

ARGeometrie

Verwendung von Augmented Reality zur Unterstützung des
Geometrisches Zeichnen Unterrichts

Masterarbeit

Ausgeführt zum Zweck der Erlangung des akademischen Grades
Dipl.-Ing. für technisch-wissenschaftliche Berufe

am Masterstudiengang Interactive Technologies an der Fachhochschule
St. Pölten, **Masterklasse Augmented und Virtual Reality**

von:

Andrea Schwarzbauer, BEng

it181506

Betreuer*in: FH-Prof. Dipl. Ing. Dr. Peter Judmaier

Zweitbetreuer*in: FH-Prof. Dipl.-Ing. (FH) Matthias Husinsky

Wien, 18.05.2020

Ehrenwörtliche Erklärung

Ich versichere, dass

- ich diese Arbeit selbständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfe bedient habe.

- ich dieses Thema bisher weder im Inland noch im Ausland einem Begutachter/einer Begutachterin zur Beurteilung oder in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe.

Diese Arbeit stimmt mit der vom Begutachter bzw. der Begutachterin beurteilten Arbeit überein.

Wien, 18.05.2020

Ort, Datum



.....

Unterschrift

Kurzfassung

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Verwendung von Augmented Reality im Schulunterricht. Sie erklärt kurz die Technologie hinter Augmented Reality und deren Gesichte. Und gibt einen Einblick wie es im Schulunterricht verwendet werden kann. Ebenso werden die Vorteile, die die Verwendung von Augmented Reality im Schulunterricht mit sich bringt, aufgezeigt.

Das Hauptaugenmerk der Arbeit liegt jedoch im Geometrisches Zeichnen Unterricht und der Möglichkeit von Augmented Reality die Raumvorstellung zu verbessern. Im Zuge dessen wurde eine Anwendung entwickelt, die den Geometrisches Zeichnen Unterricht unterstützt. Die Anwendung wird ab September 2020 in einer Schule getestet und soll dann auch für weitere Schulen verfügbar sein.

Abstract

This thesis is about Augmented Reality and how it can be used in an educational setting. It gives a short insight behind the technology of Augmented Reality and its history. Then it discusses the possibilities of Augmented Reality in an educational setting, specifically for schools. It also shows the advantages Augmented Reality can bring if used for teaching.

However, the focus of this thesis is the usage of Augmented Reality in Geometry, especially in “Geometrisch Zeichnen” classes. It also discusses if it is possible to improve spatial abilities with the help of Augmented Reality. As part of the thesis an application was developed that aids the “Geometrisches Zeichnen” class. The application will be tested starting September 2020 and will then become available for teachers and schools.

Inhaltsverzeichnis

Ehrenwörtliche Erklärung	II
Kurzfassung	III
Abstract	IV
Inhaltsverzeichnis	V
1 Einleitung	7
2 Augmented Reality	10
2.1 Definition	10
2.2 Geschichte	12
2.3 Tracking und Display Technik	13
3 Verwendung von Augmented Reality im Schulunterricht	16
3.1 Augmented Reality Anwendungen für den Unterricht	17
3.2 Voraussetzungen zur Verwendung von Augmented Reality im Schulunterricht	18
3.3 Pädagogische Methoden	20
3.4 Vor- und Nachteile bei der Verwendung von Augmented Reality	23
4 Anwendungsmöglichkeiten von Augmented Reality im Geometrie Unterricht	26
4.1 Geometrieunterricht in Österreich	26
4.2 Raumvorstellung	27
4.2.1 Raumvorstellung trainieren	28
4.3 Verbesserung der Raumvorstellung durch Augmented Reality	29
4.4 Zusammenfassung	32
5 Auswertung der Expertinnen und Experten Befragung zur Verwendung von Augmented Reality im Schulunterricht	36
6 AR Anwendungen erstellen	38
6.1 3D Modelle	39
6.2 Game Engines	40
6.3 Andere Editoren	42
6.3.1 PlayCanvas	42
6.3.2 ZapWorks	42
6.3.3 XR+	42
6.3.4 Areeka Studio	43
6.3.5 SparkAR	43

6.3.6	Amazon Sumerian	44
6.3.7	Augment	44
6.4	Zusammenfassung	44
7	ARGeometrie – Erstellung einer Applikation zur Unterstützung des Geometrisches Zeichnen Unterrichts	46
7.1	Erstellung der Applikation	46
7.1.1	Anforderungen	47
7.1.2	Umsetzung	47
7.1.3	Erfahrungssammlung	60
7.2	Unterrichtsplanung mit der Applikation	61
7.2.1	Stationenbetrieb	62
7.2.2	Übungsstunden	64
7.3	Test der Applikation	66
7.3.1	Raumvorstellungstests	68
7.3.2	Kognitive Belastungstest	69
7.3.3	Unterrichtsplanung für den Ablauf der Tests	70
7.3.4	Auswertung der Testergebnisse	73
7.4	Beurteilung der Applikation durch Expertinnen und Experten	74
7.4.1	Erwartete Ergebnisse	77
7.4.2	Erzielte Ergebnisse	75
8	Zukunftsblick	77
8.1	ARGeometrie – wie kann man die Applikation weiterentwickeln	78
8.2	Was benötigen Schulen um in Zukunft neue Technologien wie Augmented Reality einzusetzen?	79
9	Fazit	81
	Literaturverzeichnis	83
	Abbildungsverzeichnis	93
	Tabellenverzeichnis	94
	Listingverzeichnis	95
	Anhang 1 – Befragung von Lehrerinnen und Lehrern	96
	Anhang 2 – Expertinnen und Expertenbefragung zur Anwendung ARGeometrie	101
	Anhang 3 – Unterrichtsmaterialien für ARGeometrie	105
	Anhang 4 – NASA Task Load Index	122

1 Einleitung

„AR technology has matured to the point where it can be applied to a much wider range of application domains, and education is an area where this technology could be especially valuable.” (Billinghurst, 2002, S. 2)

Die Einsatzmöglichkeiten von Augmented Reality sind in den letzten Jahren stark gestiegen. Durch neue Technologien, die immer weiterentwickelt werden, ist mittlerweile Vieles möglich. Die Auswahl an Anwendungen am Markt ist ständig steigend, darunter finden sich auch einige Anwendungen, die für die Bildung und den Unterricht entwickelt wurden, wie zum Beispiel Google Expeditions („Google Expeditions“, o. J.). Letztendlich wird Augmented Reality im Unterricht aber noch sehr selten bis gar nicht verwendet. Im Zuge dieser Arbeit wurde eine Umfrage an Lehrerinnen und Lehrer gesendet, um herauszufinden woran dies liegt und welche Schwierigkeiten die Verwendung von Augmented Reality im Schulunterricht mit sich bringen kann. Ebenso werden pädagogische und didaktische Methoden erklärt, die es benötigt, um Augmented Reality im Unterricht zu verwenden.

Augmented Reality kann viele Vorteile mit sich bringen. So wurde zum Beispiel in einer Studie herausgefunden, dass Augmented Reality leseschwachen Kindern dabei helfen kann Geschichten besser zu verstehen (Dünser, 2008). In der Arbeit werden verschiedene Anwendungen erklärt, die es für die Verwendung im Unterricht gibt. Ebenso werden Studien näher betrachtet, die sich mit den Vorteilen der Verwendung von Augmented Reality im Schulunterricht beschäftigten.

Ebenso wird ein kurzer Überblick gegeben, wie es für Lehrkräfte auch ohne Vorwissen und ohne Programmierkenntnisse möglich ist selbst Augmented Reality Anwendungen zu erstellen. Hierfür werden verschiedene Editoren vorgestellt, die einen bei der Erstellung einer Augmented Reality Anwendung unterstützen.

Im Zuge der Arbeit wurde eine Augmented Reality Anwendung entwickelt, welche den Geometrisch Zeichnen Unterricht unterstützen kann. Geometrisch Zeichnen wird in der Sekundarstufe Eins im Realgymnasium im Ausmaß von zwei bis drei Wochenstunden, und in den neuen Mittelschulen (NMS) mit Naturwissenschaftlichen Schwerpunkt im Ausmaß von zwei Stunden in der vierten Klasse unterrichtet (vgl. *Bundesrecht konsolidiert: Gesamte Rechtsvorschrift für Lehrpläne – allgemeinbildende höhere Schulen*, 2020). Es wird die Vermutung aufgestellt, dass die Verwendung von Augmented Reality die Raumvorstellung

verbessern kann. Zuerst wird erklärt worum es sich bei der Raumvorstellung eigentlich handelt und in wie fern es möglich ist diese zu trainieren und zu verbessern. Aufgrund der Schulschließungen und der Umstellung auf Fernlehre durch die Gefährdung von Covid-19 war es leider nicht möglich im Zuge dieser Arbeit die Anwendung in Schulen zu testen. Um die Forschungsfrage, ob eine Verbesserung der Raumvorstellung durch Augmented Reality möglich ist, dennoch beantworten zu können wurde eine ausführliche Recherche durchgeführt. Im Zuge dieser wurden verschiedene Forschungsarbeiten aus dem In- und Ausland evaluiert, die sich bereits mit der Verwendung von Augmented Reality zur Verbesserung der Raumvorstellung beschäftigt haben. Um die Anwendung dennoch zu einem späteren Zeitpunkt zu testen werden hier auch die unterschiedlichen Methoden zur Überprüfung der Raumvorstellung vorgestellt und ein genauer Plan für den Testablauf beschrieben. Ebenso wurde die Anwendung an mehrere Expertinnen und Experten aus der Didaktik und der Geometrie gesendet, um einen Einblick zu erhalten wie gut sich die Anwendung letztendlich für den Unterricht eignet.

Damit die Anwendung im Unterricht verwendet werden kann, und die Lehrpersonen einen guten Überblick über die Anwendung bekommen können wurden zwei Unterrichtsplanungen erstellt. Diese Unterrichtsplanungen erläutern wie es möglich ist die Applikation im Unterricht zu benutzen.

Im Laufe dieser Arbeit werden durch verschiedene Methoden, wie Literaturrecherche und Befragungen die folgenden Forschungsfragen beantwortet.

Welche Voraussetzungen benötigt es um neue Technologien, wie Virtual und Augmented Reality an Schulen zu verwenden?

Welche Schwierigkeiten und Probleme treten bei der Verwendung von Augmented Reality in der Schule auf?

Wie werden neue Technologien wie Virtual und Augmented Reality bereits im Schulunterricht verwendet?

Kann der Einsatz einer Augmented Reality Anwendung zur Verbesserung des räumlichen Denkvermögens von Schülerinnen und Schülern beitragen?

Schlussendlich wirft die Arbeit auch einen kurzen Blick in die Zukunft. Es wird beschrieben wie die Anwendung noch verbessert werden könnte. Ebenso wird diskutiert welche Möglichkeiten es gibt, die Anwendung für Lehrerinnen und Lehrer möglichst einfach zugänglich zu machen. Anschließend gibt die Arbeit noch einen letzten Einblick in das allgemeine Schulsystem. Auf Basis der Ergebnisse einer, im Zuge dieser Arbeit durchgeführten, Umfrage unter Lehrerinnen und Lehrern

wird von mir überlegt welche Instrumente es an Schulen und für die Lehrkräfte benötigt um Augmented Reality vermehrt im Unterricht zu verwenden.

2 Augmented Reality

Augmented Reality bietet die Möglichkeit die reale Welt mit virtuellen Inhalten zu bereichern. Durch neue Software und Hardware, die das Erstellen und Darstellen von Augmented Reality Inhalten erleichtert, ist es mittlerweile auch für Menschen ohne Programmierkenntnisse möglich Anwendungen zu erstellen (vgl. Billinghurst, Clark, & Lee, 2015, S. 75). Einen Überblick welche Möglichkeiten es gibt selbst ohne Programmierkenntnisse und viel Vorwissen Augmented Reality Anwendungen zu erstellen gibt Kapitel 7.

In diesem Kapitel wird die Definition von Augmented Reality näher erklärt. Weiters gibt es einen kleinen Überblick über die Entstehungsgeschichte und Technik, die für Augmented Reality Anwendungen benötigt wird.

2.1 Definition

Milgram et al. erstellten 1994 das „Reality-Virtuality Continuum“ (siehe Abb. 1) und definierten damit den Begriff „Mixed Reality“. Bei Mixed Reality handelt es sich um das Verschmelzen von realen und virtuellen Welten. Das Reality-Virtuality Kontinuum zeigt auf wie virtuelle und reale Elemente unterschiedlich verbunden werden können (vgl. Milgram, Takemura, Utsumi, & Kishino, 1994, S. 283).

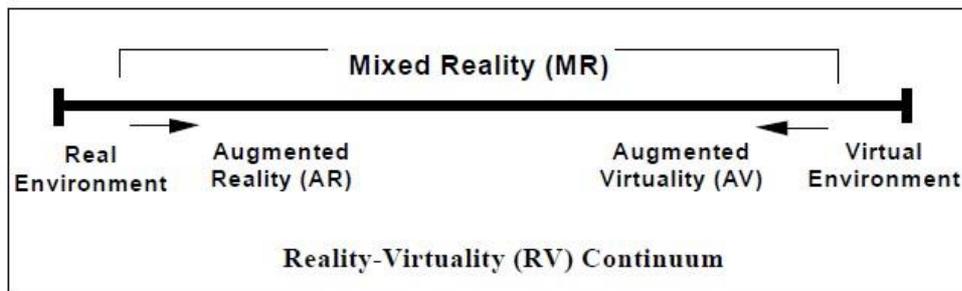


Abbildung 1: Reality-Virtuality Continuum nach Milgram (Milgram et al., 1994)

Links befindet sich die reale Umgebung, also Alles was wir ohne zusätzliche digitale Hilfsmittel wahrnehmen können. Augmented Reality erweitert diese Umgebung nun mit virtuellen und digitalen Inhalten, wie zum Beispiel dreidimensionalen Objekten oder Text der als Information dient. Je mehr virtuelle Inhalte in diese Umgebung eingefügt werden umso mehr bewegt man sich im Kontinuum nach rechts. In der Augmented Virtuality besteht das Sichtbare fast

ausschließlich aus virtuellen Inhalten, es ist aber immer noch ein gewisser Teil der realen Welt ersichtlich. Ganz rechts angekommen befindet man sich nun in einer virtuellen Umgebung, in der das Sichtbare komplett aus Computer generierten Inhalten besteht (vgl. Milgram et al., 1994, S. 283)

Im rechten Bereich des Kontinuums befindet man sich also in Virtual Reality. In Virtual Reality ist man durch ein Head Mounted Display komplett isoliert, der Computer und die reale „außen“ Welt sind für die Userin und den User nicht sichtbar. Ein Head Mounted Display ist ein Gerät, welches vorne einen oder zwei Bildschirme hat, über welchen einem Inhalte angezeigt werden können, und welches man am Kopf trägt. Der Hauptgedanke hinter Virtual Reality ist eine immersive Umgebung zu erzeugen und die Realität damit zu ersetzen. In Virtual Reality wird die Userin oder der User somit komplett in diese neue digitale Welt versetzt. Um ein möglichst reales Gefühl zu erschaffen ist bei Virtual Reality ein großes „Field of View“ (FOV = Sichtfeld) und die realitätsnahe Grafik sehr wichtig. Das FOV gibt an wie viel für die Userin oder den User sichtbar ist. Je höher dieser Wert ist, also je näher er dem natürlichen Sichtfeld des Menschen entspricht, desto immersiver wird die virtuelle Umgebung. Im Gegensatz dazu steht Augmented Reality, welche die reale Welt mit Interaktionen und digitalen Inhalten bereichert. Für Augmented Reality reicht oft schon ein sehr kleines FOV und simple Grafiken. Um in einer Augmented Reality Anwendung den Eindruck zu vermitteln, dass die digitalen Inhalte und dreidimensionalen Modelle in der realen Welt verankert und fixiert sind ist Tracking sehr wichtig, die hierfür verwendete und benötigte Technologie wird in Abschnitt 2.3 näher erklärt (vgl. Billinghurst et al., 2015, S. 79–80).

Nach Betrachtung des Reality-Virtuality Kontinuums und den Unterschieden zwischen Augmented und Virtual Reality wird bereits verständlicher wie Augmented Reality definiert ist. Eine genauere Definition gibt es von Azuma (vgl. Azuma, 1997, S. 2). Er definiert Augmented Reality nach den folgenden drei Charakteristiken:

1. Es kombiniert Reales und Virtuelles
2. Es ist in Echtzeit interaktiv
3. Es wird dreidimensional wahrgenommen

Aus diesen Charakteristika ist es nun auch besser möglich die technischen Voraussetzungen für Augmented Reality zu bestimmen. Man benötigt einen Bildschirm, um Reales und Virtuelles zu vereinigen und den digitalen Inhalt darzustellen. Ebenso braucht es ein Computer System, welches die verschiedenen Grafiken erzeugt und Interaktionen mit der jeweiligen Anwendung

ermöglicht. Letztendlich muss es auch eine Möglichkeit geben die Position der Userin oder des Users im Verhältnis zur realen Welt zu finden und zu verfolgen, um virtuelle Inhalte in der realen Welt zu verankern damit diese als dreidimensional wahrgenommen werden können(vgl. Billinghurst et al., 2015, S. 77).

2.2 Geschichte

„Over the last 50 years the technology has moved from being buried in Government and Academic research labs to the verge of widespread commercial acceptance.“ (vgl. Billinghurst et al., 2015, S. 102)

Dies haben wir vielen verschiedenen Forschungen und Arbeiten, um die Techniken von Augmented Reality zu verdanken. Bereits im 17. Jahrhundert wurden über Spiegel, Linsen und Lichtquellen Bilder projiziert. Über die richtige Positionierung von Glasplatten und einer Lichtquelle war es so zum Beispiel möglich Objekte oder Menschen zu reflektieren und sie wie Geister in einem anderen Raum schweben zu lassen. Das so entstandene Phänomen wird als „Peppers Ghost“ bezeichnet. (vgl. Billinghurst et al., 2015, S. 85).

Die erste richtige Augmented Reality Anwendung, nach der Definition von Azuma, lässt sich auf Ivan Sutherland zurückführen. Dieser entwickelte 1968 ein Computer System, das sogenannte „Sword of Damacles“, welches es ermöglicht über die Spiegelung in einem Prisma digitale Inhalte eines Bildschirms über der realen Welt zu sehen. Selbst beschreibt er das System wie folgt:

The user has a 40-degree field of view of the synthetic information displayed on the miniature cathode ray tubes. Half-silvered mirrors in the prisms through which the user looks allow him to see both the images from the cathode ray tubes and objects in the room simultaneously. Thus displayed material can be made either to hang embodied in space or to coincide with maps, desk tops, walls, or the keys of a typewriter. (Sutherland, 1968, S. 759)

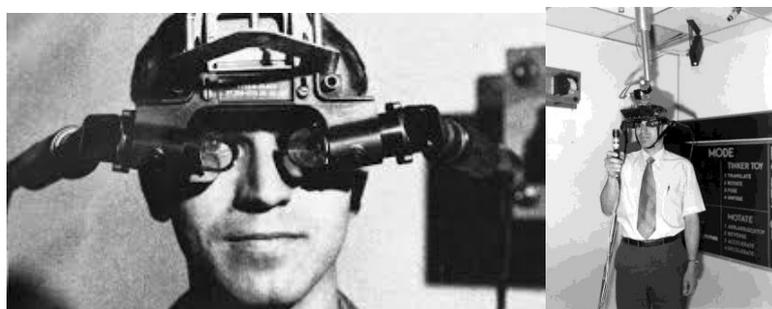


Abbildung 2 : Ivan Sutherland mit dem „Sword of Damacles“ (Sutherland, 1968)

Das System von Sutherland diente nicht nur als Vorzeigemodell für Augmented Reality, sondern auch für Virtual Reality. Nach diesen ersten Versuchen geriet Augmented Reality vorerst für die Allgemeinheit wieder in Vergessenheit und wurde größtenteils für das Militär verwendet und weiterentwickelt. Bis hin zu den 80ern wurde kaum weitere Forschung im Bereich Augmented Reality betrieben. Das System von Sutherland gab uns aber eine erste Auskunft darüber welche technischen Spezifikationen für Augmented Reality benötigt werden. In der 80er Jahren begannen Forscher dann damit diese benötigten Technologien, wie zum Beispiel Tracking und Bildschirm Technologien, näher zu erforschen und weiter zu entwickeln. Waren Bildschirme damals noch große Röhrengeräte sind sie mittlerweile, dank der Forschung in diesem Gebiet, zu dünnen LCD oder LED Bildschirmen geworden. Im weiteren Verlauf der Geschichte wurden dann in den 90er Jahren die ersten Werkzeuge, um Augmented Reality Anwendungen zu erstellen entwickelt und weiter erforscht. Seit 2007 steigt der Markt von Augmented Reality stetig, die ersten kommerziell nützlichen Anwendungen wurden entwickelt und erfreuen sich steigender Beliebtheit (vgl. Billingham et al., 2015, S. 101–102).

2.3 Tracking und Display Technik

Für Augmented Reality Anwendungen ist es besonders wichtig eine Möglichkeit zu haben die digitalen Inhalte und dreidimensionalen Modelle in der realen Welt zu verankern und zu fixieren. Dies ist durch das so genannte Tracking (dt. Verfolgung) möglich und kann je nach Technologie und Hardware auf unterschiedliche Methoden erfolgen. Im idealen Fall stehen für das Tracking sechs Freiheitsgrade (six degrees of freedom, 6DOF) zur Verfügung. Das bedeutet man verwendet drei Variablen für die Position (x,y, und z) sowie drei Winkel für die Orientierung im Raum (Rollen, Nicken und Gier-Winkel) (vgl. Van Krevelen & Poelman, 2010, S. 6)

Tracking für Augmented Reality Anwendungen erfolgt auf verschiedene Arten und hängt von der Anwendung und dem Gerät, über welches man diese verwendet, ab. Des Weiteren erfolgt Tracking über verschiedene Sensoren oder andere Geräte, die unterschiedliche Genauigkeiten haben. Welche Art des Trackings verwendet wird hängt letztendlich stark vom verwendeten Endgerät ab. Die meisten Endgeräte verwenden Tracking über mechanische Sensoren, wie zum Beispiel Beschleunigungsmesser, GPS oder optische Sensoren, wie zum Beispiel Kameras (vgl. Carmigniani et al., 2010, S. 350).

Heutzutage werden primär optische Sensoren für das Tracking verwendet. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Hardware konsumentenfreundlich und leicht verfügbar ist. Konsumentenfreundliche Hardware bedeutet in diesem Fall, dass sie preiswert erhältlich ist und in der Anwendung komfortabel ist, also angenehm zu

tragen oder mitnehmen ist. Das Tracking mit optischen Sensoren erfolgt entweder über Infrarotlicht, sichtbares Licht oder dreidimensionale Strukturen. Mittlerweile verfügen Smartphones über sehr leistungsstarke Kameras und Bildschirme, dies macht sie zu einem idealen Endgerät für Augmented Reality (vgl. Billinghurst et al., 2015, S. 105).

Primär verwendet man bei Augmented Reality Anwendungen Sensoren für sichtbares Licht, wie zum Beispiel Kameras von Laptops, Tablets oder Smartphones. Die benötigte Hardware ist daher einfach erhältlich und praktikabel. Jene oben erwähnten Systeme verfügen auch alle über einen Bildschirm und bringen so die für Augmented Reality Anwendungen benötigte Hardware mit sich. (Billinghurst et al., 2015, S. 105)

Verwendet man Kameras für das Tracking bei Augmented Reality Anwendungen kann dies über mehrere Optionen erfolgen. Eine Möglichkeit bieten sogenannte Referenz Marker, diese kennzeichnen sich durch ihre quadratische Form und eine schwarze Linie. Über die vier äußeren Kanten der Quadrate werden diese nun als Marker erkannt. Zusätzliche Muster in der Mitte des Markers dienen als weitere Referenz und ermöglichen es mehrere Marker in einer Szene zu verwenden. Durch den technologischen Fortschritt von Smartphones und den verbesserten Kameras ist es auch möglich natürliche Eigenschaften und Bilder als Tracking zu verwenden. Über komplexe Machinelearning- und Bildverarbeitungsprozesse können Punkte, Kanten und Schnittgeraden aus Bildern gefiltert und wiedererkannt werden. Dies ermöglicht es eine Anwendung so zu programmieren, dass sie ein bestimmtes Bild wiedererkennt und über diesem Augmented Reality Content darstellt. Die hier verwendeten Bilder werden als Image Marker bezeichnet. Eine weitere Tracking Technologie, die in den letzten Jahren entwickelt wurde, ist die des Modell basierten Trackings. Hier wird eine detaillierte Karte der Umgebung erstellt und die Position des Gerätes darin lokalisiert. Dies ermöglicht ein sehr genaues Tracking, eignet sich jedoch eher nur für kleine Umgebungen (vgl. Billinghurst et al., 2015, S. 105–120).

Eine weitere Tracking Methode, die in den letzten Jahren entwickelt wurde, ist das „3D Structure Tracking“. Hier wird durch Tiefensensoren der Kameras Information über dreidimensionale Positionen in der Umgebung herausgelesen (vgl. Billinghurst et al., 2015, S. 120–122). Diese Technologie wird von Anwendungen mit Google ARCore oder ARKit von Apple verwendet. Diese werden im Kapitel 7.2 näher beschrieben.

Neben der Trackingmethode benötigt man für Augmented Reality Anwendungen auch einen Bildschirm, der den digitalen Content über der realen Welt darstellt. Eine Möglichkeit hierfür wäre es die virtuellen Inhalte über eine Brille darzustellen. Aktuell gibt es aber noch keine Brille am Markt die Augmented Reality Anwendungen darstellen kann und alltagstauglich ist. Die meisten Brillen, die es

in dieser Art aktuell gibt, sind noch sehr groß, schwer und unangenehm zu tragen, sie eignen sich daher eher nicht für den gewöhnlichen Alltag. Dies liegt hauptsächlich daran, dass für das Tracking und die Darstellung der digitalen Inhalte sehr viel unterschiedliche und aufwendige Technologie benötigt wird die dementsprechend viel Platz benötigt. Verschiedene Forschungseinrichtungen und Firmen arbeiten aber mittlerweile daran die benötigte Technik, wie zum Beispiel Projektoren, möglichst klein zu bauen (vgl. Billinghamurst et al., 2015, S. 140).

Am konsumentenfreundlichsten und für Augmented Reality Anwendungen am besten geeignet sind derzeit Handheld (tragbare) Bildschirme, wie zum Beispiel Smartphones oder Tablets. „Today, smartphones and tablet computers are widely adopted and have powerful graphics processors, cameras, and various sensors that can run AR applications. Most recently, even depth imaging sensors are experimented on smartphones and tablets for advanced tracking and visualization.“ (Billinghurst et al., 2015, S. 142)

3 Verwendung von Augmented Reality im Schulunterricht

Dank den stetig laufenden Forschungen über Technologien, die für Augmented Reality benötigt werden, hat sich die Technik mittlerweile so entwickelt, dass diese simpel und vielfältig einsetzbar ist. Besonders in der Bildung bringt diese Technologie viele neue Möglichkeiten mit sich. In den letzten Jahren wurden diese Möglichkeiten in den verschiedensten Studien getestet. Diese Studien zeigten, dass Schülerinnen und Schüler mit der Unterstützung von Augmented Reality effizienter lernen und sich das Gelernte besser merken, im Vergleich zur üblichen Verwendung von Computern oder Büchern. (vgl. Billinghurst et al., 2015, S. 207).

In diesem Kapitel wird ein Überblick gegeben welche unterschiedlichen Anwendungsmöglichkeiten es für Augmented Reality im Schulunterricht gibt. Weiters widmet sich dieses Kapitel den Voraussetzungen, die benötigt werden, um Augmented Reality im Unterricht zu verwenden und gibt einen Einblick in die pädagogischen und didaktischen Methoden, die bei der Verwendung von Augmented Reality eingesetzt werden. Schlussendlich wird anhand von Forschungsstudien im Bereich der Bildung diskutiert welche Vorteile aber auch Nachteile die Verwendung von Augmented Reality im Schulunterricht mit sich bringt.

„Die Augmented Reality ermöglicht die realitätsnahe Darstellung und bedarfsorientierte Vermittlung komplexer Inhalte und wird daher als Unterrichtsmittel der Zukunft gehandelt“ (Skorianz, 2014). Besonders im Schulunterricht gibt es viele Möglichkeiten Augmented Reality einzusetzen. Die meisten Anwendungen im Bereich von Augmented Reality funktionieren über Smartphones und können daher einfach von den Schülerinnen und Schülern verwendet werden., wodurch es keinen eigenen Computerplatz für jede Schülerin und jeden Schüler benötigt.

Durch die Möglichkeit der Interaktion mit digitalen Inhalten sowie dem Verblenden dieser mit der realen Welt kommt es bei den Schülerinnen und Schülern zu einem größeren Lernerfolg. Dies ist vor allem bei Büchern, die unterstützt durch eine App digitalen 3D Content darstellen der Fall (vgl. Billinghurst et al., 2015, S. 208).

3.1 Augmented Reality Anwendungen für den Unterricht

Bereits heute sind viele verschiedene Anwendungen für die Verwendung von Augmented Reality im Schulunterricht auf den Markt. Besonders beliebt ist die Verwendung von Augmented Reality in den Naturwissenschaftlichen Fächern. Gerade für diese finden sich auch viele Anwendungen und Forschungen (vgl. Wu, Lee, Chang, & Liang, 2012, S. 48).

So ist es über die Anwendung „Anatomy 4D“ möglich den menschlichen Körper näher zu betrachten. Verschiedene Anatomiemodelle, wie zum Beispiel ein Herz, werden hier dreidimensional über Image Markern angezeigt und können so von allen Seiten betrachtet werden. Mit dieser Anwendung ist es zum Beispiel auch möglich virtuell die Organe zu sezieren und so Schritt für Schritt anzusehen wie diese aufgebaut sind („Anatomy 4D“, o. J.).

Eine weitere App ist ZooKazam, auch diese verwendet Image Marker mit dieser Anwendung ist es möglich sich 3D Modelle sowie weitere Informationen von verschiedenen Tierarten anzusehen und zu lernen. Hier gibt es nicht nur die üblichen Zootiere sondern auch bereits ausgestorbene Tiere wie zum Beispiel ein Brontosaurus („ZooKazam“, 2015).

Eine weitere Anwendung ist JigSpace, die es ermöglicht dreidimensionale Modelle in der realen Welt darzustellen. In der App selbst gibt es bereits ein großes Kontingent an vorgefertigten Modellen inklusive Beschreibungen, die man verwenden kann. Über Jigspace Workshop ist es auch möglich selbst Szenen mit Modellen zu erstellen („JigSpace“, o. J.). Ähnlich wie JigSpace funktioniert auch GeoGebra AR, diese App hat sich auf den Mathematik Unterricht spezialisiert, und zeigt einem mathematische Funktionen oder geometrische Objekte in Augmented Reality („GeoGebra AR“, 2017). Beide diese Anwendungen verwenden Apples ARKit („ARKit“, o. J.) und sind demnach nur auf Apple Geräten (iPhones) verwendbar. Dies bringt wieder das Problem der Hardware mit sich, da Apple Geräte im hochpreisigen Sektor angesiedelt sind und demnach nicht jedes Schulkind ein iPhone zur Verfügung hat. Durch die Verwendung von ARKit ist es jedoch möglich Inhalte auch ohne Image Marker darzustellen.

Direkt aus Österreich kommt die Anwendung Areeka. Diese verbindet Lehrbücher mit Augmented Reality Inhalten. Von Areeka selbst gibt es drei Themenhefte, zu den Themen „altes Ägypten“, „Licht & Wasser“ und „Verkehrszeichen“. Weiters bieten sie auch Lernkarten über Dinosaurier und andere Tiere sowie ein T-Shirt mit Skelett an. Scannt man die in den Büchern und auf den Karten vorhandenen Bilder wird einem dazu virtueller Inhalt, wie zum Beispiel dreidimensionale Darstellungen der Objekte oder Videos gezeigt. Areeka hat auch gemeinsam mit dem Ikon-Verlag bereits bestehende Lernbücher in Mathematik und Biologie mit

Augmented Reality Inhalten erweitert. („Areeka“, o. J.) Areeka wurde 2016 von Arkadi Jeghiazaryan und seinem Bruder gegründet. Die beiden kamen mit 12 und 16 Jahren nach Österreich und sprachen damals kaum Deutsch. Die Schulbücher, mit denen sie hier nun konfrontiert waren, hatten zu viele Wörter und zu wenige Abbildungen und Visualisierungen. Daraus entwickelte sich dann die Idee Schulbücher mit der Hilfe von Augmented Reality zum Leben zu erwecken. (vgl. Elsässer, 2020)

Ebenso bietet Google mit Google Expeditions eine Anwendung für den Schulunterricht („Google Expeditions“, o. J.). Google Expeditions verwendet sowohl Augmented Reality als auch Virtual Reality, über Google Cardboard oder Daydream. Auch hier wird ähnlich wie bei JigSpace und Geogebra AR 3D Content in der realen Welt dargestellt. Weiters ist es möglich virtuelle Touren durch Städte oder Museen zu machen, diese können von Lehrerinnen und Lehrern selbst erstellt werden. Ebenfalls gibt es hier wieder das Hardware Problem. Für virtuelle Touren wird Google Cardboard oder Daydream benötigt. Für die Augmented Reality Anwendungen benötigt man ein ARCore oder ARKit fähiges Smartphone (vgl. Fehrenbach & Fileccia, 2019).

Wie man bei Anwendungen wie ZooKazam und Areeka sehen kann bietet Augmented Reality eine gute Möglichkeiten Dinge realitätsnahe zu zeigen, die wir so nicht mehr rekonstruieren könnten. So kann man zum Beispiel historisch relevante Gebäude an ihren originalen Standorten und in ihrer ursprünglichen Verfassung realitätsnah darstellen. Über diese Methode wird das Gelernte in einen anderen Kontext wahrgenommen und lässt sich oft besser merken, als wenn den Schülerinnen und Schülern nur ein Video darüber gezeigt wird (vgl. Bloxham, 2014, S. 45).

