User nun ein virtuelles Objekt im Raum platziert, wird es an diesem Ort verankert. Sich bewegende Objekte nutzen die beim Spatial Mapping gewonnenen Informationen, um den Raum mit einem virtuellen Koordinationssystem zu versehen und anhand dessen durch den Raum zu navigieren. Virtuelle Objekte werden so an der gewählten Position verankert und können reale Objekte in ihre Bewegungen integrieren oder mit ihnen interagieren. So kann zum Beispiel ein virtueller Gummiball von Boden, Wänden und Oberflächen abprallen und sorgt durch diese Interaktion mit der realen Umgebung für eine bessere Mixed Reality Erfahrung. Aktuell mit der Development Edition ist die Oberflächenerkennung mit Spatial Mapping noch nicht perfekt. Große Oberflächen wie Möbel, Wände und Säulen werden zuverlässig erkannt,

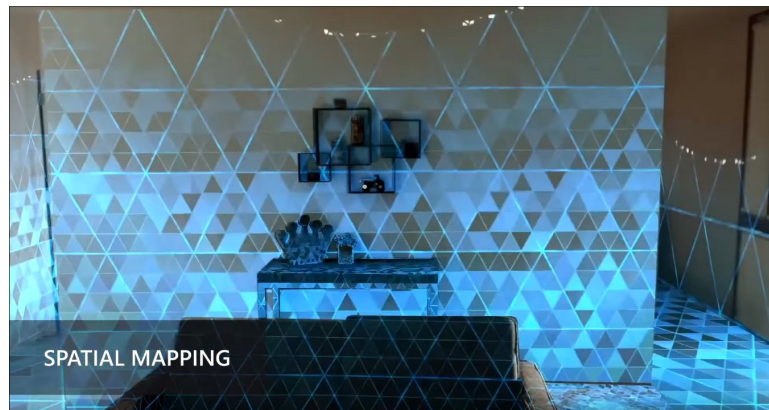


Abbildung 2.15: Spatial Mapping mit der Microsoft HoloLens

aber für kleine Objekte ist das produzierte Dreiecksnetz zu grob.

Die Spatial Mapping Daten werden gespeichert und bei der nächsten Sitzung wieder abgerufen, sodass die einmal platzierten Objekte auch bei einer späteren Sitzung noch dort sind, wo der User sie platziert hat. [Zhou u. a. (2008), Comport u. a. (2006)]

Besonders anschaulich erklärt wird Spatial Mapping in dem Youtube-Video “Microsoft HoloLens: Spatial Mapping“ von dem Youtube-Kanal “Microsoft HoloLens“¹⁵

2.4.2 Tracking mit Marker

Ein Marker ist ein künstlicher Orientierungspunkt, der der realen Welt hinzugefügt wird, um die Registrierung und Orientierung zu erleichtern. Das wohl bekannteste Beispiel eines Markers ist ein QR Code wie in Abbildung 2.16. So ist es leicht möglich, beispielsweise die eigene Homepage online mit einem QR Code zu verknüpfen. Mit einer kostenlosen App zum Scannen des QR Codes wird dann der verknüpfte virtuelle Inhalt angezeigt.



Abbildung 2.16: QR-Code Marker

Um die Position des Nutzers in der realen Umgebung zu berechnen, sind mindestens vier Orientierungspunkte mit bekannter Position nötig [Fischler und Bolles (1981)]. Zu Beginn der Entwicklung von Trackingverfahren waren noch vier alleinstehende Punkte notwendig, deren

¹⁵Titel: “Microsoft HoloLens: Spatial Mapping“ von dem Youtube-Kanal “Microsoft HoloLens“ unter <https://www.youtube.com/watch?v=zffaQ1RaVo> (zuletzt abgerufen am 18.10.2017)

Herausforderung es war, zu jeder Zeit vollständig im Bild zu sein. Mit dem technologischen Fortschritt von Kameras und Sensoren reicht mittlerweile ein viereckiger planarer Marker [Comport u. a. (2006)], der aus markanten Ecken und Featurepunkten besteht, wie beispielsweise ein QR-Code. Anhand der Größe des Markers und des anzuzeigenden Objekts wird dann die Größe und die Ausrichtung des Objekts in der AR Anwendung berechnet werden. Daraufhin wird der virtuelle Inhalt korrekt skaliert in Relation zu dem Marker in der realen Welt platziert und verankert. Mit dieser Technik ist es nun auch möglich, mehrere Marker in der selben Anwendung zu registrieren.

Durch die Unkompliziertheit und die hohe Genauigkeit der Erkennung ist diese Technologie extrem populär. Eines der ersten Marker Tracking Systeme ist die auch heute noch sehr beliebte und häufig eingesetzte open-source library ARToolKit¹⁶, welche 1999 von Kato und Billinghurst [Kato und Billinghurst (1999)] entwickelt wurde und genau darauf abzielt, durch die Kamera des Anzeigeräts den Marker zu erkennen und in Relation zu diesem Marker die Position des Anzeigeräts zu bestimmen. Für den entwickelten Prototyp wurde aufgrund der Unterstützung in Unity und der Empfehlung von Microsoft das Software Development Kit (SDK) Vuforia verwendet. [Billinghurst u. a.]

¹⁶<https://archive.artoolkit.org> (07.01.2018)

2.5 Related Work

Augmented Reality soll durch die Einblendung von virtuellen Ergänzungen zur realen Welt den Alltag in vielen Bereichen sinnvoll bereichern. Mit dem langsamen Anstieg der Bekanntheit von AR in den letzten Jahren stieg auch dessen Relevanz in Bereichen des Lernen und Lehrens an. AR soll den Lernenden die Möglichkeit geben, schwer vorstellbare Lerninhalte zu visualisieren und leichter verständlich zu machen.

In diesem Abschnitt werden verwandte Arbeiten zu dem Thema “Augmented Reality in der Bildung“ kurz zusammengefasst und im Kontext zu dieser Arbeit eingeordnet.

2.5.1 Nutzung von AR zur visuellen Ergänzung von Büchern

Mark Billinghurst ist Professor für Human Computer Interaction an der University of South Australia in der Stadt Adelaide in Australien. Billinghurst erforscht, wie virtuelle und reale Welten vereint werden können und hat bereits über 300 wissenschaftliche Arbeiten zu diesem Thema verfasst¹⁷. Zusammen mit Hirokazu Kato hat er 1999 die open-source library ARToolKit entwickelt, welche auch heute noch eine der beliebtesten Bibliotheken für die Entwicklung von AR Anwendungen ist. [Kato und Billinghurst (1999)]

In dem Paper “The MagicBook: a transitional AR interface“ entwickelt Billinghurst die prototypische Anwendung “MagicBook“, die dazu dienen soll den Anwender entlang des VR Continuums zu bewegen.

“MagicBook“ ermöglicht es dem Nutzer, mithilfe eines eigens für diese Anwendung entwickelten Handheld Video-See-Through Geräts ein reales Buch mit virtuellen Elementen zu erweitern und mit anderen Menschen gemeinsam an den virtuellen Objekten zu arbeiten.

Der Fokus bei diesem Paper liegt darauf, einen Übergang zwischen Realität und Virtualität für den Nutzer zu schaffen und nicht auf dem Inhalt, der mit der Applikation transportiert werden soll. Die Begründung für diesen Schwerpunkt liegt im Entstehungszeitpunkt der Arbeit, 2001 war Augmented Reality noch weitaus weniger erforscht und es fehlte der benötigte Fortschritt der Technologie von Anzeigegeräten und Tracking.

[Billinghurst u. a. (2001)]

¹⁷<https://people.unisa.edu.au/Mark.Billinghurst> (07.01.2018)

2.5.2 Wichtige Eigenschaften von AR für den Einsatz in der Bildung

2002 veröffentlichte Billinghurst diesen wissenschaftlichen Artikel mit dem Titel “Augmented Reality in Education“ auf der Internet-Plattform “New Horizons For Learning“¹⁸ und bezeichnet die Bildung als einen Bereich, in dem AR besonders wertvoll sein könnte.

Ausschlaggebend für den Wert von AR in der Bildung bezeichnet Billinghurst folgende drei Eigenschaften:

“Seamless Interaction“ Ein gemeinsames Arbeiten und Lernen von Schülern funktioniert besser, wenn es einen gemeinschaftlichen Arbeitsplatz gibt. In der computer-basierten Bildung ist dies schwer umzusetzen, da jeder Schüler auf seinen eigenen Bildschirm fokussiert ist und es wenig gemeinsame Interaktionen gibt.

AR hingegen bietet die Möglichkeit, dass die Schüler beispielsweise um einen Tisch herum sitzen und sowohl sich gegenseitig sehen können, als auch den virtuellen Inhalt, der auf dem Tisch platziert werden kann. Es gibt somit einen nahtlosen Übergang von der natürlichen menschlichen Diskussion und der Interaktion mit den computergenerierten Inhalten.

“Tangible Interface Metaphor“ AR Applikationen die auf einer “Tangible Interface Metaphor“ basieren, nutzen physikalische Objekte, um die virtuellen Informationen zu manipulieren. So kann beispielsweise eine reale Karte verschoben werden und das virtuelle Objekt, das an dieser Karte verankert wurde, bewegt sich mit. Für diese Interaktionen sind keine Computerkenntnisse oder Hardware nötig, es funktioniert rein intuitiv. Diese Eigenschaft ermöglicht es auch sehr jungen Kindern eine lehrreiche Erfahrung zu haben.

“Transitional Interfaces“ Diese Eigenschaft bezieht sich auf das in Abschnitt 2.1 beschrieben von Milgram u. a. (1995) entwickelte RV-Continuum. Billinghurst bezieht sich auf die in Abschnitt 2.5.1 beschriebene Anwendung “MagicBook“, dieses Mal mit Bezug auf den Inhalt des Buches. In diesem Fall handelt es sich um ein Märchenbuch, das sowohl ganz real wie ein Buch gelesen werden kann, als auch mit AR Erweiterungen oder komplett immersiv per VR-Brille. Anwendungen wie diese ermöglichen es dem Nutzer, sich innerhalb dieses Continuum zu bewegen und es werden neue lehrreiche Erfahrungen ermöglicht.

