



universität
wien

DIPLOMARBEIT / DIPLOMA THESIS

Titel der Diplomarbeit / Title of the Diploma Thesis

Immersive „Virtual Reality“-Lernanwendungen –
Entwicklungsgrundlagen und Implementation einer
Webapplikation für den Geographie- und
Wirtschaftskundeunterricht zum Thema Klima

verfasst von / submitted by

Matthias Treitler

gemeinsam mit / in collaboration with

Melissa Grasl

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of
Magister der Naturwissenschaften (Mag. rer. nat.)

Wien, 2018 / Vienna, 2018

Studienkennzahl lt. Studienblatt /
degree programme code as it appears on
the student record sheet:

A 190 456 313

Studienrichtung lt. Studienblatt /
degree programme as it appears on
the student record sheet:

Lehramtsstudium
UF Geschichte, Sozialkunde und Politische Bildung
UF Geographie und Wirtschaftskunde

Betreut von / Supervisor:

Univ.-Prof. i.R. Mag. Dr. Helmut Wohlschlägl

Erklärung

Hiermit versichern wir,

- dass wir die vorliegende Diplomarbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mit auch sonst keiner unerlaubter Hilfe bedient haben,
- dass wird dieses Diplomarbeitsthema bisher weder im In- noch im Ausland in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt haben
- und dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit vollständig übereinstimmt.

Wien, am 24.4.2018

Melissa Grasl und Matthias Treitler

Danksagung von Matthias Treitler

Ich möchte mich zuallererst bei der Open Source Gemeinschaft rund um die Softwarebibliotheken „A-Frame“, „Three.js“ und der „Mozilla Foundation“ bedanken, ohne deren Initiativen Virtual Reality im Webbrowser nicht möglich wäre.

Bedanken möchte ich mich auch bei Univ.-Lektor Mag. Dr. Christian Sitte für die Unterstützung bei der Themeneinreichung der Diplomarbeit.

Ein großes Dankeschön gilt Univ.-Prof. Mag. Dr. Helmut Wohlschlägl und Ass.-Prof. Mag. Dr. Andreas Riedl für die intensive und hervorragende Betreuung.

Abschließend möchte ich noch meinen FreundInnen und StudienkollegInnen, allen voran Melissa, für die schöne Studienzeit danken!

Danksagung von Melissa Grasl

Danke an meine Eltern und Großeltern, die mich während meiner Studienzeit nicht nur finanziell abgesichert haben, sondern mich auch bei allen kleineren und größeren Krisen während des Studiums unterstützt haben.

Danke an meine Kollegin Sara Huszar, ohne die das Studieren nicht halb so viel Spaß gemacht hätte.

Danke an meine FreundInnen und meinen Freund, für das Hinnehmen meiner Launen während des Schreibens der Diplomarbeit und die stets aufmunternden Worte. Einen besonderen Dank an dieser Stelle auch an Lucia fürs Korrekturlesen.

Danke an meine Schwester Fiona, die mir während dem Schreiben immer wieder das Gefühl gegeben hat, dass jede Seite zählt.

Danke an Hildegard, fürs Mitfühlen.

Danke an Univ.-Prof. Dr. Christian Vielhaber, Mag. Walter Scheidl und Gabrielle Smith, MA für besonders inspirierende Lehrveranstaltungen.

Danke an Univ.-Prof. Mag. Dr. Helmut Wohlschlägl und Ass.-Prof. Mag. Dr. Andreas Riedl für die ausgezeichnete, unkomplizierte und positive Unterstützung im Diplomarbeitsprozess.

Und schließlich **VIELEN DANK** an Matthias, für die schöne Zeit und die konstruktive Zusammenarbeit im Zuge der vorliegenden Arbeit.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	iv
Abbildungsverzeichnis	viii
Tabellenverzeichnis	xiii
Formelverzeichnis	xiv
Akronyme	xv
Glossar	xvii
Abstract	xxi
Vorwort	xxi
1 Einleitung (Melissa Grasl, Matthias Treitler)	1
1.1 Persönliche Motivation und Zielsetzungen	3
1.2 Fragestellungen	4
1.3 Methodologie	4
2 Kontextualisierung (Melissa Grasl)	5
2.1 Begriffsdefinition: virtuelle Realität	5
2.2 Immersion, „Presence“ und „Flow“	9
2.3 Abgrenzungen und Unterscheidungen	11
2.3.1 Das Realitäts-Virtualitäts-Kontinuum	11
2.3.2 Art der Applikation	13
2.3.3 Aktive und passive virtuelle Realität	15
2.4 Virtuelle Realität im Bildungskontext	16
2.4.1 Lernanwendungen	17
2.4.2 Mobiles Lernen	19
3 Historischer Überblick (Melissa Grasl)	21
3.1 1960er Jahre: „Ultimate Display“	22
3.2 1980 und 1990er Jahre: Technologischer Fortschritt und Kommunikation	23
3.3 Jahr 2014: Investitionswelle	24
3.4 Jahr 2017: Aktueller Stand und Zukunftsaussichten mit Fokus Österreich	25
4 Forschungsüberblick (Melissa Grasl)	28
4.1 Statistik	28
4.2 Lücken in der Forschung	31
5 Entwicklungsgrundlagen von „Virtual Reality“-Lernumgebungen (Melissa Grasl)	36

5.1	Vorüberlegungen	37
5.1.1	Eigenschaften und Potenziale	37
5.1.2	„Virtual Reality“-Systeme	41
5.1.3	Design	44
5.1.4	Inhalt	47
5.1.5	Lerntheoretische Grundlagen	49
5.2	Einsatz in der Schule	50
5.2.1	Beispiele möglicher Stolpersteine und Lösungsansätze	50
5.2.2	Einbettung im Unterricht	54
5.2.3	Schulumfeld	59
5.3	Rahmenbedingungen am Beispiel Österreich	62
5.3.1	Fachliche Rahmenbedingungen	62
5.3.2	Fachdidaktische Rahmenbedingungen	69
5.3.3	Infrastrukturelle Rahmenbedingungen	73
5.3.4	Lehramtsausbildung Verbund Nord-Ost	75
6	Ausgewählte Anwendungsbeispiele der „Virtual Reality“-Technologie: Aktuelle Angebote sowie Planungsmuster für den Geographie- und Wirtschaftskundeunterricht (Melissa Grasl)	78
6.1	„Virtual Reality“-Lernanwendungen: Ein paar Beispiele	78
6.1.1	Eigene Inhalte	79
6.1.2	360 Grad Videos und Kugelpanoramafotos	80
6.1.3	3D-virtuelle-Welten und digitale Erlebnissräume	81
6.1.4	Simulationen, „Storytelling“ und interaktive Diagramme	81
6.2	Planungsmuster: 3 Beispiele	82
6.2.1	Beispiel 1: Charaktereigenschaften der Technologie	83
6.2.2	Beispiel 2: Unterrichtsprinzip	84
6.2.3	Beispiel 3: Thematisch	85
7	Zusammenfassung der Entwicklungsgrundlagen (Melissa Grasl)	86
8	Entwicklung einer Lernanwendung im Medium der immersiven virtuellen Realität (Matthias Treitler)	92
8.1	Globen im Geographie- und Wirtschaftskunde-Unterricht	92
8.2	Virtueller Globus als Anwendung	93
8.2.1	Typologisierung von Globen	93
8.2.2	Anforderungen an einen virtuellen Globus	95

8.3	Virtueller Raum in der virtuellen Realität.....	97
8.4	Medium der virtuellen Realität	99
8.4.1	Technische Limitierungen.....	99
8.4.2	Konzeptionelle Limitierungen	101
8.5	Klima als Lernwanwendung	106
8.5.1	Lehrplanbezug	107
8.5.2	Anwendungsmöglichkeiten	108
8.5.3	Lerntheorien	113
8.5.4	Didaktische Komponenten	114
8.6	Umsetzung der Anforderungen	117
9	Analyse der mobilen Softwaretechnologie (Matthias Treitler).....	120
9.1	Einführung	120
9.1.1	Webstandards	121
9.1.2	Alternative Softwaretechnologien	124
9.2	Resümee entsprechend der Entwicklungsgrundlage	125
9.2.1	Einsatz in der Schule	125
9.2.2	Rolle der Lehrenden	126
9.2.3	Infrastrukturelle Voraussetzung.....	126
9.3	Bewertung.....	126
10	Implementation der Lernanwendung (Matthias Treitler)	127
10.1	Einführung	127
10.2	„Klimazonen Globus“	129
10.2.1	Datenquellen	129
10.2.2	Ablaufdiagramm	135
10.2.3	Darstellung.....	136
10.2.4	Implementationsdetails.....	140
10.2.5	Arbeitsblatt	145
10.3	„NEO Globus“.....	150
10.3.1	Datenquellen	150
10.3.2	Ablaufdiagramm	153
10.3.3	Darstellung.....	155
10.3.4	Implementationsdetail	160
10.3.5	Arbeitsblatt	161
11	Zusammenfassung der Entwicklung (Matthias Treitler)	164

12 Diskussion (Melissa Grasl, Matthias Treitler)	166
13 Literaturverzeichnis	172
Anhang	185
Quellcode „Klimazonen Globus“	185
Installation.....	185
JavaScript Module	185
HTML Dokument	192
Quellcode „NEO Globus“	198
Installation.....	198
JavaScript Module	198
HTML Dokument	210

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Taxonomie der visuellen Darstellung geschichtlicher Realität (Adaptiert von Milgram and Kishino 1994) (CHAMPNEY et al. 2016: 365)	11
Abbildung 2 Virtuality continuum (https://bit.ly/2JqSD0y ; Zugriff: 20.01.2018)	12
Abbildung 3 Beispiel augmented virtuality (https://bit.ly/2GDhP1V ; Zugriff: 20.01.2018)	13
Abbildung 4 Beispiel augmented reality (https://bit.ly/2sLqgS0 ; Zugriff: 20.01.2018)	13
Abbildung 5 Desktop VR (https://slate.me/2qa6sZj ; Zugriff: 10.02.2018)	13
Abbildung 6 Fully immersive VR (https://www.vrheads.com/best-htc-vive-games-cardio-workout ; Zugriff: 09.02.2018)	14
Abbildung 7 Immersive VR (https://www.techinasia.com/china-vr-flop ; Zugriff: 10.02.2018)	14
Abbildung 8 Telepresence (https://bit.ly/2EqdaP8 ; Zugriff: 09.02.2018)	15
Abbildung 9 CAVE-System (http://www.middlevr.com/resources/what-is-vr/ ; Zugriff: 09.02.2018)	15
Abbildung 10 Mobiles Low Cost Head Mounted Display (https://www.golem.de/1803/133506-158303-158302_rc.jpg ; Zugriff: 09.02.2018)	17
Abbildung 11 „Google Cardboard“ (https://www.amazon.com/Google-87002822-01-Official-Cardboard/dp/B01L92Z8D6 ; Zugriff: 09.02.2018)	17
Abbildung 12 Virtual Reality als Erlebnisraum (https://media.schneemenschen.de/image/cms/4448_virtual_reality.jpg ; Zugriff: 08.04.2018)	19
Abbildung 13 Second-life (https://lindenlab.files.wordpress.com/2008/11/classroom.jpg ; Zugriff: 09.02.2018)	19
Abbildung 14 Head Mounted Display mit tracking System 1968 (SUTHERLAND 1968)	22
Abbildung 15 VR Abbildung im Plan A (SPÖ 2017: 69)	27

Abbildung 16 Screenshot Klimt's magic garden: a virtual reality experience (https://bit.ly/2qcycwc , Zugriff: 09.02.2018).....	27
Abbildung 17 Screenshot VREI - eine virtual reality lounge in Wien (https://vrei.at/ , Zugriff: 09.02.2018).....	27
Abbildung 18 VR im Bildungskontext: Das Wachstum von Veröffentlichungen von 1995-2016 webofscience database (LIU et al. 2017: 115)	29
Abbildung 19 Die 10 produktivsten Länder nach der Anzahl der veröffentlichten Artikel (LIU et al. 2017: 118).....	30
Abbildung 20 Zahlen/Industrien (SINHA 2016.-Zitiert in: RICHARDS 2017: 91)	30
Abbildung 21 VR-Systeme (eigene Darstellung).....	42
Abbildung 22 Gaze Based Interaction (https://cdn-images- 1.medium.com/max/1750/1*t3YRB1W4tYJwPKiyVgp31g.png ; Zugriff 08.04.2018)	42
Abbildung 23 Bildungsaufgaben des Faches Geographie- und Wirtschaftskunde, zitiert in (SITTE 2006: 163).....	65
Abbildung 24 Typologie der Globen nach deren Beschaffenheit (RIEDL 2000, 9).....	94
Abbildung 25 Globenprofil im Vergleich zwischen analogen und virtuellen Globen (RIEDL 2000, 129).....	96
Abbildung 26 Verteilung von Head Mounted Displays nach dem horizontalen Sichtfeld und der Pixeldichte	100
Abbildung 27 Globus (blaue Kugel) und stationärer Avatar (violetter Kegel) mit fixem Abstand. (eigene Darstellung).....	102
Abbildung 28 Automatisch bewegter Avatar (violetter Kegel) entlang einer Tangentialebene des Globus' (blaue Kugel). (eigene Darstellung)	103
Abbildung 29 Stationärer Avatar (violetter Kegel) innerhalb des invertierten Globus (transparente Kugel) (eigene Darstellung).....	104
Abbildung 30 Satellitenbild vom Jänner 2004 (Nasa Earth Observation)	116

Abbildung 31 Satellitenbild vom Juli 2004 (Nasa Earth Observation)	116
Abbildung 32 Textur für den Globusmantel (Natural Earth)	130
Abbildung 33 Bevölkerungspunktekarte (Nasa Earth Observations).....	131
Abbildung 34 Modifizierte Darstellung der Klimazonen nach Köppen im Zeitraum zwischen 1901 und 2010. (Köppen Klimagürtel Klassifikation)	132
Abbildung 35 Geographische Linien (Äquator, Wendekreise, Polarkeise und Datumslinie) als Platkarte im Rasterformat (eigene Darstellung).....	133
Abbildung 36 Geographische Standorte (graue Pins) der Panoramafotos pro Klimazone als grau markierte Punkt (eigene Darstellung).....	134
Abbildung 37 Miniaturansicht der verwendete Panoramafotos mit Beschriftung der Klimazone (Panoramafotos Quelle ORLITA, eigene Illustration)	135
Abbildung 38 Ablaufdiagramm der Klimazonen Globus Applikation (eigene Darstellung)...	136
Abbildung 39 Außenansicht der Kugelgeometrien deren und Texturen (eigene Darstellung)	137
Abbildung 40 Stereoskopische Ansicht des Avatars auf einem Smartphone (eigene Darstellung)	138
Abbildung 41 Ansicht eines Kugelpanoramas zu einer Klimazone (eigene Darstellung).....	139
Abbildung 42 Ansicht des Hauptmenüs mit Möglichkeit der Auswahl des Hintergrundbildes (eigene Darstellung)	139
Abbildung 43 Nicht stereoskopische Ansicht auf einem Smartphone (eigene Darstellung) .	140
Abbildung 44 Auszug eines GeoJSON Datensatzes (eigene Darstellung)	141
Abbildung 45 Konzeptionelle Außenansicht zweier Kugelgeometrien, welche die für den Benutzer unsichtbare grauskalierte Textur und die kartographisch farbskalierte Textur anzeigen (eigene Darstellung).....	142
Abbildung 46 LUT Bild der Bevölkerungspunkte von 1 bis 10.000 Personen pro Quadratkilometer (eigene Darstellung)	143

Abbildung 47 Lineare Farbskalierung des LUT Bildes (Nasa Earth Observatary)	143
Abbildung 48 Verwendung der Skalierungsfunktion (eigene Darstellung).....	145
Abbildung 49 Arbeitsblatt zum „Klimazonen Globus“ Seite 1 (eigene Darstellung).....	148
Abbildung 50 Arbeitsblatt zum "Klimazonen Globus" Seite 2 (eigene Darstellung).....	149
Abbildung 51 „Blue Marble“ Satellitenbild vom Jänner 2004 (Nasa Earth Observation)	151
Abbildung 52 Temperaturkarte vom April 2001 mit original Farbgradient (weißblau - rot - gelb). (Nasa Earth Observatary)	152
Abbildung 53 Modifiziertes Temperaturbild mit kartographisch geeignetem zweipoligen Farbgradient (eigene Darstellung).....	152
Abbildung 54 Ablaufdiagramm der NEO Globus Applikation (eigene Darstellung).....	153
Abbildung 55 JavaScript-Funktion der randomisierten Monatsauswahl beim Quiz-Modus des "NEO-Globus" (eigene Darstellung)	155
Abbildung 56 Das Hauptmenü hat zwei Möglichkeiten zur Auswahl (eigene Darstellung) ..	156
Abbildung 57 Menü zur Steuerung der Geoanimation (eigene Darstellung)	157
Abbildung 58 Temperaturkarte Ozeaniens und eingeblendetes Menü zur Steuerung der Geoanimation (eigene Darstellung)	157
Abbildung 59 Ansicht der drei Antwortmöglichkeiten in jeder Quiz Runde (eigene Darstellung).....	158
Abbildung 60 Darstellung einer richtigen Antwort im Quiz Modus (eigene Darstellung)	159
Abbildung 61 Darstellung einer falschen Antwort im Quiz Modus (eigene Darstellung).....	159
Abbildung 62 Konzeptionelle Darstellung der zeitlichen linearen Interpolation zwischen zwei Bildern anhand eines Zoomausschnittes (eigene Darstellung)	160
Abbildung 63 GLSL Funktion um ein linear interpoliertes Rasterbild aus zwei Rasterbildern zu erzeugen (eigene Darstellung)	161
Abbildung 64 Arbeitsblatt zum „NEO Globus“ (eigene Darstellung)	163

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Vergleich der Definitionen nach FISHER und UNWIN (2002: 1); BLADE und PADGETT (2015: 33); FUCHS und GUITTON (2011: 6)	8
Tabelle 2 Anzahl der Suchbegriffe im Lehramtscurriculum (eigener Entwurf)	76
Tabelle 3 Beispiele verschiedener Anwendungen (eigener Entwurf)	82
Tabelle 4 Zusammenfassung Vorüberlegungen(eigener Entwurf)	88
Tabelle 5 Zusammenfassung Einsatz in der Schule(eigener Entwurf)	89
Tabelle 6 Zusammenfassung Rolle des Schulumfelds (eigener Entwurf)	90
Tabelle 7 Zusammenfassung Rahmenbedingungen in Österreich (eigener Entwurf)	91
Tabelle 8 Im Lehrplan geforderte Kompetenzen als Anforderungen in der Applikation (eigener Entwurf).....	108
Tabelle 9 Überblick über Vermittlungsinteresse, Konzept und Methodik der Applikation (eigener Entwurf).....	112
Tabelle 10 Übersicht der verschiedenen Anforderungen und der Umsetzung in der Applikation (eigener Entwurf)	119
Tabelle 11 Beschreibung der entwickelten Webapplikationen nach Vermittlungsinteressen, Inhalt und Methodik (eigener Entwurf)	129
Tabelle 12 Matrix Farbwert und Klimaabezeichnung (eigener Entwurf)	133
Tabelle 13 Sichtbare Farbe, RGB Farbwert und korrespondierende Anzahl der Personen pro Quadratkilometer (eigener Entwurf)	144
Tabelle 14 Aufgabenstellungen des Arbeitsblatts für die "Klimazonen Globus" Applikation (eigener Entwurf).....	147
Tabelle 15 Aufgabenstellungen des Arbeitsblatts für die "NEO Globus" Applikation (eigener Entwurf)	162

Formelverzeichnis

Formel 1 Formel zur Transformation von geographischen Koordinaten zu geozentrischen Koordinaten (DUNN et.al. 2015)	141
Formel 2 Normalisierung eines Wertes entlang eines oberen und unteren Wertebereiches (eigener Entwurf).....	144
Formel 3 Lineare Interpolierung einer normalisierten Variable entlang eines oberen und unteren Wertebereiches (eigener Entwurf).....	145

Akronyme

3DOF	Three Degrees of Freedom
6DOF	Six Degrees of Freedom
API	Application Programming Interface
AR	Augmented Reality
FOV	Field of View
GeoJSON	Geographic JavaScript Object Notation
GLSL	OpenGL Shading Language
HMD	Head Mounted Display
HTML	HyperText Markup Language
iOS	iPhone Operating System
JPEG	Joint Photographics Experts Group
JSON	JavaScript Object Notation
LUT	Lookup Table
MR	Mixed Reality
NEO	Nasa Earth Observatory
PNG	Portable Network Graphics
POI	Point of Interest
ppd	pixels per degree/Pixeldichte
RGBA	Rot-Grün-Blau-Alpha-Farbkodierung
SVG	Scalable Vector Graphics

TIFF	Tagged Image File Format
VR	Virtual Reality
VRML	Virtual Reality Modeling Language
W3C	World Wide Web Consortium
WGS84	World Geodetic System 1984
X3D	Extensible Three-Dimensional
X3DOM	Extensible Three-Dimensional Object Model

Glossar

3 Degrees of Freedom	Bewegungsmöglichkeit entlang der drei Rotationsachsen im virtuellen Raum
6 Degrees of Freedom	Bewegungsmöglichkeit entlang der drei Rotationsachsen und drei Längsachsen im virtuellen Raum.
App/Applikation	Eine App (Abkürzung für Applikation) bzw. Applikation kann auf einem elektronischen Medium, wie Smartphone, Tablet oder Desktop-Rechner ausgeführt werden.
A-Frame	Softwarebibliothek auf Basis von Webstandards um WebVR Anwendungen zu entwickeln.
Avatar	Interaktive Repräsentation eines Anwenders in einem immersiven Medium.
Browser	Webbrowser, wie „Mozilla Firefox“ oder „Google Chrome“, mit dem Webseiten bzw. Webapplikationen verwendet werden können.
ESRI-Shapefile	Dateiformat für Geodaten.
Geoanimation	Animierte Visualisierung von geoinformationsbasierten Medien.
GeoJSON	Offenes Dateiformat für Geodaten, welches oft bei Webapplikationen eingesetzt wird.
Gyroskop	Sensor zur Messung der Winkelneigung des Smartphones. Ermöglicht das 3 Degree of Freedom in mobilen Head Mounted Displays.

Head Mounted Display	Virtual Reality Brille die am Kopf angebracht wird. Es wird zwischen mobile (low-cost) und high-end unterschieden.
Head Tracking Sensoren	Sensor der die Kopfbewegung erfasst. Wird in Low Cost VR System über das Gyroskop des Smartphones abgebildet.
Hypertext Language (HTML)	Markup Beschreibungssprache für Webseiten.
JavaScript	Programmiersprache um Webapplikationen zu entwickeln.
Kugelpanorama	Bild oder Video dass eine 360 Grad horizontale sowie 180 Grad vertikale Bildwinkel wiedergeben.
Lookup Table (LUT)	Farbpalette welche einen Pixelwert als Index mit einem Farbpixel verbindet. Dadurch können beispielsweise Gradienten dargestellt werden.
Midas Touch	Problem der Interaktion mit Objekten bei gaze based interactions bei mobile <i>Head Mounted Displays</i>
Mobile App	Eine Applikation welche auf einem Smartphone läuft.
Plattkarte	Rasterdatei mit abstandstreuer Zylinderprojektion in normaler Lage.
Rektangulärprojektion	Als Plattkarte (frz. Plate carrée), auch Rektangulärprojektion (engl. Rectangular projection), bezeichnet man in der mathematischen Kartografie eine abstandstreue Zylinderprojektion in normaler Lage.

Raycasting	Konzept in der grafischen 3D-Entwicklung, wodurch ein gesendeter Strahl (ray) von einem Punkt aus alle dazwischenliegenden Objekte registriert (castet).
Softwarebibliothek	Hilfestellung oder Erweiterung bei der Erstellung von Applikationen.
Stereoskopie	Die Wiedergabe von Bildern aus zwei Augenblickswinkeln um einen räumlichen Eindruck von Tiefe zu ermöglichen. Ermöglicht die räumliche Immersion in Virtual Reality Medium.
Storytelling	Englischer Begriff für den didaktischen Einsatz von audiovisuellen Animationen zur Vermittlung eines Themas.
Three.JS	JavaScript Bibliothek um dreidimensionalen Applikation mit dem Webstandard WebGL zu entwickeln.
Web App	Siehe Webapplikation
Webapplikation	Eine Applikation welche komplett im Browser unabhängig von dem verwendeten Betriebssystem sowie Browser.
WebGL	Grafische Programmierschnittstelle um dreidimensionale Inhalte im Webbrowser anzuzeigen.
Webstandard	Spezifikation der W3C von speziellen Funktionen, welche von allen gängigen Browsern über eine standardisierte Schnittstelle verfügbar ist.
Webtechnologie	Funktionen welche der Browser bereitstellt und von Webapplikationen verwendet werden können.

WebVR

Webstandard um ein stereoskopisches Bild, sowie das Gyroskop des Smartphones im Webbrowser zu verwenden.

Abstract

The use of virtual reality (VR) for teaching and learning purposes has become a practical and affordable option over the last few years. Eventhough the number of VR applications is steadily growing a lot of them lack pedagogical value. The aim of the following paper is to adress this issue by developing a VR learning environment for teaching Geography at the secondary level based on a theoretical framework. To develop the framework an extensive literature research was undertaken filtering and focusing on relevant criteria such as learning affordances of the technology and how to integrate VR applications into teaching scenarios as well as evaluating what the conditions the austrian school system offers in this regard. The result is a web-based VR application which is designed for low cost VR-systems and is therefore suitable for mobile learning. The results of the literature research stress the need for basing VR applications focusing on facilitaing learning on theoretical frameworks in order to improve their pedagogical value. Furthermore, the paper includes various hypotheses and questions which could be used as a starting point for further empirical research.