3.2 Voraussetzungen zur Verwendung von Augmented Reality im Schulunterricht

Wie im vorherigen Teil beschrieben gibt es bereits mehrere Anwendungen am Markt, um Augmented Reality im Schulunterricht einzusetzen. Wie meine Umfrage zeigte, wird diese Technologie jedoch noch eher selten bis gar nicht im Unterricht verwendet. Ein Grund dafür ist das fehlende Wissen über die Technologie und eine gewisse Scheu vor der Verwendung von den Lehrerinnen und Lehrern. Weiters gibt es in manchen Schulen Österreichs noch ein generelles Handyverbot und die Schülerinnen und Schüler müssen dieses am Anfang des Unterrichts wegsperren (vgl. Buchner, 2017, S. 1).

Wie eine Studie von Swertz aus dem Jahr 2010 zeigt werden Smartphones durchaus auch als Lernmedium wahrgenommen. Voraussetzung hierfür ist, dass die Lehrerinnen und Lehrer als Vorbild dienen und den Schülerinnen und Schülern

die verschiedenen Möglichkeiten vorzeigen. Hier ist nun eben auch wichtig, dass Lehrerinnen und Lehrer das nötige Know-how mit sich bringen, um den Schülerinnen und Schülern alles richtig zu vermitteln (vgl. Swertz, 2010).

In Österreich wird zwar seit 2016 daran gearbeitet das Schulbuch zu digitalisieren, dies ist jedoch bis dato kaum erfolgt. Dies liegt vor allem daran das sich viele Schulbuchverlage auf Grund von Angst vor Verlusten quer stellen. Ein weiteres Problem ist das Umdenken in der Didaktik der Lehrerinnen und Lehrer. So sind neue Technologien, die ein digitales Schulbuch mit sich bringen könnte wie zum Beispiel Augmented Reality oder interaktive Lernprogramme in Österreich noch nicht angedacht. Hierfür müssten zuerst neue didaktische Nutzungsmuster entwickelt werden (vgl. Baumgartner, Brandhofer, Ebner, Gradinger, & Korte, 2016, S. 113).

Durch die Verwendung von ARCore und ARKit benötigen viele der Anwendungen auch sehr spezifische und neue Hardware. Manche Apps funktionieren nur auf iPhones, andere nur auf den neuesten Android Smartphones („ARCore Supported Devices“, o. J.; „Device Compatibility - ARKit“, o. J.). In den meisten Schulen ist diese Hardware nicht vorhanden und gerade bei den jüngeren Schülerinnen und Schülern kann man nicht davon ausgehen, dass diese die neuen Smartphones und somit die nötige Hardware selbst besitzen (siehe Auswertung der Befragung in Kapitel 6).

Es wird aber nicht nur die nötige Hardware benötigt. Auch der Unterricht muss an diese neue Technologie angepasst werden. Dieser muss daher um die jeweilige App geplant werden. Möglich wären zum Beispiel Gruppenarbeiten, dies reduziert auch die benötigte Hardware, da pro Gruppe nur ein Gerät benötigt wird. Eine weitere Möglichkeit wäre ein Stationenbetrieb bei dem die Image Marker auf mehreren Tischen verteilt sind und die Schülerinnen und Schüler sich von Station zu Station vorarbeiten (vgl. Fehrenbach & Fileccia, 2019).

Eine Befragung zum Thema Medienkompetenz an Schulen in Österreich aus 2015 (vgl. Baumgartner et al., 2016) zeigt, dass moderne Medien wie das Internet oder Computer fast kaum im Unterricht verwendet werden, wobei Österreich bei der Verfügbarkeit von digitalen Medien in Schulen im EU Durchschnitt auf Rang 5 liegt. Es kann daher kaum an der nicht vorhandenen Hardware liegen. Die Studie führt dies zurück auf „eine mangelhafte fachdidaktische Medienkompetenz der Lehrenden.“ (Baumgartner et al., 2016, S. 97)

Während fast 90% der Lehrkräfte das Internet verwendet, um sich auf den Unterricht vorzubereiten und diesen zu planen, wird es fast kaum als fachdidaktisches Werkzeug in diesem verwendet. Wie bereits oben erwähnt ist eine dementsprechende Umplanung des Unterrichts nötig. Nur die Verwendung von Tablets, Smartphones oder Computern bietet noch keinen Mehrwert. Um

diesen zu erlangen müssen auch die interaktiven Funktionen der Medien genutzt werden (vgl. Baumgartner et al., 2016, S. 98).

Letztendlich ist die Verwendung von Augmented Reality mit einem hohen Zeitaufwand verbunden. Die Lehrkräfte müssen neue Unterrichtsarten planen und testen. Dies schreckt viele davon ab und ist auch für viele einfach nicht leistbar.

3.3 Pädagogische Methoden

Wie ist es nun also möglich neue Technologien wie Augmented Reality didaktisch im Unterricht anzuwenden? Und wie lassen sie sich einfach von Lehrkräften einbauen? Hier sollen die unterschiedlichen didaktischen und pädagogischen Methoden beleuchtet werden, die es dazu benötigt.

Augmented Reality hat sich in den letzten Jahren stetig weiterentwickelt und kann vielseitig eingesetzt werden. Gerade in der Bildung kann diese Technologie sehr nützlich sein. Es gibt hier jedoch einiges zu bedenken und zu berücksichtigen. Die Verwendung von Augmented Reality unterscheidet sich vom klassischen Schulunterricht. Billinghamurst fasste in einem Artikel 2002 die größten Unterschiede aber auch Vorteile wie folgt zusammen (vgl. Billinghamurst, 2002).

Durch Augmented Reality ist es möglich nahtlos zwischen der realen und virtuellen Umgebung zu interagieren. Durch eine eventuelle Gruppenarbeit auf einem Tisch ist es möglich sich gegenüber zu sitzen und so sowohl verbal als auch non-verbal gut miteinander zu kommunizieren. Beim klassischen Unterricht mit Computern sitzen die Schülerinnen und Schüler meist nebeneinander, der Fokus liegt auf den Bildschirmen vor sich und es wird selten gemeinsam gearbeitet. Mit Augmented Reality ist es wieder möglich gemeinsam an einem Tisch an den Aufgaben zu arbeiten und so die Aufmerksamkeit und Motivation der Schülerinnen und Schüler zu fördern (vgl. Billinghamurst, 2002).

Oft werden im Unterricht Materialien als Anschauungsobjekte mitgebracht. Durch solche Anschauungsobjekte fällt es den Schülerinnen und Schülern durch die Verwendung von mehreren Sinnen oft leichter das Gelernte in einen Kontext zu bringen und sich so zu merken. Auch in Augmented Reality ist es möglich mit physischen Objekten zu interagieren. Trotz der digitalen Inhalte, die die Objekte bereichern hat der User immer noch eine greifbare Komponente. So können oft auch Menschen mit wenig oder keiner Computererfahrung interaktive Erlebnisse haben und gut damit umgehen (vgl. Billinghamurst, 2002).

Eine von Billinghamurst entwickelte Anwendung namens „The MagicBook“ macht es möglich direkt in die Seiten des Märchens einzutauchen. Ein normales Buch wird mit der Hilfe einer Webcam und einer Augmented Reality Kamera zu einem modernen PopUp Buch. Auf dem Computerbildschirm werden die Szenen aus

dem Buch digital dargestellt und wechseln mit jedem Umblättern. Durch Drehen des Buches ist es möglich die Szene von allen Seiten zu betrachten. Weiters ist es möglich die Szenen über Virtual Reality anzusehen und so virtuell im Buch zu versinken (vgl. Billinghamurst, 2002).

Diese Beispiele zeigen, dass bei der Einbindung von Augmented Reality im Schulunterricht der Unterricht auf die jeweilige Applikation angepasst werden muss. In den wenigsten Fällen ist bei der Verwendung von Augmented Reality ein klassischer Frontalunterricht möglich. Eine Möglichkeit mit Augmented oder Virtual Reality trotz allem Frontalunterricht zu halten wäre die Verwendung von Head Mounted Displays, über welche den Schülerinnen und Schülern Inhalte angezeigt werden, die von der Lehrerin oder dem Lehrer kommentiert werden.

Die Verwendung von neuen Technologien wie Augmented oder Virtual Reality im Schulunterricht basiert am ehesten auf der konstruktivistischen Didaktik. Der Konstruktivismus geht davon aus, dass Wissen konstruiert wird und neues Wissen auf der Basis von vorhergehenden Lernerfahrungen entsteht. Im konstruktivistischen Ansatz findet Lehren daher nicht im klassischen Modus, dem Frontalunterricht, statt. Es geht hier darum den Schülerinnen und Schülern die Möglichkeit zu geben selbstständig sich mit dem Stoff auseinanderzusetzen (vgl. deWitt & Czerwionka, 2007, S. 60). Durch die Interaktion mit den digitalen Inhalten und der Immersion in die Lernwelt können die Schülerinnen und Schüler sich eigenständig mit dem jeweiligen Gebiet befassen und so konstruktiv ihr Wissen aufbauen.

Der konstruktivistische Ansatz ist jedoch sehr komplex und stellt durch das eigenständige Lernen hohe Ansprüche an die Schülerinnen und Schüler. Wird ausschließlich so ein Ansatz in der Didaktik verwendet kann es langfristig zu einer größeren Benachteiligung von lernschwachen Schülerinnen und Schülern kommen (vgl. deWitt & Czerwionka, 2007, S. 69). Hier spielt auch die Cognitive Load Theory eine große Rolle, diese besagt, dass die mentale Aufnahmekapazität eines jeden Menschen begrenzt ist. Man kann daher nur einen Teil an Information richtig verarbeiten und somit Lernen (Sweller, 1988).

Weitere Ansätze aus der Mediendidaktik, die beim Einsatz von Augmented Reality im Schulunterricht zu beachten sind, ist der „Aptitude Treatment Interaction Ansatz“ (ATI-Ansatz) und das Supplantationskonzept. (vgl. Aufenanger, Schulz-Zander, & Spanhel, 2001, S. 303) „Im Supplantationskonzept wird davon ausgegangen, dass die Lernwirkung eines Mediums umso größer ist, je besser es den Lernenden bei der Ausführung der jeweils kognitiven Operationen unterstützt.“ (deWitt & Czerwionka, 2007, S. 29) Es entlastet somit die Schülerinnen und Schülern und kann diese beim Lernen unterstützen, es ist aber möglich dadurch auch den Lerneffekt zu verringern (vgl. Müller, 2012, S. 19)

Der ATI-Ansatz besagt, dass Lehrmethode, die Lehrinhalte und die verwendeten Medien individuell auf Lernbedingungen der Schülerinnen und Schüler angepasst werden müssen. Dies umschließt die Vorkenntnisse, den Entwicklungsgrad, die Interessen und die Lernprozesse der jeweiligen Schülerinnen und Schüler. Ein Lerneffekt wird nach dem ATI-Ansatz durch Wechselwirkungen zwischen der Lehrmethode, einschließlich der Verwendung von Medien, und den individuellen Merkmalen der jeweiligen Schülerinnen und Schüler erzielt (vgl. Aufenanger et al., 2001, S. 303).

Zusätzlich bedient sich die Verwendung von Augmented Reality im Unterricht verschiedene pädagogischen Trends, die in den letzten Jahren an Relevanz gewonnen haben. Ein Beispiel hierfür ist die Verwendung von digitalen Materialien. Wie im Abschnitt 2.1. beschrieben ist eine der meist gefundenen Anwendung Lehrbücher die über eine App zusätzliche Inhalte anzeigen. So kann man animierte Szenen auf dem Buch darstellen und Objekte abbilden, die sich mit dem Buch mitdrehen. Billinghurst vergleicht dies mit einer modernen Version eines PopUp Buches (vgl. Billinghurst & Dünser, 2012, S. 43).

Weitere pädagogische Trends denen sich Augmented Reality bedient sind Gamification, Experiment-basiertes Lernen, und mobiles Lernen. Bei der Gamification werden zum Beispiel zusätzliche Wettbewerbe, Boni oder LevelUps eingesetzt, um die Schülerinnen und Schüler zu motivieren (vgl. Escamilla et al., 2018, S. 15). Gerade für Experiment-basiertes Lernen eignet sich die Verwendung von Augmented Reality oder Virtual Reality sehr gut. So können Szenarien generiert werden, die ansonsten zu gefährlich oder zu aufwendig in der Durchführung wären. Den Schülerinnen und Schülern ist es durch die Verwendung dieser neuen Technologien möglich, die Experimente digital und virtuell durchzuführen (vgl. Escamilla et al., 2018, S. 14). Mobiles Lernen erlebt derzeit auch einen großen Aufschwung. Hier geht man davon aus, dass die Schülerinnen und Schüler die jeweilige Hardware jederzeit zur Verwendung haben. Dies ist vor allem durch die Verbreitung von Smartphones im Bereich Augmented Reality der Fall. Dadurch können diese zu jeder Zeit und an jedem Ort die digitalen Inhalte verwenden und lernen. Gerade durch die aktuelle Umstellung auf Fernlehre in den Schulen und Universitäten bietet diese Praxis viele Vorteile (vgl. Escamilla et al., 2018, S. 14)

Lernen findet mittlerweile immer mehr auch außerhalb des normalen Kontextes der Schule statt. Es „wird von einer Entgrenzung der Räume und Zeiten des Lernens ausgegangen“ (Mayrberger, Fromme, Grell, & Hug, 2017, S. 7) Dies ist vor allem durch die Verbreitung von Smartphones der Fall. Man nennt dies auch „allgegenwärtiges Lernen“. Da man ständig miteinander vernetzt ist über das Smartphone kommuniziert und sich informiert, ist es kaum mehr möglich zu unterscheiden ob das Wissen durch Lernen oder durch private Informationen entstanden ist (vgl. Herber, 2012, S. 1).

Gerade die Verwendung von Augmented Reality unterstützt dieses allgegenwärtige Lernen nochmals. Die digitalen Inhalte verschmelzen mit der realen Welt und verändern die Erfahrungen und Interaktionen der Lernenden. Mittlerweile sind Smartphones all gegenwärtig und werden von uns für fast alle alltäglichen Aufgaben verwendet. „For example, they use their cell phones to text their friends, to take and send pictures across distance, to access streaming audio and video files – even to make telephone calls!” (Dunleavy, Dede, & Mitchell, 2008, S. 8)

Letztendlich benötigt es nicht nur Applikationen, die im Unterricht verwendet werden können. Um Lehrkräfte bei der Verwendung dieser Anwendungen zu unterstützen und ihnen die Scheu vor den neuen Technologien zu nehmen benötigt es weitere Hilfsmittel. So wäre es zum Beispiel hilfreich, wenn die Anwendungen und Lehrbücher gleich Optionen zur Unterrichtsgestaltung mitliefern. Ebenso wäre es wichtig an den Schulen nicht nur die Medienkompetenz der Lernenden zu verbessern, sondern auch den Lehrkräften dementsprechende Schulungen anzubieten (vgl. Baumgartner et al., 2016).

3.4 Vor- und Nachteile bei der Verwendung von Augmented Reality

Die Verwendung von Augmented Reality im Schulunterricht benötigt viel Vorarbeit in der Gestaltung des Unterrichts, und bringt die verschiedensten Vorteile und Nachteile mit sich.

Augmented Reality eignet sich sehr gut dafür komplexe Inhalte zu veranschaulichen und aufzuzeigen. Zum Beispiel ist es durch 3D Modelle möglich den Aufbau des menschlichen Auges genau darzustellen. Über das Smartphone können alle Schülerin und jeder Schüler das Model gleichzeitig aus der Nähe anschauen und jede Schicht und den Aufbau des Auges von allen Seiten genau betrachten. Im aktuellen Unterricht ist dies faktisch nicht möglich. Um einen ähnlich guten Einblick in den Aufbau des Auges zu bekommen, wie es durch die Verwendung von Augmented Reality möglich ist, müsste man ein echtes Auge im Unterricht sezieren (vgl. Fehrenbach & Fileccia, 2019, S. 7).

Die folgenden Vorteile konnten bei der Verwendung von Augmented Reality im Unterricht festgestellt werden. Durch die Applikation werden viele Sinne angesprochen und durch die Interaktion mit der Anwendung in Echtzeit steigert sich die Aufmerksamkeit der Schülerinnen und Schüler. Da die Schülerinnen und Schüler mit der Anwendung interagieren und somit konstruktiv lernen verankert sich das Wissen eher im Langzeitgedächtnis. Verschiedene Studien zeigen auch, dass die Verwendung von Augmented Reality einen positiven Effekt auf die Lern-Motivation der Schülerinnen und Schüler hat. Es wird eine immersive

Lernumgebung geschaffen, die die Lernenden mitreißt und deren Motivation steigert. Weiters haben die Schülerinnen und Schüler das Gefühl etwas Neues zu tun wodurch die Neugierde geweckt wird (vgl. Escamilla et al., 2018).

In den letzten Jahren wurden einige Studien durchgeführt, um die Effekte von Augmented Reality in der Bildung herauszufinden. Hier wurde festgestellt, dass Kinder mit Büchern, die über Augmented Reality Content erweitert wurden, sehr einfach umgehen können. Die Bücher lagen auf einem Tisch und über eine Webcam wurden Marker erkannt und auf einem separaten Computer Bildschirm mittels Augmented Reality bereichert. Manche Kinder verwirrte hier das gespiegelte Kamerabild und einige probierten mit den virtuellen Objekten zu interagieren. Die Interaktion funktionierte aber trotzdem sehr gut (vgl. Billingham et al., 2015, S. 208).

Die Verwendung dieser Bücher wurde in einer zusätzlichen Studie genauer überprüft. Eine Gruppe an Schülerinnen und Schülern bekamen das Buch, um sinnerfassendes Lesen und die generelle Lesekompetenz zu fördern. Von den Lehrkräften als gute Leser eingestufte Kinder konnten nach der Verwendung des Buches bei weitem mehr Textpassagen wiedergeben als Kinder die als schlechte Leser eingestuft wurden. Bei den Passagen mit Augmented Reality Content gab es jedoch keine Unterschiede zwischen den beiden Gruppen. Dementsprechend kann Augmented Reality wahrscheinlich Kindern mit niedrigerer Lesekompetenz helfen die Inhalte dennoch gut zu lernen. Daher kann die Verwendung von Augmented Reality vor allem für Kinder mit Dyslexie oder Leseschwäche hilfreich sein (vgl. Glück, Kaufmann, Dünser, & Steinbügl, 2005).

Ein Lehrer in Australien testete die Auswirkung von Augmented Reality in Bezug auf kreatives Schreiben. Über die App colAR (mittlerweile QuiverVision) („Quiver 3D“, o. J.) ist es möglich, Ausmalbilder in Augmented Reality zu sehen. Das Bild kann individuell angemalt werden. Die App erkennt dann das Bild und legt die gemalte Textur auf das 3D Modell des Objektes. Der Lehrer zeigte den Kindern zuerst die unbemalte Szene und ließ sie eine kurze Geschichte über die Zeichnung schreiben. Danach ließ er die Schülerinnen und Schüler das Bild anmalen und über die App betrachten und bat sie wieder darum eine Geschichte zu schreiben. Das Ergebnis zeigte, dass Kinder nach Verwendung der App die Szene genauer beschrieben und sich der Schreibstil stark verbesserte (vgl. Billingham et al., 2015, S. 209–210).

Ein weiterer Vorteil bei der Verwendung von Augmented Reality ist, dass die Schülerinnen und Schüler beim selbstständigen Arbeiten die Lerngeschwindigkeit selbst steuern können. Untersuchungen zeigten hier, dass wenn Lernende die Geschwindigkeit von Präsentationen im ersten Durchlauf selbststeuerten bessere Ergebnisse erzielt wurden. Auch eine kognitive Überlastung konnte so vermieden werden (vgl. Müller, 2012, S. 20).

Die Verwendung von neuen Technologien bringt aber auch Nachteile mit sich. Wie eine von mir durchgeführte Befragung von Lehrpersonen ergab scheuen sich viele Lehrerinnen und Lehrer noch davor die Technologien im Unterricht zu verwenden. Oft haben die Lehrerinnen und Lehrer auch zu wenig Erfahrung mit Technik, um diese gekonnt im Unterricht einsetzen zu können. Es müsste daher die Möglichkeit einer Schulung für diese geben, die ihnen die Technik näherbringt und auch mögliche Anwendungen aufzeigt. Oft kennen die Lehrpersonen auch nicht alle Anwendungen, die zur Verfügung stehen würden und informieren sich eher selten darüber (siehe Auswertung der Befragung in Kapitel 6).

Ein weiteres Problem ist die eher teure Hardware, viele Anwendungen am Markt funktionieren nur auf den neuesten Smartphones oder gar nur auf Apple Produkten. Die wenigsten Schulen haben die Hardware selbst vor Ort und meist nicht die finanzielle Möglichkeit diese anzuschaffen (vgl. Escamilla et al., 2018).

Bei der Verwendung von Augmented Reality kann es auch zu einer kognitiven Überlastung der Lernenden kommen. Es wird vermutet, dass das menschliche Gehirn immer nur einen gewissen Teil an Information verarbeiten und aufnehmen kann. Das mentale Aufnahmevermögen jedes Menschen ist demnach limitiert. Ist zum Beispiel ein Bild mit einem Text als Beschreibung gegeben muss eine Teilung des Arbeitsgedächtnis erfolgen („Split-Attention-Effect“) um beide Informationen aufzunehmen, dies kann zu einer Überlastung führen, man konzentriert sich daher meist nur auf das Bild (Sweller, 1988). Letztendlich spielen bei der kognitiven Belastung unterschiedliche Faktoren eine Rolle, eine Methode diese zu messen ist der „Task Load Index“ Test der NASA, welcher in Kapitel 8.3.2 näher beschrieben wird (Hart & Staveland, 1988). Durch die Verwendung von Smartphones und dem Interagieren mit der digitalen Oberfläche sowie realen Gegenständen wie zum Beispiel Image Markern müssen die Schülerinnen und Schüler sich auf mehrere Faktoren gleichzeitig konzentrieren („Multitasking“). Dies kann vor allem lernschwächere Lernende leicht überfordern (vgl. Wu et al., 2012, S. 47).

4 Anwendungsmöglichkeiten von Augmented Reality im Geometrie Unterricht

Wie bereits in den vorhergehenden Kapiteln beschrieben eignet sich Augmented Reality vor allem zur Darstellung von dreidimensionalen Objekten in der Realität. In vielen Fällen kann dies sehr hilfreich sein und die Schülerinnen und Schüler beim Lernen helfen. Besonders im Geometrieunterricht wird mit dreidimensionalen Objekten gearbeitet, es ist daher nahegelegt, dass die Verwendung von Augmented Reality den Geometrieunterricht unterstützen kann.

Obwohl in der Geometrie viel mit dreidimensionalen Objekten gearbeitet wird beruht sich die Bildung der Schülerinnen und Schüler auf eine zweidimensionale Darstellung der Objekte über Bilder auf Papier. Diese Darstellung ist im Aufwand sehr gering, effizient und vor allem kostengünstig. Die Darstellung von Objekten in virtuellen Umgebungen und im dreidimensionalen Raum benötigt sehr aufwendig und teure Hardware und wird daher kaum oder gar nicht verwendet (vgl. Kesim & Ozarslan, 2012, S. 297). Augmented Reality könnte hier als Schnittstelle dienen, und die zweidimensionalen Darstellungen einfach und kostengünstig auch dreidimensional darstellen.

In diesem Kapitel soll zuerst ein kurzer Überblick über den Geometrieunterricht in Österreich gegeben werden. Weiters wird der Begriff der Raumvorstellung erläutert und erklärt, aus welchen Faktoren sich diese zusammensetzt und wie sie trainiert wird. Letztendlich wird darauf eingegangen ob die Verwendung von Augmented Reality eine Verbesserung der Raumvorstellung mit sich bringt.

4.1 Geometrieunterricht in Österreich

In den allgemein höheren Schulen (AHS) Österreichs ist der Geometrieunterricht ein Pflichtfach und teilt sich in die Unterrichtsfächer Geometrisches Zeichnen, und Darstellende Geometrie. In anderen Schulformen wird der Lehrstoff der Geometriefächer im Mathematikunterricht eingebaut.

Geometrisches Zeichnen wird in der Sekundarstufe eins der AHS, sowie an Neuen Mittelschulen mit naturwissenschaftlichem Schwerpunkt unterrichtet. Der Lehrplan sieht es hier vor, die Schülerinnen und Schüler in die Geometrie einzuführen, und ihnen das Erkennen von räumlichen Zusammenhängen beizubringen. Die in der Unterstufe erlernten Inhalte werden dann im Fach Darstellende Geometrie in der

11. Und 12. Schulstufe der AHS vertieft (vgl. *Bundesrecht konsolidiert: Gesamte Rechtsvorschrift für Lehrpläne – allgemeinbildende höhere Schulen*, 2020).

Heutzutage werden nicht mehr nur die üblichen Hilfsmittel wie Zirkel und Papier im Geometrieunterricht verwendet, sondern auch 3D computer-aided design (CAD) Software. Die Verwendung dieser Software ist im Lehrplan vorgesehen und somit für Lehrerinnen und Lehrer verpflichtend zu verwenden. Mit dieser CAD Software werden den Schülerinnen und Schüler die Grundlagen der 3D Modellierung beigebracht. Hierbei liegt der Hauptaugenmerk jedoch auf der Konstruktion der Modelle (vgl. Kaufmann, 2004).

4.2 Raumvorstellung

„Raumvorstellung ist die Fähigkeit in der Vorstellung räumlich zu sehen und zu denken.“ (Gems, Maresch, Müller, Scheiber, & Slepcevic, 2017)

Die Raumvorstellung setzt sich im Gesamten aus den folgenden drei Faktoren zusammen, der Visualisierung, räumlichen Beziehungen und der räumlichen Orientierung. Die Visualisierung betrifft alle Aufgaben, in denen es darum geht, ein Objekt auf Grund verschiedener Angaben zu rekonstruieren oder zu identifizieren. Beispiele hierfür wären Faltests, bei denen ein Netz oder ein Schrägriss eines Objektes gegeben ist und das eigentliche 3D Objekt rekonstruiert werden muss. Räumliche Beziehungen betreffen Aufgaben, in denen es um die Mentale Rotation geht. Hier muss zum Beispiel aus vier gegebenen Würfelschlangen eine Fehlerhafte gefunden werden. Bei der räumlichen Orientierung geht es darum herauszufinden wie ein Objekt von einem bestimmten Blickwinkel aussieht. Als Beispiel wird hier meist eine Szene bestehend aus vier unterschiedlichen Objekten angegeben, sowie Aufnahmen aus verschiedenen Blickwinkeln. Letztendlich muss herausgefunden werden aus welchem Blickwinkel die Aufnahme aufgenommen wurde (vgl. Kaufmann, 2004).

Wie gut die Raumvorstellung eines Einzelnen ist, kann letztendlich unterschiedliche Gründe haben. So haben zum Beispiel Personen eine bessere Raumvorstellung, die viele Aktivitäten ausüben, bei welchen sie diese Fähigkeit benötigen. Beispiele hierfür sind das Bedienen und Bauen von Maschinen beziehungsweise von anderen Werkzeugen, oder das Ausüben verschiedener künstlerischen Tätigkeiten. Weitere Faktoren, welche die Raumvorstellung beeinflussen sind die Fähigkeit logisch zu denken sowie die eigene Selbsteinschätzung. Es wird davon ausgegangen, dass Personen, die ihre eigene Raumvorstellung selbst eher gering einschätzen bei Raumvorstellungsübungen lieber auf Nummer sicher gehen. Das bedeutet diese Personen überlegen bei den Tests länger und hinterfragen ihre Antworten öfters, daraus resultiert das bei einem vorgegeben Zeitkontingent ein höherer Druck herrscht und zu einer größeren

Fehleranfälligkeit führt. Ein Zusammenhang zwischen der Fähigkeit logisch zu denken und der Raumvorstellung lässt sich durch die Herangehensweise an die Tests ableiten. Diese Personen gehen die Tests eher analytisch an und können dadurch die Merkmale der Angaben leichter und schneller vergleichen. Weiters fällt diesen Personen das Bilden von Wenn-dann-Beziehungen leichter, wodurch sich die Aufgaben im Raumvorstellungstest schneller lösen lassen (vgl. Dünser, 2005).

Eine weitere Aktivität, die der Verbesserung der Raumvorstellung dient, ist das Verwenden von Computern, hier wird im nächsten Abschnitt näher darauf eingegangen.

4.2.1 Raumvorstellung trainieren

Viele Untersuchungen zeigen, dass Raumvorstellung trainierbar und nur zu einem kleinen Teil angeboren ist (vgl. Maier, 1999, S. 80). In diesen Untersuchungen wurden verschiedene Übungen verwendet, um die Raumvorstellung zu trainieren. Diese reichen von Raumvorstellungstests, über Computerspiele bis hin zu Virtual Reality Anwendungen und Geometrie Unterricht. In der Regel wird die Wirksamkeit der Tests mit einem Pretest und einem Posttest gemessen, hierfür werden standardisierte Raumvorstellungstests verwendet, auf welche in Kapitel 8.3.1 näher eingegangen wird. Diese Untersuchungen zeigen, dass durch Förderung und das Ausüben verschiedener Tätigkeiten eine starke Verbesserung der Raumvorstellung stattfindet (vgl. Glück et al., 2005).

Wie bereits oben erwähnt lässt sich Raumvorstellung auch über das Ausüben von verschiedenen Aktivitäten trainieren. Eine Studie aus dem Jahr 1996 zeigt bereits erste Zusammenhänge zwischen der Verwendung von Computern und der Verbesserung der Raumvorstellung. So schnitten Testpersonen die Angaben regelmäßig Computer zu verwenden signifikant besser ab als Testpersonen ohne Computer. Um zu testen ob verschiedene Computerspiele verschiedene Ergebnisse erzielen teilten die Forscher die Testpersonen auf. Eine Gruppe spielte in zwei 30-minütigen Einheiten das Videospiel Blockout, während die andere Gruppe am Computer Solitaire spielte. Letztendlich zeigte sich, dass die Blockout Gruppe in den späteren Test bei weitem besser abschnitt als die Solitär Gruppe (vgl. DeLisi & Cammarano, 1996). Blockout ist ein Computerspiel aus dem Jahr 1989, bei dem man dreidimensionale Würfelobjekte rotieren muss um ein rechteckiges Feld auszufüllen (vgl. Strauss, 1991). Solitaire wurde 1990 mit Microsoft Betriebssystemen veröffentlicht. Dabei handelt es sich um eine digitale Version des Kartenspiels, welches ursprünglich dazu gedacht war neuen Nutzern das Betriebssystem und die Bedienung der Maus näher zu bringen (vgl. Garreau, 1994)

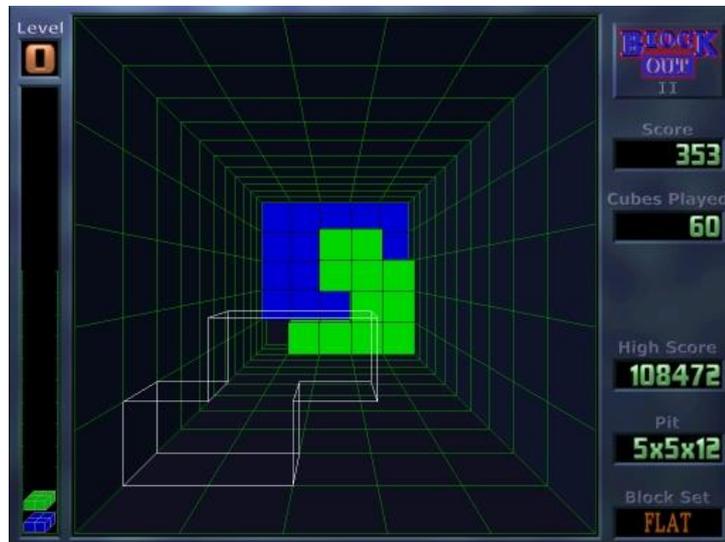


Abbildung 3: Das Computerspiel Blockout („BlockOut II - The 3D Tetris Community“, o. J.)

4.3 Verbesserung der Raumvorstellung durch Augmented Reality

Spätestens seit Pokémon Go („Pokémon GO“, o. J.) ist Augmented Reality in aller Munde und allseits bekannt. Wie im vorhergehenden Kapitel beschrieben gibt es auch im Bereich der Bildung und des Schulunterrichts bereits einiges an Forschung über Augmented Reality. Am Markt finden sich die verschiedensten Apps und Bücher, um Augmented Reality im Unterricht einzusetzen. Diese sind meistens jedoch sehr breit angesetzt und richten sich nicht spezifisch auf die Raumvorstellung oder den Geometrieunterricht. Im Zuge der Recherche wurden mehrere Studien gefunden, die sich mit der Verbesserung der Raumvorstellung durch Augmented Reality beschäftigt haben. Der Großteil dieser Studien war jedoch im Sektor der höheren Bildung angesetzt. In diesem Abschnitt wird ein Überblick über die einzelnen Studien sowie deren Ergebnisse gegeben.

Eine Studie von Kaufmann (vgl. Kaufmann, 2004) beschäftigte sich bereits 2004 mit dem Thema Augmented Reality im Geometrie Unterricht. Im Zuge des Forschungsprojekt wurde „Construct3D“ entwickelt. Dabei handelt es sich um eine Software, mit der es möglich ist in Augmented Reality zweidimensionale und dreidimensionale geometrische Objekte zu konstruieren. Hierfür wird ein Head Mounted Display (HMD) verwendet, auf welchen die dreidimensionalen Inhalte projiziert werden. Über verkabelte Handschuhe und einen für die Anwendung entwickelten Stift ist es den Schülerinnen und Schülern möglich direkt mit den virtuellen Objekten zu interagieren und diese zu manipulieren. Dies führt dazu, dass Construct3D mehr Ähnlichkeit mit dem Basteln von Objekten hat als die

Verwendung von üblichen CAD-Software Paketen. Die Studie zeigte, dass das Interagieren und sehen der dreidimensionalen Modelle den Schülerinnen und Schülern half, dreidimensionale Geometrie besser zu verstehen. „We believe these are the key factors in the potential success of using AR for teaching geometry” (Kaufmann, 2004, S. 135).