[Billinghurst (2002)]

Das Prinzip der Erweiterung von Büchern wird auch in dem im Rahmen dieser Ausarbeitung entwickelten Prototypen aufgegriffen. Während Billinghurst sich jedoch auf die Beschreibung

¹⁸<http://education.jhu.edu/research/new-horizons-for-learning/> (07.01.2018)

eines Märchenbuchs beschränkt, wird in dem Prototyp dieser Ausarbeitung ein Anwendungsfall aus dem Schulunterricht mit aktueller Technologie für die Microsoft HoloLens umgesetzt.

2.5.3 AR im Vergleich zu anderen Technologien zur Förderung von Lernprozessen

Zehn Jahre später veröffentlichte Mark Billinghurst zusammen mit Andreas Duenser einen Artikel zu diesem Thema, dieses Mal über IEEE in dem Magazin "Computer" (Ausgabe 45, Juli 2012).

In Referenz auf [Tamim u. a.](#) erklärt Billinghurst, dass der Einsatz von Computer Technologie die Lehre und das Lernen fördern würde im Vergleich zur Lehre ohne technische Hilfsmittel. Auch in diesem Artikel beschreibt Billinghurst die positiven Effekte von AR in der Bildung wie das gemeinsame Lernen und Diskutieren von ein und dem selben virtuellen Objekt. Billinghurst stellt nun aber die Frage, inwieweit AR anderen lernfördernden Technologien überlegen ist und hat dafür verschiedene Studien mit Schülern begutachtet.

Es werden zwei elementare Formate für AR Anwendungen genannt, zum einen Augmented Books und zum anderen mobile Anwendungen. Augmented Books sind wie in Abschnitt [2.5.2](#) beschrieben Bücher, die mithilfe eines AR Displays virtuelle Ergänzungen zu Geschichten bieten. Auch hier erwähnt Billinghurst als Beispiel die Anwendung "MagicBooks" und vergleicht diese Bücher mit Pop-up Büchern. Mobile AR Anwendungen werden mit dem Anstieg von Smartphone Nutzung immer relevanter. Billinghurst zeigt am Beispiel der von ihm selbst entwickelten App CityViewAR die Möglichkeit, mit AR die durch Erdbeben zerstörte Stadt Christchurch in ihrem ursprünglichen Zustand zu zeigen. Dies ermöglicht Schülern das Lernen auch außerhalb der Schule weiterzuführen.

AR ist am effektivsten, wenn es in Verbindung mit traditionellen Lehrmitteln genutzt wird. Hierbei liegt der Fokus wie bei "MagicBooks" auf dem Erzählen und durch AR Virtualisieren von Geschichten.

Als weiterer Aspekt wird AR als Autorentool genannt. Mit einer vom HITLab NZ entwickelten Software BuildAR¹⁹ sollen auch Schüler ohne Programmiererfahrung in der Lage sein, eigene AR Szenen zu erstellen und so gelerntes Wissen umzusetzen. Um das zu erreichen müssen die Schüler die Aufgabe komplett verstehen und das kreative Bauen der Szene bietet einen spaßigen Anreiz.

Abschließend stellt Billinghurst fest, dass die meisten AR Anwendungen in der Bildung gekapselte Systeme für einzelne Anwendungsfälle sind, bei denen AR durchaus als nützlich erachtet wird, insbesondere bei Schülern, die Probleme mit dem traditionellen textbasierten Lernen

¹⁹<http://www.buildar.co.nz> (07.01.2018)

haben. Eine allgemeine Aussage ließe sich auf dieser Basis jedoch nicht treffen, insbesondere da die zugrundeliegenden Nutzerstudien nur kurzfristige Ergebnisse berücksichtigen. Weitere und auch langfristige Untersuchungen wären nötig, um den Nutzen von AR gegenüber anderen technologischen Möglichkeiten zu Verbesserung der Lehre zu beurteilen.

[[Billinghurst und Duenser](#)]

Der Prototyp dieser Ausarbeitung befasst sich ebenfalls mit Augmented Books, allerdings nicht im Rahmen der Geschichtenerzählung, sondern mit naturwissenschaftlichen Lerninhalten. Zusätzlich dazu zeigt der Prototyp Möglichkeiten von AR zum Erlernen von Musikstücken auf Klavier auf.

2.5.4 Die Auswirkungen von AR auf das Erlangen von Verständnis über Gaseigenschaften

Dieses Paper beschreibt den direkten Vergleich zweier Schülergruppen, die eine Gruppe hat die physikalischen Eigenschaften von Gas mit klassischen Lehrmethoden gelernt, die andere Gruppe mit AR gestützten Lehrmethoden.

Die Visualisierung von abstrakten und nicht sichtbaren Vorgängen in Naturwissenschaften, insbesondere bei dynamischen und molekularen Prozessen, verstärkt den Lerneffekt. In einigen Bereichen ist die virtuelle Erklärung allein jedoch nicht von Nutzen. So waren beispielsweise Physikstudenten nicht in der Lage, den Zusammenhang zwischen einem physikalischen Magnetsystem und dem virtuellen Gegenstück zu erkennen. Der AR Ansatz hingegen ermöglicht die direkte Verknüpfung der realen Gegebenheiten mit den virtuellen Erweiterungen.

Generell zeigt das Ergebnis der Untersuchung, dass die Schüler, die mit AR die physikalischen Eigenschaften von Gasen gelernt haben, zum Teil wesentlich bessere Testergebnisse erzielten, als die Schüler, die mit herkömmlichen Lehrmitteln gelernt haben.

[[Chiu u. a. \(2015\)](#)]

Die Ergebnisse der Untersuchung stützen die Idee des Prototypen dieser Ausarbeitung. Neben naturwissenschaftlichen Lerngebieten ist dieser Prototyp auch für andere Schulfächer konzipiert.

2.5.5 Ergänzung von Gebäuden mit Konstruktionsinformationen mithilfe von AR

[Vassigh u. a. \(2016\)](#) stellen in diesem Paper mittels IEEE die Applikation AR-SKOPE vor, die dazu dienen soll, Studenten von Architektur, Bauingenieurwesen und Maschinenbau mit zusätzlichen

Informationen zu spezifischen Gebäuden zu versorgen. Diese ergänzenden Informationen umfassen den gesamten Konstruktionsprozess, Heizungs-, Kühlungs- und Lüftungssysteme und weitere Zusatzinformationen. Die Anzeige wird mithilfe eines Smartphones oder Tablets realisiert. Nach Fertigstellung des Prototypen ist eine Testphase über ein Semester angesetzt. In einem weiteren Paper (H Behzadan u. a.) zeigen die Ergebnisse, dass der Einsatz dieser Technologie das Lernverhalten und die Einsatzbereitschaft der Studenten signifikant erhöht hat. Den Studenten fiel es wesentlich leichter, abstrakte Themen mit realen Problemen zu verknüpfen.

[Vassigh u. a. (2016), H Behzadan u. a.]

3 Idee und Konzeption

Im Rahmen dieser Ausarbeitung wird die Entwicklung eines Prototypen zur Lösung der Problemstellung beschrieben. Basierend auf bestehenden Untersuchungen und Studien beschrieben in Abschnitt 2.5 werden in diesem Kapitel weiterführende Ideen und das Konzept des Prototypen erörtert. Abschließend erfolgt eine Anforderungsanalyse die zur Implementierung des Prototypen überleitet.

3.1 Ideen und mögliche Anwendungsfälle für den Einsatz der Microsoft HoloLens im Schulunterricht

Für die Konzeption des Prototypen erfolgt nun eine Beschreibung der Anwendungsfälle zur Nutzung der Microsoft HoloLens im Schulunterricht.

3.1.1 Augmented Books

Augmented Books wurden bereits in zahlreichen Untersuchungen behandelt. Beispielsweise beschreibt [Billinghurst u. a. \(2001\)](#) mehrmals die Anwendung "MagicBooks", welche das Konzept von Augmented Books begründet.

Augmented Books haben mehrere Funktionalitäten. In erster Linie sind sie reguläre Bücher, so zum Beispiel reguläre Lehrbücher der Chemie oder Physik etc. Zusätzlich zu dem normalen Textinhalt enthalten Augmented Books Marker, wie in Abschnitt 2.4.2 beschrieben. So können mit einem AR Anzeigegerät durch diese Marker zusätzliche Informationen angezeigt werden, die den Textinhalt des Buches durch visuelle 3D-Elemente erweitern und dem Leser ansonsten unvorstellbare Vorgänge sichtbar machen. Die Nutzung der Microsoft HoloLens zu diesem Zweck ermöglicht eine unkomplizierte und simple Möglichkeit, damit mehrere Nutzer den selben virtuellen Inhalt angezeigt bekommen und somit gemeinsam daran arbeiten können. Schülern wird damit die Möglichkeit geboten, aktiv über das Gesehene zu diskutieren.

Die Einsatzmöglichkeiten von Augmented Books im Schulumfeld sind beinahe grenzenlos. In naturwissenschaftlichen Fächern bietet die Ergänzung von rein deskriptiven Texten zu komplexen Vorgängen mit virtuellen dreidimensionalen Modellen von ebendiesen Vorgängen eine Möglichkeit zur Verbesserung des Lernprozesses. Insbesondere die Schüler, denen es schwer fällt nur mit Texten zu lernen öffnet diese Technologie neue Wege für erfolgreiches Lernen. Zusätzlich bietet die Microsoft HoloLens über die integrierten Lautsprecher die Möglichkeit, die visuellen Elemente an geeigneter Stelle mit passenden Geräuschen zu ergänzen. Aber auch größtenteils textbasierte zweidimensionale Schulfächer wie beispielsweise Deutsch können mit AR sinnvoll erweitert werden. Die Lehrkraft kann zum Beispiel an wichtigen Stellen in Texten Anmerkungen oder Visualisierungen einbinden, die den Schülern Anreiz und Hilfestellung bieten sollen und die Schüler können gemeinsam an einem virtuellen Modell arbeiten, wodurch das gemeinschaftliche Arbeiten in einer Gruppe gefördert wird.

Das Konzept von Augmented Books bietet die Möglichkeit, die unterschiedlichen Lernformen von Schülern gleichmäßig abzudecken. Die Schüler, die besser durch Lesen lernen, können die Texte weiterhin wie gewohnt lesen. Jedoch hat jeder Schüler, dem diese Art zu Lernen eventuell schwerfällt, die Möglichkeit, durch die Visualisierungen ein besseres Verständnis des Inhalts zu erlangen.