In den letzten Jahren wurde der Einsatz von *Virtual Reality* (VR) in Lehr- und Lernszenarien zu einer praktikablen und leistbaren Option. Obowhl die Zahl der verfügbaren Anwendungen im Steigen begriffen ist, sind viele nicht von zufriedenstellendem pädagogischem Wert. Das Ziel der folgenden Arbeit ist es diese Problematik zu adressieren, indem eine VR-Lernumgebung für den Geographie- und Wirtschaftskundeunterricht für die Sekunderstufe entwickelt wird. Um die Entwicklungsgrundlagen festzulegen, wurde eine umfassende Literaturrecherche durchgeführt und Essentielles gefiltert und zusammengefasst. Es wurden Kriterien wie beispielsweise theoretische Vorüberlegungen sowie der praktische Einsatz im Unterricht berücksichtigt. Das Resultat ist eine webbasierte VR-Applikation welche für *Low Cost* VR-Systeme geeignet ist und damit auch in *Mobile Learning* Szenarien einsetzbar ist.

Vorwort

Unser Interesse rund um *Virtual Reality* und dem Konzept der virtuellen Immersion hat mit der Markteinführung der *Google Cardboard* im Jahr 2015 begonnen. Die Verwendung dieses komplexens Mediums, durch eine einfache Pappkartonhalterung gepaart mit einem Mittelklassen-Smartphone zu ermöglichen, ist so einfach wie auch genial. Diese Art der Verwendung hat zur Verbreitung des Mediums und damit zum vielseitigen Konsum von *Virtual Reality* Inhalten beigetragen. Die Einfachheit der Benutzung soll jedoch nicht vom Produktionsaufwand von immersiven Inhalten hinwegtäuschen. Doch hat sich seit der

Einführung des Mediums einiges getan. Die raschere Verbreitung von leistungsfähigen und günstigen Smartphones und der Fortschritt der Webtechnologie haben die Möglichkeit der Umsetzung von *Virtual Reality*-Inhalten für technisch Versierte greifbar gemacht. Ein Blick in die App Stores der jeweiligen Smartphones verrät bereits eine Vielzahl an *Virtual Reality* Apps, welche mit dem eigenen Smartphone einfach konsumiert werden kann. Anders hingegen im Bildungsbereich, wo es bis dato (April 2018) wenig bis gar kein Angebot gibt. Entsprechend groß und ambitioniert zugleich ist der Anspruch an diese Arbeit, einerseits den breiten Themenkomplex rund um das Medium der virtuellen Realität theoretisch zu erleuchten und im Rahmen der Geographie- und Wirtschaftskundendidaktik zu erklären, andererseits jedoch auch Nägel mit Köpfen zu machen und eine konkrete, für den Unterricht anwendbare App zu entwickeln.

Die Größe des Unterfangens plädiert dabei für eine Zusammenarbeit von zwei Autoren. Durch die bewusste Entscheidung der Entwicklung einer Applikation als praktisch anwendbares Produkt dieser Arbeit, kann die folgende Diplomarbeit grob in zwei Bereiche mit der jeweiligen Autorin bzw. dem jeweiligen Autor kategorisiert werden. Die Kapitel sind jeweils entsprechend markiert.

Melissa Grasl erarbeitet in den ersten Kapiteln die Kontextualisierung des Themenkomplexes, und gibt dabei ebenso einen geschichtlichen Überblick der bis, man möge staunen, in die 60er Jahre zurückreicht, sowie einen aktuellen Forschungsüberblick der Materie. Darauf aufbauend ergibt sich eine Entwicklungsgrundlage für *Virtual Reality* Anwendungen im Bildungskontext bzw. im Speziellen den Geographie- und Wirtschaftsunterricht.

Matthias Treitler konzipiert darauf aufbauend eine Lernanwendung im Medium der virtuellen Realität und kontextualisiert die Entwicklungsüberlegungen. Diese Planungsphase wird von einer Analyse der passenden Softwartechnologie abgerundet, womit im Anschluss die Implementation der Lernapplikation vorgestellt wird.

Wir hoffen, dass diese Diplomarbeit einerseits die Barrierschwelle rund um den Themenkomplex *Virtual Reality* im Bildungskontext tiefer legt, andererseits aber auch den Weg von einer Idee zu einem Produkt nachzeichnet und dadurch eventuell Nachahmerinnen und Nachahmer findet. In diesem Sinne wünschen wir eine spannende Lektüre!

1 Einleitung

Die technische Medialisierung von didaktischen Inhalten ist ein integraler Bestandteil der wissenschaftlichen Forschung im 21. Jahrhundert. Darüber hinaus sind heutzutage leistungsstarke mobile Endgeräte in österreichischen Schulen beinahe flächendeckend vorhanden. Dennoch werden viele Potenziale die mit dem Einsatz von Smartphones im Unterricht einhergehen, derzeit noch nicht ausgeschöpft. Eines dieser Potenziale liegt in der Nutzung des Mediums *Virtual Reality* (VR), was durch den technischen Fortschritt zusehends massentauglicher wird (O'SHEA u. ELLIOTT 2016: 147–148). CRAIG et al. definieren VR als „a medium composed of interactive computer simulation [...] giving the feeling of being immersed“ (CRAIG et al. 2009: 1).

Vorteile des Einsatzes von *Virtual Reality* im Unterricht, wurden bereits in einigen Studien dokumentiert. Besonders eine positive Resonanz bei Schülern und Schülerinnen, die zu gesteigerter Motivation und Aufmerksamkeit führen kann, gilt mittlerweile als bestätigt. Darüber hinaus ist VR auf Grund der spezifischen Eigenschaften anderen analogen aber auch digitalen Medien gegenüber überlegen und daher für die didaktische Aufbereitung bestimmter Inhalte vorzuziehen. Ein wesentliches Alleinstellungsmerkmal stellt hier die sogenannte Immersion, das Gefühl des Umschlossenseins dar. Die virtuellen Räume stellen dabei eine gefahrlose Umgebung dar, die sich sowohl für explorative Lernen als auch für die „visualization of complex and abstract processes and real-phenomena“ (JANSSEN et al. 2016: 46) eignet.

Trotz vieler positiver Ergebnisse ist die pädagogische Qualität eines Großteils der bereits verfügbaren Anwendungen und Applikationen mangelhaft einzuschätzen. Eine Studie zu einem der VR verwandten Bereich kam zu dem Ergebnis, dass nur fünf von 79 Lernanwendungen für den Unterricht von zufriedenstellender didaktischer Qualität waren (O'SHEA u. ELLIOTT 2016: 155). Dies lässt sich auf verschiedene Faktoren wie zum Beispiel finanzielle Einschränkungen aber vor allem auch fehlende Schnittstellen zwischen pädagogischem Personal und EntwicklerInnen zurückführen (O'SHEA u. ELLIOTT 2016: 156–157).

Die vorliegende Diplomarbeit ist dem aktuellen und vielversprechenden Thema des Lernens mit *Virtual Reality* gewidmet. Der Fokus liegt dabei auf einer theoretischen Auseinandersetzung mit der Thematik als auch auf der Entwicklung einer VR-Lernapplikation für den Geographie- und Wirtschaftkundeunterricht. Die Arbeit soll damit sowohl zum Fortschritt dieses noch jungen Forschungsfelds beitragen, sowie beispielhaft aufzeigen, wie

die aktuellen technischen Fortschritte für den Unterricht nutzbar gemacht werden können. Es wird dabei davon ausgegangen, dass besonders der interdisziplinäre Gegenstand Geographie und Wirtschaftskunde das Potenzial hat, von dem Erlebbarmachen abstrakter sowie realer Phänomene durch *Virtual Reality* zu profitieren.

Die Arbeit ist grob in zwei Teile gegliedert. Kapitel 2 bis 7 sind den theoretischen Grundlagen zur Entwicklung einer didaktisch wertvollen *Virtual Reality*-Lernanwendung für den Geographie- und Wirtschaftskundeunterricht gewidmet. Einleitend wird hier mit einer Kontextualisierung begonnen. In dieser sollen zentrale Begriffe und Konzepte besprochen und definiert werden. Ziel ist es dabei Klarheit zu schaffen, aber auch den wissenschaftlichen Diskurs um bestimmte Begriffe kurz darzustellen. Es folgt ein Überblick über die technische Entwicklung und den Forschungsstand. Auf diesem baut schließlich der Hauptteil des ersten Teils, die Erarbeitung einer literaturbasierten Grundlage zur Entwicklung von VR-Anwendungen für den GW-Unterricht, auf. Es sollen sowohl allgemeine Überlegungen wie zum Beispiel die Auswahl eines passenden Themas, aber auch Reflexionen über den Einsatz in der Schule und die österreichischen Rahmenbedingungen einfließen. Diese allgemeinen Kriterien sind schließlich Teil der Grundlage für die im zweiten Teil zu entwickelnde Anwendung. Der erste Teil schließt mit einer Darlegung bereits vorhandener VR-Anwendungen, die für den GW-Unterricht passend sind, sowie mit einer Diskussion sich anbietender Einsatzfelder.

Kapitel 8-11 beschreiben den Entwicklungsprozess einer *Virtual Reality*-Lernanwendung für den GW-Unterricht nach den vorangegangenen erarbeiteten Grundlagen. Aus einer der vielen potenziellen Anwendungsfelder wird dafür der Globus für die Umsetzung der VR-Anwendung gewählt. Die Anforderungen wie die resultierenden Problemfelder von digitalen Globen im Kontext der virtuellen Realität werden dabei mit Hilfe der Literatur beschrieben. Darauf folgend wird aus dem GW-Lehrplan das Thema Klima herangezogen und deren Anwendungsmöglichkeit unter Berücksichtigung von Lerntheorien auf den Globus dargelegt. Entsprechend werden die Bildungsanliegen sowie die didaktischen Grundlagen der Anwendung erläutert. Für die Umsetzung der Anwendung als Lernapplikation notwendigen Softwaretechnologie folgt unter Berücksichtigung der in Teil eins der Arbeit festgelegten Kriterien. Daraus lässt sich in einem weiteren Kapitel die Implementation der Anwendung anhand von Flussdiagrammen sowie einzelnen Implementationsaspekten konkret beschreiben. Darüber hinaus wird auch Begleitmaterial erstellt, das zum niederschweligen Einsatz im Unterricht beitragen soll.

Zusammengefasst, soll die Arbeit einerseits eine Analyse der bisherigen Forschung beinhalten, und andererseits auch einen didaktischen Unterbau für die Entwicklung von Anwendungen ausreichend darlegen und begründen. Als weiteres soll eine VR-Anwendung entwickelt werden. Konkret soll eine web-basierte Applikation für das Smartphone entwickelt werden, welche auf den Einsatz der „Google Cardboard“ aufbaut und inhaltlich ausgewählten Themen des GW-Lehrplans entspricht.

1.1 Persönliche Motivation und Zielsetzungen

Virtual Reality-Lernanwendungen sind durch die technologischen Fortschritte im Bereich der digitalen Medien so wie der entsprechenden Hardware wie beispielsweise Smartphones, in den letzten Jahren zu einem in der Schule einsetzbaren Medium geworden.

Wir meinen, dass dieses neue Medium großes Potenzial für das Lernen bietet. Als solches wollen wir uns wissenschaftlich dem Einsatz von VR im GW-Unterricht annähern. Wir sind davon überzeugt, dass der technische Fortschritt der Medialisierung des Lernens viele Möglichkeiten bietet, die den GW-Unterricht bereichern können. Unsere Arbeit zielt daher darauf ab eine Anwendung zu entwickeln, die den erarbeiteten Entwicklungsgrundlagen entspricht. Nicht zuletzt soll dadurch das Potenzial breiter Verfügbarkeit von leistungsfähigen mobilen Endgeräten für den Unterricht genutzt werden. Wir wollen einerseits einen Beitrag zum noch jungen Forschungsfeld leisten, aber im Speziellen auch dem oftmals als fehlend beschriebenen Beitrag pädagogisch und didaktischer Überlegungen bei der Entwicklung von VR-Anwendungen für den Unterricht begegnen.

Aufgrund der notwendig theoretischen Vorarbeiten und dem Entwicklungsaufwand, wäre nicht noch eine zusätzliche repräsentative quantitative empirische Untersuchung möglich gewesen. Wir haben uns daher gegen die empirische Untersuchung entschieden, zugunsten einer fundierten theoretischen Aufarbeitung der Entwicklungsgrundlagen und einer darauf aufbauenden Entwicklung einer VR-Lernanwendung. Die Arbeit stellt dadurch auch eine gute Grundlage für weiterführende empirische Untersuchungen dar. Zusammengefasst ist unser Ziel der Arbeit eine technisch, didaktisch und pädagogisch begründete Entwicklung einer VR-Anwendung für den GW-Unterricht, welche den Anforderungen des österreichischen Lehrplans der Sekundarstufe entspricht.

1.2 Fragestellungen

Die zwei übergeordneten Fragestellungen, die die Grundlage für beide Teile der Arbeit ausmachen, sind die folgenden: „Welche didaktischen, pädagogischen und technischen Kriterien sollten in der Entwicklung eine Anwendung im Medium der virtuellen Realität beachtet werden und wie können diese Kriterien in einer konkreten Lernapplikation umgesetzt werden?“

Die Festlegung der Kriterien für die Entwicklung von *Virtual Reality*-Lernanwendungen unterliegt den folgenden Fragestellungen:

1. Welche Vorüberlegungen sind bei einer Konzipierung von einer VR-Anwendung besonders wichtig?
2. Worauf ist bei einem Einsatz in der Schule zu achten und was ergibt sich daraus für die Konzipierung?
3. Was bedeuten die österreich-spezifischen Rahmenbedingungen für die Entwicklung von VR-Anwendungen?

Die Kapitel rund um die Entwicklung sowie die Implementation der Lernanwendung orientieren sich an den folgenden Forschungsfragen:

1. Wie kann ein Globus als VR-Anwendung umgesetzt werden?
2. Welche Anforderungen an die Software-Technologie müssen erfüllt werden, damit diese ein breites Anwendungsspektrum im Unterricht erlauben?
3. Wie kann der Einsatz der VR-Anwendung im Unterricht erfolgen?

1.3 Methodologie

Um die Forschungsfragen des ersten Teils möglichst gut beantworten zu können, werden durch eine Literaturrecherche verschiedene, in der Literatur als wichtig eingestufte, Aspekte beleuchtet. Nach einer Kontextualisierung und einem geschichtlichen Rückblick zur Entwicklung findet eine kritische Literaturrecherche zum derzeitigen Stand der Forschung statt. Ziel dabei ist es die wichtigsten Kategorien heraus zu filtern, den Stand der Forschung darzustellen und etwaige Lücken in der Forschung ausfindig zu machen. Danach wird eine umfassende Literaturrecherche zu den Forschungsfragen durchgeführt. Abschließend folgt

eine kurze Darstellung bereits vorhandener VR-Anwendungen, welche sich für den Einsatz im GW-Unterricht eignen, sowie eine Diskussion potentieller Anwendungsfelder.

Im zweiten Teil liegt der Fokus auf der Entwicklung der VR-Anwendung sowie der anschließenden Implementation als Lernapplikation. Hier bildet einerseits eine Literaturrecherche den Grundstein für die Beschreibung der Anforderungen und Problemfelder von VR-Anwendungen. Die Auswahl der Software-Technologie wird mit Hilfe der Literatur begründet. Einen Großteil der Arbeit macht die technische Implementation der Lernapplikation aus, welche durch eine detaillierte Beschreibung einzelner Implementierungsaspekte gestützt wird.

2 Kontextualisierung

Virtual Reality (VR) – Worum handelt es sich hierbei eigentlich? Welche anderen verwandten Konzepte sind im Kontext wichtig und wo liegen die Unterschiede? Diese und ähnliche Fragen sollen im nächsten Kapitel beantwortet werden, um in die Thematik einzuführen und zum Verständnis der Arbeit beizutragen.

2.1 Begriffsdefinition: virtuelle Realität

“Virtual Reality ist wie so ein Programm, wo man das Gefühl hat, man ist selber drin in einer virtuellen Welt. Man sieht aber alles so wie man es normal sehen würde. Aber es ist halt virtuell, also erschaffen. Man kann sich da zum Beispiel eine Brille aufsetzen und das Handy vorne drin haben und dann kann man mit so Apps auswählen in welcher Welt man gerne wäre und man sieht dann eben nur das. Auch wenn man sich dreht oder bewegt ist das so als würde man herum schauen in der Welt. Das bewegt sich mit. Deshalb fühlst du dich viel mehr als wärst du Teil der Welt, zum Beispiel mehr als bei einem Computer Spiel.”
(Transkribierte Antwort auf die Frage: Was ist Virtual Reality? Fiona Köck, 18.11.2017)

Was ist *Virtual Reality*? – natürlich etwas Virtuelles. Eine virtuelle Welt von der wir uns umgeben fühlen und in der wir ähnlich wie in der nicht-virtuellen, der physikalischen Welt, agieren können. Obwohl sich vermutlich viele spontan auf die wesentlichen Komponenten einigen könnten und salopp formulierte Definitionen nicht weit auseinander liegen würden, ist es aus wissenschaftlicher Perspektive bis zum jetzigen Zeitpunkt nicht gelungen, sich auf eine gemeinsame Definition des Begriffs *Virtual Reality* zu einigen (FISHER u. UNWIN 2002a: 1). Dies dürfte dabei nicht nur dem relativ jungen Alter der Forschungsrichtung geschuldet

sein, sondern auch der hohen Diversität der Einsatzmöglichkeiten, aber im Besonderen auch der Verwendung des Begriffs selbst, der die scheinbaren Gegensätze *virtuell* und *Realität* verbindet und somit das Definieren herausfordernd gestaltet. Um einen Überblick über verschiedene Definitionsansätze zu geben, sollen im Anschluss drei Definitionen vorgestellt werden. Zusätzlich werden in den darauffolgenden Unterkapiteln diverse Abgrenzungen und Einteilungen dargestellt, die weiters zum Verständnis des Begriffs beitragen sollen. Auch die Unzufriedenheit mit dem Begriff an sich, die in der theoretischen Debatte oftmals artikuliert wird, soll kurz diskutiert werden.

FISHER und UNWIN (2002) definieren den Begriff virtuelle Realität oder *Virtual Reality* folgendermaßen:

„Virtual Reality is the ability of the user of a constructed view of a limited digitally-encoded information domain to change their view in three dimensions causing update of the view presented to any viewer, especially the user“ (FISHER u. UNWIN 2002a: 1).

Im Gegensatz dazu teilen FUCHS und GUITTON (2011) die Begriffsdefinition in drei Teilaspekte auf. Sie definieren den Begriff nach den technischen Aspekten, den Funktionen, sowie dem Ziel (im *Original Purpose*), wobei die technische Definition der erst genannten am nächsten kommt:

„Virtual reality is a scientific and technical domain that uses computer science (1) and behavioural interfaces (2) to simulate in a virtual world (3) the behaviour of 3D entities, which interact in real time (4) with each other and with one or more users in pseudo-natural immersion (5) via sensorimotor channels“ (FUCHS u. GUITTON 2011: 8)

„Virtual reality will help him to come out of the physical reality to virtually change time, place and (or) the type of interaction: interaction with an environment simulating the reality or interaction with an imaginary or symbolic world“ (FUCHS u. GUITTON 2011: 7)

„The purpose of virtual reality is to make possible a sensorimotor and cognitive activity for a person (or persons) in a digitally created artificial world, which can be imaginary, symbolic or a simulation of certain aspects of the real world“ (FUCHS u. GUITTON 2011: 6)

Eine weitere Definition ist in BLADE u. PADGETT (2015) zu finden. Hier wird synonym zu *Virtual Reality* der Begriff *Virtual Environment* verwendet:

„Virtual environment (VE): model of reality with which a human can interact, getting information from the model by ordinary human senses such as sight, sound, and touch and/or controlling the model using ordinary human actions such as position and/or motion of body parts and voice. Usually virtual environment and virtual reality are used synonymously, but some authors reserve VE for an artificial environment that the user interacts with” (BLADE u. PADGETT 2015: 33).

Im Vergleich zeigt sich, dass alle drei Definitionen Aussagen zu *Usern*, der Umgebung/Beziehung zur Realität, sowie der Beziehung zwischen den *Usern* und der Umgebung treffen. Dabei fällt die größte Diskrepanz unter Punkt „Umgebung/Beziehung zur Realität“ auf. Ist die virtuelle Umgebung als ein Modell der Realität zu betrachten? Eine völlig eigenständige *Digitally Encoded Domain*? Oder ist sie eine künstliche Welt, die erfunden, symbolisch oder eine Simulation bestimmter Aspekte der physikalischen Welt sein kann?

	FISHER und UNWIN 2002: 1	BLADE und PADGETT 2015: 33	FUCHS und GUITTON 2011: 6-8
Möglichkeiten der <i>User</i>	AkteurIn „change their view in three dimensions”	AkteurIn „a human can interact” „using ordinary human actions such as position and/or motion of body parts and voice”	AkteurIn „interact in real time (4) with each other and with one or more users in pseudo-natural immersion (5) via sensorimotor channels”
Umgebung/ Beziehung zur Realität	Eigenständige Domain „limited digitally-encoded information domain”	Modell der Realität „model of reality”	Eigenständige Domain oder Simulation von Teilen der Realität „environment simulating the reality or interaction with an imaginary or symbolic world” „a digitally created artificial world, which can be imaginary, symbolic or a simulation of certain aspects of the real world”
Beziehung	Umgebung reagiert auf <i>User</i>	In beide Richtungen	In beide Richtungen

User- Umgebung	„causing update of the view presented to any viewer, especially the user”	„getting information from the model by ordinary human senses such as sight, sound, and touch and/or controlling the model using ordinary human actions such as position and/or motion of body parts and voice”	„simulate in a virtual world (3) the behaviour of 3D entities, which interact in real time (4) with each other and with one or more users in pseudo-natural immersion (5) via sensorimotor channels” „The purpose of virtual reality is to make possible a sensorimotor and cognitive activity for a person (or persons)” „Virtual reality will help him [sic] to come out of the physical reality to virtually change time, place and (or) the type of interaction”
-------------------	---	--	--

Tabelle 1 Vergleich der Definitionen nach FISHER und UNWIN (2002: 1); BLADE und PADGETT (2015: 33); FUCHS und GUITTON (2011: 6)

Die Schwierigkeit dem Begriff mit einer Definition gerecht zu werden unterstreicht die Berechtigung der Frage, die in der wissenschaftlichen Debatte durchaus zu finden ist, ob der Begriff *Virtual Reality* überhaupt ein passender ist (vgl. FISHER u. UNWIN 2002b; FUCHS et al. 2011). FUCHS und GUITTON (2011) argumentieren in diesem Kontext, dass es sich beim Begriffspaar *Virtual Reality* an sich um ein Oxymoron handelt, da sich die Bedeutung von virtuell und Realität inhärent widersprechen. Als passendere Alternative denken sie die Begriffe der *Substitute* oder *Alternative Reality* an (FUCHS u. GUITTON 2011: 5). Zusätzlich ist bekannterweise auch die Auffassung von dem, was unter Realität an sich zu verstehen ist, aus wissenschaftlicher Perspektive äußerst weitgefächert.

Der Begriff *Virtual Reality* mag nicht der geeignetste sein, um zu einer gemeinsamen Definition zu gelangen und während die Suche nach einem alternativen Begriff aus theoretischer Sicht durchaus spannend und sinnvoll erscheint, hält sich der Nutzen einer ausgiebigen Debatte vermutlich eher in Grenzen. Zu sehr ist der Begriff bereits weit über wissenschaftliche Grenzen hinaus im alltäglichen Sprachgebrauch angekommen und verbreitet. Ähnlich dem pragmatischen Zugang von FUCHS und GUITTON (2011) wird der Begriff in dieser Arbeit daher

mit seinen inhärenten Widersprüchlichkeiten verwendet, ohne an dieser Stelle weiter der Frage nach Alternativen nachzugehen.

Von den präsentierten Definitionen liegt der vorliegenden Arbeit ein Verständnis des Begriffs zu Grunde welches am ehesten dem von FISHER und UNWIN (2002) entspricht (siehe S. 6). Im Vergleich zu den anderen Definitionen sticht diese durch ihre leichte Verständlichkeit, aber auch den relativ uneingeschränkten Bezug zur Realität, hervor. FISCHER und UNWIN bezeichnen den virtuellen Raum als „digitally encoded information domain“ (FISHER u. UNWIN 2002a: 1). Damit ist die Definition mit den vielen verschiedenen Anwendungsmöglichkeiten von VR kompatibel, die sich von rein digitalen Welten über Simulationen bis hin zu Aufnahmen und Abbildungen der physikalischen Welt erstrecken. Als Gegenteil zur virtuellen Realität wird in dieser Arbeit der Begriff der physikalischen Realität oder auch der nicht-virtuellen Realität verwendet. Gemeint ist damit, entsprechend der individuellen Realitätsauffassung der Leser und Leserinnen, jene Realität, die nicht virtuell erschaffen wurde.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass sich in Bezug auf den Begriff der virtuellen Realität, trotz eines vermutlich ähnlichen Alltagsverständnisses auf wissenschaftlicher Ebene, noch keine Definition durchgesetzt hat. Im folgenden Kapitel werden nun auf die VR-relevante Konzepte der Immersion, *Presence* und *Flow* eingegangen. Auch diese werden in der Literatur teilweise unterschiedlich verstanden und verwendet.