Mit der Software Construct 3D von Herrn Kaufmann wurde dann 2005 eine größere Studie von Dünser durchgeführt, um die Verbesserung der Raumvorstellung zu messen (Dünser, 2005). Hierfür wurden 200 Schülerinnen und Schüler ausgewählt, die alle ein ähnliches Level an Geometrieunterricht hatten, in diesem Fall aus der Sekundarstufe zwei und HTL Schulen. Die Pretests fanden Ende März 2005 statt. Hierbei wurde die Selbsteinschätzung sowie die Computererfahrung der Testteilnehmerinnen und Testteilnehmer befragt sowie fünf verschiedene Tests zur Feststellung der Raumvorstellung durchgeführt. Das Training erstreckte sich dann auf einen Zeitraum von sechs Wochen, zwischen Mitte April 2005 und Anfang Juni 2005, hier gab es vier verschiedene Gruppen. Eine Gruppe verwendete in sechs Übungseinheiten zu je 30 bis 45 Minuten Construct3D, eine weitere das CAD-Programm CAD3D, die dritte Gruppe hatte weiterhin den normalen Geometrieunterricht während der vierten Gruppe keinen Unterricht und keine zusätzlichen Übungen machte. Ende Juni 2005 fand dann der Posttest statt hier wurden wieder dieselben Raumvorstellungstests wie im Pretest verwendet(vgl. Dünser, 2005, S. 109–114). Bei der Auswertung der Tests konnte zwar eine Leistungssteigerung bei der Gruppe die Construct 3D verwendete festgestellt werden, diese unterschied sich aber nicht zu der von den anderen Gruppen. Besonders fiel dies bei den Ergebnissen des Mental Rotation Test auf, hier gab es bei der Construct 3D Gruppe einen geringeren Zuwachs als bei der Gruppe, die das CAD-Programm verwendete. Zu beachten ist hier jedoch, dass die CAD Gruppe bereits von Anfang ein höheres Ausgangsniveau hatte als die anderen Gruppen (vgl. Dünser, 2005, S. 157–158).

Das gesamte Forschungsprojekt lief von 1999 – 2008, seitdem findet sich dazu im österreichischen Raum leider nichts mehr. Ebenso ist die Studie von Kaufmann die einzige, die sich dezidiert mit der Verwendung von Augmented Reality im Geometrieunterricht auseinandersetzt. Der größte Vorteil, der hierbei entdeckt wurde ist, dass die Schülerinnen und Schüler direkt die dreidimensionalen Modelle sehen und damit interagieren und konstruieren können, anstatt so wie derzeit üblich diese nur mit Stift und Papier oder am Computerbildschirm über Maus und Tastatur zu konstruieren (vgl. Kaufmann, Steinbügl, Dünser, & Glück, 2005, S. 1).

Eine weitere Studie im Bereich der allgemeinen Bildung stammt aus Malaysia (vgl. Phon et al., 2019). Hier wurde ein Lehrbuch entwickelt, welches mit Augmented Reality Inhalten erweitert wird. Getestet wurde hier mit Schülerinnen und Schülern im Grundschulalter, welche im Durchschnitt zehn Jahre alt waren. Das Buch ist ausgelegt für den Astronomie Unterricht und zeigt Planeten und

andere astronomische Objekte, die durch Drehen der Image Marker rotiert werden können. Für die Studie wurde über den Zeitraum von 6 Wochen getestet, wobei in der ersten und letzten Woche die Pre- und Posttests durchgeführt wurden. In den Wochen verwendeten die Schülerinnen und Schüler das Buch im Unterricht und führten damit die Übungen durch. „Based on the results it is undeniable that there is a significant difference between the score of the pre-test and post-test. Their spatial visualization ability has greatly improved after the treatment was given.” (Phon et al., 2019, S. 627)

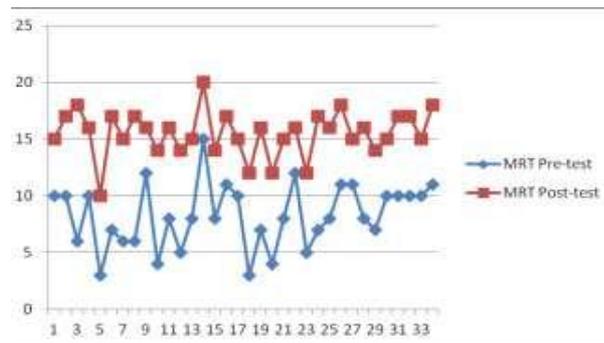


Abbildung 4: Vergleich der Pre- und Posttest der Studie von Phon et al. (Phon et al., 2019, S. 627)

Andere Studien beschäftigen sich zwar mit der Verbesserung der Raumvorstellung durch die Verwendung von Augmented Reality jedoch meist nur im Bereich der Höheren Bildung.

Auf der La Laguna University in Spanien wurde 2010 eine entsprechende Studie gestartet (vgl. Martín-Gutiérrez, Saorín, Contero, & Alcaniz, 2010). Hierfür wurde ein Augmented Reality Buch entwickelt welches Grafiken von Maschinen oder geometrischen Objekten aus dem Technikstudium in Augmented Reality darstellt. Getestet wurde es dann im Laufe des ersten Semesters mit Ingenieurs Studentinnen und Studenten als Kontrollgruppe dienten Studentinnen und Studenten im ersten Semester der Agrartechnologie. Die Ingenieursstudentinnen und Studenten verwendeten für den Einführungskurs die erstellten Materialien mit Augmented Reality, und übten eine Woche lang damit. Schlussendlich wurden dann wieder die Ergebnisse der Pre-Post-Tests verglichen. „There is a statistically significant increase in the improvement of spatial ability if we compare the results of the experimental group with the control group that did not undergo this training.” (Martín-Gutiérrez et al., 2010, S. 6) Die statistisch ausgewerteten Ergebnisse zeigen, dass eine 99% Wahrscheinlichkeit besteht die Raumvorstellung durch Augmented Reality zu verbessern. Ebenso zeigte eine Umfrage, dass die Studentinnen und Studenten mit der Verwendung von Augmented Reality sehr zufrieden waren und es eine subjektive Lernsteigerung gab.

Eine weitere Studie aus dem Jahr 2012 beschäftigte sich damit wie neue Technologien die Raumvorstellung verbessern können. Im Zuge der Studie wurden Übungsaufgaben in drei verschiedenen Arten zur Verfügung gestellt und getestet. Es wurde ein Übungsbuch mit Referenzmarkern und Augmented Reality Inhalten erstellt, eine Virtual Reality Anwendung erstellt, in der es möglich ist, die Objekte im virtuellen Raum zu sehen und eine PDF3D-Anwendung, dies sind pdf Dateien, in denen man dreidimensionale Objekte darstellen kann und eine Interaktion mit diesen Objekten möglich ist. Die Anwendungen wurden dann von Studentinnen und Studenten im Studiengang Grafik Design als Übungsmaterial im Unterricht verwendet. In den Befragungen zur Studie zeigte sich, dass die Studentinnen und Studenten die Augmented Reality Anwendung gegenüber den anderen Anwendungen bevorzugten (vgl. Dominguez, Martin-Gutierrez, Gonzalez, & Corredeaguas, 2012).

Schlussendlich gab es auch noch 2019 eine Fallstudie zu diesem Thema (vgl. Dohse, Nicolaisen, Wetzel, & Bertel, 2019). Im Zuge dieser Studie wurden zwei Prototypen entwickelt mit denen räumliche Aufgaben gelöst werden mussten. In Prototyp Eins wird das Objekt über einen Marker in Augmented Reality angezeigt. Die Benutzerin oder der Benutzer können sich dann mit der Kamera frei um das Objekt bewegen. Auch in Prototyp Zwei ist das Objekt in Augmented Reality sichtbar wird jedoch über die Finger interaktiv gedreht. Als Testpersonen wurden hier Studentinnen und Studenten herangezogen. Auch hier zeigte sich in den Pre-Post-Tests eine große Erfolgsrate, wobei der Erfolg bei den zweiten Prototypen ein wenig (0.03) höher war. „Einige Nutzer*innen gaben auch an, dass sie die AR-Interaktion zwar innovativ, aber auch anstrengend fanden.“ (Dohse et al., 2019, S. 540)

4.4 Zusammenfassung

Wie die Literatur und Forschung zeigt kann die Raumvorstellung durch die Verwendung von technischen Hilfsmitteln und dem Ausüben von fördernden Aktivitäten verbessert und trainiert werden. Wie die oben erwähnten Studien zeigen kann Augmented Reality hier ein gutes Hilfsmittel sein. Die Darstellung der dreidimensionalen Objekte in der realen Umgebung scheint dem Lernen zu helfen und die Raumvorstellung dadurch zu verbessern. Der Einsatz von Augmented Reality muss aber gut geplant sein. Basierend auf dem in Kapitel 3.3 beschriebenen Supplantationskonzept „entlastet die exakte Simulation eines kognitiven Prozesses das Arbeitsgedächtnis des Lernenden, wie sie eine wichtige Lernaufgabe – das Vorstellen eines Ablaufes – vereinfacht. Dadurch kann allerdings der Lerneffekt geschmälert werden.“ (Müller, 2012, S. 19) Die Verwendung von Augmented Reality kann daher beim Lernen und üben der Raumvorstellung unterstützen, ein zu häufiger Einsatz könnte jedoch

kontraproduktiv sein und sie zu groß entlasten, es würde daher kein Lerneffekt mehr eintreten (Müller, 2012).

In Bezug auf die Forschungsfrage, ob der Einsatz einer Augmented Reality Anwendung zur Verbesserung des räumlichen Denkvermögens beitragen kann bedeutet dies, dass die Verwendung von Augmented Reality zwar die Raumvorstellung verbessert es aber im Vergleich zu anderen Methoden wie CAD-Programmen keinen erheblichen Unterschied bei der Verbesserung gibt. Weiters besteht die Möglichkeit, den Lerneffekt durch die Verwendung von Augmented Reality zu schmälern, und so in der Langzeit eigentlich eine Verschlechterung der Raumvorstellung hervorzurufen.

5 Methodenerklärung

Um die Forschungsfragen dieser Arbeit zu beantworten wurden die folgenden Methoden angewendet.

Um herauszufinden, ob die Verwendung von Augmented Reality die Raumvorstellung verbessern kann wurde eine Anwendung für den Geometrisches Zeichnen Unterricht erstellt. Diese wäre im Zeitraum von Ende März 2020 bis Ende April 2020 an einer Schule getestet worden. Aufgrund der Schulschließungen Mitte März 2020 durch die Gefährdung von COVID-19 konnte der Test leider nicht durchgeführt werden, und wird voraussichtlich ab September 2020 nachgeholt. Eine genaue Beschreibung der Tests sowie eine Unterrichtsplanung für den Testablauf gibt es in Kapitel 8.3. Um die Forschungsfrage dennoch beantworten zu können, wurden bereits durchgeführte Forschungen im Bereich der Verbesserung der Raumvorstellung durch Augmented Reality analysiert. Einen Überblick über diese Forschungen gibt Kapitel 4.3. Ebenso wurde die Anwendung an Lehrerinnen und Lehrer die Geometrisches Zeichnen oder Darstellende Geometrie unterrichten gesendet, um herauszufinden wie gut sich die Anwendung für den Unterricht eignet. Weiters wurde die Meinung über die Anwendung von Expertinnen und Experten aus dem Bereich der Didaktik und Raumvorstellung eingeholt die Auswertung dieser Befragung findet sich in Kapitel 8.4.

Weiters wurde Mitte März eine Befragung an das Bildungsministerium sowie mehrere Bildungsdirektionen geschickt, um einen Überblick über die Verwendung von Augmented Reality im allgemeinen Schulunterricht zu kriegen. Da diese Einrichtungen seit Mitte März jedoch mit den Auswirkungen von COVID-19 und den damit verbundenen Schulschließungen stark beschäftigt sind gab es hier keine Rückmeldung. Demnach wurde die Befragung nochmals dezidiert an mehrere Lehrerinnen und Lehrer gesendet. Die Auswertung der Befragung findet sich in Kapitel 6. Über diese Befragung sowie eine ausführliche Literaturrecherche wurden die weiteren Forschungsfragen dieser Arbeit beantwortet. Um einen Überblick über bereits vorhandene Augmented Reality Anwendungen für den Schulunterricht zu bekommen wurden diese recherchiert und getestet diese sind in Kapitel 3.1 näher beschrieben.

Wie die Befragung der Lehrerinnen und Lehrer zeigte scheuen diese sich oft vor der Technik, die für die Anwendungen benötigt wird. Ebenso ist eine wichtige Voraussetzung, um Augmented Reality im Unterricht zu verwenden, dass die Anwendung zum jeweiligen Lehrstoff passt. Um herauszufinden ob es für Lehrerinnen und Lehrer auch möglich wäre ohne viel Vorwissen und ohne Programmierkenntnisse selbst Augmented Reality Anwendungen zu erstellen

wurden mehrere Methoden recherchiert, die es gibt, um solche Anwendungen zu erstellen. Einen Überblick über diese gibt Kapitel 7.

6 Auswertung der Expertinnen und Experten Befragung zur Verwendung von Augmented Reality im Schulunterricht

Im Zuge dieser Arbeit wurde im Zeitraum von Ende März bis Mitte Mai eine Befragung an Schulen in Österreich durchgeführt. Diese Befragung wurde an mehrere Lehrerinnen und Lehrer weitergeleitet, und wurde von 16 Expertinnen und Experten aus dem Lehrberuf und der Didaktik beantwortet.

Anfragen an Unternehmen die Anwendungen für den Schulunterricht entwickeln sowie an das Bildungsministerium und die Bildungsdirektion blieben leider auch unbeantwortet.

Die Befragung wurde durchgeführt, um einen Überblick zu bekommen, ob neue Technologien wie Augmented Reality bereits im Unterricht verwendet werden. Welche Voraussetzungen zur Verwendung benötigt werden, welche Schwierigkeiten bei der Verwendung von Augmented Reality auftreten können und welche Gründe es hat, dass Augmented Reality derzeit noch kaum im Unterricht verwendet wird. 11 der befragten Lehrerinnen und Lehrer unterrichten an einer AHS und zwei der befragten Lehrerinnen und Lehrer an einer NMS, drei der Befragten kommen aus der höheren Bildung und sind Expertinnen und Experten im Bereich der Didaktik.

Bei der Frage welche Voraussetzungen benötigt werden, um Augmented Reality an Schulen und im Unterricht zu verwenden wurden am häufigsten die technischen Materialien, also Smartphones, Tablets oder Computer genannt. Bei diesen ist auch der Zustand der Geräte ein wichtiger Punkt, die Bildschirme dürfen nicht zerkratzt oder defekt sein. Weitere Voraussetzungen sind die technischen Kenntnisse der Lehrerinnen und Lehrer sowie eine Möglichkeit der Fortbildung und Schulung für diese. Eine der befragten Lehrpersonen sieht auch Unterrichtsmaterial, sowie zum Beispiel eine Unterrichtsplanung als Voraussetzung um Augmented Reality verwenden zu können.

Von den 16 befragten Lehrerinnen und Lehrer haben bisher letztendlich nur drei Personen Augmented Reality bereits im Unterricht verwendet. Woran dies liegt beantwortete die nächste Frage. Hier gaben fast alle Befragten an, dass eine der größten Schwierigkeiten die fehlenden technischen Kenntnisse der Lehrpersonen sind. Ein weiteres Problem ist das teure Equipment, das an den meisten Schulen

nicht vorhanden ist. Drei der Befragten sehen es auch eine Schwierigkeit darin den Unterricht, um die jeweiligen Anwendungen selbst zu planen.

Zusammenfassend sind die größten Probleme und Schwierigkeiten der Verwendung von Augmented Reality, laut den Befragten, der Umgang mit der Technik durch das fehlende Wissen der Lehrpersonen sowie die mangelnde Ausrüstung der Schulen mit der benötigten Hardware.

Die genauen und anonymisierten Antworten der Befragung befinden sich im Anhang 1 dieser Arbeit.

7 AR Anwendungen erstellen

Wie in den oberen Kapiteln beschrieben gibt es mittlerweile viele verschiedene Augmented Reality Anwendungen, die im Unterricht verwendet werden können. Oft ist jedoch der Bedarf, der im Unterricht benötigt wird, ein anderer. Die meisten Anwendungen kommen aus dem amerikanischen Raum und wurden für das amerikanische Bildungssystem entwickelt. Andere Bildungssysteme benötigen demnach auch andere Anwendungen. Andere Anwendungen benötigen dann wieder sehr spezifische Hardware, die für Schulen teuer ist und oft nicht zur Verfügung steht. Auch Bücher, die mit Augmented Reality Inhalten erweitert wurden, sind in der Anschaffung sehr teuer, insbesondere, wenn diese für alle Schülerinnen und Schüler einer Klasse gekauft oder kopiert werden müssen.

Die meisten Möglichkeiten, die es gibt, sind Apps, die im jeweiligen Appstore heruntergeladen werden müssen. Hierbei müssen auch rechtliche Problematiken beachtet werden. Die App wird von den Schülerinnen und Schülern auf deren privaten Gerät installiert, und benötigt bei Augmented Reality mindestens die Berechtigung auf die Kamera des Geräts zu zugreifen sowie je nach Anwendung auch andere Zugriffsrechte, wie zum Beispiel auf das Mikrofon. Hier müssen die Lehrkräfte unbedingt darauf achten, dass die verwendete App der DSGVO (=Datenschutz Grundverordnung) („Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO) - JUSLINE Österreich“, o. J.) entsprechen, um auch im Unterricht ohne Probleme verwendet werden zu können.

Dieses Kapitel gibt einen Überblick über die verschiedenen Möglichkeiten, die es gibt, um Augmented Reality Anwendungen selbst erstellen zu können. Dadurch soll eine Methode gefunden werden, die es Lehrerinnen und Lehrern vereinfacht Anwendungen für den Unterricht, ohne viel Vorwissen und ohne Programmierkenntnisse, selbst zu erstellen. Gerade in den letzten Jahren sind viele verschiedene Programme und Weblösungen zum Erstellen von Augmented Reality Anwendungen auf den Markt gekommen.

Je nachdem was man mit der Anwendung erreichen möchte und welche Funktionen diese haben kann werden unterschiedliche Werkzeuge und Fähigkeiten benötigt. Wenn man nur neben einem realen Objekt bestimmte Informationen, wie zum Beispiel Text oder ein kurzes Video, zeigen möchte benötigt man nicht viel. Möchte man nun jedoch ein detailliertes Model des menschlichen Auges darstellen und die Möglichkeit haben die verschiedenen Schichten anzuzeigen benötigt man sehr viel mehr. Gerade das Einblenden von Textfeldern oder Videos ist mittlerweile sehr simpel, man benötigt hierfür nur das Video und die jeweilige Information. Die meisten Programme und Anwendungen

bieten hierfür vorgefertigte Szenen an in denen man durch ein paar Klicks schnell selbst eine Anwendung erstellen kann.

7.1 3D Modelle

Möchte man aber nicht nur Text und Videos anzeigen, sondern die vollen Möglichkeiten von Augmented Reality nutzen benötigt man auch 3D Modelle. Je nachdem wie viel Zeit und Arbeit man in die Entwicklung der Anwendung investieren möchte ist es natürlich möglich, selbst 3D Modelle zu erstellen. Als Software eignet sich hier Blender sehr gut, da es eine kostenfreie OpenSource Software ist. Für Blender gibt es auch viele Tutorials die einen schnellen Einstieg ermöglichen („blender.org“, o. J.).

Das Erstellen von 3D Modellen ist aber ohne Vorerfahrung nicht unbedingt einfach und benötigt sehr viel Zeit. Mittlerweile gibt es aber viele Plattformen auf welchen 3D Modelle erhältlich sind. Auf Plattformen wie „Sketchfab“ („Windows 3D models - Sketchfab“, o. J.), „Google Poly“ („Google Poly“, o. J.), „TurboSquid“ („TurboSquid“, o. J.) oder „CGTrader“ („CGTrader“, o. J.) sind 3D Modelle als Download erhältlich. Viele der Objekte sind sogar kostenfrei und können, unter Berücksichtigung der jeweiligen Lizenzangaben, verwendet werden.

Um beim Anfang erwähnten Beispiel eines menschlichen Auges zu bleiben kann man zum Beispiel auf Sketchfab kostenfrei ein sehr detailliertes Model finden. Auf diesem sind sogar alle Nerven bereits eingezeichnet und beschriftet (siehe Abb. 5).

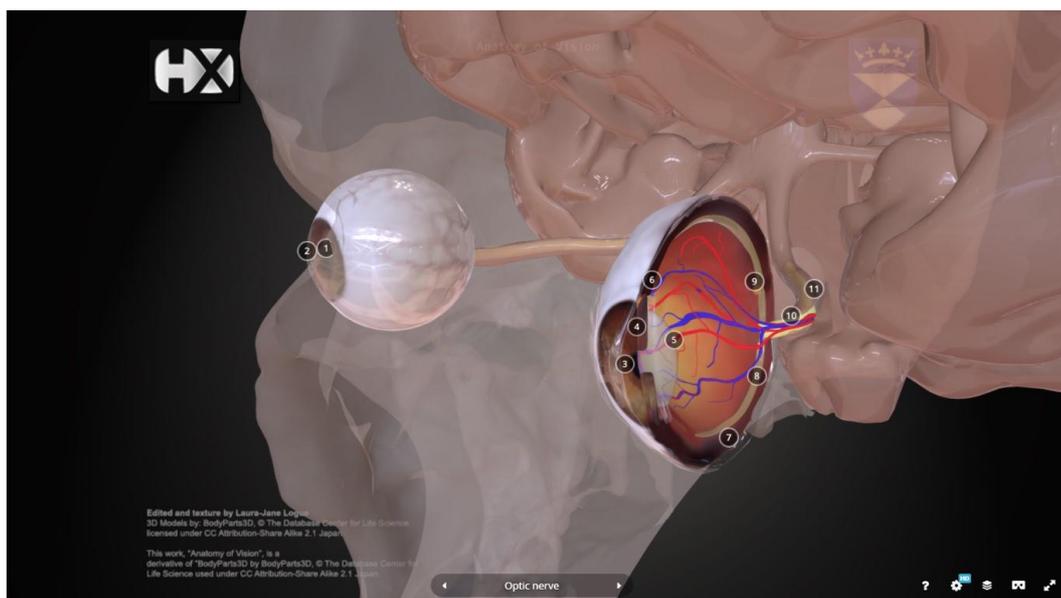


Abbildung 5: 3D Modell des menschlichen Auges von Sketchfab („Science & Technology 3D Models | Categories“, o. J.)

Eine weitere Möglichkeit, um 3D Modelle für eine Anwendung zu bekommen hängt vom jeweiligen Programm ab mit welchem man diese erstellt. Viele Programme und Webanwendungen, die in den nächsten Abschnitten näher beschrieben werden, bieten eine Bibliothek an Funktionen und Modellen an, die für eigene Anwendungen verwendet werden können. Auch hier gibt es viele Modelle die kostenfrei zur Verfügung stehen.

Benötigt man nun also für seine eigene Anwendung 3D Modelle gibt es mittlerweile viele Möglichkeiten, um diese kostenfrei zu erhalten.

7.2 Game Engines

Um Augmented Reality Anwendungen zu erstellen benötigt es eine Art Editor, mit welchem diese erstellt werden können. Viele Anwendungen werden heutzutage mit so genannten „Game Engines“ erstellt. Game Engines sind nichts anderes als Software Umgebungen, die es ermöglichen dank bestimmter Eigenschaften das Entwickeln von Spielen oder anderen Anwendungen zu erleichtern. Eine Game Engine unterstützt zum Beispiel durch Physik-Optionen, wie bestimmte Objekte mit einander kollidieren oder hinunterfallen, und Rendering, also jene Einstellung wie Objekte dargestellt werden (vgl. Ward, 2008).

Im Folgenden wird nun näher erklärt wie es möglich ist mit der Game Engine Unity („Unity“, o. J.) selber Augmented Reality Anwendungen zu erstellen.

Um in Unity eine Augmented Reality Anwendung zu erstellen benötigt es ein so genanntes SDK („Software development kit“). Ein SDK ist eine Sammlung an Befehlen, Funktionen und Bibliotheken, die man benötigt, um bestimmte Anwendungen zu erstellen. So beinhaltet ein SDK meist auch APIs (Application programming interface), dies ist eine Sammlung an Programmiermethoden die bei der Verwendung von speziell für eine Anwendung benötigten Funktionen als Schnittstelle dienen. („What’s the difference between an API and an SDK?“, 2017) Ein SDK für Augmented Reality Anwendungen würde zum Beispiel eine Methode beinhalten, die es ermöglicht Bilder als Image Marker zu verwenden.

Man benötigt nun also ein passendes SDK, für Unity stehen hier mehrere zur Auswahl. Welches man verwenden sollte hängt von der vorhandenen Hardware ab.

Das SDK ARCore wird von Google angeboten und ermöglicht das Erstellen von Augmented Reality Apps für Android oder iOS. Da viele Funktionen die ARCore verwendet sehr rechen aufwendig sind funktionieren die Anwendungen nur auf neueren Smartphones und Tablets. Die Liste an unterstützten Handys wird aber laufend ergänzt („ARCore Supported Devices“, o. J.). Dennoch kann es hier gerade in der Schule zu Einschränkungen durch die Hardware kommen, die

Funktionen von ARCore sind dafür aber umso beeindruckender. Durch „Plane Detection“ ist es möglich Oberflächen zu erkennen und auch zwischen der Höhe von Boden zu Tisch zu unterscheiden. Durch einen Klick auf die Oberfläche kann dann ein Objekt dort dargestellt werden. Es ist also nicht nötig Image Marker zu verwenden, man kann die Objekte durch Interaktionen mit dem Smartphone platzieren und auch manipulieren. Trotzdem ist es auch hier möglich Image Marker für die Anwendung zu verwenden. Im SDK selbst gibt es einige Demo Szenen, welche die verschiedenen Funktionen zeigen. Mit der Hilfe von Tutorials ist es nun relativ einfach, die Demo Szenen so zu verändern, dass man zum Beispiel die 3D Modelle austauscht („Quickstart for Android | ARCore“, o. J.).

Ähnlich zu ARCore ist das SDK ARKit welches von Apple angeboten wird. Es ist demnach auch nur mit iOS Geräten kompatibel. Zu den Funktionen ist es ARCore jedoch sehr ähnlich. ARKit bietet jedoch mittlerweile mehr und bessere Methoden des Trackings an. So können mittlerweile Menschen und deren Bewegungen erkannt werden und als Animation auf andere Objekte wie zum Beispiel ein Tier gelegt werden. Zusätzlich ist es in ARKit mittlerweile möglich nicht nur zweidimensionale Bilder, sondern auch dreidimensionale Objekte als Marker zu verwenden. Ebenso ist es möglich Gesichter zu erkennen, zu verfolgen und mit 3D Objekten zu überlagern. Da ARKit ausschließlich auf iOS Geräten, die sehr hochpreisig sind, funktioniert ist hier die Hardware Problematik nochmals um ein Vielfaches größer („ARKit“, o. J.).

Ein SDK welches die Funktionen der beiden oben erwähnten SDKs vereinigt ist ARFoundation. Dieses SDK wird direkt von Unity entwickelt und vereinigt ARCore und ARKit in ein SDK. Dadurch ist es möglich für beide Plattformen, also Android und iOS, Anwendungen zu entwickeln, ohne mehrere einzelnen Anwendungen zu machen. Manche Funktionen sind aber trotzdem wieder plattformabhängig, wie zum Beispiel das 3D Objekt Tracking („Unity’s Handheld AR Ecosystem“, 2018).

Alle drei SDKs sind genauso wie Unity kostenfrei nutzbar. Für ARKit muss man sich jedoch bei Apple als Entwickler registrieren. Die fertigen Apps können dann entweder in den jeweiligen App Stores zur Verfügung gestellt werden oder wenn man die App nicht veröffentlichen will kann man diese auch direkt auf die Geräte laden.

Für Unity sowie die jeweiligen SDKs gibt es online sehr viele Tutorials. Es benötigt aber sehr viel Zeit, um sich in die Materie einzuarbeiten und sich in den Oberflächen zu Recht zu finden. Es ist zwar möglich die vorhandenen Demo Szenen im jeweiligen SDK umzuändern, aber auch dies ist ohne Vorwissen gar nicht so einfach. Um letztendlich wirklich selbst eine Anwendung mit Unity zu erstellen braucht es ohne Vorerfahrung relativ viel Zeit und zumindest ein wenig Programmiererfahrung.

Durch die Einschränkungen der SDKs, und da es nur möglich ist Anwendungen zu erstellen die letztendlich am Gerät installiert werden müssen, ist für die eigene Erstellung ohne Entwickler Hintergrund von der Verwendung von Game Engines eher abzuraten.

7.3 Andere Editoren

Es gibt aber dennoch andere Lösungen am Markt, mit denen es auch ohne Programmierkenntnisse und viel Vorwissen möglich ist, schnell und einfach Augmented Reality Anwendungen zu erstellen. Über diese soll hier ein kurzer Überblick gegeben werden.

7.3.1 PlayCanvas

PlayCanvas ist eine online basierte Game Engine, und funktioniert vom Aufbau ähnlich wie Unity. Eine genauere Beschreibung wie man mit PlayCanvas eine Augmented Reality Anwendung erstellen kann folgt im nächsten Kapitel, da es für die Erstellung der ARGeometrie Anwendung verwendet wurde („PlayCanvas - The Web-First Game Engine“, o. J.) .

7.3.2 ZapWorks

ZapWorks ist ein Editor zur Erstellung von webbasierten Augmented Reality Anwendungen. Zum Üben und Erstellen ist er gratis verfügbar, um die Anwendungen aber kommerziell verwenden zu können muss man eine Lizenz zahlen. Die Benutzeroberfläche von Zapworks ist sehr simpel aufgebaut und schnell und einfach verständlich. Auch hier gibt es viele Tutorials direkt von den Entwicklern, die einem sehr einfach und gut erklären wie man einfache Anwendungen auch ohne zu programmieren selbst erstellen kann. Um die Anwendung letztendlich verwenden zu können gibt es einen Link auf eine von ZapWorks zur Verfügung gestellte Website. Der Editor von ZapWorks ist sehr einfach zu bedienen und man kann schnell Ergebnisse produzieren. Man ist aber auch hier auf Image Marker eingeschränkt und kann hier pro Szene maximal einen verwenden. Es eignet sich daher am ehesten für Werbungen oder Flyer und eher wenig für den Schulunterricht („ZapWorks“, o. J.).

7.3.3 XR+

Mit XR+ lassen sich webbasierte Augmented Reality Anwendungen erstellen. Diese verwenden Referenz Marker, über welchen dann 3D Modelle oder andere Inhalte dargestellt werden können. In der gratis Version von XR+ ist es aber nur möglich einen vorgefertigten Marker der Firma zu verwenden, und ist daher auf

einen Marker pro Szene beschränkt. In der kostenfreien Version können auch maximal nur fünf Szenen erstellt werden („XR.+ | AR & VR on the Web“, o. J.) .

7.3.4 Areeka Studio

Auch das bereits erwähnte österreichische Unternehmen Areeka bietet demnächst einen Webbasierten Editor an. Dieser befindet sich derzeit aber noch in der BETA Version und ist nur mit einem Code zugänglich. Über diesen Editor soll es möglich sein, webbasierte Augmented Reality Anwendungen zu erstellen. Zusätzlich zu Referenz und Image Markern soll es hier, ähnlich wie in ARCore und ARKit, möglich sein Oberflächen ohne Marker zu erkennen. Sie versprechen derzeit auch die Möglichkeit Location basierte Anwendungen zu erstellen, bei diesen ist es möglich an bestimmten GPS Koordinaten Augmented Reality Inhalte darzustellen. Laut der Website soll es auch eine Datenbank an über 1000 3D Modellen geben, die speziell für die Bildung und den Unterricht ausgelegt sind. Je nach Lizenz kann man von diesen Modellen bis zu fünf kostenlos verwenden. Die Basisversion des Editors ist gratis, beschränkt einen jedoch auf maximal fünf Projekte und die Referenz Marker, die sie zur Verfügung stellen. Auch in der Medium Version um 15€ pro Monat ist man auf die Marker von Areeka beschränkt. Erst ab der Premium Version von 35€ pro Monat hat man bei den Projekten, Speicherplatz und Markern keine Einschränkungen mehr („Areeka Studio BETA“, o. J.).

7.3.5 SparkAR

Etwas andere Möglichkeiten bietet der Editor „SparkAR“. SparkAR wurde von Facebook entwickelt und bietet einem die Möglichkeit Kameraeffekte für Instagram oder Facebook zu erstellen. Bekannt sind hier meist GesichtsfILTER die Zeichnungen oder andere Effekte auf dem Gesicht darstellen. SparkAR bietet aber bei weitem mehr. Es ist auch hier möglich Image Marker zu verwenden und auf diesen 3D Modelle darzustellen. Auch hier ist es möglich Image Marker zu verwenden und auf diesen 3D Content darzustellen. SparkAR bietet auch einen sogenannten „Patch Editor“ an. Durch diesen ist es möglich kompliziertere Abläufe ohne programmieren zu erstellen. So kann zum Beispiel sehr einfach einstellen, dass wenn ein Lächeln erkannt wird andere Effekte angezeigt werden als wenn jemand traurig aussieht. Die Möglichkeiten und verschiedenen Einsatzarten des Patch Editors sind mittlerweile sehr gut dokumentiert und beschrieben. Der fertige Effekt oder die fertige Anwendung wird danach direkt auf Instagram oder Facebook hochgeladen und ist dort öffentlich zugänglich. Es ist aber auch möglich den Effekt nicht zu veröffentlichen aber dennoch über einen Link, der an mehrere Benutzer gegeben werden kann, aufzurufen. Ein Vorteil ist es hier das viele Schülerinnen und Schüler Facebook oder Instagram bereits am Handy installiert haben und hier keine neue App benötigt wird. Nachteil ist bei Facebook und Instagram immer der

Datenschutz, auf dem insbesondere in Schulen und bei minderjährigen Schülerinnen und Schülern geachtet werden muss („Spark AR Studio“, o. J.) .