Zusätzlich bietet die Visualisierung der Lerninhalte einen optischen Anreiz, der zur Auflockerung des Unterrichts beitragen kann.

Virtueller Globus

Die Microsoft HoloLens bietet im integrierten Store die kostenfreie Anwendung "Galaxy Explorer"¹ zur Verfügung, mit der der Nutzer die Möglichkeit hat, das Universum und dessen Planeten in gewünschter Größe zu erforschen.

Diese Anwendung bildet den Grundstein für die Idee von einem virtuellen Globus. Dieser Globus könnte beliebig vergrößerbar sein und durch gewünschte Zusatzinformationen ergänzt werden. Für den Geographie-Unterricht könnte beispielsweise zwischen regulären und Höhenkarten gewechselt werden, oder es werden animierte Luft- und Wasserströmungen ergänzt, um Wettervorgänge leichter verständlich zu machen. Auch schwer vorstellbare Phänomene wie die Verschiebung von Kontinentalplatten und deren Auswirkungen auf Land- und Wassermassen in Form von Erdbeben und Tsunamis können dadurch visualisiert werden.

Neben den vielseitigen Einsatzmöglichkeiten für den Geographie-Unterricht könnte auch für

¹Erreichbar unter: <https://github.com/Microsoft/GalaxyExplorer>

den Geschichtsunterricht eine sinnvolle Anwendung geschaffen werden, indem die historischen Grenzveränderungen von Ländern zu bestimmten Ereignissen in der Geschichte animiert dargestellt werden.

Durch die Möglichkeit der HoloLens, dass mehrere Geräte in einem Netzwerk die selben virtuellen Inhalte sehen, kann die Lehrkraft Frontalvorträge über diese Themen sinnvoll mit diesem virtuellen Globus erweitern und den Schülern eine Visualisierung zu den erzählten Themen bieten.

3.1.2 Virtuelle Versuche

Ein weiterer wichtiger Anwendungsfall für AR im Schulunterricht sind virtuelle Versuche. Im klassischen Schulunterricht führt die Lehrkraft vorne für alle Schüler einen Versuch durch. Die Möglichkeiten solcher Versuche sind meistens recht eingeschränkt, da viele Versuche zu teuer oder zu gefährlich sind, um sie vorzuführen. Gerade in der Chemie sind Werkstoffe teuer und werden für jeden Versuch erneut benötigt. Bei der virtuellen Durchführung ist dies kein Problem. Zusätzlich können die Versuche beliebig oft wiederholt werden, wenn die erste Durchführung für das Verständnis nicht ausgereicht hat. Auf diese Weise können auch Versuche mit ätzenden, explosiven oder anderweitig gefährlichen Werkstoffen in einer vollkommen sicheren Umgebung stattfinden.

Neben der realistischen Darstellung virtueller Versuche kann die Anwendung durch detailliertere Ebenen des Versuchs ergänzt werden, sogar bis auf die Molekülebene bei chemischen Versuchen. Bei virtuellen Versuchen kann die Geschwindigkeit der Reaktion verringert werden, um das Verständnis und den Lerneffekt zu fördern.

3.1.3 Augmented Music

Das Erlernen eines Musikinstruments ist eine große Herausforderung. Der erste Schritt ist es, Noten lesen zu können. Dies erfordert sehr viel Übung und Wiederholung, man muss sich die Bezeichnung der Note immer wieder überlegen und einprägen und diese dann auf das gewünschte Musikinstrument umsetzen. Bei diesem Schritt kann Augmented Reality eine große Hilfe sein. Die Erkennung der Noten und deren Verknüpfung mit der korrekten Bezeichnung durch AR ermöglicht es dem Lernenden, sich diese schneller einzuprägen und das zugehörige Instrument zu erlernen.

Der zweite Schritt ist das Spielen des Instruments. Auch hier kann AR eine sinnvolle Ergänzung bieten. Nach dem vorhergegangenen Erkennen der Noten auf einem Notenblatt, können die

zu spielenden Griffe auf dem Instrument virtuell hervorgehoben werden, so zum Beispiel die korrekten Tasten auf einem Klavier oder die korrekten Akkorde auf einer Gitarre.

3.2 Konzeption des Prototypen

Aus der Basis dieser Ideen wird nun ein Konzept für einen Prototypen entwickelt. Die beschriebenen Anwendungsfälle wurden betrachtet und für die Umsetzung in einem simplen Prototypen analysiert. Die umzusetzenden Anwendungsfälle werden nun beschrieben und anschließend wird eine Anforderungsanalyse für den Prototypen durchgeführt.

3.2.1 Umzusetzende Anwendungsfälle

Für die Implementation des Prototypen wurden die angedeuteten Anwendungsfälle der Augmented Books und des Musikunterrichts ausgewählt und werden nun konkretisiert und im Zusammenhang mit der Entwicklung für die HoloLens ausgelegt.

Augmented Books

Das Prinzip der Augmented Books wurde bereits häufiger behandelt. [Billinghurst u. a. (2001)] Da dieses Konzept vielseitig untersucht und für nützliche befunden wurde, wird es auch in dem Prototyp auftreten und mit der Microsoft HoloLens für den aktuellen Stand der Technik getestet. Die HoloLens ist komplett eigenständig und nicht abhängig von Peripheriegeräten. Außerdem bieten die Sensoren der HoloLens ein zuverlässiges Erkennen der Umgebung und der Bewegungen im Raum. Die Sitzungen der HoloLens werden gespeichert und bei einem späteren Besuch in dem selben Raum, sind alle platzierten Objekte immer noch an dem selben Punkt verankert. Die Möglichkeiten, mit mehreren Geräten in der gleichen Umgebung zu arbeiten und gemeinsam die gleichen Dinge zu sehen, bieten insbesondere für Gruppenarbeiten im Unterricht große Vorteile.

Der konkrete Anwendungsfall lautet wie folgt: Die Schüler sitzen im Chemieraum und lernen aktuell den Aufbau und die Struktur von Molekülen. Wie die Atome zusammenhängen und wie genau ein Molekül aussieht ist in den Schulbüchern zwar beschrieben, aber durch die planare Ansicht nur schwer nachzuvollziehen, da der Aufbau mit korrekten Winkeln und Größenverhältnissen eines dreidimensionalen Objekts in einer zweidimensionalen Ansicht stets zu Verfälschungen führt, wie zum Beispiel die Darstellung von Entfernungen und Größen auf einer Weltkarte im Vergleich zu den realen Entfernungen. Es ist nicht möglich, eine Kugeloberfläche einfach so auf ein Stück Papier zu übertragen.

Traditionell ergänzen viele Schulen daher ihren Chemie-Unterricht zur Visualisierung von Molekülen mit kleinen Baukästen, in denen die einzelnen Atome als Kugeln und die Verbindungen der Atome als kleine Röhren zur Verfügung stehen, sodass die Schüler die Moleküle zusammenbasteln können. Wie es häufig so ist in Schulen, fehlen in diesen Baukästen schnell Teile oder die vorhandenen Teile sind kaputt, sodass ein Zusammenbauen manchmal nicht mehr möglich ist. Zusätzlich spielen die Schüler mit den Teilen herum, es wird eventuell nicht das geforderte Molekül zusammengebaut und beim Herumspielen gehen weitere Teile verloren oder kaputt.

Dies fordert der Lehrkraft viel Energie und Zeit ab, da sie aufpassen muss, dass mit den Materialien pfleglich umgegangen wird und dass die entstehenden Moleküle auch korrekt sind. Diese geraubte Energie und Zeit könnte wesentlich besser für weiteren Unterricht genutzt werden.

An dieser Stelle setzt der Prototyp an, denn die Applikation ersetzt den Baukasten. Die Schüler tragen eine HoloLens, während sie in den Büchern den zu lernenden Stoff lesen. Nun ist der Text aus den Büchern nicht nur traditionell durch Abbildungen ergänzt, sondern zusätzlich auch noch durch Marker. Sobald die HoloLens einen derartigen Marker erkennt, erscheint ein virtuelles Modell des eben beschriebenen Moleküls und die Schüler erhalten eine schnelle und unkomplizierte visuelle Lernhilfe.

Durch die HoloLens und die Augmented Books Applikation werden die Lehrkräfte entlastet und die Schüler bekommen sehr schnell die benötigten visuellen Anreize, um den Stoff zu verarbeiten. Während in dieser Arbeit prototypisch nur Moleküle im Chemie-Unterricht betrachtet werden, lässt sich dieses Konzept auf viele andere Bereiche im Unterricht übertragen. Abbildung 3.1 zeigt eine Demo Anwendung der kostenfreien Applikation ARLOOPA ², die ein Physikbuch mit zusätzlichen virtuellen Modellen versieht und damit dem Augmented Books Konzept entspricht.

²<http://arloopa.com>

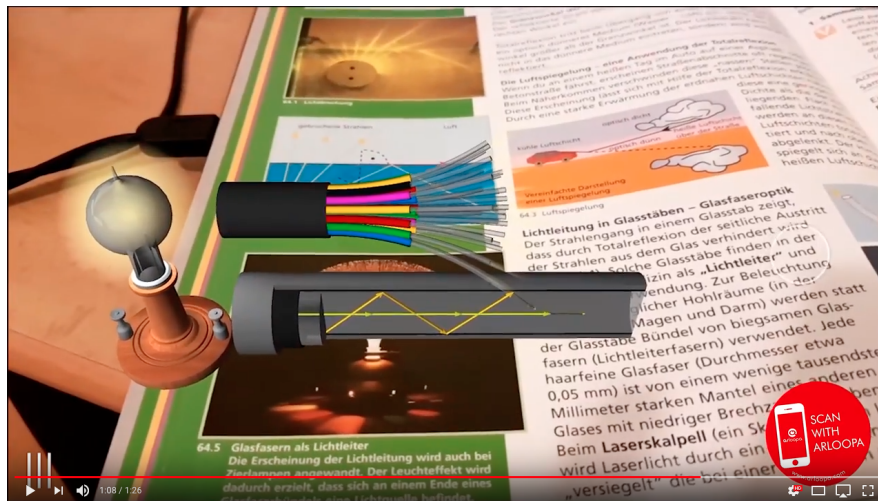


Abbildung 3.1: AR Anwendung ARLOOPA zur Ergänzung eines Physikbuches (Quelle: <https://www.youtube.com/watch?v=Qw7HJPoI8ZQ>)

Musikunterricht

Das Konzept zum Einsatz der HoloLens im Musikunterricht - egal ob in der Schule oder zu Hause - bezieht sich auf das Erlernen von Klavierstücken.