2.2 Immersion, „Presence“ und „Flow“

Drei zentrale Begriffe, die in der Literatur eine gewisse Präsenz aufweisen, sind Immersion, *Presence* und *Flow*. Alle drei Konzepte können als wesentliche Aspekte von *Virtual Reality*-Erfahrungen gesehen werden und bestimmen so auch den Charakter des Mediums mit. In Bezug auf Lernanwendungen werden sie oftmals zur Erfolgsmessung bzw. -einschätzung herangezogen. Ähnlich wie der Begriff der virtuellen Realität werden vor allem die Immersion und das Gefühl der *Presence* nicht einheitlich verstanden und verwendet. Im Folgenden werden daher die unterschiedlichen Konzepte besprochen und auch dargestellt welchen Definitionen in dieser Arbeit gefolgt wird.

Unter Immersion kann die Sinneswahrnehmung des von der Welt Umschlossenseins verstanden werden. Damit sich die Nutzer und Nutzerinnen umgeben fühlen, müssen dabei gewisse Grundregeln von Sinneswahrnehmungen in der virtuellen, ähnlich wie in der nicht-

virtuellen Welt, funktionieren. Typischerweise korrelieren dabei zumindest physikalische Änderungen der Blickrichtung mit der virtuellen Umgebung, aber auch die Nutzung multisensorischer Kanäle ist möglich. Im Gegensatz zur immersiven virtuellen Realität steht die nicht-immersive virtuelle Realität, welche nicht auf umschließende Art dargestellt wird, sondern zum Beispiel auf einem Desktop. Die Nutzer und Nutzerinnen befinden sich dabei nicht in der virtuellen Realität, sondern vor dieser. In der vorliegenden Arbeit wird der Begriff entsprechend der Definition von MIKROPOLOUS und NATSIS (2011) verwendet, der wie folgt lautet: „An immersive virtual environment is one that perceptually surrounds the user“ (MIKROPOULOS u. NATSIS 2011b: 777).

Diesem Verständnis folgend unterscheidet sich die Immersion damit wesentlich vom Konzept der *Presence*. Nach MIKROPOLOUS und NATSIS (2011) kann dieses folgendermaßen definiert werden:

„Presence is described as the user’s ‘sense of being there’, in the virtual environment as a separate entity [...]. The feature of presence transforms the users of a VE into participants in an alternative world“ (MIKROPOULOS u. NATSIS 2011b: 770).

Im Gegensatz zur Sinneswahrnehmung der Immersion, handelt es sich hierbei um ein subjektives Gefühl. Verbunden sind die beiden Konzepte insofern, als dass sich die Immersion, aber auch der Grad der Immersion, positiv auf das Gefühl der *Presence* auswirken kann (MIKROPOULOS u. NATSIS 2011b: 777).

Die *Presence* ist mit dem Konzept des *Flows* eng verbunden. SCORESBY und SHELTON (2011) definieren *Flow* wie folgt:

„The concept of flow, or the state of being cognitively engrossed by an activity and characterized by high levels of enjoyment, loss of awareness of time, and better than normal performance [...]“ (SCORESBY u. SHELTON 2011: 228).

Alle drei Konzepte werden oftmals zur Messung des Erfolgs einer Anwendung herangezogen. Im Bezug auf lernrelevante VR-Anwendungen vermuten manche, dass sich *Flow*, *Presence* und Immersion positiv auf das Erlebnis auswirken und in weiterer Folge auch einen angestrebten Lernerfolg steigern (SCORESBY u. SHELTON 2011: 228). Allerdings gibt es auch Stimmen, die das Gegenteil argumentieren. MAKRANSKY et al. stellen zum Beispiel die These auf, dass höhere Immersion und ein Mehr an *Presence* sogar zu schlechteren Lernergebnissen führen

können, wenn dies zu *Cognition Overload* führt (MAKRANSKY et al. 2017: 1) (Siehe Kapitel 5.1.3 und 4.2).

2.3 Abgrenzungen und Unterscheidungen

In diesem Kapitel soll ein Überblick über mögliche Einteilungsarten von *Virtual Reality* gegeben werden. Begonnen wird mit der Erklärung des Realitäts-Virtualitäts-Kontinuum auf welchem sich die verschiedenen Arten von Realität zwischen den Polen vollständig virtuell und vollständig nicht-virtuell bewegen. Danach folgt eine Einteilung nach der Art der Abbildung. Dafür ist unter anderem ausschlaggebend, welche VR-Systeme verwendet werden. Abschließend wird noch auf die Unterscheidung zwischen aktiver und passiver virtueller Realität eingegangen, welche die Interaktionsmöglichkeiten der Nutzer und Nutzerinnen bestimmen.

2.3.1 Das Realitäts-Virtualitäts-Kontinuum

Im wissenschaftlichen Diskurs wird von einem Realitäts-Virtualitäts-Kontinuum ausgegangen, welches sich von einer gänzlich nicht-virtuellen Realität bis zur vollständigen Virtualität erstreckt. Zwischen diesen befinden sich verschiedenste Formen einer gemischten Realität, der sogenannten *Mixed Reality*, die sich relativ zueinander näher des einen oder anderen Pols befinden.

Das Realitäts-Virtualitäts-Kontinuum wurde von PAUL MILGRAM u. FUMIO KISHINO (1994) entwickelt und ist eine Grundlage, auf die sich viele wissenschaftliche Quellen beziehen. In leicht adaptierter Form von CHAMPNEY et al. (2016), lässt sich das Kontinuum wie folgt darstellen:

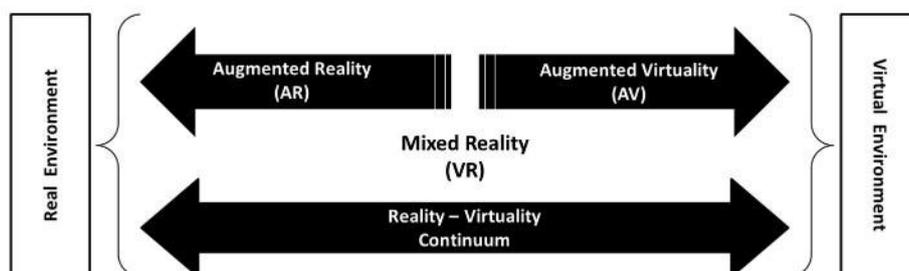


Abbildung 1 Taxonomie der visuellen Darstellung geschichteter Realität (Adaptiert von Milgram and Kishino 1994) (CHAMPNEY et al. 2016: 365)

Im oben beschriebenen Verständnis teilt sich die *Mixed Reality* (in der Darstellung mit VR abgekürzt) in zwei grobe Subtypen: *Augmented Reality* und *Augmented Virtuality*. Von *Augmented Virtuality* unterscheidet sich *Augmented Reality*, indem sie der nicht-virtuellen Realität näher ist, während *Augmented Virtuality* stärker auf virtuellen Elementen basiert. Vor allem *Augmented Reality* ist mittlerweile auch abseits des wissenschaftlichen Diskurses ein Begriff. Er kann wie folgt definiert werden:

„Augmented reality: form of virtual reality where the human interacts with a combination of the reality model and true reality, usually through the use of special eyeglasses displaying both data from the model and data from the real world“ (BLADE u. PADGETT 2015: 25).

Teilweise anders gestaltet sich die Einteilung und Definition im kommerziellen Kontext. Im Gegensatz zu dem von MILGRAM und KISHINO etablierten Verständnis wird für kommerzielle Nutzungen *Augmented Reality* oftmals nicht als eine Art von *Mixed Reality* betrachtet, sondern *Mixed Reality* als eine Weiterentwicklung von *Augmented Reality*, die sich durch einen höheren Realitätsgrad und höhere Interaktionsgrade auszeichnet (JOHNSON 2016). In der vorliegenden Arbeit werden die Begriffe allerdings nach MILGRAM und KISHINO, entlang eines Kontinuums verstanden und entsprechend der oben angeführten wissenschaftlichen Definitionen verwendet.

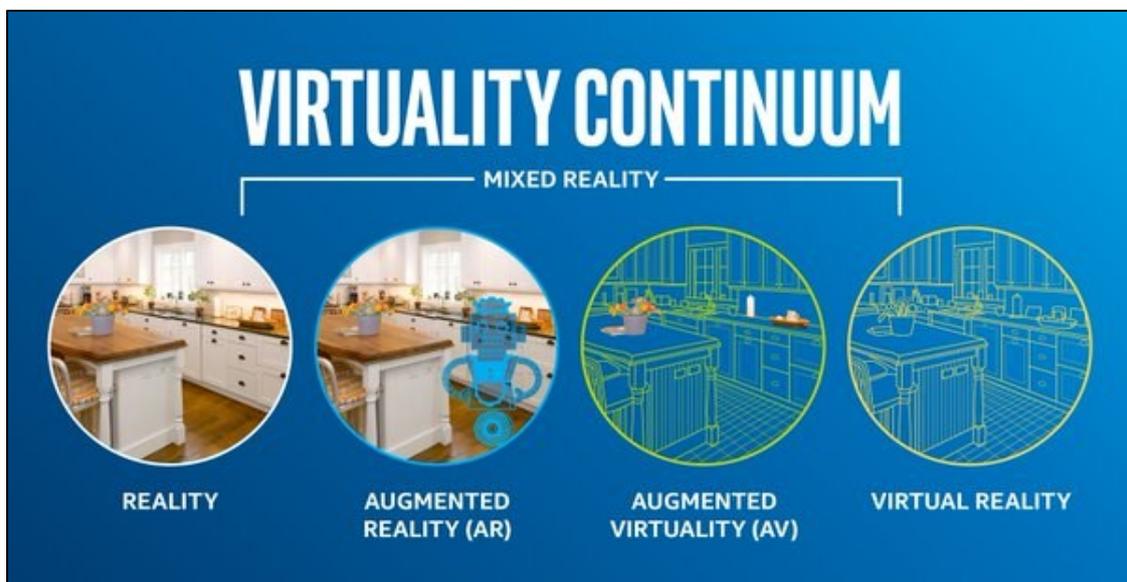


Abbildung 2 Virtuality continuum (<https://bit.ly/2JqSD0y>; Zugriff: 20.01.2018)

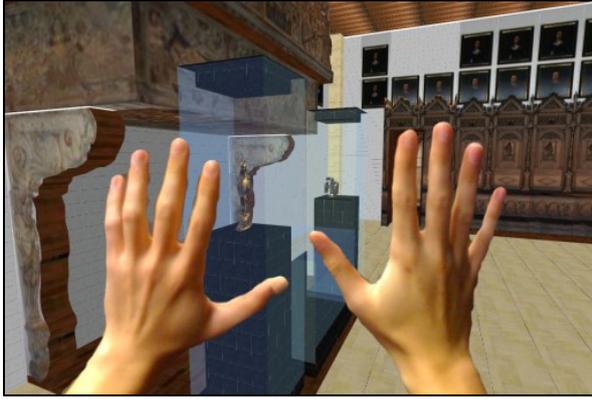


Abbildung 3 Beispiel augmented virtuality
(<https://bit.ly/2GDhP1V>; Zugriff: 20.01.2018)



Abbildung 4 Beispiel augmented reality
(<https://bit.ly/2sLqgS0>; Zugriff: 20.01.2018)

Nicht nur der Grad von Virtualität bzw. Realität, sondern auch die Art der Applikation, ist eine wesentliche Unterscheidung. Im Folgenden sollen hier einige Einteilungsmöglichkeiten aufgezeigt werden.

2.3.2 Art der Applikation

Verschiedene Arten von virtueller Realität werden oftmals anhand ihrer Abbildungsart unterschieden. Angelehnt an die Kategorien aus SALA (2016) allerdings in adaptierter Form und in anderen Worten erklärt, wird im Folgenden eine mögliche Kategorisierung dargestellt. Erklärt werden hierbei die Kategorien *Desktop-VR* und *Telepresence*, sowie drei Arten von immersiver VR: *immersive VR*, *fully immersive VR* und *CAVE-System* (SALA 2016: 5).

Von *Desktop-VR* ist die Rede, wenn eine VR-Anwendung auf einem Monitor, wie zum Beispiel einem Computerbildschirm oder einem Handy, abgebildet wird. Die Nutzer und Nutzerinnen



Abbildung 5 Desktop VR (<https://slate.me/2qa6sZj>; Zugriff: 10.02.2018)

sind in diesem Fall nicht von der virtuellen Realität umgeben, sondern befinden sich vor dem Monitor. Meist mit einer Maus oder einem Joystick kann in der virtuellen Welt in Form eines Avatars agiert werden. Typischerweise zählen Computerspiele zu dieser Art von virtueller Realität. Hierbei handelt es sich um eine nicht immersive Form von VR.

Im Gegensatz zur Desktop-Anwendung sind die Nutzer und Nutzerinnen in immersiven virtuellen Realitäten von dieser visuell oder physikalisch umgeben. In dieser Arbeit ist von immersiver VR die Rede, wenn die Nutzer und Nutzerinnen auf virtuelle Art und Weise von der VR umgeben sind. Typischerweise wird die virtuelle Realität in diesem Fall mit Hilfe eines *Head Mounted Display (HMD)* – also einer Art Brille, die den *Usern* erlaubt, visuell nur noch die virtuelle Realität wahrzunehmen - abgebildet. Die physikalische Blickrichtung bestimmt den gesehenen Ausschnitt der virtuellen Realität (siehe Abbildung 7). *Fully immersive* VR stellt eine Erweiterung der immersiven VR dar. Auch hier handelt es sich um eine virtuelle Immersion. Zusätzlich zur Blickrichtung, wird mit Hilfe eines *Tracking-Systems*, aber auch die Abbildung anderer Körperbewegungen in der virtuellen Realität ermöglicht (siehe Abbildung 6). Das *CAVE-System*, mittlerweile eher aus der Mode gekommen, schließt die Nutzer und Nutzerinnen physikalisch und nicht virtuell ein. Typischerweise wird hier die virtuelle Realität mit Hilfe von Projektoren auf die umliegenden Wände projiziert (siehe Abbildung 9). Je nach Definition des Begriffs *Immersion* könnte auch hier von einem immersiven Szenario gesprochen werden, da die Interakteure und Interakteurinnen, ebenfalls von der virtuellen Welt umgeben ist. Ein deutlich anderes Konzept virtueller Realität stellt die *Telepresence* dar. Hierbei befinden sich die Nutzer und Nutzerinnen physikalisch an einem anderen Ort als sie wirken (siehe Abbildung 8). Ein Beispiel wäre die Durchführung eines chirurgischen Eingriffs, durch Gerätschaften, die von einem anderen Ort aus steuert.



Abbildung 6 Fully immersive VR
(<https://www.vrheads.com/best-htc-vive-games-cardio-workout>; Zugriff: 09.02.2018)



Abbildung 7 Immersive VR
(<https://www.techinasia.com/china-vr-flop>; Zugriff: 10.02.2018)

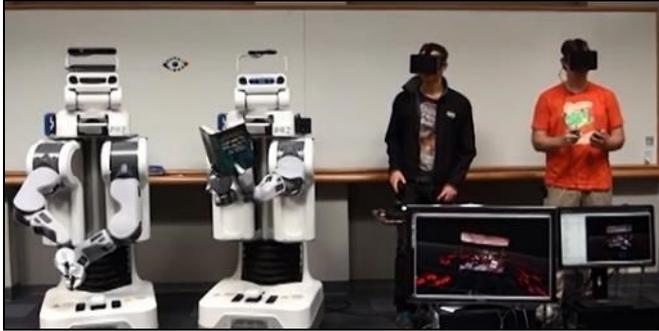


Abbildung 8 Telepresence (<https://bit.ly/2EqdaP8>; Zugriff: 09.02.2018)



Abbildung 9 CAVE-System
(<http://www.middlevr.com/resources/what-is-vr/>;
Zugriff: 09.02.2018)

In diesem Kapitel wurden fünf verschiedene Arten virtueller Realität nach vorgestellt. *Virtual Reality* lässt sich aber nicht nur nach der Art der Applikation bzw. der Gerätschaften, die zur Abbildung verwendet werden, unterscheiden, sondern zum Beispiel auch dadurch, welche Interaktionsmöglichkeiten den *Usern* in der virtuellen Realität zur Verfügung stehen. Ein typisches Beispiel ist hier die Unterscheidung zwischen aktiver und passiver virtueller Realität, welche im nachfolgenden Kapitel kurz erklärt wird.

2.3.3 Aktive und passive virtuelle Realität

Eine weitere, für das Verständnis wesentliche Unterscheidung, ist die zwischen passiver und aktiver virtueller Realität (im Englischen *Passive* und *Active Virtual Reality*). BLADE u. PADGETT (2015) definieren diese wie folgt:

„Passive virtual reality: virtual reality in which there is no control of the model by the human. That is, the model only provides information to the human senses“ (BLADE u. PADGETT 2015: 30).

„Active virtual reality: virtual reality where human actions control the model of reality“ (BLADE u. PADGETT 2015: 25).

Der Unterschied zwischen beiden liegt demnach darin, ob die Nutzer und Nutzerinnen die Möglichkeit haben, Einfluss auf die virtuelle Umgebung zu nehmen oder ob lediglich Informationen geliefert werden. Ein Beispiel für passive VR sind 360 Grad Videos, wie sie mittlerweile auch schon auf Internetplattformen wie Youtube zu finden sind. Eine typische und in der Schule gut einsetzbare Form aktiver virtueller Realität ist die Steuerung durch einen „kleinen Punkt“ im Sichtfeld, mit dem die Nutzer und Nutzerinnen ähnlich wie mit einem

Mauscourser, bestimmte Auswahlmöglichkeiten anklicken können. Die Unterscheidung zwischen passiver und aktiver virtueller Realität erscheint wesentlich, da das aktive Teilnehmenkönnen bzw. das passive Erleben die Art des Erlebnisses stark prägen.

In den vorangegangenen Kapiteln wurden sowohl die Schwierigkeit des Definierens des Begriffes *Virtual Reality* dargestellt, als auch drei zentrale Konzepte zur Analyse der Effektivität von VR, Immersion, *Presence* und *Flow* erklärt. Der Begriff *Virtual Reality* wurde darüber hinaus nach verschiedenen Kriterien wie der Grad der Virtualität, die Art der Applikation und die Interaktionsmöglichkeiten der Nutzer und Nutzerinnen kategorisiert. An diesem Punkt sollten die Lesenden ein Bild davon haben, was unter einer aktiven bzw. passiven immersiven virtuellen Realität, verstanden werden kann. Da immersive VR-Anwendungen den Hauptfokus der Arbeit darstellen wird im nachfolgenden darauf verzichtet den Zusatz immersiv zu verwenden. Stattdessen wird vermerkt, wenn eine nicht-immersive Form von VR gemeint ist.

Wegbewegend von allgemeinen Definitionen, ist das folgende Kapitel auf einen Bereich der den Kontext der Arbeit weiter eingrenzt fokussiert - VR in der Bildung. Auch hier sollen Definitionen vorgenommen und vor allem zentrale Begriffe erklärt werden. Insbesondere soll erläutert werden was unter VR-Lernräumen (im Englischen *Virtual Reality Learning Environment*) verstanden werden kann. Darüber hinaus wird auch auf das allgemeinere bildungsrelevante Konzept des mobilen Lernens (im Englischen *Mobile Learning*), eingegangen welches gewissermaßen den Rahmen für den Einsatz von VR im Unterricht bildet und daher für den Kontext der Arbeit von Relevanz ist.

2.4 Virtuelle Realität im Bildungskontext

Im Bildungskontext ist die *Virtual Reality* Forschung und auch der Einsatz von VR, noch weniger fortgeschritten als in anderen Bereichen wie zum Beispiel der Unterhaltungsindustrie. Dies liegt unter anderem darin, dass bis vor kurzem ein massentauglicher Einsatz in der Schule kaum vorstellbar war. Zu teuer und umständlich waren die Arten der Abbildung zum Beispiel durch hochwertige und für den Einsatz in einer Klasse relativ unhandliche *Head Mounted Displays* (siehe Abbildung 10). In den letzten Jahren haben sich die Möglichkeiten hier allerdings rasant geändert. Viele der verfügbaren Smartphones sind mittlerweile leistungsstark genug zahlreiche VR-Anwendungen problemlos abzuspielen. In Kombination mit einfachen cardboardbasierten Halterungen wie der „Google Cardboard“, kann auf teure Geräte verzichtet werden (siehe Abbildung 11). Smartphones sind außerdem mittlerweile in vielen Klassen beinahe flächendeckend.



Abbildung 10 Mobiles Low Cost Head Mounted Display
(https://www.golem.de/1803/133506-158303-158302_rc.jpg; Zugriff: 09.02.2018)



Abbildung 11 „Google Cardboard“
(<https://www.amazon.com/Google-87002822-01-Official-Cardboard/dp/B01L92Z8D6>; Zugriff: 09.02.2018)

Diese Entwicklungen machen den Einsatz in der Schule im größeren Stil möglich. Die Forschung und Entwicklung von VR-Lernanwendungen werden damit zunehmend relevanter. Mittlerweile gibt es bereits eine Vielzahl von Anwendungsbereichen und auch konkrete Anwendungen, die für den Unterricht genutzt werden können. Eine wesentliche Unterscheidung stellen dabei VR-Anwendungen, die Erlebnisräume darstellen und jenen, die eher als immersive virtuelle Lernplattformen fungieren dar. Den Rahmen für einen Einsatz im Schulkontext bildet dabei das sogenannte mobile Lernen (im Englischen: *Mobile Learning*). In den folgenden zwei Unterkapiteln sollen diese Aspekte näher beleuchtet und erklärt werden.

2.4.1 Lernanwendungen

Virtual Reality-Anwendungen im Bildungsbereich werden oft als *Virtual Learning Environments* (VLE) bzw. *Virtual Reality Learning Environments* (VRLE) bezeichnet. In der Literatur werden beide Begriffe unterschiedlich - mal synonym, mal mit verschiedenen Bedeutungen - verwendet. Während viele unter *Virtual Learning Environments* hauptsächlich Lernplattformen verstehen, verwenden andere den Begriff auch um Lernumgebungen im Sinne von Erlebnisräumen zu beschreiben. Im Folgenden soll die unterschiedliche Verwendung der Begriffe kurz dargestellt und für diese Arbeit gültige Definitionen festgelegt werden.

Zunächst wird der Begriff *Virtual Learning Environments* beleuchtet. PAN et al. (2006) nennen vier Hauptkomponenten die VLEs aufweisen müssen. Sie enthalten einen *Knowledge Space*, also einen Ort an dem Wissen aufbewahrt wird und auf welchen zugegriffen werden kann. Eine *Communication Community*, also eine Gruppe innerhalb derer die einzelnen Mitglieder

mit einander kommunizieren bzw. sich austauschen können (z.B. mit Mitschülern und Mitschülerinnen). Außerdem kommt den Lernenden eine aktive Rolle zu die als *Active Action Function* (e.g. aktive Studierendenrolle) beschrieben wird. Dank einem *Facility Toolkit* ist es außerdem möglich Lernfortschritte festzuhalten und zu beobachten (PAN et al. 2006: 21). PAN et al. (2006) definieren *Virtual Learning Environments* somit als Sozialräume in denen kollaboratives Lernen und Austausch im Vordergrund steht. Werden diese Komponenten als Grundvoraussetzungen angenommen sind *Virtual Learning Environments* eher als Lernplattformen zu verstehen.

Virtual Reality-Anwendungen die mehr als Erlebnisräume, denn als Lernplattform fungieren, sind diesem Verständnis folgend nicht erfasst. Es kann daher argumentiert werden, dass eine weitere Kategorie notwendig ist um die Fülle an VR-Lernanwendungen zusammenzufassen. In der vorliegenden Arbeit wird daher bewusst eine Unterscheidung zwischen *Virtual Learning Environments* und *Virtual Reality Learning Environments* vorgenommen. Für Letzteres wird dabei die Definition von HUANG et al. (2010) verwendet:

„A VRLE allows the visualization of three dimensional (3D) data and provides an interactive environment that reinforces the sensation of an immersion into computergenerated virtual world. Additionally, a VRLE offers the opportunity to simulate a realistic and safe environment for learners to perform specific tasks” (HUANG et al. 2010: 1171).

Unter *Virtual Reality Learning Environments* sind somit auch immersive Erlebnisräume gemeint. Die Ausstattung mit Komponenten zum sozialen Austausch sind möglich, allerdings hier keine Voraussetzung. Die oben genannte Definition lässt somit die Möglichkeit offene komplexe Interaktionsräume zu bezeichnen wie z.B. „Second Life“ (LINDEN LAB), die die Hauptkomponenten von *Virtual Reality Learning Environments* und *Virtual learning Environments* umfassen – also komplexe *Virtual Reality*-Welten, innerhalb welcher Austausch möglich ist und welche immersiv abspielbar sind. Eingeschlossen sind aber auch individuelle VR-Erlebnisräume innerhalb derer unter Umständen keine Interaktion zwischen *Usern* nicht vorgesehen ist.