7.3.6 Amazon Sumerian

Ähnlich wie PlayCanvas ist auch Amazon Sumerian ein Browser basierter Editor („Amazon Sumerian Overview“, o. J.). Angeboten wird er von Amazon Web Services (AWS). Über ihn ist es möglich sowohl Augmented als auch Virtual Reality Anwendungen zu erstellen. Im ersten Jahr ist die Verwendung aller angebotenen Leistungen kostenfrei. Einige der Leistungen sind auch nach Ablauf des ersten Jahres noch kostenfrei die weiteren Leistungen werden dann je nach Verbrauch berechnet. Die Bedienung des Editors ist sehr einfach aufgebaut und auch von Leuten schnell erlernbar. Auch hier gibt es wieder eine Sammlung an fertigen 3D Modellen, die kostenfrei verfügbar sind und in den Anwendungen verwendet werden können. Die fertigen Anwendungen verwenden die APIs von ARCore und ARKit es wird demnach ein Smartphone benötigt, welches mit diesen kompatibel ist (Jakl, 2018). AWS bietet auch eigene Vergünstigungen, Schulungen und andere Ressourcen speziell für Bildungseinrichtungen und Lehrkräfte an („AWS Educate“, o. J.).

7.3.7 Augment

Eine sehr einfache und schnelle Art, um Augmented Reality zu verwenden bietet Augment. Nach der Registrierung kann man direkt auf der Website seine 3D Modelle hochladen und über einen QR-Code teilen. Über die Augment App ist es dann möglich den Code zu scannen und dadurch das 3D Modell in Augmented Reality sehen zu können. Dafür benötigt es keine Marker oder andere Referenzen. Das Modell kann dann gedreht und positioniert werden. Die Anwendung eignet sich daher eher für den eCommerce Bereich und die Werbung, da man so Produkte zum Beispiel aus einem online Store in „real“ sehen kann. Für Augment gibt es eine 14 Tage kostenlose Probezeit danach gibt es auch hier wieder unterschiedliche Lizenzen, auch speziell für Schulen („Augment“, o. J.).

7.4 Zusammenfassung

Grundsätzlich gibt es viele verschiedene Möglichkeiten, um selbst Augmented Reality Anwendungen zu erstellen. Wichtig ist, dass man sich zuvor überlegt was man mit der Anwendung erreichen möchte und wie diese aufgebaut sein soll. Ebenso gilt es zu bedenken welche Hardware den Schülerinnen und Schülern zur Verfügung steht. Viele Editoren verwenden die API von ARCore oder ARKit und die Anwendungen können daher nicht auf jedem Smartphone verwendet werden. Wenn die Anwendung für Gruppenarbeiten gedacht ist genügt es aber, wenn nur

ein paar kompatible Smartphones zur Verfügung stehen. Durch die vielen verschiedenen Programme und Anwendungen die zur Verfügung stehen, deren simplen Aufbau sowie durch freiverfügbare Demo Szenen ist es auch für jemanden ohne Programmierkenntnisse und ohne viel Vorerfahrung mittlerweile möglich einfache Anwendungen für den Schulunterricht zu erstellen.

Wie die Recherche und Umfrage zeigten, ist eine Voraussetzung, um Augmented Reality im Unterricht verwenden zu können, es Anwendungen zu haben die mit dem Lehrstoff zusammenpassen und diesen didaktisch gut aufbereiten. Am besten wäre es für Lehrpersonen selbst schnell und einfach Anwendungen erstellen zu können. Die durchgeführte Umfrage zeigte jedoch, dass viele Lehrpersonen sich vor der Technik scheuen und befürchten nicht genügend technisches Wissen zu haben, um ihren Lehrstoff mit Augmented Reality zu bereichern. Wie dieses Kapitel zeigt, gibt es aber viele Möglichkeiten um selbst ohne Programmierkenntnisse und ohne viel technisches Wissen Anwendungen zu erstellen und diese auf den eigenen Unterricht anzupassen.

8 ARGeometrie – Erstellung einer Applikation zur Unterstützung des Geometrisches Zeichnen Unterrichts

Im Zuge dieser Arbeit wurde eine Augmented Reality Webanwendung erstellt. Ziel war es hier eine Anwendung zu erstellen die den Geometrisches Zeichnen Unterricht unterstützen kann und die Raumvorstellung verbessern kann. Wie die Studien in Kapitel 4.3 zeigen kann man durch die Verwendung von Augmented Reality eine Verbesserung der Raumvorstellung erzielen.

Im Folgenden wird beschrieben wie die Anwendung erstellt wurde. Es wird darauf eingegangen welche Anforderungen die Anwendung erfüllen soll, welche Technik dafür verwendet wurde sowie wie sie letztendlich im Unterricht eingesetzt werden kann. Um den Lehrpersonen die Verwendung der Applikation zu vereinfachen und darzustellen wie es möglich ist diese im Unterricht gut einzusetzen wurde eine Unterrichtsplanung entworfen. Schlussendlich hätte die Anwendung ab Ende März 2020 in einer Schule getestet werden sollen. Aufgrund der Umstellung auf Fernlehre durch die Gefährdung von Covid-19 war dies letztendlich aber im Zuge dieser Arbeit nicht mehr möglich. Dennoch wird beschrieben wie die Tests abgelaufen wären und welche Methoden zur Überprüfung der Raumvorstellung verwendet werden. Die Tests wurden letztendlich auf September 2020 verschoben. Um dennoch einen Einblick über die Verwendung der Applikation zu bekommen wurde sie an mehrere Expertinnen und Experten gesendet.

8.1 Erstellung der Applikation

Die Anwendung wurde in Abstimmung mit einem Geometrielehrer, Mag. Martin Horvath, für den Unterricht in Geometrisches Zeichnen erstellt. Mit Herrn Mag. Horvath wurde besprochen, welche Anforderungen die Anwendung erfüllen soll sowie welche Übungen für den Unterricht angemessen sind. Auf Grund diesen Anforderungen wurde dann die Anwendung sowie die benötigten Übungsbeispiele erstellt. Die gesamten Beispiele und Referenz Marker befinden sich in Anhang 3 dieser Arbeit.

8.1.1 Anforderungen

Eine der größten Anforderungen war es die Applikation so zu gestalten, dass sie sowohl im Unterricht als auch als Übungen für die Schülerinnen und Schüler daheim verwendbar ist. Hierfür muss die Anwendung auf so vielen Smartphones wie möglich funktionieren. Wichtig war es auch, dass die Übungen für Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe Eins angemessen sind. Sie dürfen daher nicht zu schwierig aber auch nicht zu einfach sein. Weiters gab es zu beachten, dass die Anwendung nicht zu viele verschiedene Interaktionen benötigt, um die Schülerinnen und Schüler nicht kognitiv zu überlasten und somit zu überfordern. Schlussendlich wurde auch bedacht, wie es möglich ist die Anwendung so zur Verfügung zu stellen, dass sie im Zuge der Tests nicht unter den Schülerinnen geteilt werden kann, um die Pre-Post-Tests der Kontrollgruppe nicht zu beeinflussen.

8.1.2 Umsetzung

Auf Grund der Vorrecherche im Bereich der Raumvorstellung wurden als Erstes Übungen in den drei Hauptfaktoren der Raumvorstellung erstellt. Es gibt je fünf Beispiele für die Mentale Rotation (Würfelschlangen) und räumliche Beziehung sowie ein Beispiel für die räumliche Orientierung. Bei den Beispielen für die Mentale Rotation sind jeweils vier Bilder von Würfelschlangen gegeben, die sich aus einzelnen Würfelobjekten zusammensetzen. Drei dieser Bilder zeigen dieselbe Würfelschlange aus anderen Perspektiven und ein Bild zeigt eine andere Würfelschlange, die jedoch ähnlich aussieht. Ziel bei diesen Aufgaben ist es die andere Würfelschlange zu identifizieren.

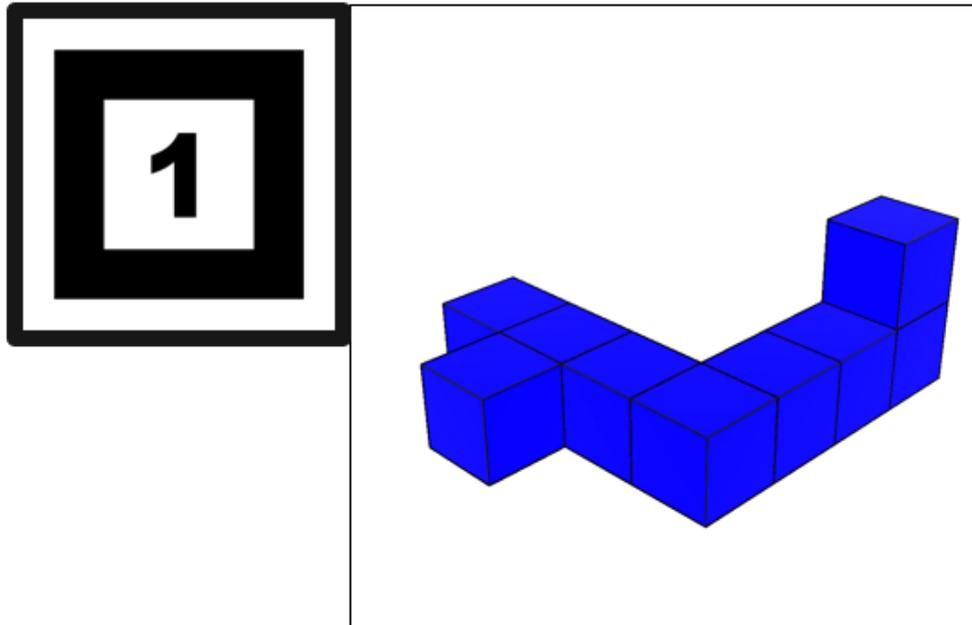


Abbildung 6: Angabe und Marker für ein Beispiel der Würfelschlangen

In den Beispielen der räumlichen Beziehung gibt es jeweils ein Angabe Objekt, welches einen unvollständigen Würfel zeigt, sowie vier Objekte aus einzelnen Würfeln. Eines dieser vier Objekte ergibt gemeinsam mit dem Angabe Objekt einen vollständigen Würfel, Ziel ist es also dieses richtige Objekt zu finden.

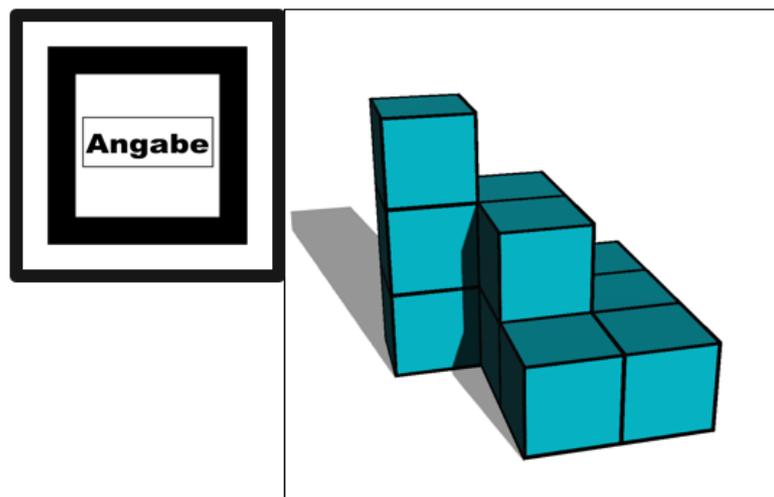


Abbildung 7: Angabe und Marker des Würfelobjekts für die räumliche Beziehungen

Im Beispiel der räumlichen Orientierung ist eine Szene mit vier Objekten und 10 Kamerapositionen gegeben. Am Übungsblatt gibt es nun mehrere Aufnahmen dieser Szenen, Ziel der Übung ist es herauszufinden von welcher Kameraposition die Aufnahme gemacht wurde.

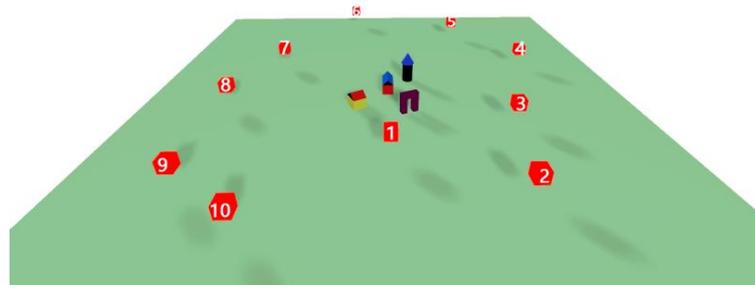


Abbildung 8: Szene und Angabe für das Beispiel der räumlichen Orientierung

Die Beispiele wurden aus dem Buch Geodikon (vgl. Maresch, Müller, & Scheiber, 2016) sowie der Plattform „RIF3D“ der Arbeitsgemeinschaft Didaktischer Innovation für Geometrie (ADI3D) (vgl. ARGE Didaktische Innovation für GZ/DG, o. J.-b) adaptiert. Da diese Beispiele für den klassischen Unterricht ausgelegt sind, und nur als Bilder vorhanden sind, mussten zuerst 3D Modelle angefertigt werden.

Diese 3D Modelle wurden in Blender erstellt und für die Weiterverwendung exportiert. Die Würfelschlangen sowie die Beispiele für die räumliche Orientierung sind einzelne Objekte bestehen aus mehreren Würfeln, die dementsprechend exportiert wurden. Bei dem Beispiel für die räumliche Orientierung handelt es sich um eine Szene, die in Blender erstellt und dann als ein Objekt exportiert wurde, um im Weiteren damit arbeiten zu können. In der Szene der räumlichen Orientierung dienen rote Würfel als Anhaltspunkte für die jeweiligen Kamerapositionen. Eine Schwierigkeit war es hier die zweidimensionalen Bilder der Würfelschlangen und Würfelteile im Dreidimensionalen richtig zu konstruieren. Manche der zweidimensionalen Aufgaben sind durch das Ausschlussverfahren zu lösen, da nicht die volle Ansicht des Objektes gegeben ist. So sieht man zum Beispiel bei einem Würfelteil nicht das sich hier unten in der Mitte noch ein Würfel befindet da nur die Ansicht von oben gegeben ist. Dies erschwerte die richtige Rekonstruktion der Objekte, da diese ja in Augmented Reality von allen Seiten anschaulich sind.

Durch die gegebenen Anforderungen wurde recherchiert, welches System und welche Methode sich für diese Anwendung am besten eignet. Zuerst wurde angedacht eine App über Unity und ARFoundation zu entwickeln, da die Tracking Methoden hier sehr gut und stabil funktionieren. Das Problem ist hier jedoch, dass die App nicht auf allen Smartphones, sondern nur auf neueren Endgeräten funktioniert. Es hätte also nicht jede Schülerin und Schüler die Möglichkeit die App zu verwenden. Eine weitere Schwierigkeit ist, dass die App fix am Smartphone von jedem Kind installiert werden muss. Dadurch könnte die Gruppe mit der App diese auch Kolleginnen und Kollegen aus der Gruppe, die die Übungen ohne App macht,

also der Kontrollgruppe, zeigen. Wodurch die Gefahr bestehen würde die Testergebnisse der Pre-Post-Tests zu verfälschen. Aufgrund dieser Vermutungen und Schwierigkeiten wurde die Entscheidung getroffen eine webbasierte Augmented Reality Anwendung zu erstellen. Hierbei muss die Anwendung nicht auf dem Smartphone installiert werden, sondern wird über den Browser als Website aufgerufen. Diese Website kann dann im Zuge der Tests für die jeweilige Testgruppe freigeschalten werden und nach den Unterrichtseinheiten wieder gesperrt werden. So ist es den Schülerinnen und Schülern nur möglich die Anwendung während den Unterrichtseinheiten zu verwenden. Demnach wäre ein Teilen der Anwendung mit der Kontrollgruppe nur schwer möglich und die Testergebnisse relativ sicher vor Verfälschungen. Um nun also eine webbasierte Augmented Reality Anwendung zu erstellen wurden verschiedene Editoren und Möglichkeiten getestet. Einzelne Beschreibungen der getesteten Editoren und Möglichkeiten, die es gibt, um Augmented Reality Anwendungen zu erstellen, finden sich in Kapitel 7.

8.1.2.1 AR.js

Nach der Recherche und dem Testen der verschiedenen Möglichkeiten wurde zu Beginn zum Erstellen der Anwendung die Bibliothek AR.js verwendet. Dabei handelt es sich um ein JavaScript basiertes Framework, über welches es möglich ist, Augmented Reality Anwendungen für das Web zu programmieren. Ein Framework ist, ähnlich wie eine API, eine Sammlung an Bibliotheken, die einem Features zur Verfügung stellen, um bestimmte Methoden zu programmieren. Bei einem Framework ist es allerdings auch möglich dieses zu modifizieren oder zu erweitern (vgl. „What Is Software Framework?“, 2018). AR.js vereinigt gesamt drei weitere Frameworks, three.js, A-Frame und jsartoolkit 5 (vgl. „AR.js Documentation“, o. J.).

Three.js macht es möglich 3D Modelle im Web darzustellen. So kann man also ein aus Blender erstelltes Modell exportieren und im Code importieren. Dieses wird dann im Browser dargestellt („Welcome to the Missing Manual for Three.js!“, o. J.). A-Frame unterstützt einem beim Erstellen von Augmented und Virtual Reality Anwendungen für das Web („A-Frame“, o. J.). JSArtoolkit ist letztendlich eine Umwandlung des ARtoolkits, um es mit Javascript zu verwenden. Eine genauere Beschreibung folgt in Absatz 6.1.2.3.

Durch die Verwendung dieser Frameworks sowie eigenen Erweiterungen bietet AR.js sehr viele Vorteile. Es benötigt keine langen Ladezeiten, ist webbasiert, OpenSource und funktioniert auf fast jedem Smartphone (vgl. „AR.js Documentation“, o. J.).

Um diese Anwendung möglichst gut zu erstellen wurde die Methode von Referenz Marker Tracking gewählt. Dabei handelt es sich um eine bestimmte Art an Image Marker, die über eine Website erstellt werden können. Wichtig ist es hier einen

weißen Außenrand sowie einen weiteren dunkelfarbenen Innenrand in quadratischer Anordnung zu haben. Im Inneren des Markers kann man dann ein eigenes Bild, in schwarz /weiß /grau hochladen. Dieses sollte gut erkennbar und einen simplen Text enthalten (vgl. Carpignoli, 2020). Über eine Webanwendung können die Referenzmarker schnell selbst erstellt werden, und man erhält die für das Programmieren nötigen Dateien. Über „Download Marker“ erhält man ein pat File, dieses wird im Code benötigt, um den Marker zu erkennen. Mit dem Button „Download Image“ kann man seinen Marker als Bild herunterladen, um es dann auf ein Blatt zu drucken und so über die Kamera in der Anwendung zu scannen (vgl. „AR.js Marker Training“, o. J.).

Als erste Methode wurden Barcode Marker verwendet. Diese sind speziell erstellte Marker auf Basis der oben genannten Bedingungen eines Markers. Sie werden in Absatz 6.1.2.3 noch näher erklärt.

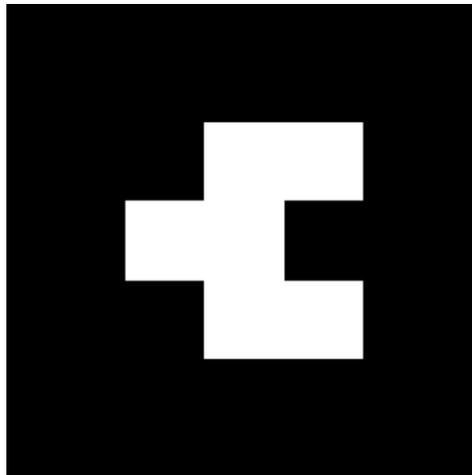


Abbildung 9: Ein für die Anwendung erstellter Barcodemarker

Der Großteil der Anwendung wird in HTML geschrieben, nur für genauere Funktionen, wie ein Userinterface in Augmented Reality, wird JavaScript benötigt.

Zuerst müssen die Frameworks A-Frame und three.js in das HTML Dokument wie folgt importiert werden:

```
script src="https://raw.githack.com/AR-js-  
org/AR.js/master/aframe/build/aframe-ar-nft.js"></script>  
<script src="https://raw.githack.com/AR-js-  
org/AR.js/master/three.js/build/ar-nft.js"> </script>
```

Listing 1: Importieren der Frameworks

Folgend wird nun die Szene über A-Frame definiert. Der Anwendung wird gesagt, dass die Webcam oder Kamera verwendet werden soll und das Tracking über Barcode Marker funktionieren soll. Dies wird im Code unter „detectionMode“ mit „mono_and_matrix“ definiert.

```
<a-scene embedded vr-mode-ui="enabled: false" arjs="sourceType:
webcam; debugUIEnabled: true; detectionMode: mono_and_matrix;
matrixCodeType: 3x3;">
```

Listing 2: definieren der Augmented Reality Szene

Letztendlich muss jeder Marker einzeln definiert und ein Objekt zur Anzeige zugewiesen werden. Über `<a-marker>` wird der Marker im Code definiert, „type“ gibt die Art des Markers an, in unserem Fall also Barcode Marker, und über „value“ wird bestimmt um welchen Barcode es sich handelt, hier nun um den zweiten.

```
<a-marker type='barcode' value='2'>
```

Listing 3: definieren des Referenz Markers

Innerhalb des Markers wird dann eine sogenannte `<a-entity>` erstellt. Diese beinhaltet alle Informationen über das Objekt, welches am Marker erscheinen soll. Die Position gibt an wo im Verhältnis zum Marker das Objekt angezeigt werden soll. Scale gibt die Größe des Objektes an und über Rotation kann das Objekt gedreht werden. Letztendlich wird das Objekt über „obj-model“ importiert. Da obj Dateien aus zwei Komponenten bestehen, müssen hier auch beide geladen werden. Die erste Komponente „obj“ beinhaltet das 3D Modell, die zweite Komponente „mtl“ das Material, also die Färbung und Textur des Objekts.

```
<a-entity
  position="0 0 0"
  scale="0.2 0.2 0.2"
  rotation="62 162 34"
  obj-model="obj:
url(https://raw.githubusercontent.com/Ivvey/ARGeometry/master/Wurfelschlangen/Modelle/1b.obj);
  mtl:
url(https://raw.githubusercontent.com/Ivvey/ARGeometry/master/Wurfelschlangen/Modelle/1b.mtl)">
  </a-entity>
</a-marker>
```

Listing 4: definieren des Objektes / Entity

Letztendlich muss im Code auch noch die Kamera eingefügt werden dies geschieht über den folgenden Befehl:

```
<a-camera-static/>
```

Listing 5: Definition der Kamera

Um den Code zu testen wurde so das erste Beispiel der Würfelschlangen erstellt. Bei den ersten Tests der Anwendung stellten sich aber gröbere Probleme mit AR.js heraus. Modelle, die über Markern angezeigt werden, flackern oder zittern oft wild herum. Beim Verwenden von mehreren Markern in einer Szene gibt es große Schwierigkeiten mit dem Tracking. Manchmal werden alle Modelle auf einem Marker angezeigt, manchmal springt das Modell von Marker zu Marker. Eine

weitere Schwierigkeit gab es bei der Rotation der Modelle. Für die Würfelschlängenaufgabe wird dreimal dasselbe Modell auf unterschiedlichen Markern angezeigt, sowie ein unterschiedliches Modell. Ziel bei der Aufgabe ist es herauszufinden welches der Modelle unterschiedlich ist. Dafür ist es sehr wichtig das die Rotation des Modells mit der auf der ausgedruckten Angabe übereinstimmt. Um dies zu erreichen wurde das Modell in Blender dementsprechend gedreht, die daraus resultierenden Rotationskoordinaten wurden dann im Code eingegeben. Das letztendlich abgebildete Modell stimmte aber nie damit überein. Aufgrund dieser Probleme und keiner auffindbaren Lösung dafür kam AR.js letztendlich für die Anwendung doch nicht in Frage.

8.1.2.2 PlayCanvas

In der Recherche nach einer Möglichkeit Augmented Reality Webanwendungen erstellen zu können wurde letztendlich auch PlayCanvas entdeckt. PlayCanvas ist ähnlich wie Unity eine Game Engine, der Unterschied ist jedoch, dass der Editor webbasiert ist. Es muss also keine zusätzliche Software installiert werden. PlayCanvas kann primär dafür verwendet werden um browserbasierte Spiele (Webgames) zu entwickeln („PlayCanvas - The Web-First Game Engine“, o. J.). Es gibt aber auch viele Möglichkeiten um mit PlayCanvas Augmented oder Virtual Reality Anwendungen zu entwickeln („XR | Learn PlayCanvas“, o. J.). Für Augmented Reality Anwendungen stellt PlayCanvas ein eigenes SDK zur Verfügung welches in das jeweilige Projekt importiert werden muss. Auch dieses SDK verwendet, ähnlich wie AR.js, das API von ARtoolkit. PlayCanvas basiert ebenso auf der Programmiersprache JavaScript und gibt einem über den Codeeditor die Möglichkeit eigene Funktionen für die jeweilige Anwendung zu programmieren („Code Editor | Learn PlayCanvas“, o. J.).

Auch hier wurde ebenfalls das erste Würfelschlängen Beispiel als Test erstellt. Schnell wurde klar, dass dieses Tool sich zur Erstellung der Anwendung bestens eignet. Durch den visuellen Editor können die Modelle rotiert werden und stimmen in Folge in Augmented Reality mit der gedruckten Angabe überein. Das Tracking mit den Markern funktioniert sehr gut und die Objekte werden relativ stabil angezeigt.

Auf Grund den schlechten Erfahrungen mit Barcode Markern wurden hierfür nun 21 verschiedene Referenz Marker erstellt. Für jedes Würfelschlängen Beispiel werden je vier Marker benötigt, für die räumlichen Beziehungen jeweils fünf und für die räumliche Orientierung nur einer. Die Marker haben jeweils die Nummern 1-20 in der Mitte, dies dient vor allem den Schülerinnen und Schüler als Zuordnung zu den Aufgaben. Es gibt einen weiteren Marker mit dem Schriftzug „Angabe“ in der Mitte, dieser stellt bei der räumlichen Orientierungsaufgabe die Szene dar und bei den Beispielen der räumlichen Beziehung jeweils das Angabe Objekt.

Sobald sich mehr als fünf Marker in einer Szene befinden wird das Tracking wieder verschlechtert und die 3D Modelle beginnen ähnlich wie mit AR.js zu zittern und springen. Da pro Beispiel nie mehr als fünf Marker benötigt werden wurde dieses Problem umgangen, in dem jedes Beispiel als eine einzelne Szene angelegt wurde. Eine weitere Möglichkeit, um dieses Problem zu umgehen, wäre es Marker zu erstellen bei denen das Muster in der Innenseite komplexer ist und mehr Kanten oder andere Anhaltspunkte besitzt. Dadurch wäre es für die Bilderkennung, die letztendlich dem jeweiligen Marker ein Objekt zuweist, einfacher die Marker zu differenzieren. Da es für die Schülerinnen und Schüler wichtig ist die Marker dem jeweiligen Beispiel und Objekt zuordnen zu können wurden als Muster weiterhin die Nummern verwendet.

Die Anwendung hat als Erstes eine Hauptseite die als Übersicht dient, über die können dann die weiteren Beispiele der Würfelschlangen, räumlichen Orientierung und räumlichen Beziehungen geöffnet werden. Bei der Hauptseite handelt es sich um eine einfache HTML Seite, in der über Buttons zu den anderen Dateien verlinkt wird.



Abbildung 10: Startseite von ARGeometry

Die beiden Übungen Würfelschlangen und räumlichen Beziehungen besitzen jeweils noch eine eigene Startszene, über welche dann die einzelnen Beispiele aufrufbar sind. In den einzelnen Beispielen gibt es letztendlich nur einen „Home“ Button, um zur Startszene zurück zu kommen. Zuerst gab es auch in den einzelnen Beispielen ein Menü, über welches alle einzelnen Beispiele aufrufbar waren, dies nahm jedoch am Bildschirm sehr viel Platz weg und überdeckte die Marker und Modelle. In erster Linie ist es in dieser Anwendung wichtig die 3D Modelle über die Kamera zu sehen, bei der Verwendung von zu vielen Buttons läuft man Gefahr den Bildschirm mit diesen zu überladen.

Würfelschlangen

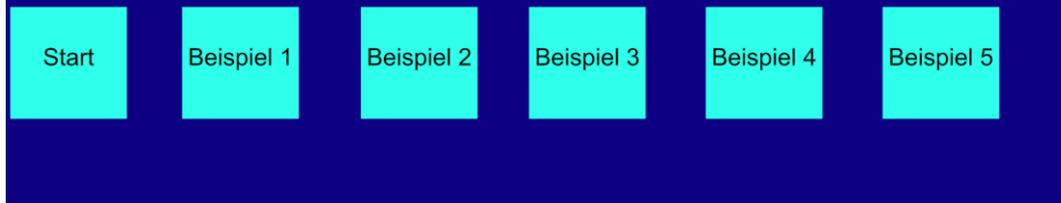


Abbildung 11: Beispielseite der Würfelschlangen

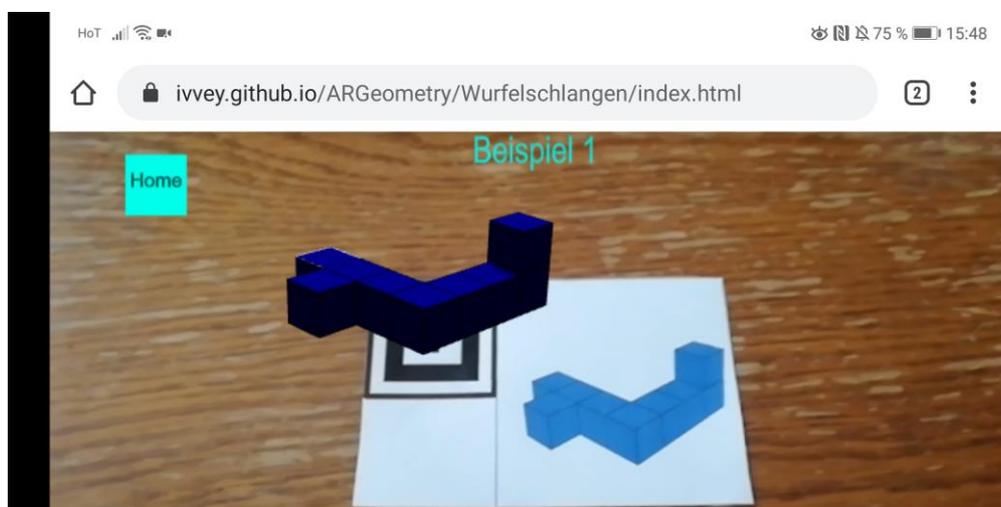


Abbildung 12: Beispiel 1 der Würfelschlangen

In PlayCanvas gibt es bereits vorgefertigte Objekte, die alle nötigen Funktionen eines Buttons zugewiesen haben. Bei diesen Objekten lässt sich die Größe, der Text und die Farbe sowie die Farbe bei drücken oder darüberfahren einstellen. Um die Buttons nun jedoch funktionsfähig zu machen, muss ihnen ein Skript zugewiesen werden. Die Programmierung erfolgt hier in der Sprache JavaScript.

```
// Skript in PlayCanvas erstellen:  
var Home = pc.createScript('home');  
// dem Skript Attribute / Variablen hinzufügen (sceneID = dient zur  
Identifikation der scene)  
Home.attributes.add("sceneId", {type:"string", default: "0", title:  
"Scene ID to Load"});  
//Dem Objekt Funktionen hinzufügen, in diesem Fall Möglichkeiten ein  
Button zu verwenden  
Home.prototype.initialize = function() {  
    // mouse events
```

```

    this.entity.element.on('mouseenter', this.onEnter, this); // wenn
man mit der Maus über einen Button fährt
    this.entity.element.on('mousedown', this.onPress, this); // wenn
man den Button drückt
    this.entity.element.on('mouseup', this.onRelease, this); // wenn
man den Button loslässt
    this.entity.element.on('mouseleave', this.onLeave, this); // wenn
man aus dem Feld des Buttons fährt
    // touch events (zusätzlich zu Mouse Events für die Verwendung auf
Touchscreens)
    this.entity.element.on('touchstart', this.onPress, this); //wenn
man den Button drückt
    this.entity.element.on('touchend', this.onRelease, this); // wenn
man den Button loslässt
};
//Die Funktion "onPress", also was beim drücken des Buttons passiert
(in diesem Fall wird die weitere Funktion "change Scenes" aufgerufen)
Home.prototype.onPress = function(event){
    this.changeScenes();
};
//die Funktion "changeScenes" ruft die Funktion "loadScene" auf und
löscht die Hierarchie der jetzigen Szene
Home.prototype.changeScenes = function (){
    var oldHierarchy = this.app.root.findByName('Root');

    this.loadScene (this.sceneId, function(){
        oldHierarchy.destroy();
    });
};
// Die Funktion "loadScene" ladet nun die neue Szene mit der unter
"var url" angegebenen ID
Home.prototype.loadScene = function (id, callback) {
    var url = 909922 + ".json";

    this.app.loadSceneHierarchy (url, function (err, parent){
        if(!err){
            callback(parent);
        } else {
            console.error(err);
        }
    });
};
};

```

Listing 6 – Beispiel Code für ein Button, um eine neue Szene zu laden

Möchte man Buttons oder andere Userinterface (UI) Elemente in einer PlayCanvas Szene verwenden muss in der Szene auch ein „2D Screen“ erstellt werden, dieser dient als Objekt für den letztendlichen Bildschirm. Alle UI Elemente werden in der Hierarchie diesem zugewiesen. Ein weiterer Punkt der bei der Erstellung der Anwendung bedacht wurde, war die Farbwahl der Buttons, damit diese auch in Augmented Reality gut sichtbar sind wurde hier eine helle und intensive Farbe

gewählt, die im natürlichen Umfeld eher selten vorkommt und somit über dem Kamerabild immer gut sichtbar ist.