Bei dem Blick mit der HoloLens auf das Blatt mit den Noten werden diese um die Bezeichnungen der Noten ergänzt. Die Note 'c' wird so beispielsweise mit dem Buchstaben 'c' versehen. Wenn der Lernende also Wert darauf legt, schnell Noten lesen zu lernen, gibt ihm die HoloLens damit eine große Hilfestellung. Wenn das Noten Lesen noch zu schwer fällt oder momentan nicht gewünscht ist, kann nach einem Blick auf das Notenblatt die Klaviatur betrachtet werden, welche um eine Animation ergänzt wird. Diese Animation hebt die Tasten hervor, die als nächstes gespielt werden müssen und ermöglicht dem Nutzer so, ohne die Noten wirklich lesen zu können, das Lied auf Klavier schnell und unkompliziert zu erlernen.

3.2.2 Anforderungsanalyse

Die beschriebenen Anwendungsfälle des Prototypen dienen als Grundlage für die Erstellung einer Anforderungsanalyse. Im Folgenden werden die gewünschten Anforderungen an den Prototypen aufgelistet und kurz erläutert. Die Anforderungsanalyse definiert die zu implementierenden Funktionen und wird für die Evaluation des Prototypen genutzt.

Augmented Books

- Für den Chemieunterricht stehen 3D-Modelle von folgenden Molekülen zur Verfügung:
 - Wasser
 - Ethanol
 - Schwefelsäure
- Die 3D-Modelle der Moleküle beinhalten eine Beschriftung der Atome zum Verständnis der Summenformel des Moleküls
- Durch das Tracking eines Markers werden die 3D-Modelle angezeigt
- Die 3D-Modelle sind von allen Seiten betrachtbar, ohne den Sitzplatz verlassen zu müssen
- Zur Betrachtung komplexerer 3D-Modelle sind die 3D-Modelle in unterschiedlichen Größen betrachtbar

Musikunterricht

- Bei der Betrachtung eines vorgegebenen Notenblatts werden die Noten mit der korrekten Bezeichnung versehen
- Auf einer Klaviatur mit vorgegebenen Maßen werden die zu spielenden Tasten hervorgehoben
- Die Hervorhebung der zu spielenden Tasten ist abhängig von dem gewählten Notenblatt
- Die Hervorhebung der zu spielenden Tasten kann pausiert werden

4 Entwicklung des Prototypen

Nachdem das Konzept des Prototypen mit einer Anforderungsanalyse festgelegt wurde, folgt nun die Dokumentation der Implementation des Prototypen.

4.1 Anlegen eines AR Projektes in Unity

Für die Entwicklung von Augmented Reality Applikationen werden Tools benötigt, die die Windows Mixed Reality API nutzen können. Microsoft empfiehlt für diesen Zweck Unity 3D¹, andere Lösungen sind zwar möglich, aber für diesen Prototypen nicht zweckdienlich, da Unity die schnellste und komfortabelste Möglichkeit bietet, da die Entwicklung mit Unity von dem Hersteller Microsoft empfohlen wird und daher gut dokumentiert und integriert ist.

Um Augmented Reality Applikationen für die HoloLens zu entwickeln, werden einige Tools benötigt, die nachfolgend erläutert werden. Zusätzlich zu diesen Tools müssen einige spezifische Einstellungen vorgenommen werden, um das Unity Projekt für die HoloLens auszulegen. Diese Einstellungen richten sich größtenteils danach, das Projekt für ein optical see-through Display bereit zu machen.

4.1.1 Cinema4D²

Um die Erweiterung der Realität mit virtuellen Elementen zu ermöglichen, benötigt man in erster Linie virtuelle Elemente, die angezeigt werden sollen. Die für den entwickelten Prototyp genutzten 3D-Modelle wurden in Cinema 4D erstellt.

Cinema 4D ist eine kostenpflichtige 3D-Grafiksoftware, die von der MAXON Computer GmbH mit Sitz in Friedrichshain entwickelt wird. Zum Einsatz kommt Cinema 4D sowohl im privaten Gebrauch als auch im kommerziellen Gebrauch zur Entwicklung von 3D-Modellen, Texturen, Computergrafiken und Animationen.

¹https://developer.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/development_overview

²<https://www.maxon.net/en/products/cinema-4d/overview/> (07.01.2018)

4.1.2 Unity 3D³

Die Verknüpfung von Realität und Virtualität geschieht dann in Unity 3D. Unity 3D ist eine kostenfreie voll integrierte Entwicklungs-Engine, die extrem viel Funktionalität für die Entwicklung von 3D Inhalten bietet. Mithilfe von Unity 3D können 3D-Anwendungen für zahlreiche Zielplattformen wie PC, Spielekonsolen und mobile Endgeräte entwickelt werden. Unity unterstützt ebenfalls die Entwicklung für VR- und AR-Geräte wie zum Beispiel der HoloLens über Plugins in Zusammenarbeit mit den Herstellern.

Unity wird von Unity Technologies mit Hauptsitz in San Francisco entwickelt. [Kim u. a. (2014)]

4.1.3 Mixed Reality Toolkit⁴

Das Mixed Reality Toolkit ist ein Asset Paket, welches Unity mit vielen praktischen Skripten und Funktionen für Mixed Reality Apps versieht. Das Toolkit bringt einige vorgefertigte Komponenten mit, so zum Beispiel die HoloLens Camera, die die Hauptkamera der Unity Szene ersetzt und die Funktionsweise der Kamera der HoloLens simuliert. Da die HoloLens über Gesten, Blicke und Stimmeneingaben gesteuert werden kann, bringt das Toolkit die passenden Manager mit, um diese Eingaben verarbeiten zu können. Zusätzlich bietet das Toolkit vorgefertigte Skripte, die den GameObjects in der Szene angehängt werden können und diese mit gewohnten HoloLens Funktionalitäten, wie beispielsweise die Beweglichkeit durch ziehen, zu versehen.

Unumgänglich für die Bereitstellung der App für die HoloLens ist das Build Window des Toolkits, welches es ermöglicht, die nötigen Einstellungen vorzunehmen und das Unity Projekt in ein Visual Studio Projekt umzuwandeln.

4.1.4 Vuforia⁵

Vuforia ist ein Software Development Kit (SDK) zum Entwickeln von Augmented Reality Applikationen. Seit der Unity Version 2017 ist Vuforia bereits in Unity integriert und muss nicht mehr über ein Asset Paket importiert werden. Vuforia bringt viele nützliche Komponenten mit, so zum Beispiel die AR Camera, die die Funktionen zur Markererkennung bietet. Um die Konformität von AR Camera und HoloLens Camera zu gewährleisten, wird die AR Camera von Vuforia als Hauptkamera gesetzt und die HoloLens Camera als Ankerpunkt der AR Camera.

³<https://unity3d.com/de/> (07.01.2018)

⁴<https://github.com/Microsoft/MixedRealityToolkit-Unity> (05.01.2018)

⁵<https://www.vuforia.com> (07.01.2018)

Ebenso wichtig zur Markerererkennung ist die Verknüpfung des Markers mit den gewünschten Elementen der Szene. Dafür bietet Vuforia ein ImageTarget, welches als GameObject in der Szene platziert wird und mit dem Bild des Markers verbunden wird. Um die eigenen Marker zu integrieren, muss vorher im Entwickler-Portal von Vuforia eine Marker Datenbank angelegt und heruntergeladen werden, um dann in Unity als Asset Paket importiert zu werden.

4.1.5 Visual Studio⁶

Visual Studio ermöglicht es dem Nutzer, in verschiedenen Programmiersprachen Applikationen für unterschiedliche Plattformen zu schreiben und bereitzustellen, so auch für die Microsoft HoloLens..

Nach der Kompilierung des Projekts in Unity geschieht das Bereitstellen der Applikation in Visual Studio (siehe Abschnitt 4.4). Obwohl die Skripte für die Funktionalität auch in Unity geschrieben und bearbeitet werden können, bietet Visual Studio als Entwicklungsumgebung viele komfortable Funktionen, die das Programmieren der Skripte angenehmer gestalten.

4.1.6 HoloLens Emulator

Der HoloLens Emulator erlaubt es dem Nutzer, die Applikation auf einer virtuellen Maschine laufen zu lassen, ohne eine physische HoloLens zu haben. Die Eindrücke der Umgebung, die die HoloLens normalerweise über die Sensoren aufnimmt, können hier durch Maus, Tastatur oder Xbox Controller simuliert werden.

4.2 Augmented Books

Das Konzept der Augmented Books basiert darauf, dass der Text in Lehrbüchern der Chemie durch zusätzliche Marker ergänzt wird, die zur Anzeige von Molekül-Modellen dienen. Sobald die HoloLens den Marker registriert, wird das 3D-Modell des Moleküls über dem Marker angezeigt.

Elementar wichtig für diese Funktionalität sind die 3D-Modelle, welche in Cinema4D erstellt wurden. Für den Prototypen wurden 3D-Modelle für Wasser-, Ethanol- und Schwefelsäure-Moleküle erstellt. Die Atome werden dargestellt durch sich in Farbe und Größe unterscheidende Kugeln, wie in Abbildung 4.1 zu sehen. Diese Kugeln sind unter Berücksichtigung des korrek-

⁶<https://www.visualstudio.com/de/> (07.01.2018)

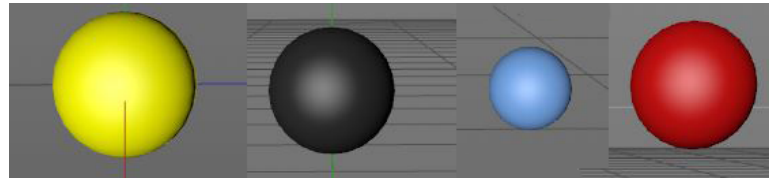


Abbildung 4.1: Atome in Cinema4D

ten Molekülaufbaus mit Zylindern verbunden, um das Molekül passend zu den allgemeinen Definitionen eines realitätsgetreuen Aufbaus darzustellen. Abbildung 4.2 zeigt das Ergebnis der Erstellung der 3D-Modelle in Cinema4D.