In der Arbeit wird weitgehend auf die oben verwendeten englischen Begriffe verzichtet, obwohl diese dominant in der Literatur vertreten sind. Als Überbegriff wird allgemein „VR-Lernanwendungen“ verwendet. Damit sind alle Anwendungen gemeint welche sich dem Medium VR bedienen und mit der Intention Lernziele zu erreichen eingesetzt werden. Mit VR-Applikationen sind einzelne Anwendungen bezeichnet welche das Medium VR verwenden und auf einem elektronischen Medium, wie Smartphones, Tablets oder Desktop-Rechner ausgeführt werden können. VR-Lernanwendungen, welche Erlebnisräume darstellen, werden als VR-Lernraum und synonym als VR-Lernumgebung bezeichnet. Im Unterschied dazu stellt der Begriff VR-Lernplattform immersive virtuelle Lernplattformen nach den Kategorien von PAN et al. (2006) dar. Den Rahmen für den Einsatz in der Schule bildet in den meisten Fällen das sogenannte mobile Lernen, welches im Anschluss erläutert werden soll.



Abbildung 13 Second-life
 (<https://lindenlab.files.wordpress.com/2008/11/classroom.jpg>; Zugriff: 09.02.2018)



Abbildung 12 Virtual Reality als Erlebnisraum
 (https://media.schneemenschen.de/image/cms/4448_virtual_reality.jpg; Zugriff: 08.04.2018)

2.4.2 Mobiles Lernen

Die Inhalte der Diplomarbeit bewegen sich im Rahmen des sogenannten mobilen Lernens (im Englischen: *Mobile Learning*). Hierbei werden mobile Endgeräte wie Tablets oder Smartphones, in den Unterricht integriert. Durch die schnell voranschreitende technische Entwicklung und die heutzutage weite Verbreitung entsprechender, leistungsstarker Geräte, wird der Einsatz im Unterricht zunehmend attraktiver und praktikabler. Um den Kontext des mobilen Lernens zu erläutern, sollen im Folgenden zwei verschiedene Ansätze vorgestellt, sowie ein kurzer Einblick in die theoretische Debatte zu den Potentialen und Risiken gegeben werden.

Beim mobilen Lernen werden abhängig vom Zugang und der Art der Bereitstellung der Geräte häufig zwischen *Top Down* und *Bottom Up* unterschieden. Kommt ein *Top Down*-Ansatz zur Anwendung werden die nötigen mobilen Endgeräte von der Institution selbst zur Verfügung gestellt. Es wird dadurch „auf bestehende Strukturen und Handlungspraktiken des Schulunterrichts aufgesetzt“ (SEIPOLD 2013: 42). Während dieser Ansatz mit vergleichsweise hohen Kosten in der Anschaffung verbunden ist, bietet er den Vorteil, dass alle SchülerInnen die gleichen Lernvoraussetzungen vorfinden. Dies kann unter Umständen, besonders „strukturell benachteiligten Lernenden“ (SEIPOLD 2013: 42) zu Gute kommen. Im Gegensatz dazu greift der *Bottom up*-Ansatz auf verfügbare technologische Geräte, zum Beispiel auf Smartphones der SchülerInnen, zurück. Er steht somit unter dem Motto *Bring Your Own Device*. Damit ist diese Variante wesentlich kostengünstiger und macht darüber hinaus von dem beinahe flächendeckenden Vorhandensein mobiler Endgeräte Gebrauch. Ein weiterer wesentlicher Vorteil ergibt sich daraus, dass SchülerInnen mit ihren eigenen Geräten im Umgang bereits geübt sind. Dadurch können sie in der Anwendung intensiver auf ihre „Routinen, Kompetenzen und ihr Wissen“ (SEIPOLD 2013: 44) zurückgreifen. Ein Negativpotential liegt auf der anderen Seite darin, dass eine beinahe flächendeckende Ausstattung mit Smartphones nicht garantiert, dass alle Lernenden ein entsprechendes Gerät besitzen. Dadurch können sich unter Umständen „infrastrukturelle Herausforderungen“ (SEIPOLD 2013: 44), die sich tendenziell auf strukturell benachteiligte Lernende negativ auswirken können, ergeben. Allerdings ist es eine Herausforderung, die oftmals „Gelegenheiten zum Peer-Teaching oder zur kollaborativen Wissensarbeit“ (SEIPOLD 2013: 44) bieten können und sich im Endeffekt somit auch positiv auf den Unterricht auswirken können.

Die theoretische Debatte weist eine Tendenz zur positiven Beurteilung des mobilen Lernens auf. Seipold identifiziert fünf verschiedene Argumentationslinien, auf die im Folgenden kurz eingegangen werden soll. Während die kritisch-reflexive und die ethnisch ausgerichtete Argumentationslinie zur Vorsicht mahnen, unterstreichen die lerntheoretischen, ressourcenorientierten sowie kulturökologischen Ansätze die Potentiale (SEIPOLD 2013: 34).

Aus einer „ersten affektiven Auseinandersetzung mit der Nutzung von Mobiltechnologien in schulischen Kontexten und außerhalb der Schule“ ist die kritisch-reflexive Argumentationslinie in ihrem Ursprung „als Reaktion auf die Problematisierung der Thematik zu verstehen“ (SEIPOLD 2013: 35). Über die Jahre hat sich dieser Ansatz jedoch von einer radikalen Ablehnung und Tabuisierung von Mobiltechnologien im Unterricht zur Befürwortung eines

verantwortungsvollen Umgangs weiterentwickelt. Er steht mittlerweile für eine „regulierte[...] Akzeptanz mobiler Technologien in schulischen Kontexten und im Alltag“ (SEIPOLD 2013: 35). Die ethnisch ausgerichtete Argumentationslinie setzt ihr Augenmerk auf den Schutz von Persönlichkeitsrechten und „rechtlichen Fragen zum Eigentum an Bild, Ton [und] Lernmaterialien“ (SEIPOLD 2013: 35). Essentiell ist dabei „ethnische Standards vorab zu bedenken und dort, wo es möglich ist, gemeinsam zu erarbeiten“ (SEIPOLD 2013: 35).

Aus lerntheoretischer Perspektive werden wesentliche Vorteile und Stärken des mobilen Lernens betont. Hierzu zählen zum Beispiel „Lernerzentrierung, Interaktion, Flexibilität und Nachhaltigkeit im Lernprozess“ (SEIPOLD 2013: 35). Durch die Möglichkeiten der Personalisierung und Individualisierung wird eine „Abkehr von lehrerzentrierten Unterrichtsformen wie Frontalunterricht sowie von der Ausrichtung auf eine Prüfungsorientierung und Fokussierung auf Leistungsmessung“ (SEIPOLD 2013: 35) begünstigt. Ressourcenorientierte Ansätze sehen in einem *Top Down*-Ansatz die Chance eine infrastrukturelle Gleichstellung zwischen SchülerInnen herzustellen und somit zum Ausgleich sozialer Ungleichheiten beitragen zu können. Die kulturökologische Argumentationslinie versteht Mediennutzung als etwas Alltägliches. Durch den alltäglichen Gebrauch mobiler Technologien „bringen Lernende Handlungskompetenzen und kulturelle Praktiken hervor, die auch im Rahmen schulischen Lernens aufgegriffen werden können“ (SEIPOLD 2013: 35–36). Dadurch können wesentliche Schnittstellen zwischen Alltag und Unterricht geschaffen werden (SEIPOLD 2013: 35–36).

Die theoretische Debatte macht unterschiedliche Einschätzungen und Einstellungen gegenüber dem Einsatz mobiler Endgeräte im Unterricht sichtbar, allerdings scheinen die Vorteile zu überwiegen und die Nachteile durch einen professionellen Einsatz oftmals vermeidbar zu sein. An dieser Stelle endet das Kapitel der Kontextualisierung. Im nächsten Kapitel folgt eine geschichtliche Einbettung, die auf die wichtigsten Meilensteine der technischen Entwicklung von VR fokussiert ist, und so weiter zum grundlegenden Verständnis der Lesenden beitragen soll.

3 Historischer Überblick

In diesem Kapitel wird die Geschichte des Mediums der virtuellen Realität von den 1960er Jahren bis heute anhand wesentlicher Meilensteinen skizziert. Es ist die Entwicklung einer Technologie an dessen Anfang eine Idee stand, die lange noch nicht technisch umsetzbar war.

Im Jahr 2017 befindet sich *Virtual Reality* (VR) jedoch nicht nur in einem seit einiger Zeit stetigem Aufwind, sondern weist mittlerweile auch ein großes Spektrum an verschiedenen Einsatzszenarien auf. Der folgende Rückblick beginnt in den 1960er Jahre und schließt mit einer Einschätzung über die weitere Entwicklung von VR.

3.1 1960er Jahre: „Ultimate Display“

Obwohl der Begriff *Virtual Reality* erst ungefähr 20 Jahre später geprägt wurde, sind bereits in 1960er Jahren wesentliche Grundsteine zur Entwicklung von VR gelegt worden. Viele sehen in Ivan Sutherlands Vorstellung des Konzepts eines „Ultimate Displays“, die erste wissenschaftliche Beschreibung von *Virtual Reality*, entsprechend dem heutigen Verständnis. Ebenfalls von Sutherland wurde diese Idee im selben Jahrzehnt in Form des vermutlich ersten *Head Mounted Display* - wenn auch mit wesentlichen Einschränkungen - technisch umgesetzt.

SUTHERLAND stellte die Idee einer virtuellen Welt in seiner Schrift „Ultimate Display“ im Jahr 1965 vor. Er beschreibt dieses als „a looking glass into a mathematical wonderland“ (SUTHERLAND 1965). In seiner Beschreibung bleibt es allerdings nicht nur bei einem Fenster in eine virtuelle Welt. Die Nutzer und Nutzerinnen haben auch die Möglichkeit mit der virtuellen Realität zu interagieren. Aktionen haben nach SUTHERLANDS Vorstellung Folgen, allerdings können im ‚mathematischen Wunderland‘ andere Gesetze der Logik gelten als dies in der physikalischen Welt der Fall wäre. Das vielleicht größte Potential eines „Ultimate Displays“ liegt laut Sutherland in genau dieser Möglichkeit. Können die Regeln zu geändert werden, wird die Möglichkeit eröffnet Konzepte zu erforschen, die in der realen Welt so nicht erlebbar wären (SUTHERLAND 1965). SUTHERLANDS Beschreibung bzw. Definition eines „Ultimate Displays“ reicht somit sehr nahe an aktuelle Vorstellungen von virtueller Realität heran.

Wenige Jahre später beschreibt Sutherland seine Versuche ein *Head Mounted Display* herzustellen. Sein Experiment gelingt ansatzweise, dennoch stößt er auf große technische Herausforderungen bzw. Einschränkungen. Im Nachwort weist SUTHERLAND auf seine Überraschung hin, wie schwierig sich die Herstellung eines *Head Mounted Displays* erweisen würde (SUTHERLAND 1968).



Abbildung 14 Head Mounted Display mit tracking System 1968 (SUTHERLAND 1968)

Trotz technischer Einschränkungen lassen sich sowohl SUTHERLANDs Konzept des „Ultimate Displays“, sowie die Herstellung des vermutlich ersten *Head Mounted Display* als Meilensteine der VR-Forschung bezeichnen. Bereits zu diesem frühen Zeitpunkt waren drei der noch heute als wesentlich geltende Komponenten von VR gegeben: Eine computergenerierte Welt, die Abbildung durch ein *Head Mounted Display* und die Möglichkeit mit der Welt mit Hilfe eines *Tracking-Systems* zu interagieren (FUCHS 2015). Auf der anderen Seite können SUTHERLANDs Versuche auch als erste winzige Schritte auf einem langen Weg von der Idee bis zur massentauglichen Technologie bezeichnet werden.

3.2 1980 und 1990er Jahre: Technologischer Fortschritt und Kommunikation

In den 1980er Jahren wurden weitere wesentliche Meilensteine erreicht. Im Bereich der Technik vollzogen sich viele Entwicklungen, die die Umsetzung der immer prominenter werdende Idee einer virtuellen Realität in scheinbar greifbare Nähe rückten. Das Interesse in der Forschung, aber auch im kommerziellen Bereich stieg. Außerdem wurde erstmals der Begriff der *Virtual Reality* geprägt. In den 1990er Jahren kam ein weiterer wesentlicher Faktor hinzu: VR erfreute sich zunehmender medialer Präsenz.

In den 1980er Jahren fanden für die VR-Entwicklung wesentliche Quantensprünge sowohl im Bereich der Mikrochips als auch der Displays statt. Gleichzeitig befassten sich bereits diverse ForscherInnen mit dem Thema *Virtual Reality* (FUCHS 2015). Als besonders wichtiger *Player* dieser Zeit wird dabei Jaron Lanier hervorgehoben. Er war nicht nur der Gründer von „VPL Research“ - eine der ersten Firmen die sich mit der Entwicklung von von VR Hardware als auch Software Komponenten befasste – ihm wird darüber hinaus auch die Prägung des Begriffs *Virtual Reality* im Bereich der Forschung nachgesagt. Noch ein wenig früher, dennoch in den 1980er Jahren, soll der Begriff außerdem erstmals im Science-Fiction-Genre, in DAMIEN BRODERICKs Buch „Judas Mandala“ Erwähnung gefunden haben (BRODERICK 2009).

In einem Keynote-Vortrag anlässlich einer 50-Jahresfeier des Instituts für Informatik der Universität North Carolina beschreibt FUCHS die 1980er und 90er Jahre als positiv und hoffnungsvoll. Nicht zuletzt auf Grund der Bemühungen von Menschen wie Jaron Lanier, die sich dafür einsetzten die Idee einer virtuellen Realität auch für Laien verständlich zu machen, wurde VR nicht nur zunehmend greifbarer, sondern auch für die Medien interessanter. Dieses steigende Interesse wirkte sich gleichzeitig auch positiv auf die Finanzierung von Forschungsprojekten aus. Während die 1980er und 1990er Jahre demnach von einer gewissen Aufschwungstimmung gekennzeichnet waren, folgte darauf eine Phase der Ernüchterung.

FUCHS (2015) beschreibt die Folgejahre gar als „VR-Winter“ - eine Zeit in der nicht nur Firmen wie VPL Research Konkurs anmelden mussten sondern auch Forschungsaktivitäten tendenziell wieder zurückgingen (FUCHS 2015).

Ein wesentlicher Grund für diese Eiszeit, dürfte die immer noch hinterherhinkende technische Entwicklung gespielt haben (FUCHS 2015). Anfang der 2000er Jahre sollte es immer noch mehr als zehn Jahre dauern bis der Wunsch über Prototypen hinaus Produkte zu entwickeln, deren Vermarktung schließlich rentabel wäre, greifbar wurde. Noch im Jahr 2010 kommen zum Beispiel HUANG et al. zu dem Schluss, dass die Technologie noch nicht massentauglich sei. Für einen breiten Einsatz im Kontext Schule schätzten sie die Kosten für die notwendige *Hardware*-Ausstattung damals als zu teuer ein (HUANG et al. 2010: 1180). 2014 sollte wiederum eine neue Phase eingeläutet werden.

3.3 Jahr 2014: Investitionswelle

Obwohl auch die voranschreitende technische Entwicklung nicht unerwähnt bleiben sollte, war das Jahr 2014 für die Entwicklung von *Virtual Reality* (VR) vor allem massive finanzielle Investitionen im kommerziellen Bereich von Bedeutung. In jenem Jahr und dem darauffolgenden verkündeten mehrere *Global Player*, hohe Investitionen und brachten so neuen Schwung in die Entwicklung von VR im Bereich *Hardware* sowie *Software*.

Im März 2014 verkündete „Facebook“ den Kauf eines VR-Startups namens „Oculus“. Dieses Investment stellte den Startschuss für die Entwicklung des heute bekannten *Head Mounted Displays* (HMD) „Oculus Rift“ dar. Die investierte Summe lag hierbei im Jahr 2014 bei ungefähr zwei Milliarden US-Dollarn (DREDGE 2014). Im Oktober desselben Jahres investierte „Google“ 542 Millionen in ein anderes junges Unternehmen namens „Magic Leap“ welches sich anders als „Oculus“ mehr auf *Augmented Reality* als den verwandten Bereich der *Virtual Reality* fokussiert (DREDGE 2015). „Microsoft“ verkündete schließlich im Jahr 2015, dass bereits mehrere Jahre im Geheimen an der Entwicklung einer Brille mit dem Namen „Hololens“ – ebenfalls zur Abbildung von *Augmented Reality* - gearbeitet wurde (STUART 2015).

Technisch war 2014 im Gegensatz dazu nicht von großen Neuerungen oder Erfindungen geprägt, allerdings kann an dieser Stelle durchaus die stetige Weiterentwicklung von mobilen Endgeräten erwähnt werden. So können zu diesem Zeitpunkt zum Beispiel handelsübliche aktuelle Smartphones immer komplexere Anwendungen abbilden. Mit der „Google

Cardboard“ die 2014 in ihrer Erstversion erscheint, wird das Smartphone als potentieller zukünftiges *Display* zum Abbilden von *Virtual Reality* etabliert.

Zusammenfassend ist das Jahr trotz weniger technischer Quantensprünge als prägend zu bezeichnen. Heute - nur drei Jahre nach Beginn der Investitionswelle - ist festzustellen, dass sich eine enorme Entwicklung vollzogen hat. Es ist davon auszugehen, dass es heute verglichen mit 2014 eine wesentliche höhere Zahl an Unternehmen, die sich mit dem Thema VR beschäftigen, gibt. Außerdem haben sich mittlerweile eine Vielzahl an Anwendungsbereichen entwickelt und es steht bereits eine große Bandbreite an verschiedenen Anwendungen sowie VR-Systemen zur Verfügung. Abzuschätzen, welche Entwicklung VR in den nächsten Jahren vollziehen wird, scheint dennoch schwierig. Trotzdem soll im nächsten Kapitel neben der Darstellung aktueller Entwicklungen auch auf mögliche Zukunftsperspektiven eingegangen werden.

3.4 Jahr 2017: Aktueller Stand und Zukunftsaussichten mit Fokus Österreich

Seit einigen Jahren kann bezüglich *Virtual Reality* (VR) ein Aufwärtstrend im kommerziellen Bereich, in der Forschung und im Kunst und Kultur Bereich beobachtet werden. Während von einer gewissen Massentauglichkeit gesprochen werden kann, ist die Verbreitung von *Virtual Reality* (VR) aber noch nicht mit anderen möglicherweise als technologischen Grundausstattungen zählenden Geräten wie zum Beispiel dem Radio, Fernseher, Computern oder Smartphones zu vergleichen. Trotz Massentauglichkeit durch billige Software und Geräte scheint die Technologie also noch nicht bei der Masse angekommen zu sein. Unter anderem dieser Umstand macht es derzeit schwierig vorauszusehen in welche Richtung sich VR entwickeln wird und vor allem in welchen die Technologie schließlich ein integraler Bestandteil werden wird.

Im Jahr 2017 scheint die Investitionswelle, die 2014 in Gang gesetzt worden ist, (noch immer) Wirkung zu zeigen. Die Anzahl an *Virtual Reality*-Anwendungen nimmt stetig zu und auch im Hardware Bereich ist ein Aufwärtstrend zu beobachten. Das Finanzvolumen von VR (inklusive AR) wurde im Jahr 2015 auf 8.1 Milliarden US-Dollar geschätzt – bis 2020 ist gar ein Anwachsen auf über 100 Milliarden prognostiziert (SINHA 2016). Mittlerweile reicht die Bandbreite einer Fülle an gratis Anwendungen über den *Low Cost*-Bereich bis hin zu *High End* Hardware und Software. Diverse cardboardbasierte Modelle sind mittlerweile für unter 10 Euro erwerbbar.

Verglichen mit der Unterhaltungsindustrie steckt die Entwicklung im Bereich Bildung zwar noch in den Kinderschuhen, aber auch hier ist eine Zunahme an Forschungsinteresse sowie Finanzvolumen zu beobachten. Darüber hinaus wird gerade im Bereich Bildung ein vergleichsweise großes Wachstum erwartet (SINHA 2016.-Zitiert in: RICHARDS 2017: 91). Zur Verfügung stehen neben einer Vielzahl an 360-Grad-Videos und einzelner Applikationen bereits auch Plattformen, die über die Anwendungen hinaus auch Unterstützungsangebote für Lehrende, wie zum Beispiel Unterrichtsplanungen bereitstellen. Zwei Beispiele hierfür sind die Plattformen „ClassVR“ (AVANTISSYSTEMS LTD.) oder „NushuAdventures“ (MINUSHU S.L.).

Die Forschung konzentriert sich derzeit Großteiles auf den englischsprachigen Raum. Im internationalen Vergleich findet Österreich als Standort oder auch Universitäten aus dem deutschsprachigen Raum keine nennenswerte Erwähnung (LIU et al. 2017: 119). Dennoch findet im vergleichsweise kleinen Rahmen natürlich auch in Österreich Forschung und akademischer Austausch zu dem Thema statt. 2016 wurde zum Beispiel eine Didaktik-Konferenz mit dem Namen „Digitaler Wandel in unserer Lebenswelt“ und dem Hauptschwerpunkt „Problemlösestrategien & Digitale Lernsettings für Augmented/Virtual Reality“ in Linz abgehalten (BMB 2016).

Gleichzeitig sind auch einige Anzeichen zu beobachten, die vermuten lassen, dass *Virtual Reality* auch in Österreich zunehmend Präsenz im halböffentlichen Raum, aber auch in der öffentlichen Debatte gewinnen wird. 2015 eröffnete zum Beispiel die erste VR Lounge Österreichs namens „VREI“ (SAM et al.) in Wien. Auch im Kulturbereich scheint die Beliebtheit zuzunehmen. Als Beispiel kann hier der Einsatz von VR in Ausstellungen wie zum Beispiel „Klimt's magic garden: a virtual reality experience“ im Museum für angewandte Kunst genannt werden (MAK). Als Beispiel aus dem öffentlichen Diskurs könnte die Abbildung von Schüler und Schülerinnen mit cardboardbasierten VR-Halterungen im „Plan A“, eine 2017 veröffentlichte Publikation der Sozialdemosozialdemokratischen Partei Österreichs, genannt werden (SPÖ 2017).



Abbildung 15 VR Abbildung im Plan A (SPÖ 2017: 69)



Abbildung 16 Screenshot Klimt's magic garden: a virtual reality experience (<https://bit.ly/2qcywcw>, Zugriff: 09.02.2018)



Abbildung 17 Screenshot VREI - eine virtual reality lounge in Wien (<https://vrei.at/>, Zugriff: 09.02.2018)

Auch wenn Prognosen über die weitere Entwicklung von VR schwirrig erscheinen, lässt sich zurzeit zumindest ein vielseitiger Einsatz in verschiedenen Bereichen erkennen, was durchaus auch als wahrscheinlicher für die Zukunft gesehen werden kann. Außerdem ist es eine relativ gesicherte Annahme, dass die Entwicklung von *Virtual Reality* noch nicht am Zenit angekommen ist und eines Tages weiterverbreiteter sein dürfte als heute. Die konkrete Entwicklung könnte vor allem davon abhängen in welchen Bereichen Wege gefunden werden die Potentiale von VR so zu nutzen, dass für die Nutzer und Nutzerinnen ein Mehrwert spürbar wird. Gleichzeitig müssen nicht nur die Potentiale genutzt werden, sondern auch die sich ergebenden Einschränkungen und Nachteile ausgeglichen sowie passend zu den spezifischen Anforderungen und Zielen adäquate Anwendungen entwickelt werden.

In Kapitel 5 soll ein Teil dem Herausfiltern genau dieser Potentiale und Einschränkungen für den Anwendungsbereich Bildung gewidmet werden. Zuvor wird allerdings in Kapitel 4 noch ein kritischer Blick auf den aktuellen Stand der Forschung geworfen. Ziel dabei ist es das relativ junge Forschungsfeld zu charakterisieren, sowie etwaige Lücken in der Forschung ausfindig zu machen.

4 Forschungsüberblick

Forschungsaktivitäten im Bereich *Virtual Reality* nehmen seit einigen Jahren kontinuierlich zu. Mittlerweile scheint bewiesen, dass der Einsatz von *Virtual Reality* im Unterricht tendenziell zu mehr Motivation, Exploration und einem gesteigerten Gefühl der *Presence* führen kann – allerdings steht auch fest, dass diese Effekte nicht automatisch mit besseren Lernergebnissen korrelieren. Es gilt das scheinbare Paradox „liking is not learning“. Daraus ergibt sich ein Spannungsfeld, in dem es noch viel zu erforschen gibt. Im folgenden Kapitel soll ein kurzer kritischer Forschungsüberblick über das aktuelle und junge Forschungsfeld des Einsatzes von VR-Lernanwendungen im sekundären Bildungsbereich gegeben werden. Ziel ist es hierbei vor allem die Forschung zu charakterisieren, darzustellen was derzeitige Forschungsschwerpunkte sind, welche Annahmen mittlerweile als gesichert gelten und wo noch größere Lücken bestehen. Daraus ergeben sich in weiterer Folge auch Empfehlungen in welche Richtungen noch geforscht werden könnte.

4.1 Statistik

Die *Virtual Reality*-Forschung befindet sich in einem seit vielen Jahren anhaltenden stetigen Wachstum und widmet sich mittlerweile vielen verschiedenen Einsatzmöglichkeiten in der

Medizin bis zum Journalismus aber auch in der Bildung. Die Forschung ist dabei stark im englischsprachigen Raum verankert, aber auch im asiatischen Raum ist eine nicht unwesentliche Aktivität zu erkennen. Im Folgenden soll eine kurze grobe Charakterisierung des Forschungsfeldes hauptsächlich anhand verschiedener Statistiken erfolgen.