Um nun in PlayCanvas eine Augmented Reality Anwendung zu erstellen muss man zuerst das SDK von PlayCanvas in sein Projekt unter „Assets“ importieren. In diesem SDK sind die verschiedenen Skripte, die man im Weiteren benötigt abgespeichert. In der Szene erstellt man nun eine Kamera und weist dieser das „arCamera“ Skript zu.

Um nun einen Marker in der Szene zu erstellen fügt man eine neue „entity“ in der Szene ein. Dies ist ein leeres Objekt, welchem man Skripte zuweisen kann. In diesem Fall wird dem Objekt das Skript „arMarker“ zugewiesen. In diesem kann man nun mehrere Parameter einstellen. Im Feld „Pattern“ kann man dem Objekt den richtigen Marker zuweisen. Hierfür muss man die patt Datei des jeweiligen Markers hochladen und mit dem „entity“ Objekt verlinken. Um nun dem Marker ein 3D Modell zuzuweisen muss dieses zuerst in PlayCanvas hochgeladen werden. Der PlayCanvas Editor wandelt die Datei des Modells dann automatisch in eine JSON Datei um. JSON ist die Abkürzung für „JavaScript Object Notation“, JSON Dateien beinhalten Informationen über Objekte in reinem Text. Dadurch sind die Dateien sehr klein und können einfach verschickt werden („JSON Introduction“, o. J.). Um das Modell dann dem Marker zuzuweisen zieht man die JSON Datei im Editor einfach auf die „entity“ des Markers. Testet man diese Anwendung nun wird das 3D Modell bereits über dem Marker angezeigt. Man kann das Modell jetzt noch im Editor rotieren und skalieren sowie die Position im Verhältnis zum Marker einstellen, um zu ändern wie es letztendlich in Augmented Reality angezeigt wird.

Da es bei den Beispielen wichtig ist, dass die Ansicht in Augmented Reality mit der Ansicht der Angaben Bilder übereinstimmt musste hier noch einiges zusätzlich beachtet werden. Wenn die Kamera den Marker erkennt wird dort das Objekt angezeigt, dies geschieht immer von oben, also in dem man die Kamera über dem Marker hält. In PlayCanvas mussten die Objekte also so gedreht werden, dass sie von der oberen Ansicht aus der Angabe entsprechen. Weiters hängt die Größe der 3D Modelle in Augmented Reality von der Größe des gedruckten Markers ab. Da die Marker in ARGeometrie auf zwei verschiedene Arten verwendet werden können, und bei diesen unterschiedlich groß sind mussten die Modelle so skaliert werden, dass sie für beide Möglichkeiten passend sind.

Auf diese Art wurden dann die 11 Szenen für die ARGeometrie Anwendung nacheinander erstellt. Grundsätzlich ist es möglich die so erstellten Anwendungen direkt über PlayCanvas gratis zur Verfügung zu stellen. Möchte man die Anwendung jedoch auf seiner eigenen Website veröffentlichen kann man die Projekte herunterladen und die Dateien auf die eigene Website laden und über die im heruntergeladenen Paket enthaltene „Index.html“ Datei verlinken. Für diese Option muss man jedoch eine Lizenzgebühr von 15 € pro Monat zahlen. Das so

heruntergeladen Paket kann dann auf zum Beispiel GitHub („GitHub“, o. J.) hochgeladen und über GitHub Pages („GitHub Pages“, o. J.) veröffentlicht werden. Zu beachten ist hier, dass die JavaScript Dateien, die im Paket über PlayCanvas heruntergeladen werden, alle zwei Unterstriche davor haben. GitHub Pages erkennt dies leider nicht als die richtige Datei. Es lässt sich jedoch einfach lösen in dem man eine leere Datei mit der Endung .nojekyll im Hauptordner des GitHub Projektes hochlädt (vgl. „Bypassing Jekyll on GitHub Pages“, 2009).



Abbildung 13: Würfelschlangen Beispiel in ARGeometry

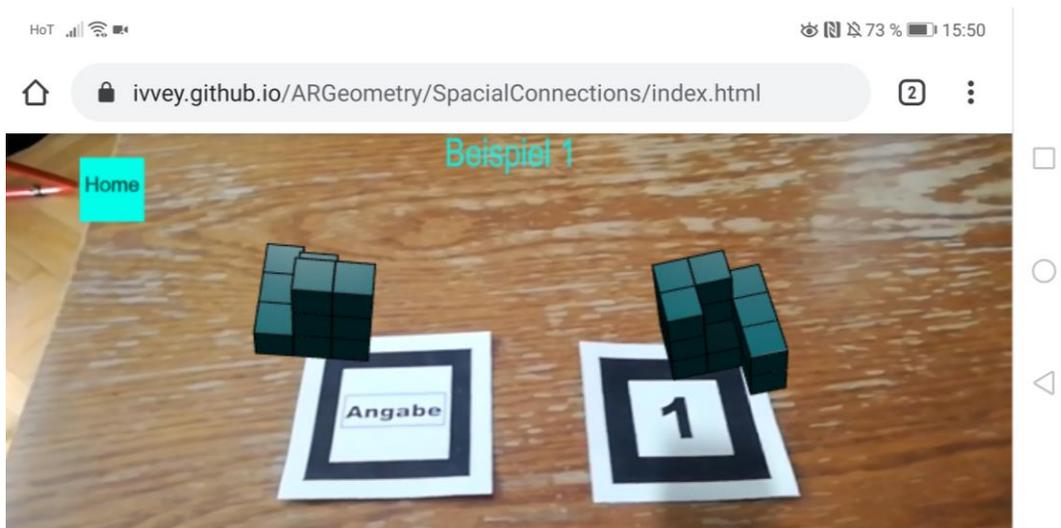


Abbildung 14: Referenz Marker im räumliche Beziehung Beispiel



Abbildung 15: Räumliche Orientierungsszene in Augmented Reality

8.1.2.3 ARtoolkit

Beide oben erklärten Bibliotheken und Frameworks verwenden wie erwähnt die Bibliothek ARtoolkit. ARtoolkit wurde bereits 1999 von Kato & Billinghurst entwickelt (vgl. Kato & Billinghurst, 1999). Damals war es nur möglich bestimmte vorgefertigte Marker zu verwenden. Charakterisiert wurden diese durch ein Quadrat mit dicken schwarzen Rand sowie einem Muster zur Identifikation und Orientierungserkennung in der Mitte. Das System verwendet verschiedene Methoden, um die Kanten der Marker zu erkennen. Alles was im Kamerabild ersichtlich ist und ein Quadrat darstellt wird als Marker definiert. Danach wird das Muster in der Innenseite lokalisiert und mit einer Datenbank an Mustern abgeglichen. Durch diesen Abgleich wird das Quadrat als Marker bestimmt und es kann bei der Verwendung von mehreren Markern herausgefunden werden um welchen Marker es sich handelt. Ebenso wird durch das Muster die Orientierung des Markers lokalisiert. Die verwendeten Algorithmen zur Erkennung der Kanten und Muster sind aber sehr fehleranfällig. So muss der Rand des Markers immer voll erkennbar sein, damit dieser als Marker wahrgenommen wird. Ist nur ein Teil der schwarzen Linie verdeckt kann der Marker schon nicht mehr erkannt werden. Ebenso wird das Muster innen nicht immer richtig erkannt, was dazu führen kann, dass die falschen Modelle am falschen Marker angezeigt werden (vgl. Billinghurst et al., 2015, S. 109–110).

Dieses System wurde dann 2005 von Mark Fiala in einem neuen System ARTag weiterverwendet und verbessert. Die Muster im Inneren der Marker werden in ARTag durch binäre Barcodes ersetzt. Dadurch wurde das Tracking der Marker stark verbessert (vgl. Fiala, 2005).

Aufgrund von ARTag wurde ARtoolkit 2007 noch mal von Grund auf neu aufgebaut. So entstand ARToolkitPlus welches es nun auch ermöglichte die Anwendungen auf den damaligen mobilen Geräten zu verwenden. Basierend auf diesen Verbesserungen baute dann ein Forschungsprojekt namens „Studierstube ES“ der Technischen Universität Wien. Zusätzlich zu den binären Barcode-Markern wurden nun auch wieder Muster-Marker eingebaut. Es wurde so auch möglich schwarz/ weiß /graue Bilder als Muster im Marker zu verwenden (vgl. Billinghamurst et al., 2015, S. 112). Mittlerweile ist ARtoolkit ein OpenSource Projekt auf GitHub und wird laufend durch die Community online weiterentwickelt und verbessert (*artoolkitx*, 2018/2020).

8.1.3 Erfahrungssammlung

Bei der Erstellung der Anwendung konnte viel Erfahrung gesammelt werden. Die Erstellung von webbasierten Augmented Reality Anwendungen war für die Autorin neu. Im Zuge des Studiums wurde meist mit Unity gearbeitet und so Anwendungen erstellt. Gerade die Verwendung von AR.js ist hier ganz anders als das gewohnte Werkzeug. Dies liegt primär daran, dass Unity einen visuellen Editor zur Verfügung stellt, über welchen 3D Modelle und die Szene direkt bearbeitet werden kann. Da man in AR.js rein in einem Code Editor arbeitet gibt es keine Möglichkeit die Modelle zu sehen und direkt zu bearbeiten.

Bei der Verwendung von AR.js gibt es einiges zu beachten. Sollte man selbst Marker erstellen wollen ist es wichtig immer das patt File als auch das Bild selbst abzuspeichern. Möchte man die Anwendung veröffentlichen ist es auch wichtig, dass alle Dateien an einem online zugänglichen Ort aufliegen. Man muss auch auf die richtige Verlinkung der Dateien achten. Für diese Anwendung wurde GitHub („GitHub“, o. J.) verwendet. Über GitHub ist es möglich den Code sowie die dazu benötigten Dateien online zu speichern und über Links abzurufen. Ebenso bietet GitHub Pages („GitHub Pages“, o. J.) die Möglichkeiten den Code auf einer Website zu veröffentlichen und so zugänglich zu machen.

Auch bei der Erstellung der 3D Modelle gibt es einiges zu beachten. Die Würfelschlangen und Objekte der räumlichen Beziehung Beispiele bestehen alle aus einzelnen Würfeln. Hier ist es wichtig die einzelnen Würfel vor dem Export zu einem Objekt zusammenzuführen und den Mittelpunkt dieses Objektes zu bestimmen und dementsprechend richtig zu exportieren. Wird dies nicht berücksichtigt liegt der Mittelpunkt meist im Würfel, der zuerst erstellt wurde und die Rotation des gesamten Objekts verläuft über diesen Punkt. Eine genaue Rotation ist so nicht möglich. Zudem wird das 3D Modell mit dem Marker über diesen Mittelpunkt verbunden, liegt dieser nicht exakt ist das Objekt über dem Marker verschoben. Ebenso ist es wichtig zu beachten welche Dateien letztendlich von dem verwendeten Framework oder Editor gelesen werden können. AR.js kann

zum Beispiel keine fbx Dateien erkennen, während PlayCanvas manchmal Probleme mit obj Dateien hat. Für die Anwendung wurden dann letztendlich nochmal alle 3D Modelle als fbx aus Blender exportiert, um die weitere Verwendung in PlayCanvas zu vereinfachen.

Ein weiterer Punkt, den es zu beachten gilt, ist, dass die Größe des 3D Modelles von der des Markers abhängt. Das bedeutet, dass je größer der Marker letztendlich gedruckt wird und in der Realität auf liegt umso größer wird auch das 3D Modell in Augmented Reality angezeigt.

8.2 Unterrichtsplanung mit der Applikation

Wie in Kapitel 3 erwähnt ist es wichtig bei der Verwendung von Augmented Reality den Unterricht darauf abzustimmen und ihn dementsprechend zu planen. Um den Lehrpersonen die Verwendung der ARGeometrie Anwendung im Unterricht zu vereinfachen wurde gemeinsam mit Herrn Mag. Horvath evaluiert, wie die Anwendung verwendet werden kann.

ARGeometrie kann im Stationenbetrieb auf zwei verschiedene Arten verwendet werden, und sie eignet sich auch gut für normale Übungsstunden im Geometrisches Zeichnen Unterricht. Die Anwendung eignet sich nicht nur für den Geometrisches Zeichnen Unterricht, sondern kann in der Sekundarstufe Eins oder den neuen Mittelschulen auch für Raumvorstellungsübungen im Mathematik Unterricht eingesetzt werden. Weiters besteht die Möglichkeit für Schülerinnen und Schüler die Anwendung nach einer Einführung mit den ausgedruckten Markern selbst für Übungen daheim zu verwenden. Aktuell sind die Marker und Angaben für die Übungen als pdf Datei erhältlich und können so von den Lehrerinnen und Lehrern selbst ausgedruckt werden. Die Anwendung selbst ist über eine GitHub Page zugänglich und kann über Smartphones, Laptops oder Tablets mit Kameras aufgerufen werden. Um das Aufrufen der Website über ein Smartphone zu vereinfachen wird in der Datei mit den Übungen auch ein QR-Code zur Verfügung gestellt. Ebenso gibt es QR-Codes die direkt zu den jeweiligen Aufgaben führen. In der pdf Datei befinden sich zunächst die einfachen Referenz Marker von 1 – 20 sowie der „Angaben“ Marker, zum Drucken und ausschneiden. Die weiteren Beispiele sind nach den Übungen sortiert. Für jede Übung gibt es das Material auch als „Pen and Paper“ Übungsmaterial wie es sonst im Unterricht verwendet wird, diese Übungen werden bei den Tests von der Kontrollgruppe verwendet. Weiters gibt es noch eine Version in denen die Angabe jeweils gemeinsam mit einem Referenz Marker daneben gegeben ist. Die pdf Datei beinhaltet auch QR-Codes, die zu den jeweiligen Anwendungen führen.

Der Unterrichtsplan, oder auch „Stundenbild“ genannt dient, als Anhaltspunkt für die Gestaltung einer Unterrichtseinheit. Eine Unterrichtseinheit umfasst jeweils 50

Minuten, der Unterrichtsplan gibt hier einen Anhaltspunkt, wie eine Unterrichtseinheit aufgebaut sein kann und welche Materialien dafür benötigt werden und was zu beachten ist. Der Unterrichtsplan ist wie folgt aufgebaut: Zeit- diese Angabe dient als Richtwert und sollte nicht stark unter- oder überschritten werden, sie wird in Minuten angegeben. Die Unterrichtsphase gibt eine Gliederung des Unterrichts an. In den Unterrichtsschritten wird genauer beschrieben welche Schüleraktivität oder Lehreraktivität in der jeweiligen Unterrichtsphase durchgeführt wird. Die Sozialform (SF) gibt an um welche Form des Unterrichts es sich handelt. Sie werden wie folgt abgekürzt: T- für Test, FU – für Frontalunterricht, GA – für Gruppenarbeit, EA – für Einzel Arbeit, D – für Diskussion, AA – für angeleitetes Arbeiten und SA – für selbstständiges Arbeiten. Die Medien geben letztendlich einen Überblick über welche Unterrichtsmaterialien für die jeweilige Unterrichtsphase benötigt werden (vgl. Wohlschlägl & Sitte, 2008, S. 505–506).

8.2.1 Stationenbetrieb

Die Anwendung kann im Stationenbetrieb auf zwei Arten angewendet werden. Es ist möglich auf den Stationen nur die Marker aufzulegen und die Angaben extra auszuteilen. Die andere Möglichkeit ist es die Angaben gemeinsam mit den Markern auszudrucken und so aufzulegen. Sofern es möglich ist die Tische im Klassenraum so aufzustellen, dass man locker um diese Tische gehen kann, sollte man für den Stationenbetrieb drei Tische im Raum aufstellen. Auf diesen Tischen werden dann die Referenzmarker und Übungsblätter für die jeweiligen Übungen aufgelegt. Durch diesen Aufbau ist es den Schülerinnen und Schülern möglich mit dem Smartphone, um den Tisch zu gehen und so das Modell von allen Seiten zu betrachten. Sollte es nicht möglich sein die Tische so im Raum aufzustellen kann das 3D Modell auch über die Bewegung der Referenz Marker gedreht und betrachtet werden.

Unterrichtseinheit - Stationenbetrieb mit ARGeometrie

Zeit	Unterrichtsphase	Unterrichtsschritte	SF	Medien
3	Unterrichtsbeginn	Die Lehrperson erledigt administrative Tätigkeiten.		
10	Aufbau und Einteilung	Die Lehrperson baut die Stationen auf und teilt die Schülerinnen und Schüler in Gruppen. Sie erklärt die Stationen und die Verwendung der Anwendung.	FU	Wenn nur Marker verwendet werden benötigt man 6 Angaben Marker sowie 2 Ausdrücke der Nummern Marker 1-20. Wenn die Marker samt Angabe verwendet

				<p>werden benötigt man je einen Ausdruck dieser und einen Angabe-Marker für das räumliche Orientierung Beispiel. Letztendlich benötigt man noch die dazugehörigen QR-Codes, und ein Übungsblatt pro Schülerin und Schüler.</p>
10	Würfelschlangen	<p>Die Schülerinnen und Schüler machen die Übungsaufgaben 1-5 der Würfelschlangen. Sie scannen den jeweiligen Marker ein und können das Modell entweder über den Marker drehen oder durch die Kamera von allen Seiten betrachten. Sie tragen ihre Lösung dann in das Übungsblatt ein.</p>	GA , SA	<p>Die Marker 1-20, wobei immer vier Marker für ein Beispiel benötigt werden, oder die Würfelschlangen Beispiele sowie die dazugehörigen QR-Codes. Ebenso benötigt man Smartphones, um die Anwendung zu verwenden.</p>
10	Räumliche Beziehungen	<p>Die Schülerinnen und Schüler machen die Übungsaufgaben 1-5 der räumlichen Beziehungen. Sie scannen den jeweiligen Marker ein und können das Modell entweder über den Marker drehen oder durch die Kamera von allen</p>	GA , SA	<p>Die Marker 1-20, wobei immer vier Marker für ein Beispiel benötigt werden und je einen Angaben-Marker pro Beispiel, oder die räumliche Beziehungen Beispiele sowie die dazugehörigen</p>

		Seiten betrachten. Sie tragen ihre Lösung dann in das Übungsblatt ein.		QR-Codes. Ebenso benötigt man Smartphones, um die Anwendung zu verwenden.
10	Räumliche Orientierung	Die Schülerinnen und Schüler können die Szene über den Marker von allen Seiten genau betrachten. Dadurch können sie dann bestimmen von welcher Position die Angaben am Übungsblatt aufgenommen wurden.	GA , SA	Hier genügt ein Angaben Marker, ebenso benötigt man Smartphones, um die Anwendung zu verwenden.
Rest	Diskussion und Reflexion	Die Lehrperson diskutiert und evaluiert die Aufgaben mit den Schülerinnen und Schülern.	D	

Tabelle 1 - Unterrichtseinheit - Stationenbetrieb mit ARGeometrie

8.2.2 Übungsstunden

Eine weitere Möglichkeit ARGeometrie im Unterricht zu verwenden ist eine klassische Übungsstunde damit durchzuführen. Hierfür verwendet man die Angaben Bilder gemeinsam mit den Referenz Markern. Dadurch können die Beispiele auf einem Blatt angesehen werden und die Schülerinnen und Schüler können die Übungen selbstständig durchführen.

Unterrichtseinheit - Übungsstunde in Einzelarbeit mit ARGeometrie

Zeit	Unterrichtsphase	Unterrichtsschritte	SF	Medien
3	Unterrichtsbeginn	Die Lehrperson erledigt administrative Tätigkeiten.		
10	Erklärung der Anwendung	Die Lehrperson teilt die Übungsblätter aus und erklärt die Anwendung.	FU	Übungsblätter

10	Würfelschlangen	Die Schülerinnen und Schüler machen die Übungsaufgaben 1-5 der Würfelschlangen. Sie scannen den jeweiligen Marker ein und können das Modell entweder über den Marker drehen oder durch die Kamera von allen Seiten betrachten. Sie tragen ihre Lösung dann in das Übungsblatt ein.	SA	Übungsbeispiele 1-5 der Würfelschlangen. Jedes Kind benötigt ein Smartphone.
10	Räumliche Beziehungen	Die Schülerinnen und Schüler machen die Übungsaufgaben 1-5 der räumlichen Beziehungen. Sie scannen den jeweiligen Marker ein und können das Modell entweder über den Marker drehen oder durch die Kamera von allen Seiten betrachten. Sie tragen ihre Lösung dann in das Übungsblatt ein.	SA	Übungsbeispiele 1-5 der räumlichen Beziehungen. Jedes Kind benötigt ein Smartphone.
10	Räumliche Orientierung	Die Schülerinnen und Schüler können die Szene über den Marker von allen Seiten genau betrachten. Dadurch können sie dann bestimmen von welcher Position die Angaben am Übungsblatt aus	SA	Angabe Marker Jedes Kind benötigt ein Smartphone.

		aufgenommen wurden.		
Rest	Diskussion und Reflexion	Die Lehrperson diskutiert und evaluiert die Aufgaben mit den Schülerinnen und Schülern.	D	

Tabelle 2 – Unterrichtseinheit Übungsstunde in Einzelarbeit mit ARGeometrie

8.3 Test der Applikation

Durch die Schulschließungen ab 16.03.2020 auf Grund der Gefährdung von Covid-19 war es nicht möglich im Zuge dieser Arbeit, die erstellten Aufgaben ausreichend zu testen. Grundsätzlich war es geplant die Tests zwischen Ende März und Ende April durchzuführen. Da die Verwendung von Augmented Reality in diesem Kontext für die Schülerinnen und Schüler neu ist und sie dies noch nicht verwendet haben konnte die Anwendung nicht über die Fernlehre getestet werden. Ebenso sind die anschließend beschriebenen Raumvorstellungstests an Testbedingungen gekoppelt, wie zum Beispiel ein gewisses Zeitkontingent, welches pro Test zur Verfügung steht, die bei der Fernlehre so nicht umsetzbar waren, da nicht garantiert werden konnte das jede Schülerin und jeder Schüler zur selben Zeit anwesend sind. Weiters werden für die Anwendung ausgedruckte Materialien, wie eben die Marker benötigt, es kann nicht davon ausgegangen werden, dass jeder der Schülerinnen und Schüler die Möglichkeit hat daheim zu drucken, die Materialien hätten bereits vor der Schulschließung an alle verteilt werden müssen, waren zu dem damaligen Zeitpunkt aber noch nicht ausreichend vorhanden. Die Raumvorstellungstests und die Verwendung von ARGeometrie stellen für die Schülerinnen und Schüler komplett neues Lernmaterial dar, welches in der Fernlehre nicht gut vorgezeigt werden kann. Letztendlich werden die Tests nun zu einem späteren Zeitpunkt, voraussichtlich ab September 2020 durchgeführt. Für die Tests im September wird die Anwendung auch um weitere Aufgaben erweitert, um einen größer angelegten Test durchzuführen.

Durch die teilweise Öffnung der Schulen Mitte Mai 2020 konnte die Anwendung dennoch kurz in einer Übungseinheit in der vierten Klasse ausgetestet werden. Da die Schülerinnen und Schüler aufgrund der Auflagen betreffend Covid-19 ihren jeweiligen Platz nicht verlassen dürfen und sitzen bleiben müssen war es nicht möglich sich um die Marker zu bewegen und so das Objekt von allen Seiten zu betrachten. Für viele der Schülerinnen und Schüler war Augmented Reality neu und sie hatten dies zuvor weder in der Schule noch im Privaten verwendet, umso größer war der „AHA“ Effekt als das erste Objekt am Marker erschien. Um das Objekt nun von allen Seiten betrachten zu können mussten die Schülerinnen und

Schüler den Marker drehen und gleichzeitig ihr Handy halten, dies schien für manche eine Herausforderung zu sein. Da diese Klasse bereits einige Übungen zur Raumvorstellung gemacht hatte und im Allgemeinen in diesem Bereich sehr gut war, brauchten sie beim Lösen der Aufgaben nicht sehr lange, die Verwendung der Anwendung schien sie hier sogar ein wenig zu verlangsamen. Dieser Test kann daher keine Aussage über die Verbesserung der Raumvorstellung geben, sondern diente nur um Feedback über die Anwendung von Schülerinnen und Schülern zu erhalten.

Um valide Ergebnisse zu erhalten werden für die Tests zwei Gruppen herangezogen. Eine Gruppe an Schülerinnen und Schülern wird im Laufe der nächsten Unterrichtseinheiten die Augmented Reality Anwendung testen und die Übungsaufgaben damit lösen. Die andere Gruppe erhält dieselben Übungsaufgaben jedoch keine Augmented Reality Anwendung. Um die Raumvorstellung beider Gruppen zu testen, und vergleichbare Ergebnisse zu erhalten, wird davor ein Raumvorstellungstest durchgeführt. Nach Verwendung der Anwendung wird der Raumvorstellungstest nochmals wiederholt. Letztendlich wird nach weiteren drei Wochen ein zweiter Post-Test durchgeführt. Auch hierfür werden wieder die bereits bekannten Raumvorstellungstests verwendet. Jedoch wird die Anwendung zwischen dem ersten Post-Test und dem zweiten Post-Test für die Schülerinnen und Schüler gesperrt und nicht mehr verwendet, da die Möglichkeit besteht, dass die Schülerinnen und Schüler sich an die Verwendung der Anwendung binden und ihre Raumvorstellung davon abhängig wird. Wie in Kapitel 4.3 beschrieben könnte es bei einer zu häufigen Anwendung dazu führen, dass der Lerneffekt zu gering ist. Diese drei Tests sollen auch dazu dienen einen Verlauf über die Verbesserung der Raumvorstellung der Schülerinnen und Schüler zu erhalten. Der Pre-Test gibt hier den Startpunkt an, zum Zeitpunkt der Durchführung sollten die Schülerinnen und Schüler noch relativ wenig Erfahrung mit Raumvorstellungsübungen haben. Im Verlauf der folgenden zwei Wochen bekommen sie dann Übungen, um die Raumvorstellung zu trainieren, eine Gruppe mit Hilfe der Augmented Reality Anwendung, die andere mit den üblichen Zeichnungen. Nach diesen zwei Wochen wird wieder die Raumvorstellung im ersten Post-Test überprüft. Die Ergebnisse dieses Tests treffen nun eine Aussage über die Verbesserung der Raumvorstellung der Schülerinnen und Schüler, und sollten zeigen ob es einen Unterschied zwischen der Gruppe mit Augmented Reality zu der ohne gibt. Danach wird die Anwendung nicht mehr verwendet und es wird der weitere Lehrstoff in Geometrisches Zeichnen unterrichtet. Nach weiteren drei Wochen wird nun der zweite Post-Test durchgeführt. Dieser soll uns zeigen ob die Raumvorstellung ohne regelmäßige Übungen und nach längerer Pause zwischen dem Verwenden der Anwendung wieder abnimmt oder eventuell sogar steigt.

Im folgenden Kapitel werden nun die Methoden und verschiedenen Tests, die zur Überprüfung der Raumvorstellung verwendet werden, vorgestellt. Um den Testablauf genauer darzustellen wurde auch hierfür eine Unterrichtsplanung als Hilfestellung erstellt.

8.3.1 Raumvorstellungstests

Um die Raumvorstellung zu überprüfen und zu bewerten gibt es verschiedene Möglichkeiten und Tests. Im Zuge der Tests für ARGeometrie wurden drei standardisierte Tests ausgewählt, die im Verhältnis zu den Übungen der Anwendung stehen. Da es sich hier um standardisierte Tests handelt dürfen diese nicht im Ganzen einfach veröffentlicht werden, sondern sind nur auf Anfrage erhältlich.

Der „Mental Rotation Test“ (MRT) nach Peters et al. (Peters et al., 1995) beschäftigt sich wie der Name schon sagt mit der mentalen Rotation, und ähnelt den Würfelschlangen-Übungen aus der Anwendung. Der Test besteht aus 20 Aufgaben, diese müssen die Schülerinnen und Schüler innerhalb von 6 Minuten lösen. Im Test gibt es pro Aufgabe eine Würfelschlange als Angabe sowie vier weitere Würfelschlangen, genau zwei dieser weiteren Würfelschlangen sind identisch zu der Angabe. Eine Aufgabe wird nur als korrekt gewertet, wenn beide Würfelschlangen richtig identifiziert wurden (vgl. Hirsch & Maresch, 2015).

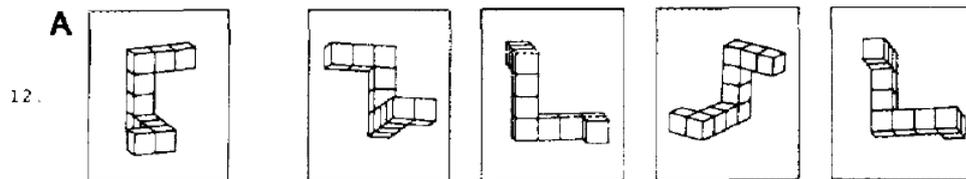


Abbildung 16: Ein Beispiel aus dem Mental Rotation Test (Peters et al., 1995)

Beim „Differential Aptitude Test: Space Relations“ (DAT) (Bennet, Senshore, & Wesman, 1947) wird eine Faltvorlage als Angabe gegeben, zur Orientierung hat die Vorlage an manchen Seiten Schattierungen oder Muster. Man muss nun aus vier dreidimensionalen Objekten jenes identifizieren welches der Faltvorlage entspricht. Der Test besteht aus 15 Aufgaben für welche die Schülerinnen und Schüler gesamt 8 Minuten Zeit haben (vgl. Hirsch & Maresch, 2015).

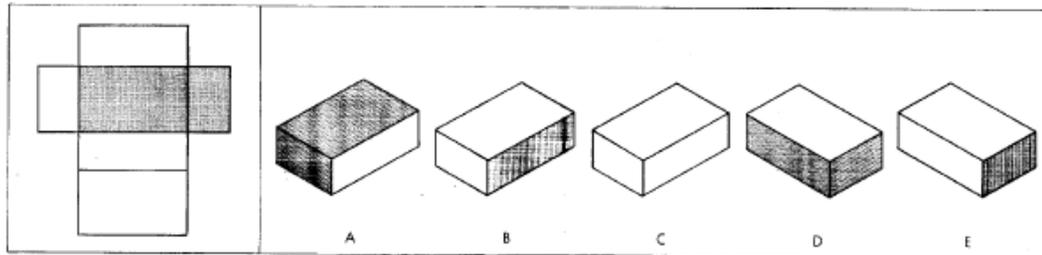


Abbildung 17: Ein Beispiel aus dem Differential Aptitude Test: Space Relations (Bennet et al., 1947)

Der dritte Test, der eingesetzt wird, ist der „Spatial Orientation Test (SOT). Hierbei wird die räumliche Orientierung getestet. Es gibt eine Angabe zu welcher 12 verschiedene Aufgaben innerhalb von fünf Minuten zu lösen sind (Hegarty, Kozhevnikov, & Waller, 2008). Es wird immer ein Objekt als Ausgangspunkt sowie ein Objekt als Blickrichtung angegeben. Von dieser Angabe aus muss dann die Position eines dritten Objektes eingezeichnet werden. Ausgewertet wird letztendlich der eingezeichnete Winkel der neuen Blickrichtung: je geringer die Abweichung vom tatsächlichen Winkel desto besser das Ergebnis (vgl. Hirsch & Maresch, 2015).

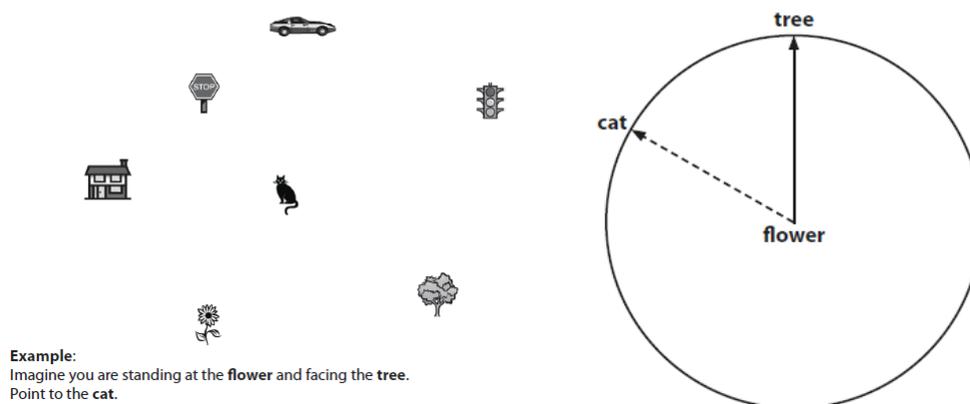


Abbildung 18: Ein Beispiel aus dem Spatial Orientation Test (Hegarty et al., 2008)

8.3.2 Kognitive Belastungstest

Es wird vermutet, dass Schülerinnen und Schüler durch die Verwendung von Augmented Reality kognitiv überlastet werden könnten. Durch das Multitasking zwischen Markern und Handy könnten die Schülerinnen und Schüler überfordert werden (vgl. Wu et al., 2012).

Um dies bei den Tests der Anwendung zu berücksichtigen wird eine verkürzte Version des NASA Task Load Index (TLX) herangezogen. Hierbei handelt es sich um eine Bewertungsskala, die entwickelt wurde, um die allgemeine

Arbeitsbelastung zu messen. Für diesen Test müssen von den Schülerinnen und Schülern sechs Merkmale, nach ihrem eigenen Befinden evaluiert werden. Die mentale, körperliche und zeitliche Belastung sowie die Leistung, Anstrengung und Frustration. Die Testperson muss auf der Skala ein Kreuz einzeichnen, um anzugeben wie gering oder hoch die jeweilige Belastung war. Jedem Kreuz wird dann ein Wert von 0 (gering) bis 21 (hoch) zugeordnet (Hart & Staveland, 1988). Die verwendete Skala befindet sich in Anhang 4 dieser Arbeit.

Der TLX wird nach den jeweiligen Pre-Post-Tests durchgeführt sowie nach jeder Unterrichtseinheit mit der Anwendung und auch in der Kontrollgruppe nach den Übungen. Dies dient dazu einen Überblick über die generelle kognitive Belastung der Schülerinnen und Schüler zu bekommen, und um genauer feststellen zu können, ob durch die Verwendung von Augmented Reality die Schülerinnen und Schüler eine höhere Belastung wahrnehmen oder nicht.