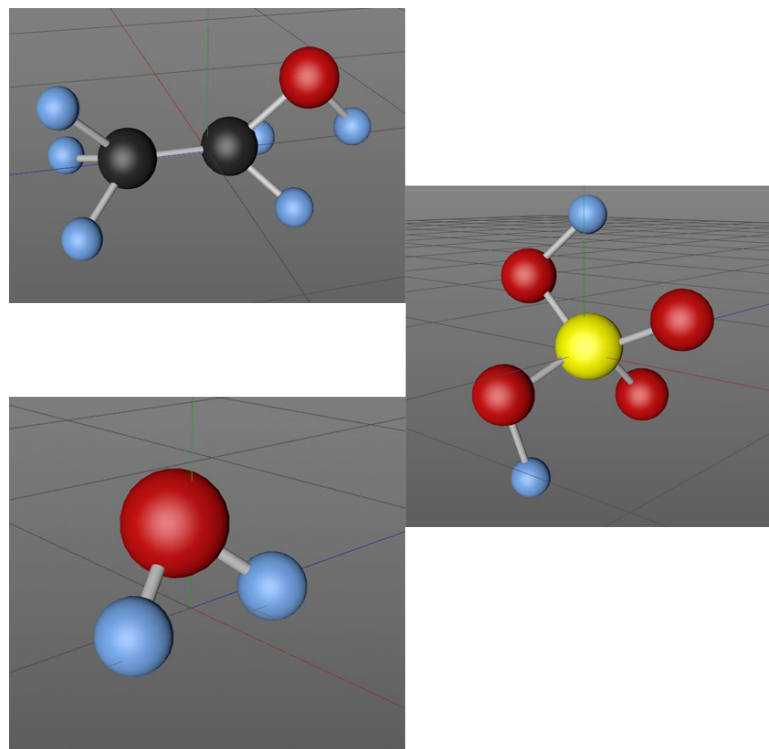


Abbildung 4.2: Fertige Moleküle in Cinema4D

4.2.1 Marker

Zur Registrierung eines Markers in Unity, wird als erstes eine Marker Datenbank benötigt. Im Developer Portal von Vuforia⁷ kann diese angelegt werden. Bei einem ersten Versuch die

⁷<https://developer.vuforia.com>

Summenformeln der Moleküle als Marker zu benutzen, war das damit erreichte Tracking sehr schlecht. Dies liegt an der Qualität der Marker. In Abbildung 4.3 sind die Einträge der Summenformel-Marker in der Datenbank von Vuforia zu sehen.




<input type="checkbox"/> Target Name	Type	Rating	Status ▾	Date Modified
<input type="checkbox"/>  schwefelsaeure	Single Image	★★★★★	Active	Oct 03, 2017 16:10
<input type="checkbox"/>  ethanol	Single Image	★★★★★	Active	Oct 03, 2017 16:07
<input type="checkbox"/>  wasser	Single Image	★★★☆☆	Active	Oct 03, 2017 16:07

Abbildung 4.3: Summenformeln als Marker in der Datenbank von Vuforia

Die Qualität der Marker wird von Vuforia mit einem Rating mit bis zu fünf Sternen festgelegt. Wie in Abbildung 4.3 zu erkennen, sind die Summenformeln keine perfekten Marker, insbesondere die simple Summenformel von Wasser hat nur zwei Sterne, wodurch das Tracking erheblich unsauberer wird. Vuforia nennt als wichtige Eigenschaften eines guten Markers⁸ folgende Punkte:

- Reich an Details
- Hoher Kontrast
- Keine repetitiven Muster

Die Summenformeln sind für diesen Zweck also aufgrund der Einfachheit, des geringen Detailgrads und des geringen Kontrasts nicht gut geeignet.

Daher wurden die benötigten hochwertigen Marker auf der Internetseite <http://www.brosvision.com/ar-marker-generator/> generiert und um die Summenformel des zugehörigen Moleküls ergänzt, um die Zugehörigkeit des Markers im Lehrbuch zu erleichtern. Abbildung 4.4 zeigt die erstellten Marker für den Prototypen.

Diese Marker haben nun das gewünschte 5-Sterne-Rating.

4.2.2 Skripte

Der Anwendungsfall der Augmented Books sieht vor, dass die Schüler zu Hause oder im Unterricht an ihrem Arbeitsplatz sitzen und durch die HoloLens virtuelle Ergänzungen zu den gelesenen Lehrtexten erhalten. Für diesen Prozess wäre es hinderlich, wenn die Schüler ständig

⁸<https://library.vuforia.com/articles/Solution/Optimizing-Target-Detection-and-Tracking-Stability.html>

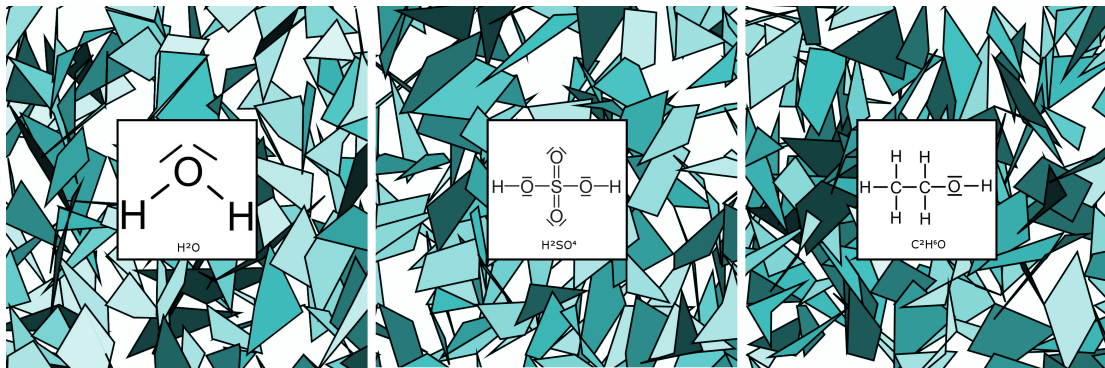


Abbildung 4.4: Verbesserte Marker mit Summenformel als Wiedererkennungsmerkmal

<input type="checkbox"/> Target Name	Type	Rating	Status ▾	Date Modified
<input type="checkbox"/>  c2h6o_close	Single Image	★★★★★	Active	Oct 31, 2017 14:31

Abbildung 4.5: 5-Sterne-Rating der verbesserten Marker

aufstehen müssten und um das Objekt herumgehen müssten, um es vernünftig betrachten zu können.

Im ersten Schritt wurden die Objekte in Unity mit dem Skript “ResizeBehaviour“ versehen, welches es ermöglicht, dass die Objekte mit der AirTap Geste vergrößert oder verkleinert werden können. Für diesen Zweck wurde das Interface “IManipulationHandler“ aus dem HoloToolkit implementiert, welches den Umgang mit den Gesten der HoloLens ermöglicht. Indem das Objekt angeklickt und dann nach rechts gezogen wird, vergrößert es sich und wenn nach links gezogen wird, verkleinert es sich wieder. So ist eine detailreichere oder -ärmere Betrachtung möglich, ohne den physischen Abstand zum Marker zu verändern.

Auf ähnliche Art und Weise könnte eine Rotation der Modelle erfolgen. Ein Umschalten zwischen den Modi für Skalierung und Rotation könnte beispielsweise durch Sprachbefehle oder virtuelle Buttons realisiert werden, für diesen Prototypen wurde jedoch mit dem “RotationBehaviour“ Skript eine statische langsame Rotation vorgegeben, die der Nutzer nicht beeinflussen kann.

Die in diesem Anwendungsfall umgesetzten Modelle von Molekülen wurden zur Förderung des Lernerfolgs mit Beschriftungen der Atome versehen. Diese Beschriftung wird ebenfalls statisch mitgedreht.

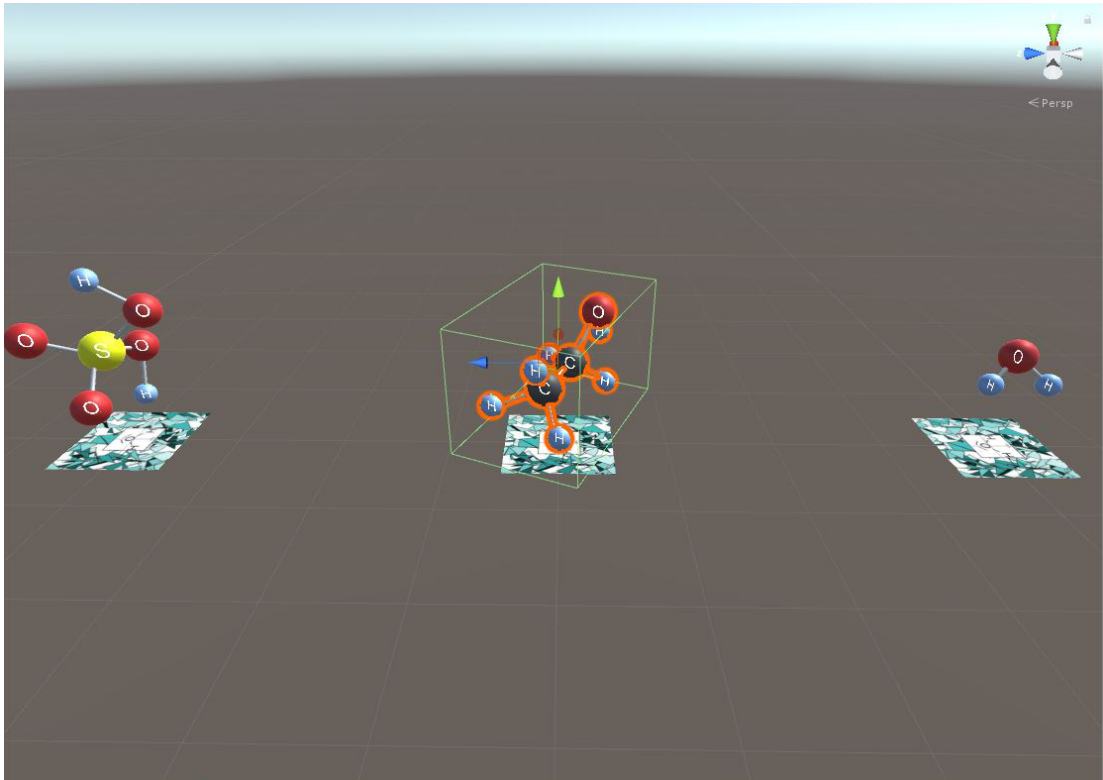


Abbildung 4.6: Fertige Szene in Unity 3D

Abbildung 4.6 zeigt die aus den vorher beschriebenen Schritten resultierende fertige Szene in Unity 3D.