Insgesamt hat das Forschungsinteresse gemessen an publizierten Artikel zum Thema *Virtual Reality* im Bildungskontext in den letzten Jahrzehnten stark zugenommen. Seit 1995 hat die sich die Zahl von unter 10 veröffentlichten Artikeln in der „Web-of-science-Datenbank“ auf knapp unter 140 pro Jahr zugenommen. Dabei ist besonders seit 2013 ein kontinuierliches Wachstum zu beobachten.

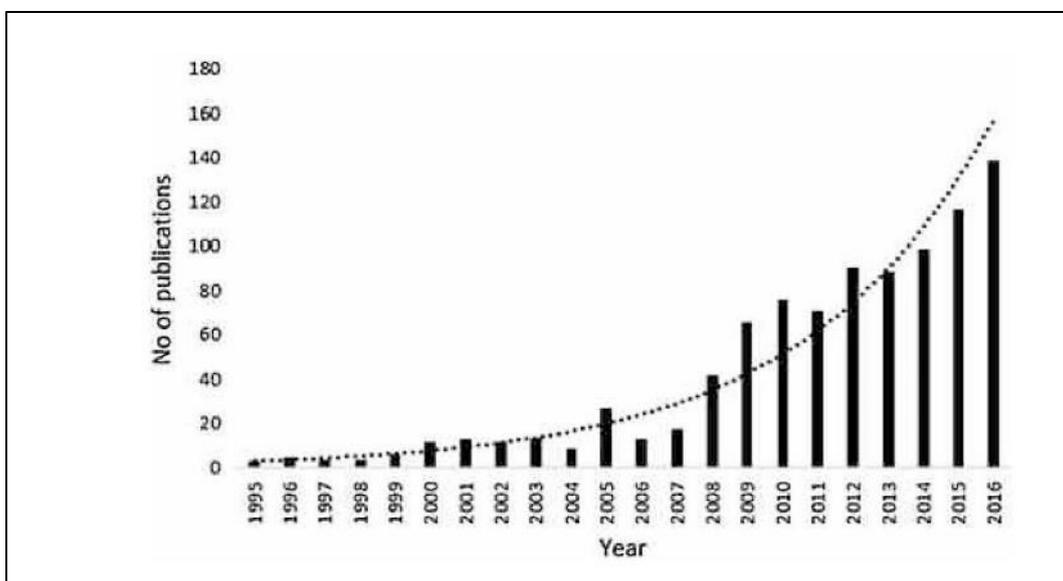


Abbildung 18 VR im Bildungskontext: Das Wachstum von Veröffentlichungen von 1995-2016 webofscience database (LIU et al. 2017: 115)

Die räumliche Verteilung betrachtend lässt sich beobachten, dass die USA mit dem ungefähr dreifachen Volumen an publizierten Artikeln vor dem Nachfolger Großbritannien steht. Vier der zehn publikationsfreudigsten Länder gehören dem englischsprachigem Raum an. Werden diese vier – die USA, Großbritannien, Kanada und Australien – zusammengezählt, wurden dort 540 Artikel veröffentlicht. Im ostasiatischen Raum wurden 132 gezählt. 111 entfielen auf nicht-englischsprachige EU-Länder (Spanien, Niederlande, Griechenland) und 23 auf die Türkei.

	Country/Regions	TA
1	USA	316
2	UK	100
3	Chinese Taipei	94
4	Canada	70
5	Spain	64
6	Australia	54
7	Peoples R China	38
8	Netherlands	26
9	Turkey	23
10	Greece	21

Abbildung 19 Die 10 produktivsten Länder nach der Anzahl der veröffentlichten Artikel (LIU et al. 2017: 118)

Nach Sektoren auseinanderdividiert, spielt Bildung in der VR-Forschung bzw. im kommerziellen Bereich eine wesentlichen Rolle. Nach der Spielindustrie, dem Militär und dem Gesundheitswesen steht Bildung derzeit an vierter Stelle und bis 2020 vermutlich sogar am dritten Platz des geschätzten Finanzvolumens. Von 2015-2020 wird im Bereich der Bildung außerdem vergleichsweise das größte Wachstum erwartet. Würde die hier separat angeführte Kategorie des *Industrial Trainings* ebenfalls zur „Bildung“ gezählt, würde diese bereits heute auf Platz zwei rangieren (SINHA 2016.- Zitiert in: RICHARDS 2017: 91)

Sector	2014	2015	2020	CAGR% 2015–2020
Gaming	1404.50	2521.40	32,030.40	66.3
Military	1051.00	1839.90	20,808.90	62.4
Healthcare	636.7	1150.20	15,115.70	67.4
Education	548.8	1025.40	15,591.60	72.3
Industrial training	496.8	901.8	12,315.70	68.7
Others	362.2	661.3	9337.70	69.8
Total	4500.00	8100.00	105,200.00	67.0

Abbildung 20 Zahlen/Industrien (SINHA 2016.-Zitiert in: RICHARDS 2017: 91)

Auch ein detaillierterer Blick auf verschiedenen Einsatzbereiche im sekundären Bildungsbereich scheint lohnend. MIKROPOLOUS und NATSIS (2011) kamen in einer Untersuchung 2010 etwa zu dem Schluss, dass sich der Einsatz in naturwissenschaftlichen Fächern und sozialwissenschaftlichen tendenziell unterscheidet. In den Naturwissenschaften, der Bereich in dem VR deutlich häufiger genutzt wurde, wurden *Virtual Reality*-Anwendungen

hauptsächlich für die „information and knowledge organization“ verwendet, sowie für die Darstellung von „concepts and notions out of the everyday experiences, experimental nature of phenomena, spatial perception and orientation, visual perception“ (MIKROPOULOS u. NATSIS 2011b: 776). In sozialwissenschaftlichen Fächern hingegen wurde VR eher zur Darstellung von existenten Orten verwendet. Hier lag bzw. liegt der Fokus also eher auf der Ausnutzung von „virtual environments in order to contextualize rather than abstract instruction, provide real world case based environments, and enable context and content dependent knowledge construction“ (MIKROPOULOS u. NATSIS 2011b: 776).

4.2 Lücken in der Forschung

Eine der Fragen, der in der bildungsspezifischen *Virtual Reality*-Forschung bis jetzt viel Aufmerksamkeit geschenkt wurde, ist, ob sich der Einsatz von *Virtual Reality* -Anwendungen positiv auf den Lernprozess auswirkt oder nicht. Eine weitverbreitete Annahme dabei ist „that the directness of the experience the student has of the environment that immersion affords, and the naturalness of the interactions, will improve the student's ability to understand the phenomena that the VE simulates“ (WINN et al. 2002: 1). Die empirischen Untersuchungen weisen gerade in Bezug auf diese Annahme allerdings eine große Bandbreite verschiedener Ergebnisse auf, wodurch trotz vieler Untersuchungen bis heute keine als gesichert geltenden Schlüsse gezogen werden können. Auf der anderen Seite gibt es derzeit noch wenig Forschung, die statt der Sinnhaftigkeit an sich nachzugehen, sich der Frage widmet, welche spezifischen Komponenten einen erfolgreichen Einsatz von *Virtual Reality* -Anwendungen im Unterricht fördern. Im folgenden Kapitel soll eine kritische Auseinandersetzung mit dem aktuellen Forschungsstand in diesem Bereich dargestellt werden

Nach mittlerweile mehr als einem Jahrzehnt der Forschung im Bereich von VR-Lernanwendungen, existieren gewisse Grundlagen, die als relativ gesichert gelten und vor allem wenig bis nicht kontrovers diskutiert werden. Viele Autoren und Autorinnen kommen zum Beispiel dem Schluss, dass virtuelle Technologien im Unterricht tendenziell die Motivation von Lernenden fördern (CHITTARO u. RANON 2007), sich gut für einen konstruktivistischen Unterricht eignen (HUANG et al. 2010; MIKROPOULOS u. NATSIS 2011b; WINN et al. 2002; YOUNGBLUT 1998; MILLS u. MADALENA 1999) und spezifische Interaktionsmöglichkeiten erlauben, die andere Medien nicht bieten können (MARTÍN-GUTIÉRREZ 2017). Außerdem wird *Virtual Reality* mittlerweile Großteiles als leistbar und verfügbar eingeschätzt (STOJŠIĆ et al. 2016; (JANßEN et al. 2016); RICHARDS 2017). MARTÍN-GUTIÉRREZ (2017) fasst diese Grundlagen wie folgt zusammen:

1. Virtual technologies increase students' motivation and engagement. Students have an immersive experience and feel as protagonists, while studying 3D models that enhance their learning experience.

2. Virtual technologies allow a constructivist approach of learning. Students are free to interact with virtual objects and other students. As a result, students can investigate, experiment, and obtain feedback, resulting in an experience that improves their learning.

3. Virtual technologies are now affordable and accessible. Recent technological advances ease access to VR/AR with smartphones, tablets, and videogame devices. Complex devices are not a requirement anymore, and students can access to shared VR contents through common online platforms such as YouTube. In addition, disabled students have easier access to virtual environments and are able to interact with virtual objects and other students.

4. Virtual technologies allow more interaction than conventional learning materials. By using VR/AR, students feel immersed while interacting with concepts, objects and processes by using headsets, tactile gloves, and motion sensors. This immersion permits to experiment environments with realistic objects that could not be accessible otherwise (MARTÍN-GUTIÉRREZ 2017: 479–480).

In einem vergleichsweise jungen Forschungsfeld, dem es bis jetzt nicht gelungen ist, sich auf eine gemeinsame Definition der zentralen Begriffe zu einigen, könnte diese relativ einheitliche Grundlage als Erfolg gesehen werden. Die Aufzählung der Vorteile alleine löst allerdings die viel diskutierte Frage nach dem Mehrwert von VR-Anwendungen im Unterricht nicht. Der Vergleich von immersiven und nicht-immersiven VR-Anwendungen (Erklärung siehe Kapitel 2.2) zeigte bisher eine höhere Motivation und eine stärkere Ausprägung des Gefühls der *Presence* bei immersiven Anwendungen. Dennoch konnte bis jetzt keine Korrelation zwischen gesteigerter Motivation und größeren Lernerfolgen nachgewiesen werden.

Genau in diesem Umstand, liegt vermutlich eine der größten aktuellen Herausforderungen der VR-Forschung im Bildungskontext. Mittlerweile gibt es eine Vielzahl empirischer Untersuchungen sowie theoretische Auseinandersetzungen im Bestreben heraus zu finden ob immersive *Virtual Reality* anderen Abbildungsformaten wie zum Beispiel *Desktop*-Anwendungen überlegen ist. Dabei ergibt sich ein äußerst durchwachsenes Bild. Einige empirische Untersuchungen zeigen, dass immersive Darstellungsformen im Vergleich zu nicht-immersiven zu besseren Lernergebnissen führen (ALHALABI 2016; WEBSTER 2016; PASSIG et al. 2016). Andere stellen kaum bis keine Unterschiede zwischen den beiden Formaten fest

(WINN et al. 2002; MELDRUM et al. 2015; LEE et al. 2017). Weitere schließen nicht aus, dass ein höherer Grad an Immersion auch zu schlechteren Lernergebnissen führen kann (MAKRANSKY et al. 2017). ALHABIBI (2016) sowie PASSIG et al. (2016) kommen zu dem Schluss, dass ein höherer Grad an Immersion tendenziell zu besseren Lernergebnissen führt (ALHALABI 2016: 925; PASSIG et al. 2016: 305). Auf der anderen Seite sehen Autoren wie MAKRANSKY et al. (2017), gerade bei *High Cost* und hoch-immersiven Anwendungen das Risiko der *Cognitive Overload* als gegeben, welches sich negativ auf den Lernprozess auswirken kann. Während hoch-immersive Anwendungen tendenziell zu einer besonders hohen Ausprägung des Gefühls der *Presence* führen als weniger immersive Anwendungen, kann genau dies auch zu einer Ablenkung von dem zu Lernenden führen und damit letztendlich schlechtere Lernergebnissen bedingen. MAKRANSKY et al. (2017) fassen dieses scheinbare Paradox mit „liking is not learning“ zusammen (MAKRANSKY et al. 2017: 11).

Gemeinsam haben die meisten empirischen Studien in diesem Kontext, dass sie nicht repräsentativ sind bzw. keine allgemein gültigen Schlüsse zulassen (LIU et al. 2017: 122). Dies liegt allerdings nicht nur am oftmals fehlendem Umfang vieler empirischen Studien, insgesamt stellt sich auch die Frage, ob der Fokus überhaupt der richtige sei und was zum Beispiel eine oftmals als Forschungsdesign gewählte Gegenüberstellung von immersiven und nicht-immersiven Anwendungen genau misst. Auf den ersten Blick scheint es sich um eine sinnvolle Gegenüberstellung zu handeln, allerdings könnte argumentiert werden, dass im Endeffekt verschiedene Ausgangssituationen verglichen werden. Wird zum Beispiel eine Anwendung die eigentlich für einen *Desktop*-Einsatz konzipiert wurde, 1:1 auf *Virtual Reality* umgelegt und dann verglichen, ist nicht garantiert, dass die VR-spezifischen Anforderungen genügend Beachtung gefunden haben. Wird eine Anwendung außerdem pädagogisch nicht angemessen eingebettet oder verfolgt sie zum Beispiel Lernziele, die für die Abbildungsart der VR nicht geeignet sind, kann ein Vergleich ebenfalls hinken. DALGARNO und LEE (2010) fassen dies folgendermaßen zusammen: „Comparisons between 2-D and 3-D environments that control the learning design across environments would be likely to only demonstrate the trivial fact that if the unique affordances of 3-D VLEs [(Virtual Learning Environments)] are not harnessed within the learning design, there will be minimal unique learning benefits“ (DALGARNO u. LEE 2010).

Aus der Fokussierung auf das Bestreben zu beweisen, ob *Virtual Reality* als ein überlegenes Medium bezeichnet werden kann, ergibt sich neben der möglichen Unmachbarkeit noch eine zweite Schwierigkeit. Durch den Fokus rücken andere relevantere Fragen in den Hintergrund.

Vor allem das eher zurückhaltende Forschungsinteresse, welche Komponenten für einen erfolgreichen Einsatz im Sinne einer Ausnutzung der spezifischen Potentiale zu beachten sind, sei hier kritisch angemerkt. Bereits 2010 und 2011 wiesen DALGARNO und LEE (2010) sowie MIKROPOLOUS und NATSIS (2011) darauf hin, dass es mehr Untersuchungen brauchen würde herauszufinden, welche Charakteristiken und Aspekte von VR-Lernumgebungen es pädagogisch auszunützen gilt (DALGARNO u. LEE 2010: 27; MIKROPOULOS u. NATSIS 2011: 778). 2017 kommen LIU et al. (2017) zu einem ähnlichen Schluss. Sie beschreiben unter anderem ein Fehlen von genügend Klarheit darüber, welche Lernziele zum Medium VR passen (LIU et al. 2017: 123). MAKRANSKY et al.(2017) sprechen ebenfalls von „limited research examining learning principles within simulations and VR, and thus few evidence based guidelines for developing learning content in highly immersive environments“ (MAKRANSKY et al. 2017: 3). Dabei könnte genau dies eine wichtige Voraussetzung sein dem Mehrwert von VR-Anwendungen auf den Grund zu gehen. Denn nur unter Beachtung der spezifischen Anforderungen und Potentiale ist es möglich einen aussagekräftigen Vergleich mit anderen Abbildungsformaten durchzuführen.

Eine andere Schwierigkeit, die es nicht nur in der Forschung sondern auch im kommerziellen Bereich zu überwinden gilt, ist die in der Literatur oftmals vermerkte fehlende Schnittstelle zwischen pädagogischem Personal und Entwicklern und Entwicklerinnen, die bei der Konzipierung von VR-Anwendungen oftmals fehlt oder nur mangelhaft vorhanden ist (DALGARNO u. LEE 2010). Dies könnte sich ebenfalls negativ auf die pädagogische Qualität von VR-Anwendungen auswirken.

Um sich den beschriebenen Herausforderungen stellen zu können, könnte es wichtig sein *Virtual Reality* weder als mögliches Allheilmittel, noch als unnütze Spielerei ohne jeglichen Mehrwert zu sehen. Vielmehr sollte VR als eine von vielen Möglichkeiten gesehen werden Lerninhalte anschaulich darzustellen. Es gibt Themen, für die sich VR als Abbildungsart anbietet und anderen Formaten überlegen ist, während es umgekehrt Themen gibt, die sich anders besser darstellen lassen. Es ist naheliegend, dass sich manche Lehrende beim Einsatz der vergleichsweise neuen Technologie wohlfühlen und mit deren Unterrichtsszenarien VR-Anwendungen kompatibel sind. Auf der anderen Seite wird es Lehrende geben, die mit anderen Abbildungsformaten bessere Lernergebnisse erzielen können. Aus all diesen Gründen könnte der Versuch zu beweisen, dass VR zu besseren Lernergebnissen führt als wenig ertragreich eingestuft werden. Stattdessen könnte die VR-Forschung stark davon profitieren,

wenn Kriterien für erfolgreiche VR-Einsätze definiert und in einem weiteren Schritt auch empirisch überprüft werden würden.

Auf Basis des oben präsentierten Forschungsüberblicks erscheint es wichtig in diese Richtung zu forschen. Aus diesem Grund liegt der Fokus der vorliegenden Arbeit auf der Erarbeitung von Entwicklungsgrundlagen, sowie der Entwicklung einer VR-Lernumgebung, die diesen entspricht. Der Umfang der dafür notwendigen theoretischen Vorarbeiten und der Programmieraufwand lassen im Rahmen dieser Arbeit leider keine zusätzliche empirische Überprüfung, die den Anspruch einer gewissen Repräsentativität erfüllen würde, zu. In der vorliegenden Arbeit wurde daher von einer empirischen Untersuchung zugunsten einer fundierten theoretischen Aufarbeitung der Entwicklungsgrundlagen und einer darauf aufbauenden Entwicklung einer VR-Lernanwendung abgesehen. Die Arbeit leistet damit primär einen theoretischen Beitrag, der als Grundlage für empirische Untersuchungen herangezogen werden kann. LIU et al. (2017) definieren in ihrer Analyse von 975 Publikationen zum Thema zehn Forschungslücken. Drei davon sollen in den folgenden Kapiteln gestreift werden:

„To certify the teaching objects that fits the VR technology, design adequate system contents and explore the effective teaching strategies and principles in VR learning environment“ (LIU et al. 2017: 123)

„Cognitive overload should be fully considered when constructing a virtual learning environment. Both the scene design and the organization of learning materials will avoid causing overload in cognition“ (LIU et al. 2017:123).

„To provide relevant trainings for teachers and students about technology use and operation. Also, the expansibility of products should be improved and the users are allowed to edit and regulate the content by themselves“ (LIU et al. 2017: 124)

An dieser Stelle wurde neben einer Einleitung ins Thema durch eine Kontextualisierung und einen historischen Überblick auch die Grundlage für das gewählte Forschungsdesign der vorliegenden Arbeit dargestellt. Es folgen nun die Hauptkapitel der Arbeit, welche sich der theoretischen Auseinandersetzung mit Entwicklungsgrundlagen zum Konzipieren von VR-Lernumgebungen widmet. Das nächste Kapitel gliedert sich in einen allgemeinen Teil in die Kriterien zur Entwicklung und Planung immersiver VR-Lernumgebungen für den GW-Unterricht, sowie eine grobe Analyse der sich daraus ergebenden Kriterien der österreich-spezifischen Rahmenbedingungen. Der erste Teil gliedert sich wiederum in Vorüberlegungen (Eigenschaften und Potenziale, „*Virtual Reality*“-Systeme, Design, Inhalt, Lerntheoretische

Grundlagen) und dem Einsatz in der Schule (Beispiele möglicher Stolpersteine und Lösungsansätze, Einbettung im Unterricht, e.

Schulumfeld). Die Analyse österreich-spezifischer Rahmenbedingungen widmet sich drei Themen: Die fachlichen und fachdidaktischen Aspekte, die Infrastruktur sowie der Lehramtsausbildung in Bezug auf den Einsatz neuer Medien im Unterricht.

5 Entwicklungsgrundlagen von „Virtual Reality“-Lernumgebungen

„The goal of this experience is to *deceive* us and represent a *truth* that can educate, train, entertain, and inspire. In their ultimate form, virtual environments (VEs) immerse users in an alternate *reality* that stimulates multiple senses, providing vibrant experiences that are so veridical they fundamentally transform those exposed (e.g., via training, educating, marketing, or entertaining)” (BLADE u. PADGETT 2015: 3).

Es ist anzunehmen, dass viele, die bereits eine *Virtual Reality*-Erfahrung gemacht haben, zustimmen, dass *Virtual Reality* prinzipiell das Potential hat „vibrant experiences that are so veridical they fundamentally transform those exposed“ bereitstellen kann (BLADE u. PADGETT 2015: 3). Soll VR im Bildungskontext zum Einsatz kommen, gilt es dieses Potential zu nutzen um gute oder sogar bessere als mit anderen Abbildungsformaten erzielbare, Lernergebnisse zu erreichen. Das nächste Kapitel widmet sich daher den Kriterien, die bei der Entwicklung einer VR-Lernumgebung zu beachten sind. Dabei soll sowohl auf grundlegende Überlegungen wie die spezifischen Eigenschaften des Mediums VR und die damit einhergehenden Potentiale, aber auch auf pädagogische Aspekte, insbesondere mögliche Stolpersteine im Unterricht, eingegangen werden. Abschließend wird die Situation in Österreich beleuchtet. Dabei sollen auf der einen Seite die in diesem Kontext relevanten fach- und fachdidaktischen Besonderheiten aufgezeigt, aber auch die politischen und infrastrukturellen Rahmenbedingungen skizziert werden.

In Kombination ergibt sich aus der Zusammenfassung der wichtigsten Punkte eine Entwicklungsgrundlage, welche in Teilen allgemeine Gültigkeit und in anderen Teilen auf die spezifischen Anforderungen des Fachs Geographie und Wirtschaftskunde (GW) zur Entwicklung von VR-Lernumgebungen zugeschnitten ist. Im darauffolgenden Kapitel werden die Ergebnisse übersichtlich dargestellt und können als eine Richtschnur für die Entwicklung von VR-Lernumgebungen herangezogen werden.

Als solcher soll die Zusammenfassung der Entwicklungsgrundlage einerseits für Lehrende als auch Entwickler und Entwicklerinnen verständlich sein und jeweils die wichtigsten Aspekte aus beiden Bereichen beinhalten. Dadurch soll die Zusammenarbeit zwischen diesen, die in der Literatur oftmals als wichtiger Baustein zur Entwicklung theoretisch fundierten Anwendung genannt wird (DALGARNO u. LEE 2010), erleichtert werden. Die Fokussierung auf den GW-spezifischen Kontext bietet darüber hinaus die Möglichkeit für dieses Fachgebiet die Analyse zu vertiefen.

5.1 Vorüberlegungen

Der erste Abschnitt der Entwicklungsgrundlage widmet sich generellen Vorüberlegungen, welche für die Entwicklung von vermutlich einem Großteil von *Virtual Reality*-Lernumgebungen relevant sind. Diese Überlegungen basieren vor allem auf den technischen Rahmenbedingungen und Eigenschaften des Mediums VR aber auch grundlegenden pädagogisch und didaktischen Entscheidungen die im Vorfeld zu treffen sind, um somit die Besonderheiten von VRs als Lernräume im Gegensatz zu anderwärtigen Anwendungsbereichen von Anfang an miteinbeziehen zu können.

5.1.1 Eigenschaften und Potenziale

Ein Hindernis in der VR-Forschung im Bildungskontext ist, dass oftmals Lernanwendungen untersucht werden, die dem Medium VR zum Beispiel inhaltlich nicht entsprechen (siehe Kapitel 4.2). Es stellt sich daher die Frage, welche Kriterien zur Wahl passender Inhalte und Designs herangezogen werden können. Eine Herangehensweise ist dabei die Eigenschaften und Stärken der Technologie zu nutzen und so Mehrwerte gegenüber anderer digitaler oder analoger Materialien zu schaffen. Für die meisten Fälle kann daher als Grundregel festgehalten werden, dass „VR systems should be used to simulate a concept which is difficult for the user to visualize“ (MILLS u. MADALENA 1999: 454). Die Möglichkeiten, entsprechende VR-Lernumgebungen zu entwickeln, ergeben sich aus den VR-spezifischen Eigenschaften und den den darauf aufbauenden Lernangebotspotentialen (im englischen *Learning Affordances*), auf welche in diesem Kapitel eingegangen werden soll.

Ganz nach der ursprünglichen *Virtual Reality* Vorstellung Sutherlands, ist auch heute noch eines der größten Potentiale von VR-Lernumgebungen, dass Erfahrungsräume kreiert werden können, die sich ähnlich wie die physikalische Welt anfühlen, die logischen Gesetze dieser Welt aber frei festlegbar sind (siehe Kapitel 3.1). Im Bildungskontext ist es notwendig diese

Gesetze nach pädagogisch und didaktischen Gesichtspunkten festzulegen. Insbesondere in Simulationen kann es auch sinnvoll sein auf die Änderung der physikalischen Gesetze zu verzichten; die Entscheidung dazu sollte aber in jedem Fall bewusst getroffen werden. Über diese Möglichkeit hinaus gibt es spezifische Eigenschaften, die es zu nutzen gilt, um einen pädagogischen Mehrwert zu schaffen. MIKROPOLOUS und NATSIS (MIKROPOULOS u. NATSIS 2011b: 769–770) definieren zum Beispiel vier technologische sowie sieben spezifische Eigenschaften, die pädagogisch wertvoll verwendet werden können. Technologisch bilden die folgenden Eckpunkte die Rahmenbedingungen:

1. Räumliche 3D Repräsentationen
2. Multisensorische Kanäle
3. Immersion
4. Intuitive Interaktion (MIKROPOULOS u. NATSIS 2011b: 769–770).