8.3.3 Unterrichtsplanung für den Ablauf der Tests

Wie bereits beschrieben wird am Anfang der Pretest in beiden Gruppen durchgeführt. Die eine Gruppe wird dann im Laufe der nächsten Unterrichtseinheiten die Übungen mit der Unterstützung von ARGeometrie durchführen, während die Kontrollgruppe die Übungen klassisch mit dem „Pen and Paper“ Material durchführt. Dies sollte über mindestens zwei Unterrichtseinheiten zu je 50 Minuten über die Dauer von zwei bis drei Wochen stattfinden. Nach jeder Einheit mit der Anwendung und den Übungsbeispielen wird die kognitive Belastung der Schülerinnen und Schüler über den Task Load Index gemessen. Mindestens drei Wochen nach dem Pretest kann dann der Posttest durchgeführt werden.

Erste Unterrichtseinheit für den Pretest

Zeit	Unterrichtsphase	Unterrichtsschritte	SF	Medien
3	Unterrichtsbeginn	Die Lehrperson erledigt administrative Tätigkeiten.		
5	Erklärung und Ausgabe MRT Test	Die Lehrperson erklärt den Ablauf des MRT und teilt die Testbögen aus.	FU	MRT Testbögen
6	Durchführung des MRT Test	Die Schülerinnen und Schüler füllen die Tests aus.	T	

5	Erklärung und Ausgabe des DAT Test	Die Lehrperson erklärt den Ablauf des DAT und teilt die Testbögen aus.	FU	DAT Testbögen
8	Durchführung des DAT Test	Die Schülerinnen und Schüler füllen den Test aus.	T	
5	Erklärung und Ausgabe des SOT Test	Die Lehrperson erklärt den Ablauf des SOT und teilt die Testbögen aus.	FU	SOT Testbögen
5	Durchführung des SOT Test	Die Schülerinnen und Schüler füllen den Test aus.	T	
5 min	Erklärung und Ausgabe des TLX	Die Lehrperson erklärt den TLX und teilt die Testbögen aus.	FU	TLX Testbögen
5 min	Durchführung des TLX	Die Schülerinnen und Schüler füllen den TLX aus.	T	

Tabelle 3 – erste Unterrichtseinheit für den Pretest

Die zweite und dritte Unterrichtseinheit kann dann mit ARGeometrie und den Übungsbeispielen frei gestaltet werden. Es sollten jedoch ungefähr 10 Minuten pro Einheit für den TLX freigehalten werden. Eine Empfehlung zur Unterrichtsplanung und Gestaltung mit ARGeometrie ist in Kapitel 8.2 zu finden.

Mindestens drei Wochen nach dem Pretest und der Verwendung der Anwendung wird dann der erste Posttest durchgeführt. Hierfür werden wieder dieselben Tests zur Raumvorstellung verwendet diesmal jedoch in einer anderen Reihenfolge, auch die Beispiele innerhalb der Tests werden wahllos neu angeordnet.

Erster Posttest

Zeit	Unterrichtsphase	Unterrichtsschritte	SF	Medien
3	Unterrichtsbeginn	Die Lehrperson erledigt administrative Tätigkeiten.		
5	Erklärung und Ausgabe SOT Test	Die Lehrperson erklärt den Ablauf des SOT und teilt	FU	SOT Testbögen

		die Testbögen aus.		
6	Durchführung des SOT Test	Die Schülerinnen und Schüler füllen die Tests aus.	T	
5	Erklärung und Ausgabe des MRT Test	Die Lehrperson erklärt den Ablauf des MRT und teilt die Testbögen aus.	FU	MRT Testbögen
8	Durchführung des MRT Test	Die Schülerinnen und Schüler füllen den Test aus.	T	
5	Erklärung und Ausgabe des DAT Test	Die Lehrperson erklärt den Ablauf des DAT und teilt die Testbögen aus.	FU	DAT Testbögen
5	Durchführung des DAT Test	Die Schülerinnen und Schüler füllen den Test aus.	T	
5 min	Erklärung und Ausgabe des TLX	Die Lehrperson erklärt den TLX und teilt die Testbögen aus.	FU	TLX Testbögen
5 min	Durchführung des TLX	Die Schülerinnen und Schüler füllen den TLX aus.	T	

Tabelle 4 – erster Posttest

Weitere drei Wochen nach dem ersten Posttest wird der zweite Posttest durchgeführt. Auch hier werden wieder dieselben drei Tests mit denselben Beispielen zum Prüfen der Raumvorstellung verwendet. Aber auch hier wird die Reihenfolge der Tests und Beispiele wieder verändert.

Zweiter Posttest:

Zeit	Unterrichtsphase	Unterrichtsschritte	SF	Medien
------	------------------	---------------------	----	--------

3	Unterrichtsbeginn	Die Lehrperson erledigt administrative Tätigkeiten.		
5	Erklärung und Ausgabe DAT Test	Die Lehrperson erklärt den Ablauf des DAT und teilt die Testbögen aus.	FU	DAT Testbögen
6	Durchführung des DAT Test	Die Schülerinnen und Schüler füllen die Tests aus.	T	
5	Erklärung und Ausgabe des SOT Test	Die Lehrperson erklärt den Ablauf des SOT und teilt die Testbögen aus.	FU	SOT Testbögen
8	Durchführung des SOT Test	Die Schülerinnen und Schüler füllen den Test aus.	T	
5	Erklärung und Ausgabe des MRT Test	Die Lehrperson erklärt den Ablauf des DAT und teilt die Testbögen aus.	FU	MRT Testbögen
5	Durchführung des MRT Test	Die Schülerinnen und Schüler füllen den Test aus.	T	
5 min	Erklärung und Ausgabe des TLX	Die Lehrperson erklärt den TLX und teilt die Testbögen aus.	FU	TLX Testbögen
5 min	Durchführung des TLX	Die Schülerinnen und Schüler füllen den TLX aus.	T	

Tabelle 5 – zweiter Posttest:

8.3.4 Auswertung der Testergebnisse

Für jeden der verwendeten standardisierten Raumvorstellungstests gibt es einen Auswertungsbogen. Beim Mentalen Rotation Test wird ein Beispiel nur als richtig gewertet, wenn beide Objekte richtig erkannt wurden. Es können bei 20 Beispielen

also maximal 20 Punkte erreicht werden. Auch der Differential Aptitude Test basiert auf einem Punktesystem wobei bei 15 Aufgaben also maximal 15 Punkte erreicht werden können. Bei dem Spatial Orientation Test wird letztendlich die Differenz zum richtigen Winkel berechnet und dies als Bewertungsskala herangezogen. Um hier ein gesamt Ergebnis zu erhalten wird der Mittelwert aller Differenzen berechnet (Bennet et al., 1947; Hegarty et al., 2008; Peters et al., 1995).

Aus Datenschutzgründen wird bei den Pre- und Posttests nicht jedes Kind einzeln betrachtet, sondern die gesamte Gruppe. Das bedeutet, dass der Test anonym ausgefüllt wird und im Endergebnis die durchschnittliche Steigerung oder Senkung der gesamten Klasse berechnet wird. Die Ergebnisse und Berechnungen werden über Excel durchgeführt.

Die Tests werden ab September 2020 in zwei dritten Klassen im Geometrisches Zeichnen Unterricht durchgeführt. Die letztendlichen Testergebnisse werden dann bei einem Vortrag auf der österreichischen Fortbildungstagung für Geometrie in Strobl im November 2020 präsentiert.

8.4 Beurteilung der Applikation durch Expertinnen und Experten

Um einen Einblick zu erhalten wie die Anwendung von Lehrerinnen und Lehrern verwendet werden kann, sowie um eine Beurteilung und Testung der Anwendung zu bekommen wurde diese an mehrere Expertinnen und Experten, aus dem Fachgebiet der Geometrie und Didaktik, versendet. Hierfür wurde die Anwendung an die Mitglieder der ADI3D (Arbeitsgemeinschaft Didaktische Innovation für Geometrie) sowie weitere Geometrie Lehrerinnen und Lehrer gesendet. Zusätzlich zur Anwendung gab es auch einen kurzen Fragebogen auszufüllen. Dieser Fragebogen beschäftigt sich im ersten Abschnitt mit der Applikation. Hier geht es vor allem darum zu erfahren, wie verständlich die Anwendung ist und wie gut die Expertinnen und Experten damit umgehen können. Ebenso soll herausgefunden werden wie geeignet die Anwendung für den Schulunterricht ist und ob die Lehrpersonen die Applikation auf dem derzeitigen Stand auch verwenden würden. Schlussendlich wird auch gefragt was eine ideale Anwendung ihrer Meinung nach beinhalten sollte und wie diese aufgebaut wäre. Dies soll vor allem der Weiterentwicklung der Anwendung dienen.

Um dies herauszufinden, wurden die folgenden Fragen gestellt:

- Wie war Ihre Userexperience beim Verwenden der Applikation?
- Können Sie sich vorstellen die Applikation im Schulunterricht einzusetzen?
 - o Bitte begründen Sie Ihre Antwort

- Was müsste an der Applikation verbessert werden damit Sie diese im Schulunterricht einsetzen würden?
- Würden Sie die Applikation nur im GZ (Geometrisches Zeichnen) Unterricht verwenden oder auch in anderen Fächern?
- Kann die Verwendung von Augmented Reality Ihrer Meinung nach zur Verbesserung des räumlichen Denkvermögens beitragen? Bitte begründen Sie Ihre Antwort.
- Wie würde Ihre ideale Augmented oder Virtual Reality Applikation für den GZ Unterricht aussehen, um das räumliche Denkvermögen zu verbessern?

Da die Anwendung aber nur mit ausgedruckten Markern wirklich gut funktioniert und viele der Expertinnen und Experten auf Grund der aktuellen Situation im Homeoffice keinen Drucker zur Verfügung haben, gab es leider nur eine Antwort von 7 Personen, die die Anwendung ausgetestet und den Fragebogen ausgefüllt haben.

8.4.1 Erzielte Ergebnisse

Allen Expertinnen und Experten wurde das pdf mit den Übungsbeispielen geschickt, sowie ein etwa 3-minütiges Demovideo der Anwendung. Nur zwei der Expertinnen und Experten benötigte darauf noch eine zusätzliche Erklärung wie die Anwendung verwendet werden kann. Die restlichen fünf hatten dabei keine Schwierigkeiten und konnten die Anwendung ohne weitere Anleitung austesten. Die Anwendung ist sehr simpel aufgebaut und funktioniert als Webanwendung in jedem Browser auf Laptops, Smartphones und Tablets und kann dadurch schnell und einfach verwendet werden, dadurch scheint die allgemeine Userexperience gut zu sein. Für manche war die Anwendung am Anfang jedoch gewöhnungsbedürftig funktionierte dann aber relativ gut. Kritikpunkte bei der Userexperience waren die bereits bekannten Trackingfehler, die anscheinend vor allem bei schlechteren Lichtverhältnissen ein Problem darstellten. Bei dem Beispiel der räumlichen Orientierung half ein Wechsel zwischen Hoch- und Querformat am Handy einen großen Unterschied bei der Beleuchtung. Weiters ist der weiße Rand der einzelnen Marker relativ eng bemessen und es kann dazu kommen, dass beim Drehen und Bewegen des Markers dieser kurz verdeckt wird und somit neu eingescannt werden muss.

Die sieben Expertinnen und Experten können sich alle vorstellen die Anwendung im Schulunterricht als Unterstützung einzusetzen. Die Anwendung stellt für die Lehrkräfte ein neues Werkzeug dar, um die Raumvorstellung zu üben, und kann so für manche Schülerinnen und Schüler hilfreich sein. Weiters wurde betont, dass durch die Webanwendung ein plattformunabhängiges Arbeiten möglich ist, da keine spezielle Software benötigt wird, sondern nur ein Smartphone, Tablet oder

Laptop. Dennoch gab es noch Verbesserungsvorschläge, um die Anwendung gezielter einsetzen zu können. Hier wäre vor allem wichtig das Tracking und die Marker zu verbessern um eine eventuelle Frustration, die wenn die Marker nicht schnell erkannt werden oder das Tracking abbricht bei den Schülerinnen und Schülern entstehen könnte, vorzubeugen. Ebenso sollten für die 3D Modelle eher hellere Farben gewählt werden, manche Seitenflächen wirken je nach Ansicht dunkel und es ist so nicht mehr möglich die einzelnen Teilwürfel zu erkennen. Eine weitere Verbesserungsmöglichkeit wäre es die gleichzeitige Ansicht aller Modelle eines Beispiels zu vereinfachen. Eine weitere Schwierigkeit, die bei den Tests aufgetreten ist, ist beim räumlichen Orientierungsbeispiel die einzelnen Kamerapositionen gut zu erreichen, hier könnte noch an einer besseren Version gearbeitet werden.

Da die Anwendung als Übung für die Raumvorstellung dient könnte diese auch in anderen Unterrichtsfächern eingesetzt werden. Laut den Expertinnen und Experten eignet sich diese vor allem für den Unterricht in der Sekundarstufe eins in Mathematik oder Geometrisches Zeichnen, für den Darstellenden Geometrie Unterricht sind die Beispiele zu einfach man könnte die Anwendung hier aber mit Hauptrissübungen für diesen ergänzen. Weitere Fächer, die genannt wurden, in denen der Einsatz der Anwendung denkbar wäre sind technisches Werken und Bildnerische Erziehung.

Ein Medienmix wird im Unterricht immer wichtiger, und die Expertinnen und Experten können sich gut vorstellen, dass die Verwendung der Anwendung die Raumvorstellung unterstützen und eventuell sogar verbessern kann. Die Ansicht des 3D Modells kann den Schülerinnen und Schülern helfen eine geistige Brücke zwischen der zweidimensionalen Abbildung und dem dreidimensionalen Objekt herzustellen. Es wird aber auch erwähnt, dass die Gefahr besteht das räumliche Denken durch solche Anwendungen derart zu entlasten, dass es letztendlich zu keiner Verbesserung kommt. Dies ist auf das in Kapitel 3.3. und 4.4 erwähnte Supplantationskonzept zurückzuführen. Wichtig ist es hier das Lernmaterial und Verwendung solcher Anwendungen gut auf den Unterricht abzustimmen und Studien darüber durchzuführen. Aufbauend auf diesen Studien ist es dann möglich Empfehlungen für den Unterricht und entsprechende Lernmaterialien zu entwickeln.

Zusammengefasst scheint die Anwendung nach Beurteilung der Expertinnen und Experten gut zu funktionieren und ist für den Unterricht einsatzbereit. Ideal wäre die Anwendung, wenn diese auf ein Lehrbuch abgestimmt ist und alle 3D Modelle, die im Buch aufgezeichnet sind, auch beinhaltet, um so für die Schülerinnen und Schüler immer griffbereit zu sein. Weiters könnten die Angaben um weitere Aufgaben für die Schülerinnen und Schüler erweitert werden, wie zum Beispiel das Objekt danach real aus Würfeln zu rekonstruieren oder in einem 3D CAD

Programm modellieren. Grundsätzlich sind für solche Anwendungen ein intuitives Design und eine einfache Bedienung sehr wichtig.

Die anonymisierten Antworten der Befragung befinden sich im Anhang 2 dieser Arbeit,

8.4.2 Erwartete Ergebnisse

Da die Anwendung sehr einfach gehalten ist wird erwartet, dass die grundsätzliche User Experience sehr gut ist. Bei der Verwendung der Applikation am Smartphone kann jedoch die Benutzung der Anwendung im Landscape Modus, also horizontal gehalten, etwas ungewohnt sein. Selbst durch die Verwendung von PlayCanvas und ARToolkit kommt es trotzdem manchmal vor, dass das 3D Modell ein wenig zittert und flackert. Dies kann die allgemeine User Experience leicht beeinträchtigen.

Es wird auch davon ausgegangen, dass Aufgrund der einfachen Benutzung der Anwendung diese für den Unterricht gut geeignet ist und von Lehrpersonen auch für diesen verwendet wird. Ebenso stellt die Anwendung eine neue Methode zum Trainieren der Raumvorstellung dar und kann so in verschiedenen Fächern verwendet werden.

Da es derzeit nur 11 Beispiele sind wird aber auch vermutet, dass die Anwendung zwar für den Unterricht verwendet wird aber nur in maximal einer Unterrichtseinheit da für eine längere Verwendung mehr Übungen benötigt werden.

9 Ausblick

Wie in Kapitel 2 beschrieben hat sich Augmented Reality in den letzten Jahren stetig weiterentwickelt. Durch neue Forschungen wird die Technologie momentan stetig vorangetrieben. Anbieter wie Microsoft mit der HoloLens („Microsoft HoloLens“, o. J.), MagicLeap („Magic Leap“, o. J.) oder Vuzix („Vuzix“, o. J.) bieten mittlerweile die ersten Brillen an, die digitale Inhalte und 3D Modelle über und in der realen Umgebung darstellen können.

Marktprognosen der letzten Jahre zeigen, dass der Marktwert und auch die Anzahl an Userinnen und Usern von Augmented Reality ansteigt und in den nächsten Jahren wachsen wird. Aktuell rechnet man im Jahr 2023 weltweit mit ungefähr 2.4 Milliarden Userinnen und Usern die Augmented Reality verwenden werden („Global Mobile Augmented Reality (AR) Users 2023“, o. J.). Der weltweite Marktwert von Augmented Reality wird für das Jahr 2025 auf etwa 195 Milliarden US Dollar prognostiziert. Zum Vergleich lag dieser Marktwert 2018 bei 5.91 Milliarden US Dollar („Global Augmented Reality Market Size 2025“, o. J.). Der Trend ist also eindeutig am Steigen.

Dieses Kapitel soll nun einen kleinen Blick in die Zukunft werfen. Aufgrund der Umfrageergebnisse sowie eigenen Verbesserungsideen wird erläutert wie man die Anwendung ARGeometrie verbessern könnte. Letztendlich wird diskutiert welche Materialien oder Unterstützung in Schulen benötigt wird, um Augmented Reality effektiv im Unterricht verwenden zu können, und wie dies in Österreich erreicht werden könnte.

Da es aufgrund der Schulschließungen im März 2020 nicht möglich war die Anwendung ausreichend zu testen, um die Forschungsfrage, ob eine Verbesserung der Raumvorstellung durch die Verwendung von Augmented Reality möglich ist, zu beantworten, werden diese Tests im September 2020 nachgeholt und die Ergebnisse dann auf der Geometrie Tagung im November 2020 in Strobl präsentiert.

9.1 ARGeometrie – wie kann man die Applikation weiterentwickeln

Aktuell gibt es für ARGeometrie 11 Übungsbeispiele im Bereich Mentale Rotation, räumliche Beziehungen und räumliche Orientierung. Für eine Übungseinheit und den ersten Test sind diese Beispiele ausreichend. Damit die Anwendung aber großflächig und auch öfter im Unterricht verwendet werden kann benötigen die

Lehrerinnen und Lehrer mehr Beispiele. Um die Tests im September größer anzusetzen werden hierfür noch weitere Beispiele eingebaut.

Weiters wäre es möglich auch andere Übungen für die Anwendung zu erstellen. Für den Geometrisches Zeichnen Unterricht wären hier noch Würfelstempel oder Faltübungen von Nutzen. Eine weitere Möglichkeit wäre es auch die Anwendung zusätzlich zum Geometrisches Zeichnen Unterricht auch für den Darstellenden Geometrie Unterricht in der Sekundarstufe zwei zu entwickeln. Hierfür wäre es möglich Beispiele, die in beiden Fächern verwendet werden können in unterschiedlichen Schwierigkeitsgraden zu entwickeln. Ein Beispiel hierfür wäre ein sogenannter TSCHUPIK – Würfel, dies ist ein Würfelmodell aus welchem Grund-, Auf- und Kreuzriss gefräst wurden. Diese Risse müssen dann rekonstruiert werden (vgl. ARGE Didaktische Innovation für GZ/DG, o. J.-a).

Aufbauend auf dem Feedback der Expertinnen und Experten über die Anwendung werden auch diese Verbesserungsvorschläge berücksichtigt und bis zu den Tests in der Schule eingebaut und umgesetzt.

Letztendlich wird auch angedacht die Anwendung auf einer eigenen Website und nicht über GitHub Pages zur Verfügung zu stellen. Dadurch können der Datenschutz und die Sicherheit der Anwendung besser gewährleistet werden.

9.2 Was benötigen Schulen um in Zukunft neue Technologien wie Augmented Reality einzusetzen?

Wie die durchgeführte Umfrage und Recherche gezeigt hat wird Augmented Reality in den Schulen Österreichs kaum für den Unterricht verwendet. Dies hat wie in Kapitel 3 beschrieben mehrere Gründe. Die Lehrpersonen scheuen sich vor der neuen Technologie und wissen nicht wie sie diese im Unterricht einbauen können. Die Schulen haben die nötige Hardware selbst nicht vor Ort und es muss daraufgesetzt werden, dass die Schülerinnen und Schüler selbst die richtige Hardware besitzen. Dies wirft wieder rechtliche Schwierigkeiten auf, wenn die Schülerinnen und Schüler eine Anwendung nun auf ihren privaten Geräten installieren müssen. Die so verwendeten Anwendungen müssen davor von den Lehrkräften geprüft werden und der Unterricht muss dementsprechend geplant werden. All dies benötigt viel Zeit und muss in der oft sehr knappen Vorbereitungszeit der Lehrpersonen erfolgen.

Augmented Reality bietet aber wie in Kapitel 3 beschrieben viele Vorteile und kann den Schülerinnen und Schülern das Lernen vereinfachen. Wie ist es nun also möglich, in den Schulen Österreichs das Verwenden von Augmented Reality zu vereinfachen? In erster Linie muss es die passenden Anwendungen geben. Diese

Anwendungen müssen den rechtlichen Rahmenbedingungen (DSGVO („Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO) - JUSLINE Österreich“, o. J.)) entsprechen und auf den Unterricht abgestimmt sein. Es hilft jedoch nicht, die Anwendung einfach nur auf den Markt zu bringen und dort anzubieten und zu verkaufen. Um den Lehrerinnen und Lehrern die Anwendung beizubringen muss es eine einfache Methode einer Schulung geben. Dies könnte zum Beispiel durch kurze Erklärung und Schulungsvideos erfolgen. Durch diese wäre es den Lehrerinnen und Lehrern möglich einen schnellen Einblick in die jeweilige Anwendung und deren Verwendung zu bekommen. Die Lehrpersonen können aufgrund dessen nun schneller und leichter entscheiden ob sich die Anwendung für ihren Unterricht eignet. Ebenso könnte ein bereits vorgefertigtes Stundenbild oder Unterrichtsplanung zeigen, wie man die Anwendung verwenden kann und den Lehrerinnen und Lehrern auch hier einiges an Arbeit erleichtern. Gleichfalls muss es die Möglichkeit geben sich als Lehrperson weiterzubilden, hierfür müssten von den pädagogischen Hochschulen oder anderen Fortbildungseinrichtungen Schulungen angeboten werden. Die Schulungen müssen sich dezidiert mit dem Thema beschäftigen und den Lehrerinnen und Lehrern die Verwendung von Augmented Reality näherbringen.

Für Entwickler und Hersteller von Anwendungen die sich dezidiert darauf spezialisieren Anwendungen für den Schulunterricht zu erstellen bedeutet dies auch, dass sie, um ihre Anwendung auf den Markt zu bringen, den Lehrerinnen und Lehrern dementsprechende Angebote machen müssen. Es reicht hier nicht aus, die Anwendung einfach in einem App Store zu verkaufen. Man muss die Anwendung mit allen Materialien anbieten und die Lehrpersonen dadurch unterstützen.

Schlussendlich sollten die Schulen in Österreich auch mit zumindest einem kleinen Kontingent an nötiger Hardware, also neueren Smartphones oder Tablets, ausgestattet werden, um hier wieder den Lehrerinnen und Lehrern ein wenig entgegen zu kommen und diesen die Verwendung von neuen Technologien zu vereinfachen. Hier wäre es österreichweit nötig die Anschaffung zu fördern und Schulen dabei zu unterstützen. Diese Initiative müsste letztendlich vom Bildungsministerium ausgehen.

10 **Fazit**

Dies war leider nicht das beste Jahr, um eine Masterarbeit über eine Anwendung zu schreiben, welche für den Schulunterricht entwickelt wurde. Die Anwendung wurde entwickelt und steht für die Tests zur Verfügung, sie konnte aber nicht in der Schule ausreichend getestet werden. Durch Covid-19 mussten im März 2020 alle Schulen in Österreich schließen und auf Fernlehre umsteigen. Es war so also nicht möglich die Anwendung zu testen. Dennoch wurde der Testablauf genau geplant und in dieser Arbeit beschrieben, um die Tests letztendlich zu einem späteren Zeitpunkt durchzuführen.

Durch eine ausführliche Literaturrecherche und Befragungen war es trotzdem möglich die Forschungsfragen dieser Arbeit zu beantworten. Ob der Einsatz von Augmented Reality zur Verbesserung des räumlichen Denkvermögens beitragen kann zeigen Tests und Forschungen aus dem In- und Ausland, diese beweisen, dass die Verwendung von Augmented Reality die Raumvorstellung verbessern kann. Sie zeigten jedoch auch, dass es noch genauere Untersuchungen benötigt, um herauszufinden ob die Raumvorstellung nicht auf Dauer durch den Einsatz von Augmented Reality zu sehr entlastet wird. Durch die Ansicht der dreidimensionalen Modelle in der realen Welt kann man sich diese genau ansehen und dadurch die Raumvorstellung trainieren. Auch die Rückmeldungen der Expertinnen und Experten über die Verwendung von ARGeometrie gaben einen guten Einblick wie sich die Anwendung für den Schulunterricht eignet, und welche Verbesserungen noch benötigt werden, um diese Großflächig in Schulen einsetzen zu können.

Der Einsatz von Augmented Reality im Geometrieunterricht scheint auch ein sehr wichtiges Thema zu sein. Bereits bei ersten Gesprächen auf einer Geometrie Tagung im November 2019 schienen viele der Gesprächspartner sehr interessiert. Im Laufe der Erstellung der Arbeit gab es dann bereits die Anfrage derselben Tagung die Arbeit im November 2020 dort zu präsentieren sowie einen Workshop für die Teilnehmerinnen und Teilnehmer zu halten. Grundsätzlich wirkten auch die meisten Expertinnen und Experten, denen die Anwendung zu gesendet wurde, sehr interessiert an dem Thema und den damit verbundenen Forschungsergebnissen.

Die Befragungen und die Recherche zeigte auch, dass es viele verschiedene Voraussetzungen benötigt um neue Technologien, wie Augmented oder Virtual Reality an Schulen verwenden zu können. Es wird nicht nur die jeweilige Hardware an den Schulen benötigt, sondern auch Lehrerinnen und Lehrer, die mit der Technik gut umgehen können. Damit Augmented Reality effizient im Unterricht eingesetzt werden kann braucht es an den Schulen und von den Lehrerinnen und

Lehrern noch ein Umdenken. Da die Anwendungen, die es am Markt gibt auf den meisten Smartphones funktionieren und die Schülerinnen und Schüler diese selbst zur Verfügung haben ist die Hardware eigentlich Großteiles vorhanden. Man müsste also, um die Anwendungen zu verwenden den Unterricht dementsprechend Planen. Eine der größten Schwierigkeiten bei der Verwendung von solchen Technologien scheint das Wissen der Lehrerinnen und Lehrer zu sein. Diese scheuen sich vor der Verwendung von neuen Technologien, da sie selbst zu wenig Wissen über die Technologien haben. Demnach werden diese neuen Technologien im Unterricht eher selten verwendet. Hier wäre es wichtig den Lehrkräften über pädagogische Hochschulen oder andere Anbieter Schulungen anzubieten.

Alles in allem bringt die Verwendung von Augmented Reality im Schulunterricht viele Vorteile mit sich. Komplexe Inhalte können den Schülerinnen und Schülern dadurch besser erklärt werden und in manchen Fällen kommt es sogar zu einem größeren Lernerfolg. Bis Augmented Reality aber weitläufig im Schulunterricht eingesetzt werden kann ist es noch ein weiter Weg.

Literaturverzeichnis

- A-Frame. (o. J.). Abgerufen 7. Mai 2020, von A-Frame website: <https://aframe.io/>
- Amazon Sumerian Overview. (o. J.). Abgerufen 11. Mai 2020, von Amazon Web Services, Inc. website: <https://aws.amazon.com/sumerian/>
- Anatomy 4D. (o. J.). Abgerufen 3. Mai 2020, von <http://arkids.cards/anatomy-en>
- ARCore supported devices. (o. J.). Abgerufen 10. Mai 2020, von Google Developers website: <https://developers.google.com/ar/discover/supported-devices>
- Areeka: Augmented Reality erweckt Bildung zum Leben. (o. J.). Abgerufen 3. Mai 2020, von Areeka website: <https://areeka.net/>
- Areeka Studio BETA. (o. J.). Abgerufen 11. Mai 2020, von <https://beta-studio.areeka.net/#/>
- ARGE Didaktische Innovation für GZ/DG. (o. J.-a). Raumvorstellung—Risslesen 1. Abgerufen 12. Mai 2020, von Geometry.at website: <http://www.geometry.at/materialien/adi/mrv/16/rvaaril1.pdf>
- ARGE Didaktische Innovation für GZ/DG. (o. J.-b). RIF-3D Home. Abgerufen 11. Mai 2020, von <https://www.adi3d.at/rif3d/>
- AR.js Documentation. (o. J.). Abgerufen 7. Mai 2020, von <https://ar-js-org.github.io/AR.js-Docs/>
- AR.js Marker Training. (o. J.). Abgerufen 11. Mai 2020, von <https://jeromeetienne.github.io/AR.js/three.js/examples/marker-training/examples/generator.html>
- ARKit. (o. J.). Abgerufen 10. Mai 2020, von Apple Developer website: <https://developer.apple.com/augmented-reality/arkit/>
- Artoolkitx* [C]. (2020). Abgerufen von <https://github.com/artoolkitx/artoolkitx> (Original work published 2018)

- Aufenanger, S., Schulz-Zander, R., & Spanhel, D. (2001). *Jahrbuch Medienpädagogik 1* (Bd. 1).
- Augment. (o. J.). Abgerufen 11. Mai 2020, von Augment website: <https://www.augment.com/>
- AWS Educate. (o. J.). Abgerufen 11. Mai 2020, von Amazon Web Services, Inc. website: <https://aws.amazon.com/education/awseducate/>
- Azuma, R. T. (1997). A Survey of Augmented Reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6(4), 355–385. <https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.4.355>
- Baumgartner, P., Brandhofer, G., Ebner, M., Gradingner, P., & Korte, M. (2016). Medienkompetenz fördern – Lehren und Lernen im digitalen Zeitalter. *Bruneforth, M., Band 2: Fokussierte Analysen bildungspolitischer Schwerpunktthemen*. <https://doi.org/10.17888/NBB2015-2-3>
- Bennet, G., Senshore, H., & Wesman, A. (1947). *Differential Aptitude Tests*. The Psychological Corporation.
- Billinghurst, M. (2002). Augmented Reality in Education. *New Horizons for Learning*, 12/2002. Abgerufen von http://www.solomonalexis.com/downloads/ar_edu.pdf
- Billinghurst, M., Clark, A., & Lee, G. (2015). A Survey of Augmented Reality. *Foundations and Trends® in Human–Computer Interaction*, 8(2–3), 73–272. <https://doi.org/10.1561/11000000049>
- Billinghurst, M., & Dünser, A. (2012). Augmented Reality in the Classroom. *Computer*, 45(7), 56–63. <https://doi.org/10.1109/MC.2012.111>
- Blender.org. (o. J.). Abgerufen 5. Mai 2020, von <https://www.blender.org/>
- BlockOut II - The 3D Tetris Community. (o. J.). Abgerufen 12. Mai 2020, von <http://www.blockout.net/blockout2/>
- Bloxham, J. (2014). Augmented Reality Learning. *ITNOW*, 56(3), 44–45. <https://doi.org/10.1093/itnow/bwu078>

- Buchner, J. (2017). Offener Unterricht mit Augmented Reality. *Erziehung und Unterricht, September/Oktober 7-8|2017*, 1–6.
- Bundesrecht konsolidiert: Gesamte Rechtsvorschrift für Lehrpläne – allgemeinbildende höhere Schulen.* (2020, April 29). Abgerufen von <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10008568>
- Bypassing Jekyll on GitHub Pages. (2009, Dezember 30). Abgerufen 8. Mai 2020, von The GitHub Blog website: <https://github.blog/2009-12-29-bypassing-jekyll-on-github-pages/>
- Carmigniani, J., Furht, B., Anisetti, M., Ceravolo, P., Damiani, E., & Ivkovic, M. (2010). Augmented reality technologies, systems and applications. *Multimedia Tools and Applications*, 51(1), 341–377. <https://doi.org/10.1007/s11042-010-0660-6>
- Carpignoli, N. (2020, März 21). AR.js. Abgerufen 7. Mai 2020, von Medium website: <https://medium.com/chialab-open-source/ar-js-the-simpliest-way-to-get-cross-browser-ar-on-the-web-8f670dd45462>
- CGTrader. (o. J.). Abgerufen 5. Mai 2020, von <https://www.cgtrader.com/free-3d-models>
- Code Editor | Learn PlayCanvas. (o. J.). Abgerufen 11. Mai 2020, von <https://developer.playcanvas.com/en/user-manual/scripting/code-editor/>
- Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO)—JUSLINE Österreich. (o. J.). Abgerufen 23. Mai 2020, von <https://www.jusline.at/gesetz/dsgvo>
- DeLisi, R., & Cammarano, D. (1996). Computer experience and gender differences in undergraduate mental rotation performance—ScienceDirect. *Computers in Human Behavior*, 12(3), 351–361. [https://doi.org/10.1016/0747-5632\(96\)00013-1](https://doi.org/10.1016/0747-5632(96)00013-1)
- Device Compatibility—ARKit. (o. J.). Abgerufen 10. Mai 2020, von <https://developer.apple.com/library/archive/documentation/DeviceInformat>

ion/Reference/iOSDeviceCompatibility/DeviceCompatibilityMatrix/Device
CompatibilityMatrix.html

deWitt, C., & Czerwionka, T. (2007). *Mediendidaktik*. W. Bertelsmann Verlag GmbH & Co. KG.