Das ausgewählte Ethanol-Element in der Mitte ist umgeben von einer grünen Box, dem so genannten Box Collider. Diese Komponente ermöglicht es, dass Gesten auf dem Modell genutzt werden können.

Abbildung 4.7 zeigt den Inspector des GameObjects, in dem auch die Geschwindigkeit und der Skalierungsfaktor für die oben beschriebenen Skripte angegeben werden kann.

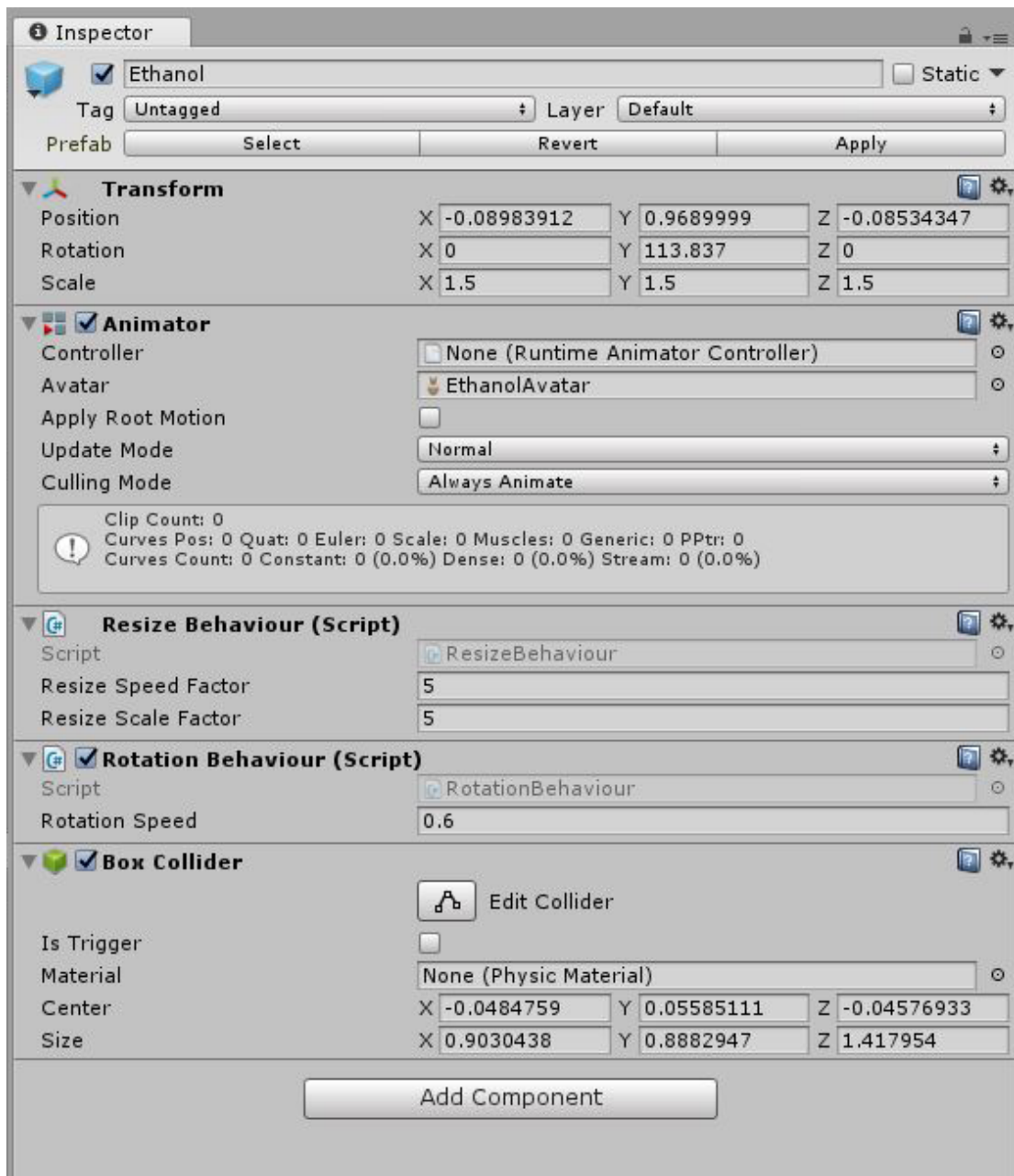


Abbildung 4.7: Inspektor des Ethanol-Modells der Szene in Unity 3D

4.3 Augmented Music

Die Idee von Augmented Music ist, dass die Noten auf dem Notenblatt erkannt werden und durch die jeweilige Bezeichnung ergänzt werden. Die Erkennung von einzelnen Noten erweist

sich allerdings als unpraktikabel, da wie vorangegangen beschrieben die Marker eine gewisse Qualität haben müssen, um ein gutes Tracking zu ermöglichen. Eine einzelne Note als Image Target zu benutzen ist unmöglich, da diese über viel zu wenig Details verfügt, um gut erkennbar zu sein. Abbildung 4.8 zeigt, dass eine einzelne Achtel-Note nur ein Rating mit einem Stern erhält, was zu einem äußerst schlechten Tracking führen würde.


<input type="checkbox"/> Target Name	Type	Rating	Status ▾	Date Modified
<input type="checkbox"/>  AchtelNote	Single Image	★☆☆☆☆	Active	Dec 08, 2017 00:35

Abbildung 4.8: Das Rating einer einzelnen Note

Als nächste Ebene wurde dann ein gesamtes Notenblatt als Image Target genutzt, doch auch dieser Marker erzielte nur ein vier Sterne Rating.

<input type="checkbox"/> Target Name	Type	Rating	Status ▾	Date Modified
<input type="checkbox"/>  elise	Single Image	★★★★☆	Active	Dec 18, 2017 11:02

Abbildung 4.9: Das Notenblatt von “Für Elise“ erhält als Image Target ein Rating von vier Sternen

Für ein vernünftiges Tracking würde dieses Rating ausreichen, aber um eine einheitliche Möglichkeit auch für weniger komplexe Lieder zu schaffen, wurde das Notenblatt um einen QR-Code in der oberen rechten Ecke erweitert (siehe Abbildung 4.10). Dieses erhält dann das gewünschte fünf Sterne Rating, unabhängig davon, ob es sich um ein komplexes Notenblatt wie “Für Elise“ handelt, oder um ein simples wie “Alle meine Entchen“.



The image shows a musical score for 'Für Elise' in 3/4 time, marked 'Poco moto' and 'p'. The score is presented in two systems. The first system contains the first five measures, and the second system starts with a measure number '5' and contains the next five measures. In the top right corner of the score area, there is a square QR code.

Abbildung 4.10: Notenblatt mit QR-Code

4 Entwicklung des Prototypen



<input type="checkbox"/> Target Name	Type	Rating	Status ▾	Date Modified
<input type="checkbox"/>  FuerElise	Single Image	★★★★★	Active	Dec 07, 2017 13:32
<input type="checkbox"/>  entchen	Single Image	★★★★★	Active	Dec 08, 2017 00:35

Abbildung 4.11: Mit dem eingefügten QR-Code erhält das Notenblatt von “Für Elise“ das gewünschte Rating von fünf Sternen. Auch weniger komplexe Notenblätter wie “Alle meine Entchen“ erhalten mit einem ergänzten QR-Code ein fünf Sterne Rating.

Für die Animation der zu spielenden Tasten wird eine Klaviatur benötigt. Da auch diese sich nicht als ImageTarget eignet, wurde hier auf einen ähnlichen Marker wie für Augmented Books zurückgegriffen. Die Anordnung der Klaviatur in Relation zu diesem Marker in Unity ermöglicht es, die Animation auf der Klaviatur abzuspielen, obwohl diese nicht der eigentliche Marker ist. Dafür muss der Marker immer rechts neben der Klaviatur liegen. Da die Tastenbreite einer Klaviatur genormt ist, funktioniert dies mit jeder regulären Klaviatur. [Abbildung 4.12](#) zeigt den Aufbau der Szene und die Relation von Klaviatur und Marker. Ebenso sieht man in der Abbildung die ergänzten Bezeichnungen der Noten auf den ausgewählten Notenblättern und einen Einblick in die Animation von Für Elise, die blaue Markierung gibt an, welche Taste mit der linken Hand gespielt werden soll und die rote welche Taste mit der rechten Hand gespielt werden soll.

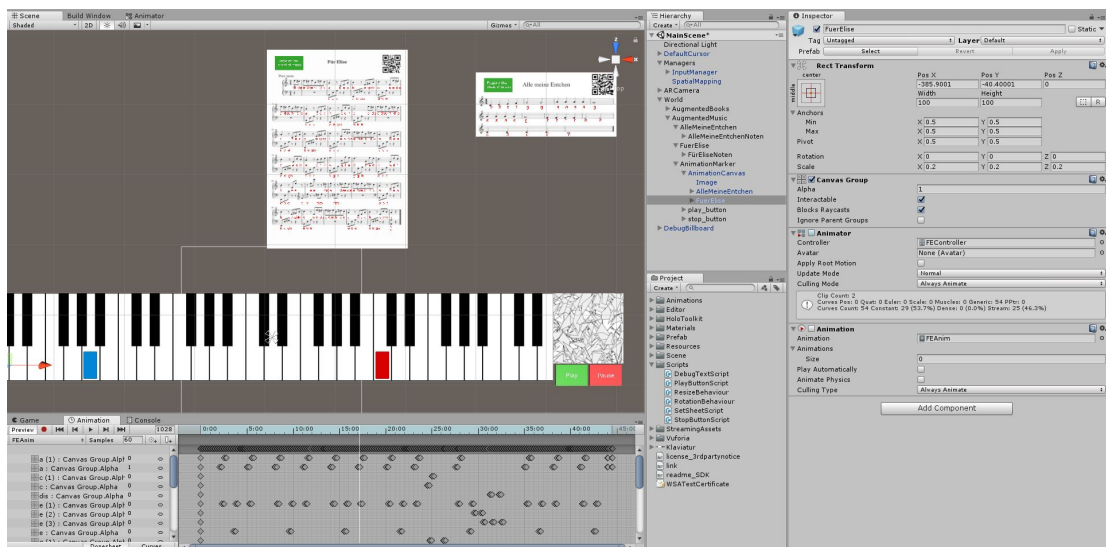


Abbildung 4.12: Augmented Music Szene in Unity

4.3.1 Skripte

Für die Funktionalität wurden die ImageTargets mit virtuellen Buttons versehen. Wie in Abbildung 4.12 zu sehen, haben die Notenblätter oben links einen Button mit der Aufschrift "Register this sheet of music" und der Marker für die Animation neben der Klaviatur hat einen "Play" und einen "Pause" Button.