Die „räumliche 3D Repräsentation“ von Inhalten ist eine Eigenschaft, die isoliert betrachtet keinen Unterschied zu anderen, nicht immersiven digitalen Formaten wie zum Beispiel die Abbildung durch Monitore festlegt. Auch virtuelle Welten, die auf Monitoren abgebildet werden, können als räumliche 3D Repräsentationen bzw. virtuelle Umgebungen, wie sie häufig in Computerspielen vorkommen, bezeichnet werden. Im Gegensatz zu analogen Materialien ist jedoch ein Unterschied gegeben. Die Möglichkeiten zur Erschaffung von 3D Umgebungen sind auf digitale Weise weitaus größer als in analoger Form. Auch die zweite Eigenschaft der „multisensorischen Kanäle“ bietet andere Möglichkeiten als analoge Mittel, aber stellt auch eine Unterscheidung zu Desktop-Anwendungen dar. Es ist zwar bei nicht-immersiven auch möglich multisensorische Kanäle zu nutzen, allerdings sind durch die auch gegebene Immersion in Abhängigkeit vom verwendeten VR-System (siehe Kapitel 5.1.2) wesentlich mehr und intensivere Anwendungsmöglichkeiten vorhanden. Die dritte Eigenschaft der „Immersion“ stellt den wohl eindeutigsten Unterschied zu Desktop-Anwendungen dar. Es ist nicht eindeutig bewiesen, ob sich die Immersion an sich positiv auf Lernergebnisse auswirken kann (siehe Kapitel 4.2), nichtsdestotrotz deuten Studien darauf hin, dass sie ein exploratives Lernen fördert. Winn et al. (2002) haben gezeigt, dass Lernende die Möglichkeit der Exploration in einer immersiven Umgebung intensiver nutzen als zum Beispiel bei Desktop Anwendungen (WINN et al. 2002: 6). Die vierte Eigenschaft der „intuitiven Interaktion“ ergibt sich daraus, dass ein VRLE, trotz aller möglichen Unterschiede zur physikalischen Welt ähnlich dieser funktioniert. Eine intuitive Interaktion mit einer VRLE ist dadurch oftmals leicht herstellbar, was sich vor allem auf den Einsatz im Unterricht positive auswirken kann, weil ein langwieriges Erlernen der Navigation in den meisten Fällen nicht notwendig ist.

Zusätzlich zu den 4 technischen Eigenschaften zählen MIKROPOULOS und NATSIS (MIKROPOULOS u. NATSIS 2011b: 777) sieben weitere Eigenschaften auf:

1. Authentische Erfahrungen vor allem durch freie Navigation und einer Perspektive der ersten Person (first order experience)
2. Natürliche Semantik (natural semantics)
3. Größe/Maßstab (size)
4. Transduktion (transduction)
5. Verdinglichung (reification)
6. Autonomie (autonomy)
7. Presence (MIKROPOULOS u. NATSIS 2011b: 777)

Da eine virtuelle Welt ähnlich der physikalischen Welt funktioniert, ist eine "natürliche Semantik" oftmals automatisch gegeben. Dies erleichtert den Verzicht auf komplexen Symbolismus. In einer virtuellen Welt kann außerdem die Größe der Nutzer und Nutzerinnen bzw. der Maßstab der abgebildeten Umgebung geändert werden. Dadurch wird sowohl das Erforschen von Macro- als auch Microwelten möglich. Mit "Transduktion" meinen MIKROPOULOS et al. die Erweiterung "[of] the user's capability to feel data that would normally be beyond the range of their senses or experiences" (MIKROPOULOS u. NATSIS 2011b: 770). Die "Verdinglichung" ermöglicht darüber hinaus das Darstellen abstrakter Ideen in wahrnehmbaren Repräsentationen bzw. Objekten. VR-Lernumgebungen können außerdem als "Autonome Welten" konzipiert werden, die unabhängig von den Aktionen der Lernenden gewisse Abläufe verfolgen (z.B. die Rotation um einen Punkt) (MIKROPOULOS u. NATSIS 2011b: 777). „*Presence*“ also das Gefühl vor Ort zu sein, ist in einer immersiven VR-Umgebung meist vergleichsweise hoch. Dies kann sich positiv auf den Lernprozess auswirken, allerdings ist eine eindeutige Korrelation nicht gesichert (siehe Kapitel 2).

Die meisten der angeführten Eigenschaften sind als Möglichkeiten zu verstehen. Je nach Fach und Thema wird sich die Beachtung beziehungsweise die Nutzung bestimmter Eigenschaften anbieten und eine gute Grundlage für erfolgreiche VR-Lernumgebungen darstellen. Außer *Presence* sind die meisten der sieben Eigenschaften auch in anderen digitalen Abbildungsformaten nutzbar; die Bandbreite an Interaktionsmöglichkeiten und die Erfahrung weisen aber auf Grund der ersten drei der technologischen Eigenschaften in jedem Fall andere Qualitäten auf. Für den Geographie- und Wirtschaftskundeunterricht dürften dabei die Möglichkeit der Maßstabsänderung und damit verbunden die der Transduktion und die Verdinglichung besonders bedeutend sein. Die Möglichkeit geographische Daten in

verschiedenen Maßstabsebenen, statt bloß darzustellen für einzelne Lernende erkundbar und erfahrbar zu machen, stellt einen wesentlichen Vorteil von VR-Lernumgebungen dar.

Während die Wahl passender Inhalte die Vorteile des Mediums *Virtual Reality* nutzbar machen kann, ist auf der anderen Seite auch zu bedenken, dass ein Missachten der Stärken zum Beispiel durch das Wählen von Inhalten, die durch eine Darstellung einer räumlichen Repräsentation nicht profitieren, nicht nur wenig zielführend ist. Unter Umständen kann dies sogar eine negative Auswirkung auf den Lernerfolg haben. Auch zu beachten ist, dass dem potentiellen Vorteil der Immersion auf technischer Ebene auch gewisse Einschränkungen in der Navigation und Interaktion gegenüberstehen. Anders als zum Beispiel vor einem Computer, kann in einer immersiven VR-Umgebung nicht mit einem *Cursor* oder einer Tastatur interagiert und gesteuert werden. So ist die Bedienung auf der einen Seite zwar intuitiver, aber auf der anderen Seite diverser Möglichkeiten beschnitten. Diesen tendenziellen Einschränkungen müssen sich Entwickler und Entwicklerinnen bewusst sein, jedoch sind nicht alle davon unumgänglich wie beispielsweise gewisse Navigationsmöglichkeiten bzw. Unmöglichkeiten. Eine kurze Darstellung verschiedener VR-Systeme inklusive der jeweiligen Möglichkeiten und Einschränkungen werden im Kapitel 5.1.2 besprochen.

Aus einer Analyse der Eigenschaften und Stärken der Technologie, ergeben sich einige Aspekte die eine VR-Lernumgebung erfüllen sollte, um das eigene Potential möglichst auszunutzen. DALGARNO und LEE (2010) fassen fünf Lernangebotspotentiale (im Englischen *Learning Affordances*) für VR-Lernanwendungen zusammen. Nach ihnen bieten sich diese vor allem für die Entwicklung von Raumverständnis, *Engagement* sowie Experimentelles, Kontextuelles und kollaboratives Lernen an (DALGARNO u. LEE 2010: 18-23). MILLS und MADALENA (MILLS u. MADALENA 1999: 455). streichen dabei drei Punkte heraus, die im Entwicklungsprozess auch als Eckpfeiler herangezogen werden können:

1. should exploit the visualisation of the world it portrays;
2. encourage the student to explore and to learn through constructing their own knowledge patterns;
3. should increase the student's motivation for learning by allowing the student to feel a sense of presence within the world (MILLS u. MADALENA 1999: 455).

.Eine ganzheitliche Betrachtung sowie die Miteinbeziehung der aufgezählten Eigenschaften und Lernangebotspotentiale ist eine wichtige Grundlage vieler Entscheidungen bei der Entwicklung von VR-Lernumgebungen. Bezüglich der Lerntheorie ergibt sich daraus zum

Beispiel eine Empfehlung für die Einbettung in konstruktivistische Lernszenarien (siehe Kapitel 5.1.5), aber auch die Wahl des Inhalts sollte angepasst sein (mehr dazu Kapitel 5.1.4). Besonders die technischen Eigenschaften haben darüber hinaus auch Auswirkung auf die Wahl des VR-Systems, die ebenfalls eine Rolle im Entwicklungsprozess spielen kann. In den nächsten Kapiteln werden diese Themen näher erörtert.

5.1.2 „Virtual Reality“-Systeme

Heutzutage ist die Auswahl an verschiedenen *Head Mounted Displays* groß. Sie unterscheiden sich untereinander in Art der Interaktionsmöglichkeiten, Kapazitäten aber für die Schule besonders relevant auch wesentlich in den Kosten. Je nach finanziellen Mitteln einer Schule können entsprechende Geräte angeschafft werden, da allerdings eine Ausstattung in Klassengröße optimal ist, empfehlen sich vor allem Vorrichtungen aus dem *Low Cost* Bereich in Kombination mit einem *Bring Your Own Device*-Ansatz. Für die Entwicklung empfiehlt es sich daher zumindest auch für cardboardbasierte Halterungen zu konzipieren. Im Folgenden soll ein kurzer Überblick über die verschiedenen VR-Systeme gegeben werden sowie für den Unterricht relevante Überlegungen präsentiert werden.

Im Groben können VR-Systeme in zwei große Gruppen unterteilt werden: mobil (*Low Cost*) und stationär (*High End*). Unter stationär fallen jene Systeme, die zur Abbildung auf einen stationären Computer zugreifen. Das *Head Mounted Display* (HMD) ist hier nur stationär nutzbar, das System hat aber eine weitaus höhere Kapazität als mobile Vorrichtungen. Solche *High End* Geräte, zu denen zum Beispiel die „Oculus Rift“ zählt, eignen sich zur Abbildung hochkomplexer Programme. Mobile Geräte sind auf der anderen Seite leistungsschwächer aber ohne stationären Computer nutzbar. *Low Cost* VR-Systeme sind entweder mit einem integrierten Display ausgestattet oder können in Kombination mit einem Smartphone verwendet werden. Der prominenteste Vertreter letzterer Gruppe ist die sogenannte „Google Cardboard“.

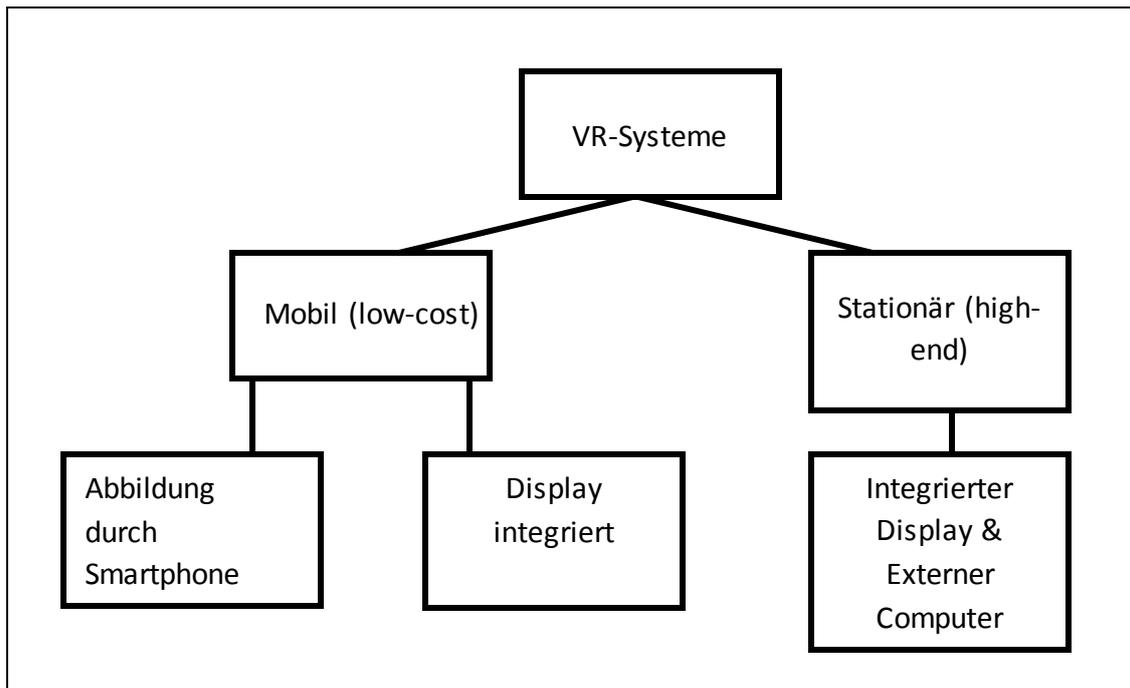


Abbildung 21 VR-Systeme (eigene Darstellung)

All die aufgezählten VR-Systeme können *Gaze Based* sein, die Interaktion mit der VR-Umgebung funktioniert hierbei über einen Punkt im Sichtfeld oder mit zusätzlichen Controllern sowie *Tracking*-Systemen verwendet werden. Letzterer Varianten verfügen über erweiterte Interaktions- und eventuell auch die Navigationsmöglichkeiten.

Zu den Entscheidungskriterien, welches *Virtual Reality*-System für den Einsatz im Schulkontext gewählt werden soll, dürften sowohl die Praktikabilität im Klassenzimmer als auch die Kosten zählen. Beide Kriterien betreffend sind hier meist mobile VR-Systeme stationären Vorrichtungen überlegen. Mobile Geräte sind zwar leistungsschwächer, jedoch die

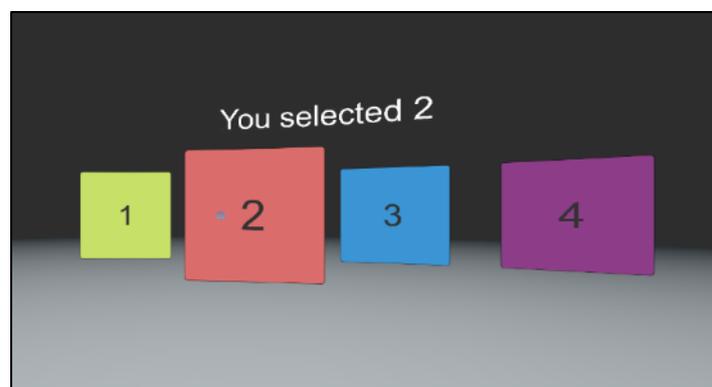


Abbildung 22 Gaze Based Interaction (https://cdn-images-1.medium.com/max/1750/1*t3YRB1W4tYJwPKiyVgp31g.png; Zugriff 08.04.2018)

Möglichkeit das Medium abseits von zum Beispiel Computerräumen nutzen zu können ist für den Einsatz im Unterricht oftmals nicht nur förderlich, sondern auf Grund der infrastrukturellen Voraussetzungen notwendig. Zusätzlich dazu haben mobile VR-Systeme den Vorteil, dass sie im Allgemeinen kostengünstiger sind als leistungsstarke stationäre Vorrichtungen.

Innerhalb der mobilen Vorrichtungen kann wieder zwischen jenen mit integriertem Display und cardboardbasierten Halterungen unterschieden werden. Integrierte Displays haben den Vorteil, dass sie ohne weitere Geräte verwendbar sind. Ist dieses VR-System in Klassenstärke verfügbar, stehen allen Lernenden die gleichen Mittel zur Verfügung. Cardboardbasierte Vorrichtungen kommen in Kombination mit einem Smartphone zum Einsatz und werden daher in der Schule meist mit einem *Bring Your Own Device*-Ansatz verwendet. Neben den geringeren Kosten bringen cardboardbasierte Vorrichtungen eine vergleichsweise längere Aktualität mit sich, da Schüler und Schülerinnen ihre mobilen Endgeräte tendenziell laufend aktualisieren. Im Gegensatz dazu kann es passieren, dass VR-Systeme mit integrierten Displays bereits nach ein paar Jahren veraltet sind.

Low Cost Cardboardbasierte Vorrichtungen sind wiederum in verschiedensten Ausführungen zu haben. Die Kostenspanne reicht dabei von unter zehn Euro für eine Kartonvariante hin zu aktuell rund 80 Euro für die „Google Daydream“ (GOOGLE). Zusätzliche Eingabemöglichkeit über Funksteuerungen sind mittlerweile auch ab zehn Euro zu haben. Im Vergleich dazu liegt der Preis für das stationäre *High-End* VR-System „Oculus Rift“ (FACEBOOK) bei rund 500 Euro zuzüglich die Kosten für die Anschaffung eines leistungsstarken Computers.

Für die Konzipierung einer *Virtual Reality*-Lernanwendung gilt es in jedem Fall auf die erwartete Ausstattung von Schulen Rücksicht zu nehmen. Verfolgen Schulen einen *Bring Your Own Device*-Ansatz müssen diese zum Beispiel den Kapazitätsmöglichkeiten aktueller Smartphones angepasst sein. Laut Eurostat haben 2016 bereits mehr als 80 aller 16- bis 74-Jährigen das Internet benutzt. 79% dieser Nutzungen erfolgte dabei über ein Smartphone. Von Personen zwischen 16-24 Jahren sogar 94% (EUROSTAT PRESS OFFICE: 1–2). Diese Daten lassen zwar nicht direkt auf die Verbreitung von Smartphones schließen, es kann aber von einer großen, beinahe flächendeckenden Ausstattung besonders bei Jungen ausgegangen werden. Weiters gilt es die Ausführung der jeweiligen VR-Systeme zu beachten. Wenn keine zusätzlichen Controller verwendet werden sollen, erfolgt die Interaktion mit der VR-Umgebung nur über Blicke (im Englischen *Gaze Based*). Letztere Entscheidung ist auch für die

Entwicklung eines Anwendungsdesigns wesentlich. Diese und andere designrelevante Fragen werden im nächsten Kapitel näher beleuchtet.

5.1.3 Design

„Didactics/Pedagogy must drive technology and not vice versa! (dt. Die Didaktik muss die Technologie führen und nicht umgekehrt.)“ (HANDKE 2015: 14).

Im folgenden Kapitel sollen Einblicke in die Entwicklung des Designs von *Virtual Reality*-Lernumgebungen gegeben werden. Dabei sollen zum einen wesentliche Begriffe wie *Cognition Overload*, *User Experience* und *Usability* erklärt als auch erörtert werden, was die VR-spezifischen Besonderheiten aber auch der Anspruch Lernen zu fördern für den Designprozess bedeuten. Wie viele Studien bereits gezeigt haben, stehen messbare Lernerträge nicht in direkter Korrelation mit Faktoren wie Spaß, Motivation oder Grad der gefühlten *Presence*. Hohe Werte können unter Umständen sogar zu *Cognition Overload* führen und somit eine Minderung der Lernerfolge bedeuten. Anders als bei Anwendungen die auf einen hohen Spaßfaktor abzielen, sollte daher bei jeder designrelevanten Entscheidung vor allem auf die angestrebte Lernerfahrung Rücksicht genommen werden. Konzepte wie *User Experience*, *Usability*, *Likability* und *Usefulness* nehmen dadurch einen anderen Stellenwert ein als in anderen Entwicklungsprozessen. Für alle designrelevanten Entscheidungen ist dabei grundlegend, den kognitiven Prozessen der Lernenden folgen:

“The design of all scenes and the presence and organization of learning materials should follow the cognition process of the students, avoiding cognition overload in learning” (LIU et al. 2017: 126).

Eines der wichtigsten Konzepte im Designprozess vieler Anwendungen ist das der *Usability*. Darunter wird im Allgemeinen die Handhabbarkeit einer Anwendung verstanden. Eine Maximierung der *Usability* ist oft ein integraler Bestandteil eines Entwicklungsprozesses. Während auch für Lernanwendungen gilt, dass grobe *Usability*-Probleme in keinem Fall förderlich sind, gibt es viele Formen von *Usability Testing* und der Stellenwert entsprechender Überprüfungen variiert mit dem Umfang und den Ansprüchen der verschiedenen Anwendungen. GREENBERG und BUXTON (2008) argumentieren zum Beispiel, dass *Usability Testing* oftmals einen zu großen Stellenwert im Entwicklungsprozess einnimmt. Sie plädieren für eine gute Abwägung der Methodologie, abgestimmt auf spezifische Forschungsfragen (GREENBERG u. BUXTON 2008: 111) und auch dafür bewusste Entscheidungen zu treffen zu

welchem Zeitpunkt im Designprozess welche Aspekte überprüft werden sollen. Sie argumentieren „[i]n practice, good usability in many successful products often happens after – not before – usefulness. A novel and useful innovation (even though it may be hard to use) is taken up by people, and then competition over time forces that innovation to evolve into something that is more usable“ (GREENBERG u. BUXTON 2008: 116).

Im Bildungskontext stellt sich wie bei allen designrelevanten Aspekten auch in Bezug auf *Usability* vor allem die Frage nach den Auswirkungen auf den den Lernprozess. VIRVOUS und KATSIONIS zeigten im Jahr 2008, dass „[u]sability problems may cause distractions to student-players from the main educational goals of the games“ (VIRVOU u. KATSIONIS 2008: 177). Dies spricht dafür, dass grobe *Usability* Probleme in jedem Fall behoben werden sollten, allerdings beantwortet diese Erkenntnis nicht die Frage bis zu welchem Ausmaß *Usability* Auswirkungen auf den Lernprozess hat. Besonders im Bildungsbereich stehen im Entwicklungsprozess oftmals begrenzte Ressourcen zur Verfügung. Ist dies der Fall, muss abgewogen werden wie relevant einzelne Aspekte wie *Usability* sind – insbesondere bis zu welchem Level. Besonders bei kleinen Anwendungen wie einzelnen VR-Lernräumen könnte eine grobe *Usability* Überprüfung reichen um für die Ausarbeitung anderer Aspekte die unter Umständen relevanter für das Lernergebnis sind genügend Ressourcen zur Verfügung zu haben.

Im Falle, dass eine Überprüfung der *Usability* durchgeführt wird, sollte insbesondere bei VR-Anwendungen bedacht werden, dass es sich um eine neue Technologie handelt. Diese weisen tendenziell größere *Usability* Schwierigkeiten auf als älter, bereits vertrautere Technologien. Auftretende Probleme sind daher unter Umständen nicht auf mangelnde *Usability* zurückzuführen, sondern zumindest teilweise auch auf die Unvertrautheit der Nutzer und Nutzerinnen mit der Technologie selbst. Diese Annahme wird auch von den Ergebnissen von VIRVOUS und KATSIONIS (2008) verstärkt, die bei Erstnutzern und Erstnutzerinnen von *Virtual Reality* größere *Usability*-Probleme feststellen konnten als bei Testpersonen die bereits mit der Technologie vertraut waren (VIRVOU u. KATSIONIS 2008: 177). Wiederrum ist bei etwaigen *Usability* Tests das eigentliche Ziel hoher Lernergebnisse zu beachten. Ein direkter *Usability* Vergleich von nicht-immersiven und immersiven VR-Anwendungen kann vor dem beschriebenen Hintergrund zum Beispiel wenig Aussagekraft haben.

Ein weiteres wesentliches Konzept ist das der *User Experience*. Es handelt sich dabei um „[...] an umbrella term for qualitative experiences of a user during media reception or interaction with technology [...]. This includes subjective expectations, perception, emotions as well as

psychological and physiological reactions before, during or after media use [...]” (JANSEN et al. 2016: 47). Einen Teil der sogenannten *User Experience* macht auch die *Likability* aus. Wie bereits in Kapitel 2.2 erläutert, werden innerhalb der VR-Forschung oftmals die Indikatoren *Immersion*, *Presence* und *Flow* zur Überprüfung der *User Experience* herangezogen. Dabei zeigt sich dass “[...] likeability is proportional to the sophistication of the VR-environment of the game” (VIRVOU u. KATSIONIS 2008: 177). Allerdings gilt auch, dass Aspekte hoher Detaillierung - wie zum Beispiel hohe *Immersion*, Geräusche oder eine detailreiche Umgebung - nicht mit höheren Lernerfolgen korrelieren. Im Gegenteil kann eine hohe *Sophistication* auch zu *Cognitive Overload* führen und so den Lernprozess sogar behindern (MAKRANSKY et al. 2017; (WHITELOCK et al. 2000: 288).

Die oftmals angenommene Korrelation zwischen *Likability* und guten Lernergebnissen führt oftmals dazu, dass Überprüfungen der *User Experience* anhand von Indikatoren wie *Immersion* und *Presence* herangezogen werden, um den Erfolg einer Lernanwendung zu überprüfen (siehe Kapitel 2.2). Bei Messungen der *User Experience* trifft das gleiche zu, was GREENBERG und BUXTON für *Usability Testing* festlegen: Das Forschungsdesign zur Messung von *User Experience* muss der Forschungsfrage angepasst sein (GREENBERG u. BUXTON 2008: 111). Im Bildungskontext ist fraglich, ob die isolierte Frage nach dem Ausmaß der *User Experience* aussagekräftig ist, nachdem nicht die Maximierung der *User Experience*, sondern ein möglichst hoher Lernerfolg den Kern einer Lernanwendung ausmacht. Wird davon ausgegangen, dass *User Experience* kein Indikator für eine erfolgreiche Lernanwendung ist, kann eine Messung der *User Experience* nur soweit relevant sein, als das sie Aspekte umfasst die sich auf die messbare Lernerfahrung auswirken.