Dohse, F., Nicolaisen, V., Wetzel, S., & Bertel, S. (2019). Potential of AR for the Analysis and Training of Spatial Skills: A Case Study. *Proceedings of Mensch und Computer 2019 on - MuC'19*, 537–541. <https://doi.org/10.1145/3340764.3344453>

Dominguez, M. G., Martin-Gutierrez, J., Gonzalez, C. R., & Corredeaguas, C. M. M. (2012). Methodologies and Tools to Improve Spatial Ability. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 51, 736–744. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.08.233>

Dunleavy, M., Dede, C., & Mitchell, R. (2008). Affordances and Limitations of Immersive Participatory Augmented Reality Simulations for Teaching and Learning. *Journal of Science Education and Technology*, 18(1), 7–22. <https://doi.org/10.1007/s10956-008-9119-1>

Dünser, A. (2005). *Trainierbarkeit der Raumvorstellung mit Augmented Reality* (Dissertation, Psychologie). Universität Wien.

Dünser, A. (2008). Supporting Low Ability Readers With Interactive Augmented Reality. *Annual Review of CyberTherapy and Telemedicine: Changing the Face of Healthcare*, 41–48.

Elsässer, S. (2020, April 27). Einer für alle und alle für einen. Abgerufen 11. Mai 2020, von StartupValley Magazine website: <https://www.startupvalley.news/de/amlogy-areeka-augmented-reality/>

Escamilla, J., Venegas, Fernández, Fuerte, Román, Abrego, ... Guijosa. (2018). *Edu Trends Augmented and Virtual Reality* (Magazin Nr. 03/18; S. 1–36). Abgerufen von Tecnológico de Monterrey website: <https://observatory.tec.mx/edu-trends-augmented-and-virtual-reality>

- Fehrenbach, A., & Fileccia, M. (2019). *AR_im_Unterricht—Neue Perspektiven für das Lernen und Lesen*. Abgerufen von <https://www.derlehrerclub.de/download.php?type=documentpdf&id=2091>
- Fiala, M. (2005). ARTag, a Fiducial Marker System Using Digital Techniques. *2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'05)*, 2, 590–596. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2005.74>
- Garreau, J. (1994, März 9). OFFICE MINEFIELD. *Washington Post*. Abgerufen von <https://www.washingtonpost.com/archive/lifestyle/1994/03/09/office-minefield/3b74132a-5f0a-455f-a04e-6171d023149b/>
- Gems, W., Maresch, G., Müller, T., Scheiber, K., & Slepcevic, H. (2017). *Raumvorstellung—Die vier Faktoren*. Abgerufen von <https://www.adi3d.at/home/docs/raumvorstellung-die-vier-faktoren-a3.pdf>
- GeoGebra AR. (2017, September 28). Abgerufen 3. Mai 2020, von GeoGebra website: <https://www.geogebra.org/m/R8Qd7U8y>
- GitHub. (o. J.). Abgerufen 11. Mai 2020, von GitHub website: <https://github.com>
- GitHub Pages. (o. J.). Abgerufen 11. Mai 2020, von GitHub Pages website: <https://pages.github.com/>
- Global augmented reality market size 2025. (o. J.). Abgerufen 17. Mai 2020, von Statista website: <https://ezproxy.fhstp.ac.at:2267/statistics/897587/world-augmented-reality-market-value/>
- Global mobile augmented reality (AR) users 2023. (o. J.). Abgerufen 17. Mai 2020, von Statista website: <https://ezproxy.fhstp.ac.at:2267/statistics/1098630/global-mobile-augmented-reality-ar-users/>
- Glück, J., Kaufmann, H., Dünser, A., & Steinbügl, K. (2005). Geometrie und Raumvorstellung – Psychologische Perspektiven. *Current Biology*, 7(3), R126. [https://doi.org/10.1016/S0960-9822\(97\)70976-X](https://doi.org/10.1016/S0960-9822(97)70976-X)

- Google Expeditions. (o. J.). Abgerufen 10. Mai 2020, von Google for Education website: <https://edu.google.com/products/vr-ar/expeditions/>
- Google Poly. (o. J.). Abgerufen 5. Mai 2020, von Poly website: <https://poly.google.com>
- Hart, S. G., & Staveland, L. E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research. In *Advances in Psychology* (Bd. 52, S. 139–183). [https://doi.org/10.1016/S0166-4115\(08\)62386-9](https://doi.org/10.1016/S0166-4115(08)62386-9)
- Hegarty, D. M., Kozhevnikov, M., & Waller, D. (2008). *Perspective Taking/Spatial Orientation Test*. University of California, Santa Barbara.
- Herber, E. (2012). Augmented Reality – Auseinandersetzung mit realen Lernwelten. *Zeitschrift für E-learning*, 7(7), 7–13.
- Hirsch, M., & Maresch, G. (2015). Wodurch wird das Raumvorstellungsvermögen gefördert? SketchUp, Skateboard oder Skulpturen? *Mathematik im Unterricht*, 6(6), 1–10.
- Jakl, A. (2018, November 15). Amazon Sumerian & Augmented Reality (Part 1). Abgerufen 7. Mai 2020, von andreasjakl.com website: <https://www.andreasjakl.com/amazon-sumerian-augmented-reality/>
- Jigspace. (o. J.). Abgerufen 3. Mai 2020, von Jigspace website: <https://jig.space/>
- JSON Introduction. (o. J.). Abgerufen 8. Mai 2020, von https://www.w3schools.com/js/js_json_intro.asp
- Kato, H., & Billinghurst, M. (1999). Marker tracking and HMD calibration for a video-based augmented reality conferencing system. *Proceedings 2nd IEEE and ACM International Workshop on Augmented Reality (IWAR'99)*, 85–94. <https://doi.org/10.1109/IWAR.1999.803809>
- Kaufmann, H. (2004). *Geometry Education with Augmented Reality* (Dissertation, Softwaretechnik und Interaktive Systeme). Technische Universität Wien.

- Kaufmann, H., Steinbügl, K., Dünser, A., & Glück, J. (2005). *General Training of Spatial Abilities by Geometry Education in Augmented Reality*. 11.
- Kesim, M., & Ozarslan, Y. (2012). Augmented Reality in Education: Current Technologies and the Potential for Education. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 47, 297–302.
<https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.06.654>
- Magic Leap. (o. J.). Abgerufen 9. Mai 2020, von <https://www.magicleap.com/>
- Maier, P. H. (1999). *Räumliches Vortellungsvermögen: Ein theoretischer Abriss des Phänomens räumliches Vorstellungsvermögen, Mit didaktischen Hinweisen (alle Klassenstufen)* (1. Aufl.). Auer Verlag in der AAP Lehrerwelt GmbH.
- Maresch, G., Müller, T., & Scheiber, K. (2016). *GeodiKon. Die Lernmaterialien*. Studienverlag GmbH.
- Martín-Gutiérrez, J., Saorín, J. L., Contero, M., & Alcaniz, M. (2010). AR_Dehaes: An Educational Toolkit Based on Augmented Reality Technology for Learning Engineering Graphics. *2010 10th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies*, 133–137.
<https://doi.org/10.1109/ICALT.2010.45>
- Mayrberger, K., Fromme, J., Grell, P., & Hug, T. (Hrsg.). (2017). *Jahrbuch Medienpädagogik 13: Vernetzt und entgrenzt – Gestaltung von Lernumgebungen mit digitalen Medien* (Bd. 13).
<https://doi.org/10.1007/978-3-658-16432-4>
- Microsoft HoloLens. (o. J.). Abgerufen 9. Mai 2020, von <https://www.microsoft.com/en-us/hololens>
- Milgram, P., Takemura, H., Utsumi, A., & Kishino, F. (1994). *Augmented reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum* (H. Das, Hrsg.).
<https://doi.org/10.1117/12.197321>

- Müller, T. (2012). Über das Lernen mit geometrischen Modellen. *IBDG Heft*, 2/2012, 16–21.
- Peters, M., Laeng, B., Latham, K., Jackson, M., Zaiyouna, R., & Richardson, C. (1995). A Redrawn Vandenberg and Kuse Mental Rotations Test: Different Versions and Factors that affect performance. *Brain and Cognition*, 28(28), 39–58. <https://doi.org/10.1006/brcg.1995.1032>
- Phon, D., Rahman, M., Utama, N., Bilal Ali, M., Halim, N., & Kasim, S. (2019). The Effect of Augmented Reality on Spatial Visualization Ability of Elementary School Student. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 9, 624. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.8.5.4971>
- PlayCanvas—The Web-First Game Engine. (o. J.). Abgerufen 11. Mai 2020, von PlayCanvas.com website: <https://playcanvas.com>
- Pokémon GO. (o. J.). Abgerufen 10. Mai 2020, von Pokémon GO website: <https://pokemongolive.com/en/>
- Quickstart for Android | ARCore. (o. J.). Abgerufen 5. Mai 2020, von Google Developers website: <https://developers.google.com/ar/develop/unity/quickstart-android>
- Quiver 3D. (o. J.). Abgerufen 10. Mai 2020, von <http://www.quivervision.com/>
- Science & Technology 3D models | Categories. (o. J.). Abgerufen 5. Mai 2020, von Sketchfab website: https://sketchfab.com/3d-models/categories/science-technology?date=week&sort_by=-likeCount
- Skorianz, K. (2014, Februar 3). Professionelle Nutzung—Schule.at. Abgerufen 3. Mai 2020, von <https://www.schule.at/it-infrastruktur/it-trends/augmented-reality/professionelle-nutzung.html>
- Spark AR Studio. (o. J.). Abgerufen 11. Mai 2020, von <https://sparkar.facebook.com/ar-studio/>

- Strauss, B. (1991). Blockout. Abgerufen 10. Mai 2020, von Entertainment Weekly website: <https://ew.com/article/1991/07/26/blockout/>
- Sutherland, I. E. (1968). A head-mounted three dimensional display. *Fall Joint Computing Conference* 1968, 757–764. <https://doi.org/10.1145/1476589.1476686>
- Sweller, J. (1988). Cognitive Load During Problem Solving: Effects on Learning. *Cognitive Science*, 12(2), 257–285. https://doi.org/10.1207/s15516709cog1202_4
- Swertz, C. (2010). Smartphones im Klassenzimmer. Ergebnisse einer explorativen Einzelfallstudie in der Projektschule Goldau. *Medienimpulse*, 3/2010(3/2010), 1–12.
- TurboSquid. (o. J.). Abgerufen 5. Mai 2020, von <https://www.turbosquid.com/Search/3D-Models/free>
- Unity. (o. J.). Abgerufen 5. Mai 2020, von <https://unity.com/>
- Unity's Handheld AR Ecosystem: AR Foundation, ARCore and ARKit - Unity Technologies Blog. (2018, Dezember 18). Abgerufen 5. Mai 2020, von <https://blogs.unity3d.com/2018/12/18/unitys-handheld-ar-ecosystem-ar-foundation-arcore-and-arkit/>
- Van Krevelen, D. W. F., & Poelman, R. (2010). A Survey of Augmented Reality Technologies, Applications and Limitations. *International Journal of Virtual Reality*, 9(2), 1–20. <https://doi.org/10.20870/IJVR.2010.9.2.2767>
- Vuzix. (o. J.). Abgerufen 9. Mai 2020, von <https://www.vuzix.com/>
- Ward, J. (2008). What is a Game Engine?- GameCareerGuide.com. Abgerufen 5. Mai 2020, von https://www.gamecareerguide.com/features/529/what_is_a_game_.php?page=1
- Welcome to the Missing Manual for three.js! (o. J.). Abgerufen 7. Mai 2020, von <https://discoverthreejs.com/>

What is Software Framework? - Definition from Techopedia. (2018). Abgerufen 7. Mai 2020, von Techopedia.com website: <https://www.techopedia.com/definition/14384/software-framework>

What's the difference between an API and an SDK? (2017). Abgerufen 11. Mai 2020, von Software Engineering Stack Exchange website: <https://softwareengineering.stackexchange.com/questions/101873/whats-the-difference-between-an-api-and-an-sdk>

Windows 3D models—Sketchfab. (o. J.). Abgerufen 5. Mai 2020, von <https://sketchfab.com/3d-models/anatomy-of-vision-part-2-d1a61b8d8750433fa7d6d91abcb9932c>

Wohlschlägl, & Sitte. (2008). *Beiträge zur Humangeographie und Entwicklungsforschung*. Wien: Universität Wien Institut für Geographie und Regionalforschung.

Wu, H.-K., Lee, S. W.-Y., Chang, H.-Y., & Liang, J.-C. (2012). Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education. *Computers & Education*, 62, 41–49. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.10.024>

XR.+ | AR & VR on the web. (o. J.). Abgerufen 11. Mai 2020, von XR.+ website: <https://xr.plus>

XR | Learn PlayCanvas. (o. J.). Abgerufen 11. Mai 2020, von <https://developer.playcanvas.com/en/user-manual/xr/>

ZapWorks: Create Your Own Augmented Reality Experiences. (o. J.). Abgerufen 11. Mai 2020, von <https://zap.works/>

ZooKazam. (2015). Abgerufen 3. Mai 2020, von <http://www.zookazam.com/>

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Reality-Virtuality Continuum nach Milgram (Milgram et al., 1994)

Abbildung 2 : Ivan Sutherland mit dem „Sword of Damacles“ (Sutherland, 1968)

Abbildung 3: Das Computerspiel Blockout (BlockOut II - The 3D Tetris Community, 2020)

Abbildung 4: Vergleich der Pre- und Posttest der Studie von Phon et al. (Phon et al., 2019, S. 627)

Abbildung 5: 3D Modell des menschlichen Auges von Sketchfab (Science & Technology 3D Models | Categories, 2020)

Abbildung 6: Angabe und Marker für ein Beispiel der Würfelschlangen

Abbildung 7: Angabe und Marker des Würfelobjekts für die räumliche Beziehungen

Abbildung 8: Szene und Angabe für das Beispiel der räumlichen Orientierung

Abbildung 9: Ein für die Anwendung erstellter Barcodemarker

Abbildung 10: Startseite von ARGeometrie

Abbildung 11: Beispielseite der Würfelschlangen

Abbildung 12: Beispiel 1 der Würfelschlangen

Abbildung 14: Referenz Marker im räumliche Beziehung Beispiel

Abbildung 15: Räumliche Orientierungsszene in Augmented Reality

Abbildung 16: Ein Beispiel aus dem Mental Rotation Test (Peters et al., 1995)

Abbildung 17: Ein Beispiel aus dem Differential Aptitude Test: Space Relations (Bennet et al., 1947)

Abbildung 18: Ein Beispiel aus dem Spatial Orientation Test (Hegarty et al., 2008)

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 - Unterrichtseinheit - Stationenbetrieb mit ARGeometrie

Tabelle 2 – Unterrichtseinheit Übungsstunde in Einzelarbeit mit ARGeometrie

Tabelle 3 – erste Unterrichtseinheit für den Pretest

Tabelle 4 – erster Posttest

Tabelle 5 – zweiter Posttest:

Listingverzeichnis

Listing 1: Importieren der Frameworks

Listing 2: definieren der Augmented Reality Szene

Listing 3: definieren des Referenz Markers

Listing 4: definieren des Objektes / Entity

Listing 5: Definition der Kamera

Listing 6 – Beispiel Code für ein Button, um eine neue Szene zu laden

Anhang 1 – Befragung von Lehrerinnen und Lehrern

Frage 1	
In welcher Schulart unterrichten Sie?	
1	AHS
2	AHS
3	AHS
4	AHS
5	AHS
6	AHS
7	AHS
8	NMS
9	Neuen Mittelschule
10	AHS
11	AHS
12	AHS
13	pensioniert
14	pensioniert
15	Universitätsprofessor
16	AHS
Frage 2	
Welche Voraussetzungen benötigt es Ihrer Meinung nach, um solche neuen Technologien im Schulunterricht zu verwenden?	
1	Computer, die das technisch schaffen (keine Steinzeit-Relikte) und Schulungen für Lehrer.
2	Rechtliche Grundlagen zum Verlassen des Klassenzimmers
3	Passende Hardware (Tablets, Smartphones), Bereitschaft/Kenntnisse der Lehrer*innen diese einzusetzen
4	Nicht Technikafinie Lehrer und Lehrerinnen können sich nicht viel unter "Augmented reality " vorstellen! Wichtig zu wissen ist: wie und wo macht es Sinn neue Technologien einzusetzen? Ich hab Angst, dass ich mich technisch so schlecht auskenne, dass ich unglaublich wirke! Also ich glaube es benötigt gute Fortbildungen um die Angst zu nehmen !
5	Einschulung, Kurse
6	Fortbildungen des Lehrpersonals, technische Ausstattung der Klassenräume

7	SuS, die Vorwissen mitbringen; LuL mit dem nötigen Wissen; technische Grundausstattung der Schulen
8	Natürlich die technischen Voraussetzungen, sowie IT Kenntnisse der Lehrer. Auch werden gute Materialien benötigt für diejenigen, die das nicht selbstständig erarbeiten können.
9	Passende devices und geschulte Lehrpersonen
10	Die Ausstattung aller SuS mit kompatiblen Endgeräten, bzw. genug funktionierende Endgeräte am Schulstandort.
11	Leistungsstarkes Netzwerk, starker Smartphone/Tablet-Prozessor, unversehrtes Display
12	Mobile Devices der Schüler/innen samt Internetverbindung; großer Pluspunkt ist, dass man keine spezielle Software oä braucht.
13	Bitte Kollegen Hannes Kaufmann (TU-Wien) befragen; er bzw. sein Institut hat mehr Erfahrung!!!
14	Tablets oder Laptops oder PS mit Kamera und guten Internet Zugang. Ich kann nicht sagen ob man die Applikation auf eine Schulserver installieren kann.
15	Nicht viel: Computer mit Cam und das Ausdruck der Patterns.
16	hätte gerne eine gute Einschulung, Erklärung, sonst sollte es nicht viel brauchen
Frage 3	
Haben Sie bereits neue Technologien wie Augmented und Virtual Reality im Unterricht verwendet? Wenn ja welche und in welchem Zusammenhang?	
1	Nein.
2	Nein
3	Biologie, Chemie - 3 dimensionale Darstellung von Modellen (Herz, Atom, ...)
4	Ich weiß nicht immer nicht wirklich das da alles reinfällt! Wenn stop motion schonreinfällt dann ja!
5	Nein
6	Da keine Hardware vorhanden ist, leider nicht
7	Nein
8	leider nein
9	Nein
10	Nein noch nicht.
11	Ja, ausgewählte Projekte meiner ACG-Klassen können am Tag der offenen Tür in AR und VR begutachtet werden.
12	nein

13	Ich hatte zu "meiner Zeit" keine derartige Unterstützung; Bitte Kollegen Hannes Kaufmann (TU-Wien) befragen; er bzw. sein Institut hat mehr Erfahrung!!!
14	Ich würde es machen wenn ich nicht schon seit 8 Jahren in Pension bin.
15	ja, aber eher noch selten. konkret 1-2 Einheiten pro 15 Einheiten.
16	nein
Frage 4	
Woran liegt es Ihrer Meinung nach, dass diese neuen Technologien im Schulunterricht eher selten verwendet werden?	
1	Ich kenne mich damit nicht aus. Habe im Studium nichts dazu gelernt und bisher keine Fortbildungen dazu besucht.
2	Ein wichtiger Teil von Augmented Reality ist Reality und die findet am spannendsten außerhalb des Schulgebäudes statt. VR-Brille ist zu teuer als Klassenequipment.
3	Fehlende Hardware, Kenntnisse der Lehrer*innen/Schüler*innen, Bereitschaft den Unterricht entsprechend vorzubereiten
4	Weil wir sehr schlecht ausgerüstet sind und oft die eigenen Geräte der Kinder nicht verwenden wollen! In be scheitern wir schon an Kameras, dem schulcomputer! Da gehe ich bei 30 Kindern kein digitales-risiko ein und bleib lieber bei analog!
5	Meine fehlende Expertise, fehlende technische Ausstattung
6	Geld
7	Fehlendes Wissen der Lil und mangelnde techn. Ausrüstung
8	Mangel an Materialien und technischen Möglichkeiten an Schulen, sowie der noch nicht vollzogene Paradigm-Shift an Schulen zur neuen Technologie.
9	Unwissenheit; zu wenig Wissen über die Anwendung
10	Fehlendes technisches Wissen des Lehrkörpers, fehlende Finanzierung zur Anschaffung der Endgeräte, primär jedoch fehlende (sinnvolle) Applikationen
11	Hemmschwelle des Kollegiums, selbst produzierter Content ist sehr aufwändig.
12	Darüber ist bei den Lehrer/innen noch zu wenig Wissen vorhanden. Außerdem ist in vielen Fällen die Erstellung einer solchen Szene (und die Einbettung zur Weitergabe an Schüler/innen) recht aufwändig.
13	Vielleicht an der Komplexität; Bitte Kollegen Hannes Kaufmann (TU-Wien) befragen; er bzw. sein Institut hat mehr Erfahrung!!!
14	Die Angst vieler Lehrenden dass sie nicht "kompetent" sind: Sie haben auch keine Prüfungsaufgaben zu dem Thema. Sie sind aber meist nicht bereit im Team methodisch didaktisch den Stoff zu erarbeiten, dies würde den Arbeitsaufwand verringern.

	Das Problem ist: ein Lehrender ist zugleich ein Prüfsender. Da könnte ich noch lange darüber diskutieren.
15	s.o. Punkt, wo die wissenschaftliche Herausforderung formuliert ist, an welchen Stellen und in welcher Form sind die Systeme tatsächlich nachweislich geeignet, um das räumliche Denken zu fördern. Das weiß akutell die Wissenschaft noch lange nicht. Daher ist es auch aktuell kaum möglich, für die entsprechende Umsetzung an passende Stellen im Unterricht konkretes zu empfehlen. Umso besser ist es, wenn viele Stidien sich redlich mit diesem Thema beschäftigen, um den substantiellen Mehrwert zu finden. Darauf aufbauend können dann Empfehlungen für den Unterricht und entsprechende Lernmaterialien entwickelt werden.
16	zu wenig bekannt, eventuelles Handyverbot in Schule
Frage 5	
Welche Schwierigkeiten und Probleme könnten Ihrer Meinung nach bei der Verwendung dieser neuen Technologien in der Schule auftreten?	
1	Mangelnde Ausrüstung. Mangelnde Kompetenz seitens der Lehrkräfte. Eventuell Befürchtungen, dass diese Art von Unterricht von Schülern und Eltern nicht ernst genommen wird.
2	Geld, Datenschutz, Rechtssicherheit bei der Verwendung von Software, Rechtssicherheit bei der Verwendung von Schülergeräten, Rechtssicherheit bei der Anweisung elektronische Geräte im Freuen zu benutzen, Leicht zugängliches Software-Angebot mit lehrreichen Inhalten, das nichts kostet und allen rechtlichen Voraussetzungen entspricht ist schwer zu finden.
3	Wenn nicht entsprechend aufbereitet: Reine Belustigung, statt Nutzung zum Lernen
4	Das wir technologisch immer ein wenig lächerlich wirken weil wir uns nicht auskennen! Da dindcwir im Vergleich zu Kindern recht inkomptent !
5	Chaos
6	Da sehe ich keine- wie jede Technik darf und kann sie nicht ausschließlich genutzt werden, aber wäre ein großer Gewinn und hat sicherlich viel Potential. Am ehesten Probleme bei strukturellen und organisatorischen Sachen (Ausstattung, Räume, etc..)
7	Keine Ahnung
8	Dass nicht jedes Kind in den Genuss dieser Technologie kommen kann, selbst wenn es in einer Unterrichtsstunde verwendet wird, da das Set-Up zeitintensiv ist. Auch der Umgang der Schüler mit technischen Geräten (die nicht ihre eigenen Smartphones sind) muss erst gelernt sein.
9	Datenschutz; Überlastung der vorhandenen Bandbreite;
10	Die Ausbildung des Lehrkörpers bzw. der Grad der Verwendung könnte ein Problem bei der Verbreitung dieser Technologie sein. Fehlende Konzentration der Kinder (spielen mit dem Handy) könnte ebenfalls

	passieren und bringt sicherlich höhere Betreuungsbelastung. Die Wartung der Endgeräte an der Schule bzw. die "Verpflichtung" der Kinder Geräte zu haben ist ebenfalls eine Problematik.
11	VR: Übelkeit und Schwindel.
12	Manche Schüler/innen sind mitunter ungeduldig. Und wenn es zB Probleme beim Scannen der Marker gibt, kann dieses Tool von Schüler/innen gleich "weggewischt" werden.
13	Ich hatte zu "meiner Zeit" keine derartige Unterstützung; Bitte Kollegen Hannes Kaufmann (TU-Wien) befragen; er bzw. sein Institut hat mehr Erfahrung!!!
14	<p>Die Tradition der Lehrenden.</p> <p>Die Angst der Lehrenden die Aufgabenstellungen der Matura nicht abzudecken. Dies sollte aber für die Unterstufe und den Einstieg in den Geometrieunterricht nicht das Thema sein.</p> <p>Soll eine Schule Kompetenzen unterrichten, Freiraum für kreatives Denken ermöglichen, lernen in Teams zu Arbeiten, usf</p> <p>Was bedeutet lernen? Jeder kennt die Lösung und ist überzeugt von seiner Theorie.</p> <p>In unserer Familie gilt der Grundsatz: Es gibt meine Meinung, es gibt deine Meinung und es gibt eine Meinung von der WIR nichts wissen.</p> <p>Dass sollte unserer Ziel sein, das Raumdenken ist ein Teil unseres Erfahrungsraumes, ein Teil unserer Geschichte (und ich meine nicht nur unserer mathematischen Geschichte).</p> <p>Neue Technologien sind ein weiteres Werkzeug um didaktische Methoden für unseren Unterricht zu erweitern. Cicero sagte „Die Zeiten ändern sich, und wir ändern uns in ihnen“ daher müssen wir als Lehrende berücksichtigen das unsere SchülerInnen sich geändert haben.</p> <p>Noch ein Gedanke dazu warum Schule notwendig ist:</p> <p>"Der Erwerb beliebiger Kenntnisse nützt stets dem Verstand, weil er die unnützen Dinge zu verscheuchen und die guten zu behalten vermag. Denn nichts kann geliebt und gehasst werden, wovon man noch keine Kenntnis hat."</p> <p>(Leonardo da Vinci)</p>
15	wie oben erwähnt: einer der größten Nachteile wäre, wenn durch derartige Systeme das räumliche Denken in hohem Maßen entlastet werden würde, sodass sich keinerlei Födereffekt der Raumvorstellung einstellen würde.
16	SuS vergessen Handy (unwahrrscheinlich;)), SuS sollten Schul-Wlan verwenden können

Anhang 2 – Expertinnen und Expertenbefragung zur Anwendung ARGeometrie

Frage 1	
Wie war ihre User Experience beim Verwenden der Applikation?	
1	Interface und Anwendung war klar, Grafikbugs machen Anwendung schwierig
2	Wenn die Marker nicht ausgedruckt werden, erschwert das die Ansicht (einige meiner SchülerInnen haben z.B. keinen Drucker zu Hause). Der Bereich rund um die Marker sollte evtl. größer sein, damit der Code durch das Anfassen und Drehen nicht gestört wird. Ein QR-Code direkt zur Webapplication wäre hilfreich.
3	Beim ersten Mal etwas gewöhnungsbedürftig. Was generell bleibt: mitunter verschwindet das Objekt beim Scannen des Markers. Mein Sohn meinte: "Gut."
4	Na ja; ich hatte Startschwierigkeiten; z.B. Smartphoneeinsatz; ich unterrichte seit geraumer Zeit nicht mehr (bin daher wahrscheinlich nicht der richtige Ansprechpartner, 72 a)
5	Meine Nutzererfahrung ist die eines Lehrers der 40 Jahre an einer HTL für Bautechnik und Kunst unterrichtet hat. Der auf der TU Graz den DG Studierenden „Konstruktive Geometrie für Lehramtskandidaten“ vorgetragen hat und im „Methodisch didaktischen Seminar“ Fragen und Anregungen zum DG Unterricht gestellt bzw. gegeben hat. Ich habe seit 1972 Informatik unterrichtet und im DG Unterricht ab 1990 EDV Unterstützung eingesetzt. In den letzten Dienstjahren habe ich vor allem in unserer Kunst Abteilung DG unterrichtet wobei ich methodisch vor allem die technische Freihandskizze (in Vorlagenblätter) und deren Umsetzung auf ein 3D-CAD Programm als Einstieg in geometrisches Denken mit Lernenden probiert habe. Es war für mich sehr interessant mit diese App auszuprobieren!
6	Habe ähnliche Beispiele can. 10x bereits über die letzten beiden Jahre gesehen und ausprobieren dürfen
7	beeindruckend, musste die Handhabung aber erst üben
Frage 2	
Können Sie sich vorstellen die Applikation im Schulunterricht einzusetzen?	
1	Ja

2	Ja
3	Ja
4	Ja
5	Ja
6	Ja
7	Ja
Frage 3	
Bitte begründen Sie Ihre Antwort:	
1	Es stellt ein weiteres Werkzeug dar, Raumvorstellung zu üben. Es ersetzt zwar für einige SuS nicht den Bedarf an haptischen Modellen, aber kann ein Werkzeug für diejenigen sein, die keine physischen Modelle aber dennoch 3D Ansichten benötigen.
2	Um das Vorstellungsvermögen in der Sekundarstufe I zu erhöhen und die neuen digitalen Möglichkeiten zu nutzen.
3	Eine nette Abwechslung (alternative "Darstellungsmethode") für die Schüler/innen.
4	Schüler/Schülerinnen sind wahrscheinlich im U-Einsatz geschickter.
5	Für unseren Unterricht wird ein Medienmix immer wichtiger. Ein Lehrender muss für jedes Thema/Kompetenz immer verschiedene Wege den Lernenden anbieten können. Um das „Sehen“ von 2D-Bildern und 3D Objekten in ein „Lesen“ des Gesehenen zu schulen brauchen wir im Unterricht verschiedenste Methoden. Nur damit können wir ein Raumdanken schulen. Ein Bild, sei es eine statische Zeichnung am Papier, bewegt am Monitor oder mit einer VR Brille muss immer vom Lernenden richtig verstanden werden.
6	Die Applikation könnte eine Ergänzungen bzw. Alternative zu anderen Materialien zur gleichen Aufgaben sein. Manche SuS lösen die Aufgaben ev. leichter ohne digitale Hilfe, manche mit einem 3D-pfd, machen mit dieser App.
7	kann SuS helfen sich Objekte vorzustellen, Handy hat jeder mit ;)
Frage 4	
Was müsste an der Applikation verbessert werden damit Sie diese im Schulunterricht einsetzen würden?	
1	Ausbessern der Grafikbugs, verbessertes Tracking
2	s.o.
3	Ein möglicher Verbesserungsvorschlag wäre die Darstellung des 3D-Modells. Dabei sind manche Seitenflächen (je nach Ansicht) sehr dunkel und man kann dadurch etwa die einzelnen Teilwürfel nicht mehr erkennen. Bei manchen Aufgaben (das variiert nun von Typ zu Typ; ich denke vor

	allem an Aufgaben, bei denen eine Lösung aus vier Möglichkeiten zu ermitteln ist) wäre es beinahe notwendig, mehr als ein 3D-Modell gleichzeitig zu sehen und die Ansicht je Modell (!) zu verändern.
4	Bitte informieren Sie sich bei gegenwärtig unterrichtenden GZ-LehrerInnen. Mein Vorschlag: Wie sieht es mit einer "Gebrauchsanweisung" (Kochrezept) aus?
5	Hier würde ich vor allem Schüler und Schülerinnen fragen. Die Technik ist erst am Anfang. Ich würde meinen SchülerInnen sagen das sie "Versuchskaninchen" sind und ich mit ihnen etwas ausprobieren will.
6	MR- und RB-Bsp waren bestens. bei den RO-Bsp ist es nicht ganz leicht, an die möglichen Positionen einigermaßen schnell hinzukommen.
Frage 5	
Würden Sie die Applikation nur im GZ Unterricht verwenden oder auch in anderen Fächern? (zB Mathematik)	
1	Ich denke, dass es in der ersten und zweiten Klasse Sekundarstufe 1 für Raumvorstellungsübungen anwendbar ist, sowie die Technik eventuell für die 7. Klasse AHS in DG im Bezug auf Hauptrissübungen.
2	Da ich Mathematik nicht unterrichte, kann ich das nicht einschätzen. Für DG erscheinen mir die Beispiele zu einfach, die App könnten aber grundsätzlich m.E.n. eingesetzt werden.
3	Wahrscheinlich nur im GZ-Unterricht.
4	auch in anderen Fächern: Mathematik, techn. Werken, eventuell Bildnerische Erziehung
5	Ich glaube man sollt die Applikation vor allem im GZ Unterricht aber auch im Mathematik Unterricht einsetzen.
6	ist sicherlich auch für andere Fächer ideal. Soweit ich es weiß, gibt es auf jeden Fall schon für Biologie und einige weitere Fächer ähnliche Apps
7	ja, auch in anderen
Frage 6	
Kann die Verwendung von Augmented Reality Ihrer Meinung nach zur Verbesserung des räumlichen Denkvermögens beitragen? Bitte begründen Sie Ihre Antwort:	
1	Es kann meiner Meinung nach eine Hilfe sein für SuS, die ein sich bewegendes Modell benötigen um sich ein Objekt vorstellen zu können, und so eine Brücke zwischen einem 2D Modell und einem geistigen Objekt darstellen.
2	Ja, weil man sich die Objekte von allen Seiten anschauen kann.
3	Ja, da bin ich mir recht sicher. Wahrscheinlich verbessert jede Methode, mit der man Modelle "räumlich sieht", das räumliche Denkvermögen.