Die Notenblätter werden in Unity mit dem Skript "SetSheetScript" versehen, welches das gewählte Notenblatt bei dem ImageTarget für die Animation registriert. Wenn nun der "Play"- oder "Pause"-Button gedrückt wird, sorgen die Skripte "PlayButtonScript" und "StopButtonScript" dafür, dass die richtige Animation zu dem registrierten Notenblatt abgespielt bzw. pausiert wird.

4.4 Bereitstellen der Applikation auf der HoloLens

Nachdem das so erstellte Projekt in Unity fertiggestellt wurde, wird mit dem Mixed Reality Toolkit von Microsoft ein Visual Studio Projekt erstellt. In Visual Studio kann daraufhin die Applikation auf der HoloLens oder dem Emulator bereitgestellt werden. Dafür ist eine einmalige Konfiguration nötig, um die HoloLens als Endgerät zu registrieren.

5 Evaluation

Der Nutzen von Augmented Reality in der Bildung ist ein vielfach behandeltes Thema und meist ist das Ergebnis ähnlich: Eine gut abgestimmte AR-Anwendung kann in den richtigen Bereichen den Lerneffekt stark fördern.

Der Großteil der wissenschaftlichen Artikel befasst sich jedoch mit einer theoretischen Abhandlung des Themas und es existieren nur wenige Prototypen (siehe 2.5). Der im Rahmen dieser Ausarbeitung beschriebene Prototyp soll beispielhaft für eine mögliche Anwendung von AR in der Bildung stehen und das Wissen bereits vorhandener Arbeiten bündeln und auf einem technisch aktuellen Gerät wie der HoloLens präsentieren.

5.1 Chancen und Möglichkeiten

Im Rahmen dieser Ausarbeitung wurden zwei unterschiedliche Bereiche der Bildung prototypisch behandelt. Diese Bereiche sind gesondert zu evaluieren.

Der Anwendungsfall der Augmented Books wurde bereits von **Billinghurst und Duenser** aufgegriffen und beschrieben. Der Erfolg von angepassten AR Anwendungen zur Unterstützung des Lernprozesses wurde insbesondere im Zusammenhang mit herkömmlichen textbasierten Lehrmethoden bestätigt. Diese Schlussfolgerung ist gut nachvollziehbar. Während die Schüler den Inhalt in der gewohnten Umgebung mit einem Lehrbuch lernen, bietet eine AR Anwendung an den richtigen Stellen die nötigen Ergänzungen, um schwer vorstellbare Vorgänge schnell und unkompliziert zu verinnerlichen.

Der entwickelte Prototyp bietet eine Möglichkeit, wie dies realisiert werden könnte. Moleküle sind ein einfaches Beispiel für schwer vorstellbare Lerninhalte, da sie aufgrund ihrer geringen Größe für das bloße Auge nicht sichtbar sind. Während der Prototyp sich auf die Interaktion mit einzelnen Molekülen beschränkt, wäre es perspektivisch möglich, einen animierten Molekülkomplex darzustellen. Chemische Reaktionen auf Molekülebene würden dem Schüler so visuell verständlich nähergebracht.

Die Microsoft HoloLens bietet den aktuellen Stand der Technik im Bereich Mixed Reality und ermöglicht es dem Nutzer ohne Einschränkung durch Kabel und mit freien Händen mit den

virtuellen Elementen zu interagieren. Die Sensoren der HoloLens ermöglichen ein äußerst reales Empfinden der virtuellen Ergänzungen. Die Möglichkeit des Zugriffs durch mehrere Geräte auf den selben Arbeitsraum bietet zusätzlich eine Förderung der sozialen Interaktionen und von gemeinsamen Erklären und Verstehen von komplexen Lerninhalten.

Augmented Music stellt ein weiteres Beispiel für die Anwendungsmöglichkeiten von AR in der Bildung dar. Hierbei wird hervorgehoben, dass AR nicht nur während des Unterrichts unterstützen kann, sondern auch zu Hause oder an einem anderen Ort. Somit wird die Bildung und der Arbeitsplatz nicht auf die Schule beschränkt.

Die Ergänzung des Notenblatts durch die Bezeichnungen der Noten und die Ergänzung der Klaviatur durch das Hervorheben der zu spielenden Tasten hat der Nutzer schnell die Möglichkeit, Erfolge zu erzielen, ohne die trockene Theorie zuerst perfekt zu beherrschen. Ein stetiges Wiederholen der Noten und deren Verknüpfung mit den zu spielenden Tasten sorgt für das Einprägen des Lerninhaltes, während gleichzeitig Ergebnisse hervorgebracht werden. Dadurch wird die Motivation aufrecht erhalten.

5.2 Hindernisse und Grenzen

Während der Implementierung des Prototypen traten schnell einige Hindernisse und Grenzen auf, die durch die relative Neuheit des Gebiets der AR bedingt werden.

Zum Einen befindet sich die HoloLens noch im Stadium der Developers Edition und ist noch nicht marktreif. Das Sichtfenster ist mit 30° stark eingeschränkt und bei der Vergrößerung der Moleküle aus Augmented Books wirken so sehr schnell Teile des Modells abgeschnitten und der Nutzer muss viel hin- und hergucken, um das gesamte Modell zu sehen. Das Display wirkt so nur wie ein Fenster zur virtuellen Welt.

Auch andere technische Aspekte, die relativ jung sind, bilden aktuelle Schwachstellen. So ist die Markererkennung mit Vuforia zum Beispiel an klare Vorgaben gebunden und nur eine eigens entwickelte Bildererkennung würde eine Individualisierung ermöglichen.

Während diese Hindernisse nur durch den aktuellen technischen Stand hervorgerufen werden und sich schnell ändern können, bildet die soziale Akzeptanz ein größeres Hindernis, welches nur langsam durch einen demografischen Wandel schwinden könnte. Eine sichere Voraussage für einen positiven Wandel zu einer größeren Akzeptanz für Geräte wie die HoloLens, die ständig eine Kamera auf alles richten was der Nutzer sieht, ist jedoch unmöglich.

Datenschutz und Sicherung der Privatsphäre stellt für viele Menschen einen wichtigen Teil des alltäglichen Lebens dar und solche neuartigen Geräte, die eine potentielle Gefahr der Überwachung darstellen könnten, werden mit großer Skepsis betrachtet.

Jedoch verfügt im Jahr 2017 laut einer Umfrage des deutschen Online-Portals für Statistiken Statista 97% der Jugendlichen über ein Handy oder Smartphone¹ und die aktuellen Smartphones sind spätestens seit ARKit von Apple und ARCore von Google ein mächtiges Werkzeug zu Anzeige von AR Anwendungen. Obwohl die Nutzung der Hände nun durch das Festhalten des Geräts eingeschränkt ist, ist die Nutzung eines Smartphones sozial akzeptiert und absolut selbstverständlich. Eine AR Anwendung wie der entwickelte Prototyp funktionieren ebenfalls sehr gut auf einem Smartphone und bieten somit ebenfalls eine von Peripheriegeräten unabhängige Unterstützung des Lernerfolgs.

¹<https://www.statista.com/statistik/daten/studie/589577/umfrage/smartphone-besitz-von-jugendlichen-in-deutschlandnach-altersgruppe/> (09.01.2018)

6 Ausblick

Der entwickelte Prototyp bildet nur einen sehr kleinen Einblick in die Welt der Möglichkeiten, die durch den Einsatz von Augmented Reality in der Bildung entstehen. Das Prinzip der Augmented Books ist vielseitig erweiterbar, beinahe jedes Textbuch kann durch den sinnvollen Einsatz von virtuellen 3D-Modellen ergänzt werden und ein schnelleres Verständnis der Schüler fördern. Beispielsweise Animierte Prozesse auf molekularer Ebene oder ein virtuelles Modell von Erdplattenverschiebungen könnten es den Schülern ermöglichen, bisher unvorstellbare Vorgänge nun zum Greifen nah mitzuerleben und untereinander darüber zu diskutieren.

Auch in anderen Lernbereichen, wie der Musik, kann eine Weiterentwicklung des Prototypen eine sinnvolle Erweiterung bieten und die Verknüpfung von Theorie und Praxis im Gehirn beschleunigen.

Wie in Kapitel 3 beschrieben, gibt es zahlreiche weitere Ideen für den Nutzen, den AR in der Bildung bieten kann. So könnte ein virtueller Globus den Erdkunde- oder den Geschichtsunterricht auf interaktive Art und Weise bereichern und die Virtualisierung von Versuchen spart Materialkosten und ermöglicht es den Lehrern, auch gefährliche Versuche live vorzuführen zu können.

Zusätzlich haben visuelle Lernmethoden den positiven Effekt, den Schülern eine optisch ansprechende Abwechslung zu reinem Textunterricht zu bieten und die Schüler behalten spielerisch den Spaß am Lernen.