Eine relevante Überlegung für die Messungen sowohl der *Usability* als auch der *User Experience* ist der Grad der Freiwilligkeit mit der die *Virtual Reality*-Anwendung zum Einsatz kommen soll. VIRVOU und KATSIONIS (2008) stellten fest, dass *User* “[...] were more difficult to satisfy for home use of the educational game than in classrooms” (VIRVOU u. KATSIONIS 2008: 177). Für die Entwicklung bedeutet das, dass das Verhältnis zwischen *Usability* und *User Experience* zum Lernerfolg eventuell ein anderes ist, wenn die Anwendung für den Schulunterricht (geringe Freiwilligkeit) oder zum Beispiel zu Hause als freie Übungsmöglichkeit (hohe Freiwilligkeit) genutzt wird. Für den freiwilligen Einsatz ist vermutlich eine positivere *User Experience* wichtiger und eine geringe *Cognition Overload* eher zu vernachlässigen, da eine positive Erfahrung vermutlich als Anreiz dienen kann die Anwendung zum Lernen zu verwenden. Wird die Anwendung gar nicht verwendet, da sie dem potentiellen Nutzer und

Nutzerinnen nicht gefällt, ergibt sich in jedem Fall ein schlechteres Lernergebnis als wenn es bei einer Nutzung zu geringer *Cognition Overload* kommt. Ist die Verwendung eines VR-Lernraums von Lehrenden vorgeschrieben, kann auf der anderen Seite davon ausgegangen werden, dass ein Anreiz durch hohe *Likability* nicht notwendig ist. In diesem Fall ist ein möglichst hoher Lernerfolg durch didaktische Reduktion des VR-Lernumgebungen einem detailreichen Design vermutlich vorzuziehen.

Als Empfehlung für EntwicklerInnen, besonders von kleinen Anwendungen wie zum Beispiel einzelner Erlebnisräume ergibt sich daraus, dass die Wichtigkeit von *Usability Testing* nicht überbewertet werden sollte und außerdem *User Experience* in keinem Fall als Überprüfung für die *Usefulness* – die sich im Fall einer Lernanwendung unter anderem am Lernergebnis orientiert - herangezogen werden kann. Grobe *Usability*-Hemmnisse sollten allerdings auch bei Lernanwendungen aus dem Weg geräumt werden. Dabei ist es aber fraglich, in welchem Kosten/Nutzen-Verhältnis vor allem extensive *Usability*-Überprüfungen stehen. Vor allem wenn es sich um Lernanwendung handelt, die für den Einsatz in der Schule auf Basis einer gewissen „Unfreiwilligkeit“ basiert, kann zu einer vereinfachten Abbildung der Lernumgebung geraten werden um *Cognition Overload* zu vermeiden bzw. dieser zumindest entgegen zu wirken. In jedem Fall sollte sich das Design hauptsächlich an dem zu Grunde liegenden Ziel Lernerfahrungen zu fördern orientieren. Dabei gilt, dass Indikatoren wie Motivation, *Likability* oder gefühlte *Presence* nicht in jedem Fall mit Lernerfolgen gleichzusetzen sind.

5.1.4 Inhalt

In den meisten Fällen können immersive *Virtual Reality*-Lernumgebungen zu gesteigerter Motivation und einem gesteigerten Gefühl von *Presence* beitragen. Wie bereits mehrmals im Laufe der Arbeit erwähnt, sind allerdings nur in bestimmten Fällen damit einhergehend auch bessere Lernergebnisse zu erwarten. Um die Chancen auf gute Lernergebnisse zu erhöhen ist es wesentlich die technologischen Eigenschaften, Potentiale, Stärken und Schwächen von *Virtual Reality*-Anwendungen zu beachten und Inhalte zu wählen, die sich für diese Art der Abbildung besonders gut eignen. Darüber hinaus kann eine VR-Anwendung nur sinnvoll sein, wenn sie curricular eingebettet ist und sich für die Verfolgung bestimmter Lernziele eignet. Auch dies ist bei der Wahl des Inhalts zu beachten (STOJŠIĆ et al. 2016: 90).

Von den bereits beschriebenen vier technologischen Eigenschaften nach MIKROPOLOUS und NATSIS (MIKROPOULOS u. NATSIS 2011b: 769–770) (siehe Kapitel 5.1.1), dürften für die Wahl eines Themas besonders die Immersion und die 3D-Repräsentation eine wesentliche Rolle

spielen. Die Nutzung multisensorischer Kanäle kann ebenfalls zur Auswahl eines passenden Inhalts herangezogen werden, allerdings dürfte dies tendenziell nur bei speziellen Lernzielen, die durch die Stimulierung mehrerer Sinne besser zu erreichen sind, relevant sein. Die natürliche Semantik stellt darüber hinaus eine Grundlage dar, die für die Erreichung eines Lernziels in jedem Fall förderlich sein sollte.

Aus den technologischen Eigenschaften sowie der 3D Repräsentation lassen sich vor allem zwei Vorteile ableiten: Das Erlebarmachen von räumlichen Gegebenheiten und die Möglichkeit den umliegenden Raum individuell zu erkunden. Für die Konzipierung eines *Virtual Reality*-Lernraums sollten daher in jedem Fall Inhalte gewählt werden die potentiell von einer immersiven räumlichen Repräsentation profitieren. Auf die 3D Repräsentation beschränkt könnte dies im Kontext der Geographie und Wirtschaftskunde zum Beispiel das Erlebarmachen von Höhenunterschieden sein. Die Immersion an sich erlaubt ein individuelles Beobachten und Erkunden der Umgebung. Themen, die der Erkundung der Mehrperspektivität zu Grunde liegen, könnten sich hier zum Beispiel anbieten.

Ergänzend zum Themengebiet müssen auch die konkreten Lernziele auf eine Anwendung abgestimmt sein. Dabei können Anwendungen designt sein, die lediglich die Grundlage für Lehrende bilden, individuelle Lernziele verfolgen - beispielsweise die Chemie Schulanwendung „Waltzing Atoms“ (3DATAX), oder aber Anwendungen, welche primär für die Verfolgung bereits definiert Lernziele konzipiert sind (CHIN et al. 2017). Auch hier gilt, dass verfolgte Lernziele von einer immersiven räumlichen Repräsentation profitieren sollten, um die Wahrscheinlichkeit auf gute Lernergebnisse zu erhöhen.

Wie bei der Erstellung jedes Anschauungsmaterials für den Unterricht gilt auch für *Virtual Reality*-Anwendungen, dass die Inhalte in einem Lehrplan bzw. einem Curriculum eingebettet sein müssen. Derzeit ist ein Großteil der Forschung im angloamerikanischen Raum angesiedelt (LIU et al. 2017: 118) und auch die Entwicklungsaktivitäten scheinen Unternehmen wie „Google“ vorwiegend auf englische Anwendungen fokussiert zu sein. Es liegt daher die Vermutung nahe, dass auch VR-Lernanwendungen größtenteils auf curricularen Anforderungen dieser Gebiete zugeschnitten ist. Daraus ergibt sich Potential entsprechende Anwendungen auch für den deutschsprachigen Raum zu entwickeln.

5.1.5 Lerntheoretische Grundlagen

Lerntheorien bieten eine weitere wesentliche Grundlage zur Entwicklung einer *Virtual Reality*-Lernumgebung. Obwohl VR-Anwendungen nicht per se an eine bestimmte Lerntheorie gebunden sind, gibt es wissenschaftlich einen breiten Konsens, dass *Virtual Reality*-Lernumgebung besonders gute Voraussetzungen für konstruktivistische Unterrichtsszenarien bieten. Dies sollte auch in eine Konzipierung miteinfließen.

In einer Untersuchung von über 50 Quellen kommen MIKROPOLOUS und NATSIS (2017) zu dem Schluss, dass “[c]onstructivism seems to be the theoretical model the majority of the EVEs are based on” (MIKROPOULOS u. NATSIS 2011b: 769). Dies ergibt sich unter anderem daraus, dass *Virtual Reality*-Lernumgebungen die ein hohes Potential bieten Räume und Situationen lebensnah abzubilden, aber auch aus der freien Navigation der Lernenden die eine eigenständige Exploration der Umgebung ermöglicht.

Eine VR-Anwendung muss dabei nicht an sich konstruktivistisch sein, allerdings empfiehlt es sich eine Anwendung so aufzubauen, dass sie in konstruktivistischen Unterrichtsszenarien einsetzbar ist. Ist die Entscheidung auf die lerntheoretische Grundlage des Konstruktivismus gefallen, kann das Prinzip des *Conceptual Change* herangezogen werden wie es zum Beispiel in WINN et al. (2002) für eine VR-Lernapplikation zum Thema Wasserbewegungen geutzt wurde. Eine andere Möglichkeit wäre zum Beispiel nach den sieben Prinzipien von JONASSEN (1994) zu planen:

1. Provide multiple representations of reality – avoid oversimplification of instruction by representing the natural complexity of the world
2. Focus on knowledge construction not reproduction
3. Present authentic tasks (contextualizing rather than abstracting instruction)
4. Provide real world, case based learning environments, rather than predetermined instructional sequences
5. Foster reflective practice
6. Enable context, and content, dependent knowledge construction
7. Support collaborative construction of knowledge through social negotiation, not competition among learners for recognition -Zitiert in: (MIKROPOULOS u. NATSIS 2011b: 771–772)

Besonders bei der Einbeziehung lerntheoretischer Grundlagen zur Fundierung von *Virtual Reality*-Lernumgebungen, könnte eine Zusammenarbeit von pädagogischen Personal und Entwicklerinnen und Entwicklern besonders fruchtbar und vielleicht sogar notwendig sein. Besteht keine grundsätzliche Kooperation, könnte es hilfreich sein bezüglich des Punkts der

lerntheoretischen Grundlagen auf Fachwissen bzw. Beratung zurückgreifen und die geplante Lernanwendung theoretisch fundiert aufzubauen.

Lerntheoretische Grundlagen sind allerdings nicht nur für die Konzipierung relevant, sondern auch für den konkreten Einsatz in der Schule. Besonders im Zusammenspiel von Realität und Virtualität spielt hierbei eine fundierte lerntheoretische Grundlage eine wichtige Rolle. Im nächsten Kapitel soll unter anderem dieser Aspekt, aber auch mögliche Stolpersteine im Unterricht sowie Lösungsansätze beleuchtet werden.

5.2 Einsatz in der Schule

Die Effektivität von *Virtual Reality*-Lernanwendungen kann nicht entkoppelt vom jeweiligen Schulumfeld und dem konkreten Einsatz in der Schule beurteilt werden. *Virtual Reality*-Lernaumgebungen können nur erfolgreich sein, wenn die Anwendungen fachgerecht ins Schulumfeld integriert werden. RICHARDS (RICHARDS 2017: 94) definiert fünf Voraussetzungen die in diesem Zusammenhang gegeben sein müssen. VR-Komponenten, können laut ihm nur dann erfolgreich sein, wenn sie folgende Voraussetzungen erfüllen:

- Aligned to curriculum standards;
- Compliant to technological standards;
- Integrated into the curriculum;
- Linked to formative assessment; and
- Supported by professional development (RICHARDS 2017: 94).

.Im folgenden Kapitel sollen unter anderem die oben genannten Aspekte näher beleuchtet werden. Die zentralen Fragen des Kapitels sind welche Herausforderungen es beim Einsatz in der Schule zu meistern gilt, welche Faktoren zu erfolgreichen Szenarien führen können und was dies für die Entwicklung von *Virtual Reality*-Lernanwendungen im Allgemeinen bedeutet. Im Detail ist das Kapitel auf mögliche Stolpersteine im Unterricht, das Zusammenspiel von Realität und Virtualität sowie die Rolle des Schulumfelds und der Lehrenden fokussiert

5.2.1 Beispiele möglicher Stolpersteine und Lösungsansätze

Im Einsatz von *Virtual Reality*-Lernanwendungen im Unterricht ergeben sich spezifische Potentiale aber auch mögliche Stolpersteine die es möglichst zu vermeiden gilt. Im Folgenden sollen einige Beispiele solcher Stolpersteine dargestellt und mögliche Lösungen bzw. Vermeidungsvorschläge präsentiert werden.

5.2.1.1 *Bewegungskrankheit*

Ein derzeit häufiges Problem im Zusammenhang mit *Virtual Reality*-Anwendungen ist das Auftreten teils starker Übelkeitsgefühle. In der Literatur wird diese Erscheinung oftmals mit dem Begriff *Bewegungskrankheit* (im Englischen *Motion Sickness*) bezeichnet. Obwohl mit einer achtsamen Konzipierung dem Auftreten tendenziell entgegengewirkt werden kann, ist derzeit nicht absehbar, ob durch die Nutzung von *Virtual Reality* ausgelöste Symptome der *Bewegungskrankheit* jemals ganz auszuschließen sein werden. Für den Unterricht bedeutet das, dass sich Lehrende und Lernende dem Phänomen nicht nur bewusst sein müssen, sondern auch darüber in Kenntnis gesetzt sein sollten welche Verhaltensweisen im Fall eines Auftretens hilfreich sein können.

Es scheint mittlerweile relativ unbestritten, dass das Gefühl der *Bewegungskrankheit* generell durch einen ‚sensorischen Konflikt‘ entsteht. Erzeugt die Immersion in einer virtuellen Realität das Gefühl einer Bewegung, bleibt der physikalische Körper der Nutzer und Nutzerinnen aber unbewegt, hat das Gehirn widersprüchliche Reize zu verarbeiten. Dieser sensorische Konflikt kann sich verschieden auswirken. Während manche keine Symptome zeigen, können bei anderen Übelkeit und Schwindel auftreten. Derzeit ist noch nicht genug erforscht, ob bei mehrmaliger Nutzung Gewöhnungseffekt auftreten können. Es ist zwar denkbar aber noch nicht bewiesen, dass durch eine regelmäßige Nutzung keine Symptome von *Bewegungskrankheit* mehr auftreten. Auch gibt es Hoffnung, dass in der Zukunft technische Lösungen gefunden werden können, um dieses Phänomen zu umgehen. Allerdings ist auch nicht auszuschließen, dass das Problem ungelöst bleiben wird (RICHARDS 2017: 101).

Entwickler und Entwicklerinnen können zwar das Risiko nicht komplett ausschalten, technisch stehen allerdings diverse Möglichkeiten zur Verfügung, um das Risiko zu schmälern. RICHARDS (2017) nennt hier zum Beispiel drei Hauptmaßnahmen: “(1) fast view update (2) otherwise good quality image (3) minimize use of continuous movement, in favor of jump or teleport [...]” (RICHARDS 2017: 101). Besonders für Lernanwendungen empfiehlt es sich daher, diese so zu konzipieren, dass Nutzer und Nutzerinnen das Gefühl einer statischen Position im Raum haben. Außerdem sollte die Anwendungen auch im nicht-immersiven Format durchführbar sein um Lernenden, die besonders betroffen sind, eine Alternative zu bieten.

Da das Risiko von *Bewegungskrankheit* zurzeit nicht auszuschließen ist, sollten sich sowohl Lehrende als auch Lernende der Möglichkeit bewusst sein, sowie über Alternativen informiert und bereit sein diese auch zu nutzen.

5.2.1.2 Infrastrukturelle Voraussetzungen

Zu den infrastrukturellen Mindestvoraussetzungen um einen reibungslosen Ablauf ermöglichen zu können, zählen vor allem eine der Aufgabenstellungen entsprechende Ausstattung mit *Virtual Reality*-Systemen sowie eine verlässliche und leistungsstarke kabellose Internetverbindung.

Wie umfangreich die Ausstattung der Lernenden mit VR-Systemen sein muss, hängt stark von den Aufgabenstellungen die im Zusammenhang mit der jeweiligen Anwendung zu lösen sind ab. Sind die Aufgaben individuell und von allen Lernenden zeitgleich zu bearbeiten, braucht es so wie auch RICHARDS (2017) argumentiert mindestens eine ‚one-to-one-device to user ratio‘ (RICHARDS 2017: 91). Ist dies der Fall ist aber ein *Bring Your Own Device*-Ansatz beinahe ausgeschlossen, da auch eine beinahe flächendeckende Ausstattung der SchülerInnen mit entsprechender Smartphones nicht ausreichen würde. Es müssten im Klassenzimmer also zusätzliche Smartphones oder VR-Systeme mit integriertem Display verfügbar sein, um auch bei wenigen fehlenden *Head Mounted Displays* die Unterrichtssequenz ungestört durchführen zu können.

Ein anderer Ansatz wäre, die begleitenden Aufgabenstellungen so anzulegen, dass ein gleichzeitiges Eintauchen aller SchülerInnen in der virtuellen Umgebung nicht zwingend notwendig ist. Für den Unterricht könnte es auch förderlich sein, wenn sich Lernende abwechseln. Fällt die Entscheidung der EntwicklerInnen bzw. der Lehrende auf zweites Szenario, sollte auch eine Mindestausstattung im Verhältnis von einem VR-System pro zwei bis drei SchülerInnen ausreichen. Doch entsprechend der finanziellen Mitteln einer Schule, könnten auch weitaus weniger Geräte ausreichen. STOJŠIĆ (2016) empfiehlt zum Beispiel eine Ausstattung von mindestens sechs VR-Systemen (STOJŠIĆ et al. 2016: 92).

Eine weitere wichtige infrastrukturelle Voraussetzung ist eine leistungsstarke kabellose Internetverbindung. Die Rahmenbedingungen in Europa sind hier relativ gut. RICHARDS (2017) spricht von einer fast flächendeckenden Internetausstattung, wobei aus der Statistik nicht hervorgeht, ob es sich hierbei um W-lan oder Lan-Verbindungen handelt (RICHARDS 2017: 91). Für den Fall, dass SchülerInnen auch zu Hause mit der VR-Anwendung üben können, sollten Entwickelnde in jedem Fall darauf achten, dass Anwendungen nicht zu viel Datenvolumen verbrauchen. Dies ist auch für den Fall, dass Schüler und Schülerinnen in Bildungseinrichtungen auf ihr eigenes Datenvolumen zurückgreifen müssen empfehlenswert.

5.2.1.3 Vermeidbare Verzögerungen

Für einen reibungslosen Ablauf im Unterricht ist es meist wichtig, dass es nicht zu vermeidbaren Verzögerungen kommt. Zu den Ursachen dieser zählen zum Beispiel, dass der Umgang mit *Virtual Reality*-Anwendungen für Lehrende und Lernende ungewohnt ist, dass VR-Anwendungen eine lange Ladezeit aufweisen können oder vor dem Einsatz entsprechende Programme erst heruntergeladen werden müssen.

Wie mit jedem anderen neuen Medium, muss auch der Umgang mit *Virtual Reality* im Unterricht geübt werden. Dies gilt sowohl für Lehrende als auch für Lernende. Vor dem erstmaligen Einsatz, sollte eine gute Vorbereitung stattfinden und außerdem für den ersten Einsatz mehr Zeit eingerechnet werden, um den Lernenden die Möglichkeit zu geben sich langsam mit dem neuen Medium vertraut zu machen. Entwickler und Entwicklerinnen können sowohl Hilfestellungen für den Umgang mit *Virtual Reality* für Lehrende als auch für Lernende zur Verfügung stellen. Tendenziell gilt in diesem Punkt der *Bring Your Own Device*-Ansatz als vorteilhaft, da SchülerInnen mit ihren eigenen Smartphones üblicherweise vertraut sind. Dies kann die benötigte Gewöhnungszeit verringern (SEIPOLD 2013: 44).

Für die Entwicklung von VR-Lernräumen gilt, dass die Lernerfahrung und die Praktikabilität einer Anwendung im Vordergrund stehen. Im Zweifelsfall sollte daher auf funktionslose Details, die zu verzögerten Ladezeiten führen können, verzichtet werden (RICHARDS 2017: 100). Eine relativ simple Gestaltung hat dabei nicht nur den Vorteil, dass die Anwendungen durch kurze Ladezeiten an Praktikabilität gewinnen, zusätzlich kann durch den Verzicht auf Ablenkendes das Risiko von *Cognitive Overload* verringert werden (siehe Kapitel 5.1.3). Für die Entwicklung ist es daher wichtig sich bewusst zu sein, dass VR-Anwendungen zu Lernzwecken primär Lernräume sein sollen. Der Fokus kann daher auf das Wesentliche reduziert sein. Die Ansprüche an Lernräume sind mitunter sehr anders als zum Beispiel jene, die in der Entertainment-Branche üblich sind. Ein gewisser ästhetischer Anspruch besteht natürlich trotzdem, da eine zu reduzierte Ansicht ebenfalls den Lernprozess negativ beeinflussen kann. Um eine möglichst erfolgreiche Anwendung zu entwickeln, ist es notwendig hier eine gute Balance zu finden.

Um eine weitere Ursache für Verzögerungen zu vermeiden, empfehlen sich in den meisten Fällen webbasierte Anwendungen. Sie haben den Vorteil, dass Lernende keine Zeit damit verbringen müssen Applikationen herunterzuladen und zu installieren. Ist eine VR-Anwendung webbasiert, müssen den Lernenden lediglich Links zu Verfügung gestellt werden

(zum Beispiel auf Lernplattformen wie Moodle oder auf einem Arbeitsblatt). Weiters sind webbasierte Anwendungen auch aus datenrechtlicher Sicht weniger bedenklich als Applikationen zum Herunterladen, da diese oftmals diverse Berechtigungen fordern. Besonders in Kombination mit einem *Bring Your Own Device*-Ansatz ist dies zu vermeiden, um Verletzungen des in den Datenschutzes der Lernenden zu vermeiden (SEIPOLD 2013: 35).

5.2.2 Einbettung im Unterricht

“The VR experience provides content and motivation, but the tools of the classroom promote reflection, and communication. In this regard, VR functions very much like simulations in various disciplines, or manipulatives in mathematics. Integration into the tools of the curriculum makes the learning possible” (RICHARDS 2017: 102).

Eine der vielleicht wesentlichsten Grundlagen für einen erfolgreichen Einsatz von *Virtual Reality* in Lernszenarien ist eine professionelle Einbettung. Neben einer curricularen Verankerung sind dabei auch passende Instruktions-, Monitoring- sowie Assessment-Instrumente zu wählen. Übergeordnet müssen bei begleitenden Materialien, Vor- sowie Nachbereitung auch die Schnittstellen zwischen virtueller und physikalischer Realität mitbedacht werden. Die Vermutung ist naheliegend, dass nur wenn ein Zusammenspiel von virtueller und physikalischer Realität gegeben ist, Erfahrungen auch sinnvoll verarbeitet werden können.

Im Groben kann entschieden werden, ob sich die ganze *Virtual Reality*-Erfahrung im virtuellen Raum oder sich teils auch in der physikalischen Welt abspielen soll. Während manche argumentieren, dass alles in der Virtualität stattfinden muss, können auch viele Argumente für eine gemischte Variante aufgezählt werden. Bezüglich des Austauschs von Lernenden könnten hierbei drei grobe Szenarien definiert werden: Austausch in der virtuellen Lernumgebung, während der VR-Erfahrung durch Kommunikation mit Lernenden die sich nicht in der Immersion befinden oder nach der VR-Erfahrung in der nicht-virtuellen Welt.

Bei der Wahl einer Management-Strategie stehen ähnliche Optionen zur Verfügung. Die VR-Erfahrung kann von der Lehrenden analog, komplett in der virtuellen Welt oder in einer Mischform beobachtet und Lernergebnisse überprüft werden.

5.2.2.1 Austausch und Begleitung

Virtual Reality braucht eine professionelle Einbettung im Unterricht um das eigene Potential nutzbar zu machen. Es gilt „the student spends time in a virtual world, that experience must be coordinated with the rest of the instructional process“ (RICHARDS 2017: 102). Neben allgemeinen Regeln zur Integration von Technologien im Unterricht, müssen auch die Besonderheiten von VR beachtet werden. Als eine für den Unterricht wesentlichste Eigenschaft könnte dabei die Immersion selbst gesehen werden. Dabei stellt das Wechseln zwischen virtueller und nicht-virtuelle Realität und umgekehrt vermutlich eine Herausforderung dar. Dem Transfer des Erlebten von der virtuellen in die nicht virtuelle Welt sollte daher besondere Beachtung geschenkt werden. Um die Bedeutung passender Strategien zum Transfer zu finden, sollen im nächsten Kapitel Überlegungen zu verschiedenen Möglichkeiten der Begleitung, Vor- und Nachbereitung anhand von drei Szenarien beschrieben werden.

Generell sind diverse Möglichkeiten und Kombinationen denkbar. So können zum Beispiel alle Lernenden gleichzeitig oder abwechselnd in Form verschiedener Arten der Zusammenarbeit in eine virtuelle Realität eintauchen. Die Lehrperson kann nur beobachten oder aktiv am Erlebnis teilnehmen - entweder in einem ebenfalls immersiven Zustand oder vor einem Monitor. Die Lernenden können in Form von Avataren - und/oder die Blickrichtung des Lehrenden als Punkt sichtbar gemacht werden. Allgemein kann es eine gemeinsame von der Lehrperson angeleitete oder eine individuelle Erfahrung mit oder ohne zuvor kommunizierter Arbeitsaufträgen sein. Der Austausch über das Erlebte kann während des Eintauchens oder/und zeitversetzt danach stattfinden.