4	Ja, auf jeden Fall! Bitte Kollegen Hannes Kaufmann (TU-Wien) befragen; er bzw. sein Institut hat mehr Erfahrung!!!
5	Für unseren Unterricht wird ein Medienmix immer wichtiger. Ein Lehrender muss für jedes Thema/Kompetenz immer verschiedene Wege den Lernenden anbieten können. Um das „Sehen“ von 2D-Bildern und 3D Objekten in ein „Lesen“ des Gesehenen zu schulen brauchen wir im Unterricht verschiedenste Methoden. Nur damit können wir ein Raumdenken schulen. Ein Bild, sei es eine statische Zeichnung am Papier, bewegt am Monitor oder mit einer VR Brille muss immer vom Lernenden richtig verstanden werden.
6	Diese Frage ist wissenschaftlich wirklich eine Challenge. Ja, einerseits haben derartige Systeme verlässlich Potential für die Verbesserung des räumlichen Denkens. Andererseits gibt es auch wissenschaftliche Studien, die klar zeigen, dass durch derartige Systeme das räumliche Denken derart entartet wird, dass sich keine Verbesserung des räumlichen Denkens entwickelt. D.h. derartige Systeme müssen an ganz sensibel vorher bestimmten passenden Stellen eingesetzt werden.
7	vermutlich, ich denke, die SuS bekommen "aha"-Momente
Frage 7	
Wie würde Ihre ideale Augmented oder Virtual Reality Applikation für den GZ Unterricht aussehen um das räumliche Denkvermögen zu verbessern?	
1	Es wäre auf ein Lehrbuch abgestimmt und würde alle 3D Modelle des Lehrbuchs beinhalten um so eine immer griffbereite Hilfe für SuS zu sein. Eventuell könnte sie einer Lehrperson Möglichkeiten bieten, gewisse Informationen ein- und auszublenden (Flächen, verdeckte Kanten, etc.)
2	Intuitiveres Design
4	Bitte Kollegen Hannes Kaufmann (TU-Wien) befragen; er bzw. sein Institut hat mehr Erfahrung!!!
5	Als typische Aufgabe würde ich mit den Lernenden folgende weitere Aufgaben stellen: RB > Zusammenbauen des Objektes aus vorhanden kleinen Würfeln oder aus schnitzen einem Apfel. > In einen chat einer anderen SchülerIn das Objekt erklären > In einem 3D CAD Programm das Objekt modellieren. RO > Mache eine Skizze wenn ich das Objekt von SüdSüdOst ansehe.
6	---
7	einfach zu bedienen, ohne bestimmte Voraussetzungen

Anhang 3 – Unterrichtsmaterialien für ARGeometrie

Folie 1

ARGeometrie

<https://ivvey.github.io/ARGeometry/Index>



Eine Webapplication zur Unterstützung des Unterrichts im Fachgegenstand Geometrisches Zeichnen

Folie 2

Beispiele

- Mentale Rotation
 - Es sind jeweils 4 Würfelschlangen gegeben wobei sich eine von den anderen unterscheidet
- Räumliche Beziehungen
 - Gegeben ist ein unvollständiger Würfel sowie 4 Objekte. Eines davon bildet mit dem Angabeobjekt einen vollen Würfel
- Räumliche Orientierung
 - Gegeben ist eine Szene, welche von unterschiedlichen Standpunkten aus fotografiert wurde. Wo befand sich die Kamera bei der Aufnahme eines bestimmten Fotos?

Folie 3

Anleitung

Video Demo:

<https://www.youtube.com/watch?v=oLRUJBZDKPA>

- Die Beispiele der Mentalen Rotation sowie für die räumliche Beziehung können auf zwei Arten verwendet werden:

1. nur mit Markern die sich am Ende des Dokuments befinden
2. Die zweidimensionale Angabe plus Marker um beides auf einmal darzustellen.

Am Besten funktioniert die Anwendung wenn nur ein Marker sichtbar ist und diese ausgedruckt auf Papier aufliegen. Wenn die Marker über den Bildschirm angeschaut werden kommt es zu einem Flackern des Models.

Link zur Webapplikation: <https://ivvey.github.io/ARGeometry/Index>

- Ebenso sind alle Beispiele auch als normale „Pen and Paper“ Tests angegeben.

Folie 4

Mentale Rotation

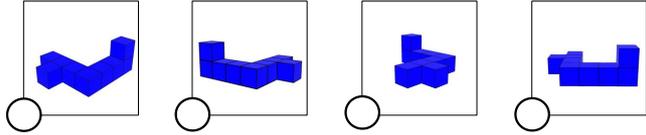
Unterrichtsmaterial

Folie 5

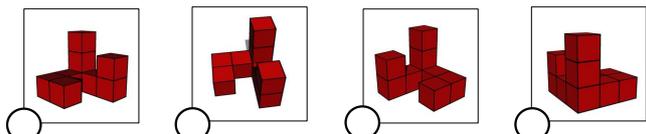
Mentale Rotation

Es sind jeweils 4 Würfelschlangen gegeben wobei sich eine von den anderen unterscheidet

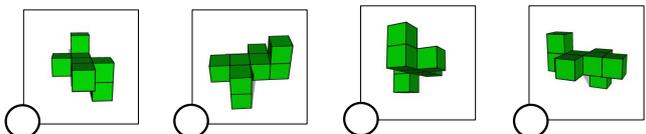
Beispiel 1



Beispiel 2



Beispiel 3

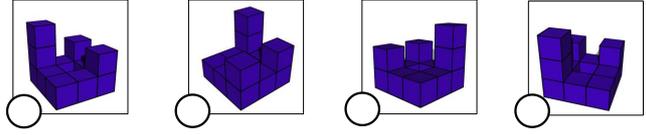


Folie 6

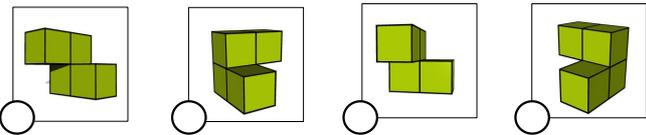
Mentale Rotation

Es sind jeweils 4 Würfelschlangen gegeben wobei sich eine von den anderen unterscheidet

Beispiel 4



Beispiel 5



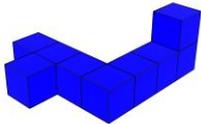
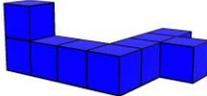
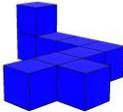
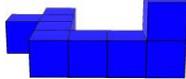


Mentale Rotation

Materialien für die Webapplication

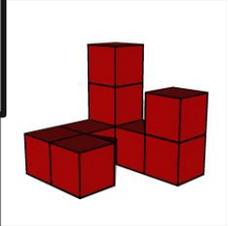
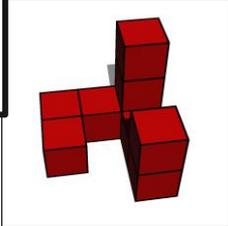
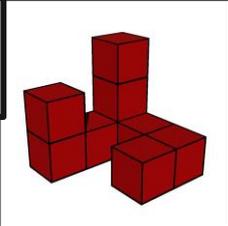
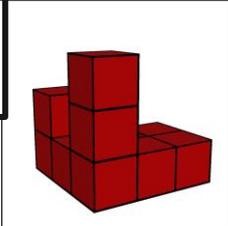
Am Besten funktioniert es wenn jede Würfelschlange samt Marker einzeln ausgeschnitten und aufgelegt wird.

Würfelschlangen Es sind jeweils 4 Würfelschlangen gegeben wobei sich eine von den anderen unterscheidet

1		2	
3		4	

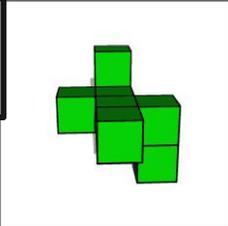
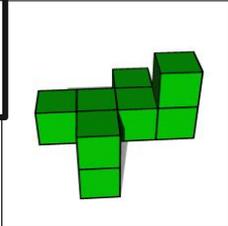
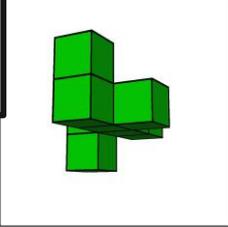
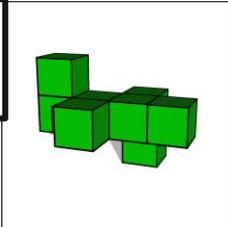
Folie 9

Würfelschlängen Es sind jeweils 4 Würfelschlängen gegeben wobei sich eine von den anderen unterscheidet

5		6	
7		8	

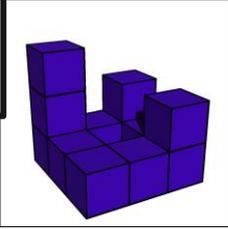
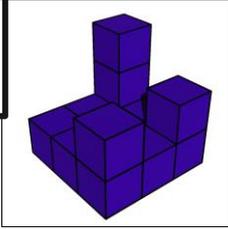
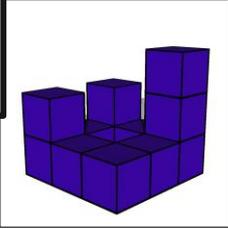
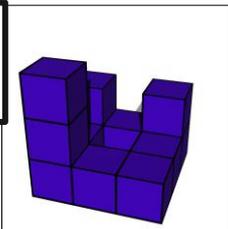
Folie 10

Würfelschlängen Es sind jeweils 4 Würfelschlängen gegeben wobei sich eine von den anderen unterscheidet

9		10	
11		12	

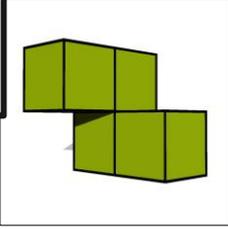
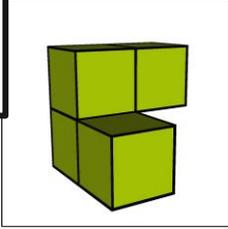
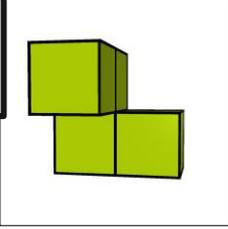
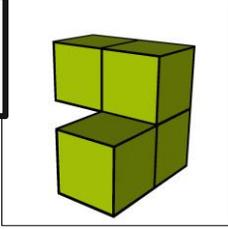
Folie 11

Würfelschlängen Es sind jeweils 4 Würfelschlängen gegeben wobei sich eine von den anderen unterscheidet

13		14	
15		16	

Folie 12

Würfelschlängen Es sind jeweils 4 Würfelschlängen gegeben wobei sich eine von den anderen unterscheidet

17		18	
19		20	

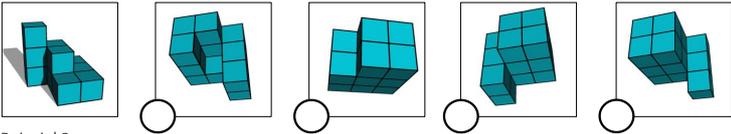
Räumliche Beziehungen

Unterrichtsmaterial

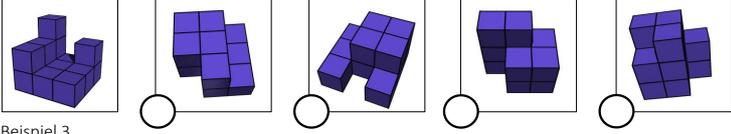
Räumliche Beziehungen

Gegeben ist ein unvollständiger Würfel sowie 4 Objekte. Eines davon bildet mit dem Angabeobjekt einen vollen Würfel

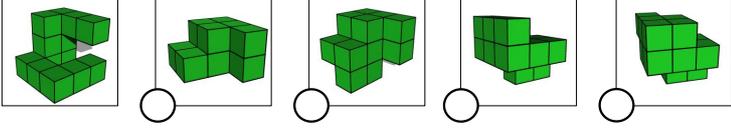
Beispiel 1



Beispiel 2



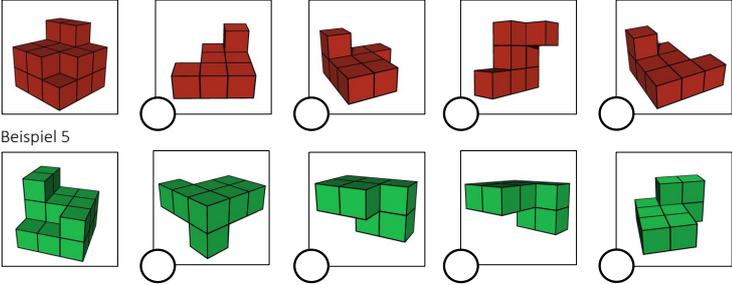
Beispiel 3



Räumliche Beziehungen

Gegeben ist ein unvollständiger Würfel sowie 4 Objekte. Eines davon bildet mit dem Angabeobjekt einen vollen Würfel

Beispiel 4



Beispiel 5



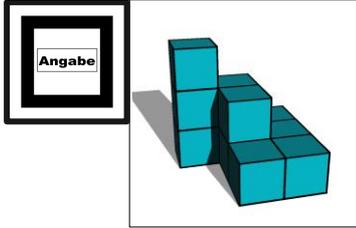
Räumliche Beziehungen

Materialien für die Webapplication

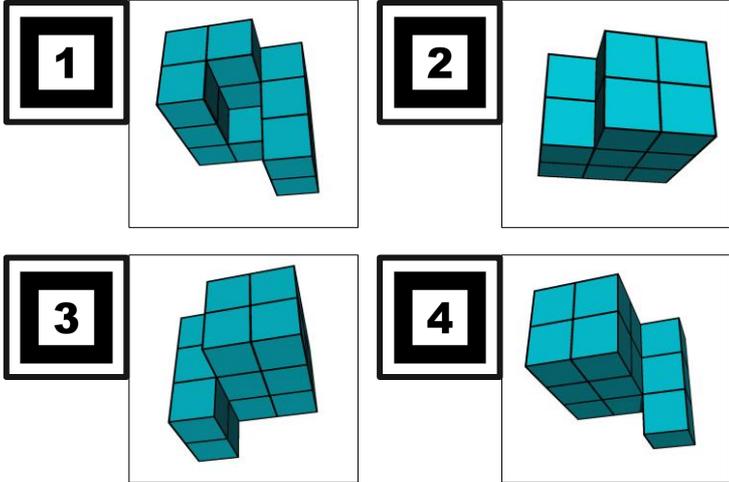
Am Besten funktioniert die Anwendung, wenn jedes Objekt samt Marker einzeln ausgeschnitten und aufgelegt wird.

Beispiel 1

Gegeben ist ein unvollständiger Würfel sowie 4 Objekte. Eines davon bildet mit dem Angabeobjekt einen vollen Würfel



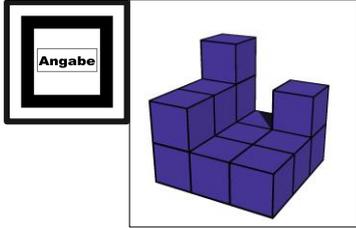
The image shows a 3x3x3 cube with one corner missing. The missing corner is the top-back-right one. To the left of the cube is a square frame containing the word "Angabe".



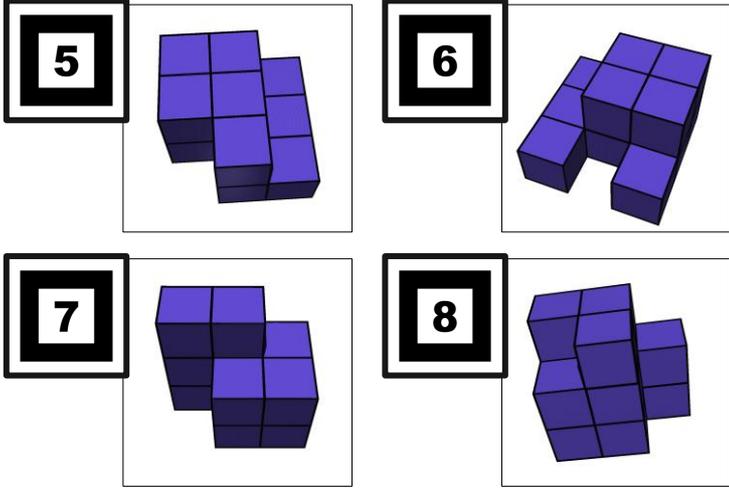
The image shows four numbered options, each consisting of a square frame with a number and a 3D shape made of blue cubes. Option 1 shows a 3x3x3 cube with a 2x2x2 cube missing from the top-back-right corner. Option 2 shows a 3x3x3 cube with a 2x2x2 cube missing from the top-front-right corner. Option 3 shows a 3x3x3 cube with a 2x2x2 cube missing from the top-front-left corner. Option 4 shows a 3x3x3 cube with a 2x2x2 cube missing from the top-back-left corner.

Beispiel 2

Gegeben ist ein unvollständiger Würfel sowie 4 Objekte. Eines davon bildet mit dem Angabeobjekt einen vollen Würfel



The image shows a 3x3x3 cube with one corner cube missing. To its left is a square box containing the word "Angabe".

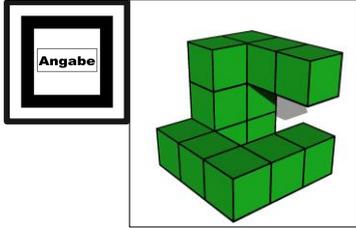


The image displays four options, each consisting of a numbered label and a 3x3x3 cube configuration:

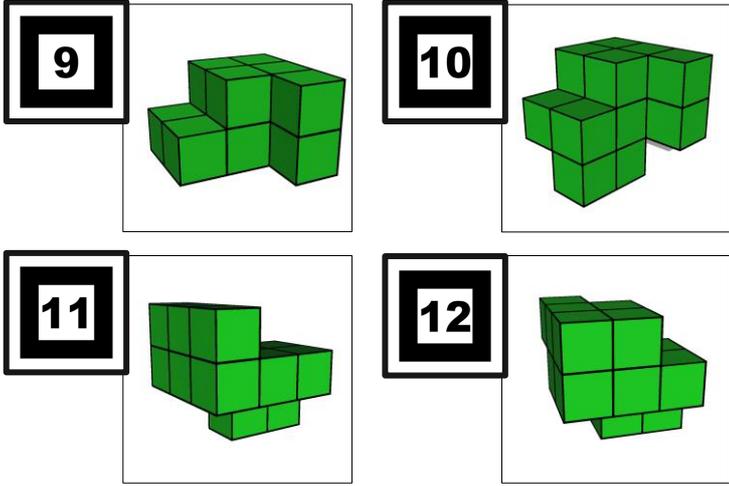
- 5**: A 3x3x3 cube with one corner cube missing.
- 6**: A 3x3x3 cube with one corner cube missing.
- 7**: A 3x3x3 cube with one corner cube missing.
- 8**: A 3x3x3 cube with one corner cube missing.

Beispiel 3

Gegeben ist ein unvollständiger Würfel sowie 4 Objekte. Eines davon bildet mit dem Angabeobjekt einen vollen Würfel



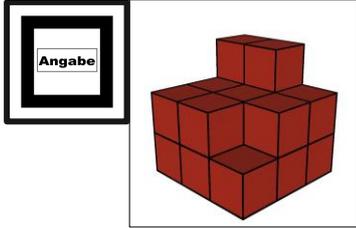
The image shows a 3x3x3 cube with one corner missing. The missing corner is the top-back-right one. To the left of the cube is a square box with a thick black border containing the word "Angabe".



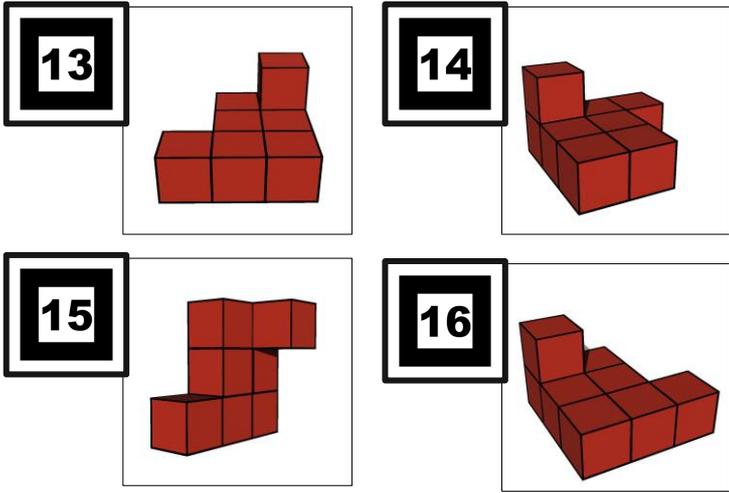
The image displays four options, each consisting of a number in a square box followed by a 3D shape made of green cubes. Option 9 shows a shape with a 2x2 base and a 2x2 block on top. Option 10 shows a shape with a 2x2 base and a 2x2 block on top, with an additional cube attached to the side. Option 11 shows a shape with a 2x2 base and a 2x2 block on top, with an additional cube attached to the side. Option 12 shows a shape with a 2x2 base and a 2x2 block on top, with an additional cube attached to the side.

Beispiel 4

Gegeben ist ein unvollständiger Würfel sowie 4 Objekte. Eines davon bildet mit dem Angabeobjekt einen vollen Würfel



The image shows a 3x3x3 cube with one corner missing. The missing corner is the top-back-right one. To the left of the cube is a square frame containing the word "Angabe".

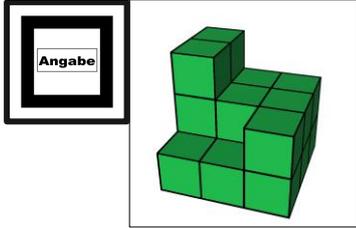


The image shows four options, each in a square frame with a label in a black box:

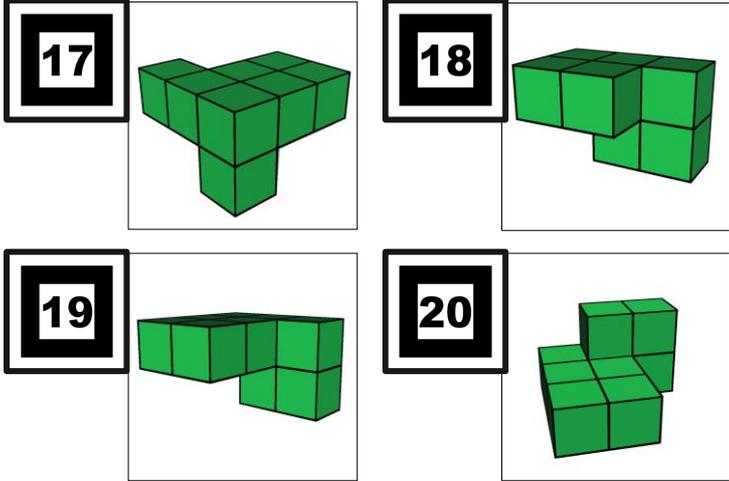
- 13**: A 3x3x3 cube with one corner missing (top-back-right).
- 14**: A 3x3x3 cube with one corner missing (top-front-left).
- 15**: A 3x3x3 cube with one corner missing (bottom-front-left).
- 16**: A 3x3x3 cube with one corner missing (bottom-back-right).

Beispiel 5

Gegeben ist ein unvollständiger Würfel sowie 4 Objekte. Eines davon bildet mit dem Angabeobjekt einen vollen Würfel



The image shows a 3x3x3 cube with one corner missing. The missing corner is the top-back-right one. To the left of the cube is a square box with a thick black border and the word "Angabe" inside, indicating a missing piece.

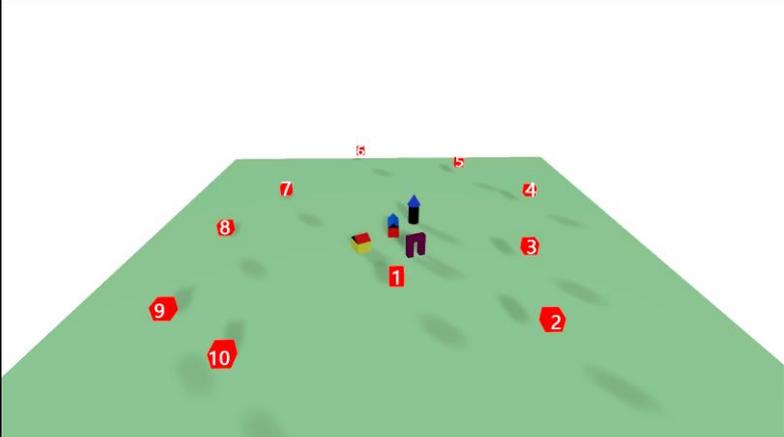


The image shows four options, each in a square box with a thick black border and a number inside. Each option shows a 3D shape made of green cubes:

- 17**: A 3x3x1 flat shape with one cube missing from the bottom center.
- 18**: A 3x2x2 shape with one cube missing from the bottom center.
- 19**: A 3x3x1 flat shape with one cube missing from the bottom right corner.
- 20**: A 3x2x2 shape with one cube missing from the bottom center.

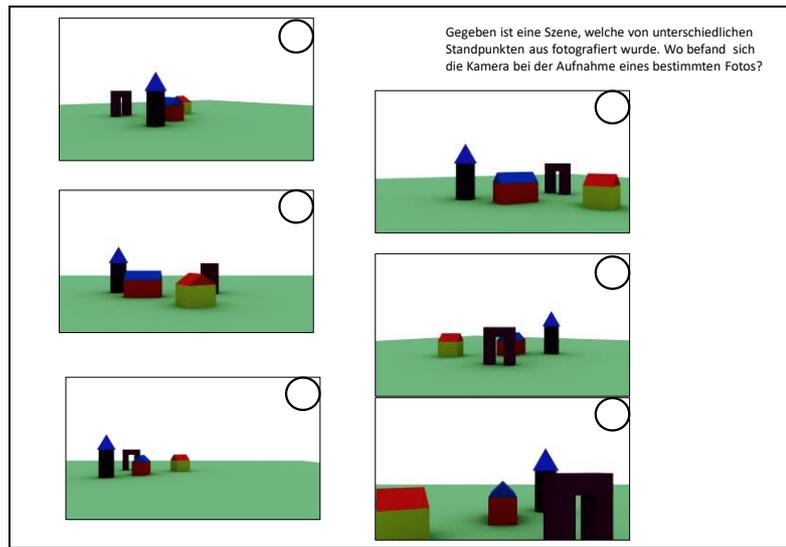


Räumliche Orientierung



Gegeben ist eine Szene, welche von unterschiedlichen Standpunkten aus fotografiert wurde. Wo befand sich die Kamera bei der Aufnahme eines bestimmten Fotos?

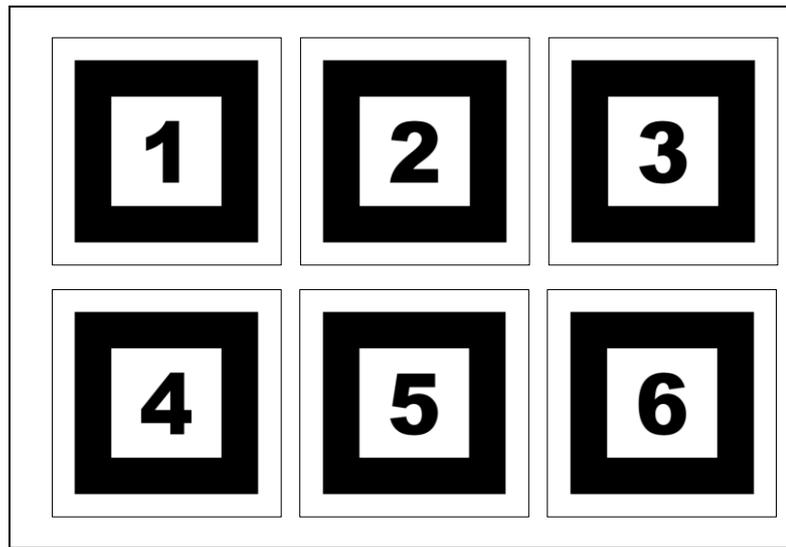
Folie 29



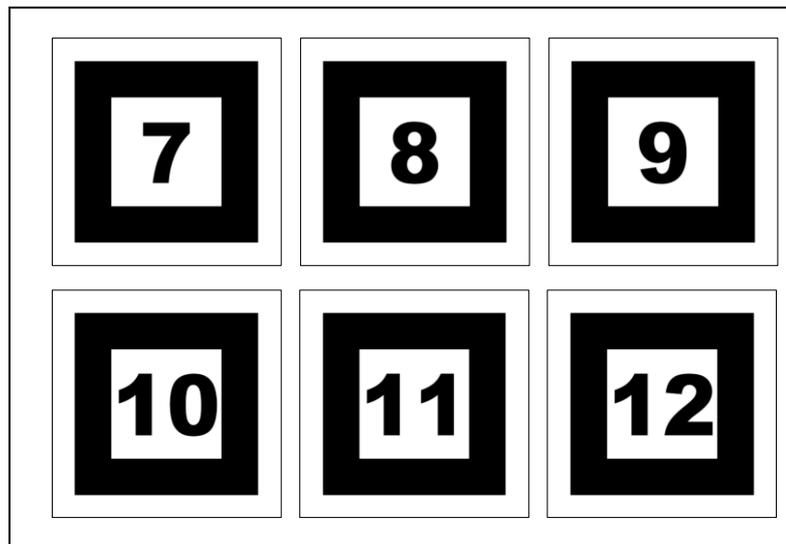
Folie 30



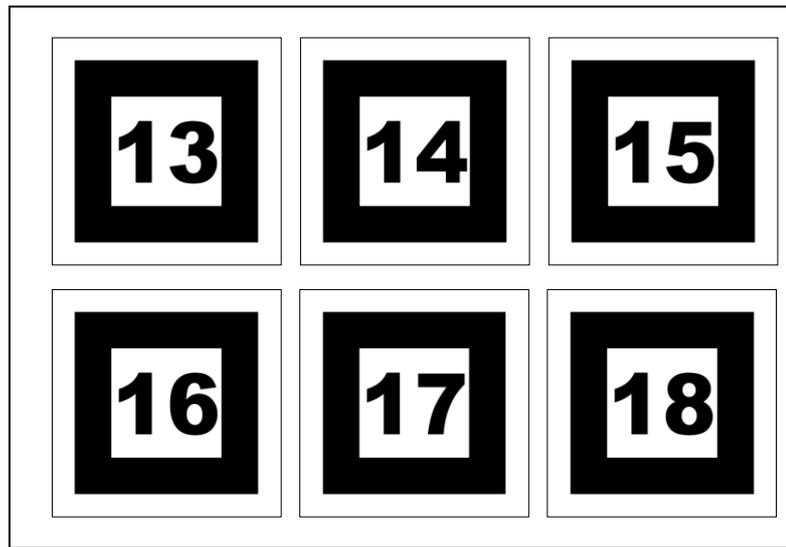
Folie 31



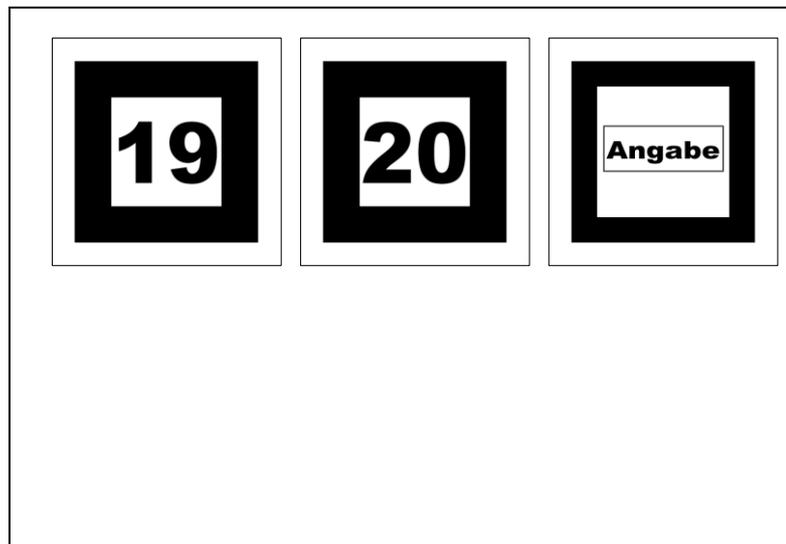
Folie 32



Folie 33



Folie 34

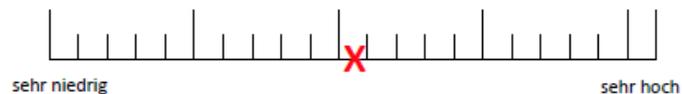


Anhang 4 – NASA Task Load Index

NASA Task Load Index

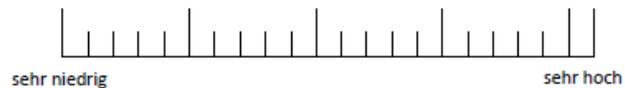
Gib bei den folgenden Punkten an, wie hoch deine Beanspruchung war. Dazu markierst du auf den folgenden Skalen deutlich wie sehr dich die Aufgaben und Beispiele gefordert oder beansprucht haben.

Beispiel:



Geistige Anforderungen

Waren die Beispiele und Aufgaben für dich geistig anstrengend? Musstest du viel denken, entscheiden, rechnen, suchen, oder dich erinnern?



Körperliche Anforderungen

Waren die Beispiele und Aufgaben für dich körperlich anstrengend? Musstest du dich oder andere Gegenstände viel bewegen?



Zeitliche Anforderungen

Wie viel Zeitdruck empfandest du während den Aufgaben? War die Abfolge der Tests und Beispiele langsam oder schnell?



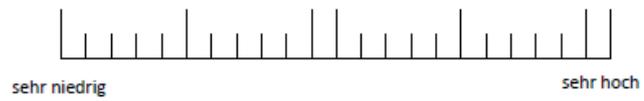
Leistung

Wie erfolgreich hast du deiner Meinung nach die Aufgaben und Beispiele gelöst? Wie zufrieden bist du mit deiner Leistung?



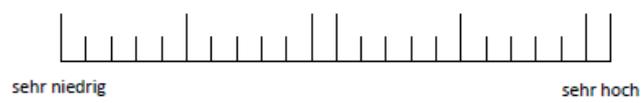
Anstrengung

Wie anstrengend empfandest du die Aufgaben? Wie sehr musstest du dich anstrengen, um die Aufgaben zu erfüllen?



Frustration

Wie unsicher, gestresst oder verärgert warst du während den Aufgaben?



Kontrollier bitte, ob du bei allen Anforderungen eine Markierung gesetzt hast. Bei Unklarheiten wendet euch an euren Lehrer oder eure Lehrerin.