Trotz der vielseitigen Möglichkeiten von AR als positiver Einfluss auf die Bildung zum Einsatz zu kommen, gibt es doch noch einige Hindernisse für dieses relativ junge Wissensfeld. AR befindet sich noch im Entwicklungsstadium und es gibt keine Erfahrungen zu den besten Vorgehensweisen. Anwendungen müssen erst noch entwickelt und weiterentwickelt werden und es fehlen Langzeitstudien über den dauerhaften Einsatz von AR in den meisten Bereichen wie zum Beispiel der Bildung. Durch die Neuheit von AR und dem daraus resultierenden niedrigen allgemeinen Bekanntheitsgrad herrscht eine gewisse soziale Skepsis vor, die nur mit der Zeit und mit immer neuen technologischen Entwicklungen schwinden wird.

Schlussendlich hat Augmented Reality großes Potential für einen dauerhaften Einsatz in Bildungseinrichtungen zur Förderung von Lernprozessen, allerdings benötigt es dafür noch einiges an Forschung und Weiterentwicklung, damit eine beständige technologische Basis für einheitliche AR Lernsysteme geschaffen werden kann, die sozial akzeptiert werden.

Literaturverzeichnis

- [Azuma 1993] AZUMA, Ronald: Tracking requirements for augmented reality. In: *Communications of the ACM* 36 (1993), Nr. 7, S. 50–51
- [Azuma 1995] AZUMA, Ronald T.: *Predictive Tracking for Augmented Reality*, University of North Carolina - Chapel Hill, Dissertation, 1995
- [Azuma 1997] AZUMA, Ronald T.: A survey of augmented reality. In: *Presence: Teleoperators and virtual environments* 6 (1997), Nr. 4, S. 355–385
- [Billinghurst 2002] BILLINGHURST, Mark: Augmented reality in education. In: *New horizons for learning* 12 (2002)
- [Billinghurst u. a.] BILLINGHURST, Mark ; CLARK, Adrian ; LEE, Gun: A Survey of Augmented Reality. 8, Nr. 2, S. 73–272. – ISSN 1551-3955, 1551-3963
- [Billinghurst und Duenser] BILLINGHURST, Mark ; DUENSER, Andreas: Augmented Reality in the Classroom. 45, Nr. 7, S. 56–63. – URL <http://ieeexplore.ieee.org/document/6171143/>. – Zugriffsdatum: 2017-12-13. – ISSN 0018-9162
- [Billinghurst u. a. 2001] BILLINGHURST, Mark ; KATO, Hirokazu ; POUPYREV, Ivan: The MagicBook: a transitional AR interface. In: *Computers and Graphics* 25 (2001), Nr. 5, S. 745–753
- [Bimber und Frohlich 2002] BIMBER, O. ; FROHLICH, B.: Occlusion shadows: using projected light to generate realistic occlusion effects for view-dependent optical see-through displays, *IEEE Comput. Soc*, 2002, S. 186–319. – URL <http://ieeexplore.ieee.org/document/1115088/>. – Zugriffsdatum: 2017-11-24. – ISBN 978-0-7695-1781-0
- [Bloxham 2014] BLOXHAM, Judy: Augmented Reality Learning. In: *ITNow* 56 (2014), Nr. 3, S. 44–45
- [Burdea und Coiffet 2003] BURDEA, Grigore C. ; COIFFET, Philippe: *Virtual Reality Technology*. John Wiley & Sons, 2003. – Google-Books-ID: 0xWgPZbcz4AC. – ISBN 978-0-471-36089-6

- [Burdea Grigore und Coiffet 1994] BURDEA GRIGORE, C ; COIFFET, P: *Virtual reality technology*. London: Wiley-Interscience, 1994
- [Chiu u. a. 2015] CHIU, Jennifer L. ; DEJAEGHER, Crystal J. ; CHAO, Jie: The effects of augmented virtual science laboratories on middle school students' understanding of gas properties. In: *Computers & Education* 85 (2015), S. 59–73
- [Comport u. a. 2006] COMPORT, Andrew I. ; MARCHAND, Eric ; PRESSIGOUT, Muriel ; CHAUMETTE, Francois: Real-time markerless tracking for augmented reality: the virtual visual servoing framework. In: *IEEE Transactions on visualization and computer graphics* 12 (2006), Nr. 4, S. 615–628
- [Ćuković u. a. 2016] ĆUKOVIĆ, Saša ; GATTULLO, Michele ; PANKRATZ, Frieder ; DEVEDŽIĆ, Goran ; CARRABBA, Ernesto ; BAIZID, Khelifa: Marker based vs. natural feature tracking augmented reality visualization of the 3D foot phantom. In: *Electrical and Bio-medical Engineering, Clean Energy and Green Computing* 1 (2016), Nr. 1, S. 8
- [Duh und Klopfer 2013] DUH, Henry B. ; KLOPFER, Eric: Augmented reality learning. In: *Computers Education* 68 (2013), Nr. C, S. 534–535
- [Fischler und Bolles 1981] FISCHLER, Martin A. ; BOLLES, Robert C.: Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography. In: *Communications of the ACM* 24 (1981), Nr. 6, S. 381–395
- [Fritz u. a. 2005] FRITZ, F ; SUSPERREGUI, A ; LINAZA, Maria T.: Enhancing cultural tourism experiences with augmented reality technologies 6th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage (VAST) (Veranst.), 2005
- [H Behzadan u. a.] H BEHZADAN, Amir ; VASSIGH, Shahin ; MOSTAFAVI, Ali: *Teaching millennials with augmented reality: cases from the U.S. education system*. Bd. 7. – DOI: 10.20396/parc.v7i4.8649284
- [Harrington und Vallino 2002] HARRINGTON, Steven J. ; VALLINO, James R.: *Augmented-reality display method and system*. 2002. – US Patent 6,408,257
- [Huebener und Marcus 2015] HUEBENER, Mathias ; MARCUS, Jan: Empirische Befunde zu Auswirkungen der G8-Schulzeitverkuerzung. (2015)
- [Kato und Billinghurst 1999] KATO, Hirokazu ; BILLINGHURST, Mark: 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 IEEE* (Veranst.), 1999, S. 85–94
- [Kesim und Ozarslan 2012] KESIM, Mehmet ; OZARSLAN, Yasin: Augmented reality in education: current technologies and the potential for education. In: *Procedia-Social and Behavioral Sciences* 47 (2012), S. 297–302
- [Kim u. a. 2014] KIM, Sung L. ; SUK, Hae J. ; KANG, Jeong H. ; JUNG, Jun M. ; LAINE, Teemu H. ; WESTLIN, Joonas: Using Unity 3D to facilitate mobile augmented reality game development. In: *2014 IEEE World Forum on Internet of Things (WF-IoT)*, 2014
- [Milgram u.a. 1995] MILGRAM, Paul ; TAKEMURA, Haruo ; UTSUMI, Aki-
ra ; KISHINO, Fumio: Augmented reality: a class of displays on the
reality-virtuality continuum, International Society for Optics and Photo-
nics, 1995, S. 282–293. – URL <https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/2351/0000/Augmented-reality--a-class-of-displays-on-the-reality/10.1117/12.197321.short>. – Zugriffsdatum: 2017-11-27
- [Mori 1970] MORI, Masahiro: The uncanny valley. In: *Energy* 7 (1970), Nr. 4, S. 33–35
- [Papagiannakis u. a. 2008] PAPAGIANNAKIS, George ; SINGH, Gurminder ; MAGNENAT-
THALMANN, Nadia: A survey of mobile and wireless technologies for augmented reality
systems. In: *Computer Animation and Virtual Worlds* 19 (2008), Nr. 1, S. 3–22
- [Santos u. a. 2014] SANTOS, Marc Ericson C. ; CHEN, Angie ; TAKETOMI, Takafumi ; YAMAMOTO,
Goshiro ; MIYAZAKI, Jun ; KATO, Hirokazu: Augmented reality learning experiences: Survey
of prototype design and evaluation. In: *IEEE Transactions on learning technologies* 7 (2014),
Nr. 1, S. 38–56
- [Tamim u. a.] TAMIM, R. M. ; BERNARD, R. M. ; BOROKHOVSKI, E. ; ABRAMI, P. C. ; SCHMID,
R. F.: What Forty Years of Research Says About the Impact of Technology on Learning:
A Second-Order Meta-Analysis and Validation Study. 81, Nr. 1, S. 4–28. – URL <http://rer.sagepub.com/cgi/doi/10.3102/0034654310393361>. – Zugriffs-
datum: 2017-12-13. – ISSN 0034-6543, 1935-1046
- [Van Krevelen und Poelman 2010] VAN KREVELEN, DWF ; POELMAN, Ronald: A survey of
augmented reality technologies, applications and limitations. In: *International Journal of
Virtual Reality* 9 (2010), Nr. 2, S. 1

- [Vassigh u. a. 2016] VASSIGH, Shahin ; ELIAS, Albert ; ORTEGA, Francisco R. ; DAVIS, Debra ; GALLARDO, Giovanna ; ALHAFFAR, Hadi ; BORGES, Lukas ; BERNAL, Jonathan ; RISHE, Naphtali D.: Integrating Building Information Modeling with Augmented Reality for Interdisciplinary Learning. In: *Mixed and Augmented Reality (ISMAR-Adjunct), 2016 IEEE International Symposium on IEEE* (Veranst.), 2016, S. 260–261
- [Wagner und Schmalstieg 2003] WAGNER, Daniel ; SCHMALSTIEG, Dieter: *First steps towards handheld augmented reality*. IEEE, 2003
- [Wu u. a. 2013] WU, Hsin-Kai ; LEE, Silvia Wen-Yu ; CHANG, Hsin-Yi ; LIANG, Jyh-Chong: Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education. In: *Computers Education* 62 (2013), S. 41–49
- [Wu u. a. 2017] WU, Yishi ; CHEN, Chao P. ; ZHOU, Lei ; LI, Yang ; YU, Bing ; JIN, Huayi: Near-eye display for vision correction with large FOV. In: *SID Display Week (2017)*, S. 767–770
- [Zekavat und Buehrer 2011] ZEKAVAT, Reza ; BUEHRER, R M.: *Handbook of position location: Theory, practice and advances*. Bd. 27. John Wiley & Sons, 2011
- [Zhou u. a. 2008] ZHOU, Feng ; DUH, Henry Been-Lirn ; BILLINGHURST, Mark: Trends in augmented reality tracking, interaction and display: A review of ten years of ISMAR. In: *Proceedings of the 7th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality* IEEE Computer Society (Veranst.), 2008, S. 193–202

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

Hamburg, 12.01.2018 Julia Nissen