Im ersten Szenario finden *Virtual Reality*-Erfahrungen gemeinsam mit anderen zeitgleich in einem virtuellen Raum statt, der Austausch findet zeitversetzt einige Zeit nach der eigentlichen VR-Erfahrung statt. In so einem Fall würden alle Vor-, Nachbereitungs- und Austauschszenarien außerhalb der virtuellen Welt stattfinden. Das VR-Erlebnis könnte hier zum Beispiel mit einer digitalen Einführung und Arbeitsaufträgen beginnen. Der Austausch zwischen den Lernenden, aber auch die Kommunikation des Lehrenden mit den Lernenden würden hier im virtuellen Raum stattfinden. Ein typisches Beispiel hierfür ist die bereits erwähnte Plattform „Second Life“ (siehe Kapitel 2.4.1), welche das Erstellen von VR-Lernplattformen erlaubt und damit auch viele Möglichkeiten Fernunterricht in virtuellen Welten umzusetzen bietet. In einem solchen Szenario wären zeitnah außer den Lernenden selbst keine Schnittstellen zwischen virtueller und nicht-virtueller Welt gegeben.

Das zweite Szenario geht davon aus, dass alle Lernenden individuell ihre Erfahrungen in einer virtuellen Welt sammeln und es direkt danach zu einem Austausch mit den anderen Lernenden kommt. Ein typisches Beispiel könnte hier ein Einsatzszenario in einer mit cardboardbasierten Halterungen ausgestattete Gruppe an Schülern und Schülerinnen sein. Die Vor- und Nachbereitung könnte hier zum Beispiel in Form analoger Arbeitsblätter und in Kommunikation mit anderen Lernenden passieren. Auch ein hin- und herspringen zwischen virtueller und nicht-virtueller Welt wäre denkbar, wenn die begleitenden Arbeitsaufträge dafür ausgelegt sind. Verglichen mit dem ersten Szenario, haben die Lehrenden hier große und unmittelbare Begleitmöglichkeiten die Schüler und Schülerinnen beim Brücken schlagen zwischen virtueller und nicht-virtueller Welt zu unterstützen.

Ein drittes denkbare Szenario wäre, dass ein Partner oder eine Partnerin wie zum Beispiel als Schnittstelle zur Außenwelt schon während der *Virtual Reality*-Erfahrung fungiert. Auch dieses Szenario würde sich für ein Klassensetting gut eignen. Die Schüler und Schülerinnen könnten zu zweit oder zu dritt zusammenarbeiten. Jeweils eine Person beschreibt zum Beispiel ihre Erfahrung, die andere Person macht Notizen bzw. füllt Arbeitsaufträge aus. So kann unter anderem auch das Problem überwunden werden, dass das schriftliche Festhalten von Gedanken oder Beobachtungen in einer immersiven virtuellen Realität alleine schwer zu bewerkstelligen ist. Da in so einem Szenario ein sehr unmittelbarer und auch durch die Kommunikation nach Außen vergleichsweise reflektierter Austausch stattfindet, kann vermutet werden, dass sich dieses besonders gut für einen erfolgreichen Lernprozess eignen könnte. Die Überprüfung dieser Annahme legt eine empirische Untersuchung nahe.

Alle drei beschriebenen Szenarien sind als Template zu verstehen, die dazu beitragen Ideen zu geben, wie mit den spezifischen Eigenschaften insbesondere der Immersion im Unterricht umgegangen werden kann. Eine Mischung einzelner Bestandteile ist möglich und je nach Lernzielen und Lernsettings auszuwählen. Die verschiedenen Aspekte können zum Beispiel in die folgenden drei Kategorien aufgeteilt werden, auf die im Folgenden noch näher eingegangen werden soll: Die Unmittelbarkeit des Austausches, der Grad der Begleitung durch die Lehrperson sowie die Art der Verankerung der zu lösenden Aufgabenstellungen.

Der Austausch kann im Groben gleichzeitig, unmittelbar nach dem Eintauchen in die virtuelle Realität sowie zeitlich versetzt stattfinden. Ein gleichzeitiger Austausch ist zum Beispiel möglich, wenn Lernende zu zweit oder in Teams zusammenarbeiten, abwechselnd in die virtuelle Realität eintauchen und jeweils während des Erlebnisses miteinander

kommunizieren. Ein Austausch kann zum Beispiel so passieren, dass jeweils die sich in der virtuellen Realität befindlichen Schüler und Schülerinnen ihre Beobachtungen artikulieren, während die Partner und Partnerinnen in der nicht-virtuellen Welt Notizen machen bzw. Arbeitsaufträge ausfüllen. Eine weitere Möglichkeit, wäre, dass der Austausch nach einem *Virtual Reality*-Erlebnis zum Beispiel im Unterricht stattfindet. Wird VR im Fernunterricht eingesetzt oder aber auch als individuelle Übungsmöglichkeit zum Beispiel in Form von Hausübung zur Verfügung gestellt, kann auch ein zeitversetzter Austausch passieren. Eine weitere Entscheidung die im Begleitungsprozess zu treffen ist, ist welche Rolle die Lehrperson einnimmt. Sie kann entweder nicht in der VR partizipieren und so nur vor- bzw. nach dem VR-Erlebnis begleiten oder sich auch während des Eingetauchtseins aktiv einbringen. Dabei kann sie entweder vor einem Monitor beobachten, welcher die Blickrichtungen der Lernenden anzeigt oder auch anleiten. Bei zweiter Option, kann es hilfreich sein, wenn den Lernenden in der eigenen virtuellen Realität die Blickrichtung der Lehrenden angezeigt wird. Aufgabenstellungen können in der VR, während der VR zum Beispiel durch wie in Szenario zwei beschriebenen Kontakt zur nicht-virtuellen Welt oder auch danach zu lösen sein. Auch ein hin und her springen könnte unter Umständen sinnvoll sein.

Für die Entwicklung ist die detaillierte Planung der konkreten Umsetzung vielleicht nicht immer relevant, vor allem da davon auszugehen ist, dass sich viele Anwendungen für verschiedene Szenarien eignen. Allerdings scheint es sinnvoll die verschiedenen Möglichkeiten bei der Planung mitzudenken. Insbesondere wenn auch Begleitmaterial erstellt werden soll, müssen die Möglichkeiten gut abgewogen werden. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass dieses Kapitel vor allem der Beschreibung aber nicht der Bewertung der verschiedenen Möglichkeiten gewidmet ist. Zu testen, welche Art der Schnittstellen zwischen nicht-virtueller und virtueller Welt besonders effektiv ist und welche Methoden für welche Umstände passend sind, bedürfte empirischen Untersuchungen die im Rahmen dieser Arbeit leider nicht möglich sein. Die theoretische Beschreibung könnte aber als Grundlage für weiterführende Versuche die Grundlage bilden.

Über den Ablauf und die Zusammenarbeit hinaus stellt sich im konkreten Einsatz auch die Frage, wie virtuell das Management ablaufen soll. Im folgenden Kapitel sollen dazu ein paar Möglichkeiten beleuchtet werden, die *Monitoring* und *Assessment*-Komponenten beinhalten.

5.2.2.2 Überprüfen und Prüfen: Virtuelles, blended und Analoges Management

Virtual Reality-Anwendungen sind selbst oft in *Learning Management*-Plattformen eingebettet oder lassen sich in solche einbinden. Dabei stehen oftmals Funktionen zur Verfügung das Beobachten (im Englischen *Monitoring*) und Prüfen (im Englischen *Assessment*) erlauben. Im folgenden Kapitel, sollen wiederum einige Möglichkeiten der Einbettung in ein Management-System anhand von drei Beispielen erläutert werden. Virtuelle Management Systeme ermöglichen theoretisch ein komplett virtuelles Erlebnis – von der Instruktion bis zur Nachbereitung. Virtuelle Systeme können aber gleichfalls für *Blended Learning*-Szenarien, dem Kombinieren virtueller und analoger Elemente mit dem Ziel möglichst gute Lernergebnisse zu erzielen, eingesetzt werden. Den beiden Möglichkeiten stehen die rein analogen Methoden gegenüber.

RICHARDS (2017) beschreibt in einem Artikel den Einsatz von *Virtual Reality* in einem komplett virtuellen Management-System. Eine wichtige Komponente dieses Ansatzes ist oftmals eine Lehrendenansicht. Anders als die Lernenden können Lehrende zum Beispiel auf einem Desktop beobachten, wo die Lernenden gerade hinsehen. Dies kann zum Beispiel dafür genutzt werden den Lernprozess mit Anweisungen oder Kommentaren zu begleiten. In manchen Fällen erlaubt die Lehrendenansicht darüber hinaus auch Konfigurationen virtuellen Umgebung. Neben dem Monitoring verfügen solche Management-Systeme über Möglichkeiten der Überprüfung der Lernergebnisse zum Beispiel in Form von Testmodi (RICHARDS 2017: 99).

Ein virtuelles Management-System macht eine *Virtual Reality*-Erfahrung einerseits leichter begleitbar für die Lehrenden und auf der anderen Seite, können Bruchstellen zwischen virtueller und nicht-virtueller Welt vermieden werden. Es erlaubt außerdem eine pädagogisch sinnvolle Teilnahme der Lehrenden an der virtuellen Erfahrung. Anstatt selbst eine VR-Vorrichtung aufsetzen zu müssen, was in den meisten Fällen nicht zuletzt auf Grund der Aufsichtspflicht vermutlich nicht möglich ist, können Lehrende zum Beispiel auf einem Monitor die Sichtachsen der Lernenden beobachten. Virtuelles Assessment zum Beispiel in Form von Quizzes können elektronisch ausgewertet werden. Voraussetzung, dass solche Systeme mit all ihren Möglichkeiten genutzt werden können, ist aber eine entsprechende Verankerung in der Schulkultur und auch im Curriculum (RICHARDS 2017: 94).

Sollen oder können solche Systeme nur teilweise genutzt werden, zum Beispiel lediglich zum *Monitoring* aber nicht zur Instruktion oder zum *Assessment*, sind *Blended Learning*-Szenarien

naheliegend. Ziel jedes *Blended Learning*-Szenarios ist die Nutzung von analoger sowie digitaler Möglichkeiten im Sinne einer möglichst guten Ausnutzung der unterschiedlichen Potentiale. Im Sinne einer möglichst starken Verknüpfung der virtuellen und nicht-virtuellen Welt, wie im vorhegehenden Kapitel beschrieben, könnte ein sinnvolles Szenario unter anderem eine Lehrendensicht beinhalten, die Vor- und Nachbereitung aber mit analogen Mitteln wie Arbeitsblättern und einem Austausch mit Kollegen und Kolleginnen in der nicht-realen Welt erfolgen. Eine Einbettung ist allerdings nicht immer möglich oder auch unter Umständen nicht förderlich. Am Ende zählen wie bei dem Einsatz anderer Methoden und Materialien, wie erfolgreich Lehrende unterrichten und was diese für welche Situation als angemessen empfinden.

Bei der Entwicklung sollte insbesondere die Option einer Lehrendenansicht, mitberücksichtigt werden um die Begleitmöglichkeiten der Lehrenden zu erweitern. Während manche argumentieren, dass sich der *Virtual Reality* integrierende Unterricht möglichst virtuell vollziehen sollte, wurde in den vorangegangenen dargestellt, dass verschränkte Szenarien denkbar sind und bei weiterführenden empirischen Untersuchungen sowie im Entwicklungsprozess mitbedacht werden sollten. Die wichtigste Grundlage für einen erfolgreichen Einsatz könnte dabei die Berücksichtigung der notwendigen Brücken zwischen virtueller und nicht-virtueller Welt darstellen. Aktuell scheint es nicht nicht genügend Forschung die sich dieser Schnittstellen widmet. Die verschiedenen konkreten Einsatzszenarien, aber auch der Einsatz virtueller Management-Systeme eröffnet hier viele verschiedene Möglichkeiten, deren Gegenüberstellung interessante Erkenntnisse liefern könnte.

5.2.3 Schulumfeld

Das Schulumfeld ist ein wesentlicher Einflussfaktor darauf, ob *Virtual Reality*-Anwendungen erfolgreich eingesetzt werden oder nicht. Hierbei spielt sowohl die schulspezifische Kultur als auch die Lehrenden selbst eine wesentliche Rolle. Im Bezug auf verschiedene Technologien lässt sich sagen, dass diese nie ein Allheilmittel darstellen, denn digitale Medien können nur dann einen Mehrwert leisten, wenn sie auch fachgerecht eingesetzt werden. Die Grundlage dafür ist eine gewisse Akzeptanz und auch Fachwissen bei den Lehrenden. Dabei ist die Akzeptanz wichtig, dass es überhaupt zu einem Einsatz kommt und beide Aspekte dafür, dass dieser auch erfolgreich ist.

Die Rahmenbedingungen für die Lehrenden werden von involvierten *Stakeholdern* wie zum Beispiel Leitungspersonal aber auch Eltern wesentlich geprägt. Dazu zählt zum einen welche Einstellung gegenüber dem Einsatz von Technologie im Unterricht vermittelt wird und ob die nötigen infrastrukturellen Rahmenbedingungen bereitgestellt werden. In Bezug auf VR-Anwendungen und im Allgemeinen auf mobiles Lernen ist zum Beispiel ein wesentlicher Aspekt, ob die geltenden Schulregulationen einen Gebrauch von mobilen Endgeräten im Klassenzimmer zulassen. Über die Rahmenbedingungen hinaus stehen besonders leitenden Personen diverse Möglichkeiten zur Verfügung. Handke beschreibt im Bezug auf die Digitalisierung der Hochschullehre zum Beispiel die Rolle von Personen in Leitungspositionen als tragend und die Verteilung von Geldern als eine besonders wirkungsvolle Maßnahme (HANDKE 2015: 28). Generell rät Janßen viele *Stakeholder* mitzubedenken, da deren Einstellungen und Verhalten die Akzeptanz der Lehrenden stark prägt (JANßEN et al. 2016: 56).

Laut JANßEN et al. (2016a) stellt die Akzeptanz unter Lehrenden einen wesentlichen Grundpfeiler für einen erfolgreichen Einsatz aller Technologien im Unterricht dar. Es handelt sich dabei um einen Aspekt, der gerade aus Entwicklersicht wesentlich erscheint, denn nur wenn genügend Akzeptanz gegenüber einer Technologie besteht, werden Lehrende diese einsetzen und nur in diesem Fall können Anwendungen, die für einen Einsatz in Lernszenarios entwickelt wurden, von Bedeutung sein. Faktoren, die die Akzeptanz bei Lehrenden beeinflussen, sind neben den oben genannten laut JANßEN die Familiarität mit der Technologie sowie "individual-related variables like age, gender or self-confidence when dealing with technology" (JANßEN et al. 2016: 56). Akzeptanz kann unter anderem durch das Informieren der Lehrenden über Vorteile, Nachteile als auch potentielle Risiken (JANßEN et al. 2016: 56) geschaffen werden.

Ein weiterer Faktor, der sich ebenfalls auf die Akzeptanz bei Lehrenden auswirkt, aber auch isoliert betrachtet relevant ist, ist über wieviel Fachwissen Lehrende verfügen. Dass sich mit der zunehmenden Erneuerung des Lehrkörpers durch jüngere Lehrende mit dem Prädikat *Digital Natives* auch der professionelle Einsatz neuer Medien im Unterricht von selbst ergibt, ist nicht bewiesen. Untersuchungen zeigen, dass auch Lehrende die aus ihrem Alltag vertraut mit dem Einsatz neuer Medien sind, eine fundierte Ausbildung in dem Bereich brauchen, um ihr Alltagswissen auch für den sehr speziellen Einsatzbereich Unterricht nutzen zu können (JING 2014). Ein Fehlen von fachlichen Kenntnissen schätzen STOJŠIĆ et al. als "significant problem" (STOJŠIĆ et al. 2016: 92).

Um sowohl das Fachwissen als auch die Akzeptanz bei Lehrenden zu steigern, scheint eine Verankerung Neuer-Medien-Didaktik in der Lehramtsausbildung auch in der Ausbildung von Leitungspersonal wie Direktoren und Direktorinnen wesentlich. Eine besondere Herausforderung stellt dabei die Schnelllebigkeit technologischer Entwicklungen in Kombination mit relativ kurzen Ausbildungszeit im Verhältnis zu den anschließenden Dienstjahren der Lehrenden dar. Neben einer Verankerung im Curriculum könnten verpflichtende Weiterbildungsangebote notwendig sein, wenn es gewollt ist, dass neue Medien im Unterricht Einklang finden. Neben dem Verwenden neuer Medien als Unterrichtsmitteln, sind darüber hinaus auch Themen wie ein verantwortungsbewusster Umgang mit diesen notwendig.

Zusammengefasst bedeutet das, dass Offenheit für den Einsatz neuer Medien, Anreize und auch eine fundierte Ausbildung wesentliche Komponenten eines guten Nährbodens für einen vermehrten und professionellen Einsatz von *Virtual Reality*-Anwendungen im Unterricht darstellen. Es handelt sich hierbei teilweise um Faktoren, die außerhalb des Wirkungsbereiches von Entwicklenden liegen. Dennoch ist es vermutlich von Vorteil, sich mit der Situation in den jeweiligen Ländern auseinanderzusetzen. Dies kann sowohl als Hintergrundwissen in die Entwicklung miteinfließen als auch Frustration vorbeugen. Ist von einem eher negativen Schulumfeld auszugehen oder die Ausbildung von Lehrenden in diesem Bereich erwartbar mangelhaft, können Entwickelnde zumindest unterstützende Maßnahmen ergreifen. Dazu könnten zum Beispiel Lehrendenleitfäden, persönliche Beratungsmöglichkeiten, Videotutorien, Infomaterial sowie Begleitmaterial zählen.

Aus der theoretischen Auseinandersetzung ergibt sich, dass eine individuelle Anpassung an das jeweilige Umfeld in welchem VR-Anwendungen zum Einsatz kommen sollen, notwendig ist. Zu den standortspezifischen Anforderungen zählen neben einer curricularen Einbettung, infrastrukturelle Rahmenbedingungen sowie die Einstellung und Ausbildung von *Stakeholdern*. Da die vorliegende Arbeit auf das Fach Geographie und Wirtschaftskunde für in der österreichischen Sekundarstufe fokussiert ist, sollen die lokalen Rahmenbedingungen untersucht und dargestellt werden. Die Erkenntnisse sollen die Entwicklungsgrundlagen um diese spezifischen Komponenten ergänzen.

5.3 Rahmenbedingungen am Beispiel Österreich

Drei wesentliche Komponenten, die die relevanten Rahmenbedingungen des österreichischen Bildungskontexts ausmachen, sind die Lehramtsausbildung, die infrastrukturelle Ausstattung der Schulen sowie die fachspezifischen und fachdidaktischen Grundlagen.

Seit der PädagogInnenbildungsreform im Jahr 2016, sind alle pädagogischen Hochschulen Österreichs sowie Universitäten, die Lehramtsstudien anbieten, zu vier geographischen Entwicklungsverbänden (EV) zusammengefasst: EV West, EV Mitte, EV Süd-Ost, EV Nord-Ost (BMBWF 2017b). Die Lehramtsausbildung für das Fach „Geographie und Wirtschaftskunde“ für den Sekundarstufenbereich findet an 17 universitären Hochschulstandorten statt – davon sind sechs Universitäten und elf pädagogische Hochschulen (BMBWF 2017c). Die hohe Anzahl an Ausbildungsinstituten bedeutet auch eine gewisse Diversität in den fachdidaktischen Grundsätzen nach denen angehende Lehrende ausgebildet und in der Folge auch unterrichten werden. So hat zum Beispiel der Entwicklungsverbund Nord-Ost einen eigenen fachdidaktischen Grundkonsens, der sowohl den inhaltlichen Rahmen der Lehramtsausbildung festlegt, aber zum anderen auch für den Unterricht selbst gelten soll. Für alle geltenden Grundprinzipien sind darüber hinaus durch diverse Dokumente wie dem Lehrplan und dem Grundsatzterlass der politischen Bildung aber gewissermaßen auch durch die Zentralmatura vorgegeben. Die Ausprägung der Verankerung und damit der Grad der Bewusstseinsbildung über diese gemeinsamen Grundprinzipien hängt dennoch von der jeweiligen institutsspezifischen Kultur ab, und wird vermutlich an den jeweiligen Standorten unterschiedlich interpretiert und vermittelt.

Im folgenden Kapitel soll auf die genannten Punkte eingegangen werden, wobei im besonderen standortspezifische Aspekte am Beispiel des Instituts für Geographie und Regionalforschung (IfGR) der Universität Wien erläutert werden. Es soll sowohl eine Darstellung der Rahmenbedingungen erfolgen als auch eine kritische Begutachtung, was diese für die Entwicklung und auch für den Einsatz von *Virtual Reality*-Anwendungen im Geographie- und Wirtschaftskundeunterricht bedeuten können.

5.3.1 Fachliche Rahmenbedingungen

Über die Jahrzehnte hat sich das Fach „Geographie“ deutlich von einer klassischen Auslegung im Sinne einer reinen Länderkunde wegbewegt. Heute wird in österreichischen Schulen ein Synthesefach unterrichtet, welches die reine Geographie durch den Zusatz der

„Wirtschaftskunde“ erweitert. Diese Synthese bringt neben spezifischen und komplexen Anforderungen große Potentiale als auch Herausforderungen mit sich. Wesentliche schriftliche und formale Grundlagen, die gewissermaßen die fachlichen Rahmenbedingungen festschreiben, sind sowohl der Lehrplan als auch der Grundsatzterlass der politischen Bildung. Im Gegensatz dazu stellen Unterrichtsunterlagen wie Lehrbücher keine Primärquellen zur fachlichen Gliederung dar.

Sowohl die von staatlichen Institutionen festgeschriebenen Unterlagen als auch der Charakter des Fachs bilden die fachlichen Rahmenbedingungen. Als solche sind sie für die Auswahl von Themen, der Definition von Lernzielen und somit auch für die Erstellung jeglicher Lehrmittel wesentliche Grundlagen. Auch in der Entwicklung von *Virtual Reality*-Anwendungen für den Geographie- und Wirtschaftskundeunterricht sollten sie daher Beachtung finden. Im folgenden Kapitel wird auf die formalen Grundlagenpapiere dem Lehrplan und den Grundsatzterlass der politischen Bildung als auch auf die Charakteristika des Fachs eingegangen und diskutiert, was sich daraus für die Entwicklung von GW-relevante VR-Anwendungen ableiten lässt.

Die „Geographie und Wirtschaftskunde“ stellt ein Synthesefach dar, welches sich durch diese im Charakter wesentlich von denen anderer Länder wie zum Beispiel Deutschland unterscheidet (SITTE 2006: 167). Die Zusammenlegung wurde in den 1960er Jahren vollzogen und ist auf dem Wunsch begründet die Bereiche Wirtschaft und Gesellschaft in der Schulbildung zu verankern. Ursprünglich war die Schaffung eines weiteren Fachs namens „Wirtschaft und Gesellschaft“ geplant, doch aus pragmatischen Gründen wurde davon abgesehen und stattdessen die beiden Themenschwerpunkte jeweils der Geographie und der Geschichte zugeordnet. Was manche als typisch österreichische Lösung bezeichnen würden, stellte und stellt heute noch für andere die Chance dar einem reinen Ökonomiefach eine interdisziplinäre Alternative entgegen zu setzen und so nicht zuletzt einem Wirtschaftskundeunterricht im Sinne der „Nationalökonomie im Stil einer Dogmengeschichte bzw. nach der Systematik einer Universitätsdisziplin“ (SITTE 2006: 160) entgegen zu wirken. Dem Synthesefach liegt das Verständnis zu Grunde, dass Schüler und Schülerinnen Angehörige einer Gesellschaft darstellen, „die ihre Mitglieder immer wieder vor Entscheidungen stellt – ob bei politischen Wahlen, bei Mitbestimmungsfragen im Betrieb und in der Gemeinde, bei der Berufswahl und beim Konsum“. Darauf aufbauend soll ein GW-Unterricht Schüler und Schülerinnen befähigen „im eigenen Interesse und im Sinne der Gemeinschaft verantwortlich handeln zu können“ (SITTE 2006: 157).

Allerdings handelte es sich um eine so wesentliche Änderung, dass es eine Weile dauern sollte, bis eine tragfähige Verschmelzung der beiden Bereiche passiert war und somit die Grundlage für einen Unterricht, der diese Ziele auch erfüllen konnte, geschaffen war. Ein wesentlicher Grundstein hierfür stellte die Überarbeitung der Lehrpläne und der Entwicklung neuer fachdidaktischer Konzepte in den 1980er Jahren dar. Damit gelang es erstmals die Geographie und Wirtschaftskunde als ‚eine Ganzheit‘ und die beiden Teile nicht mehr als „zwei getrennt nebeneinander stehende Lernbereiche“ (SITTE 2006: 163) zu verstehen. Es rückte „das Sichtbarmachen und Erklären der erdräumlichen und ökonomischen Aktivitäten des Menschen, das Hinterfragen ihrer Bedingungen und Motive sowie das Aufzeigen ihrer Folgen in den Vordergrund. Unter dem Schlagwort der ‚gesellschaftsorientierten Handlung‘ sollte das Fach Geographie und Wirtschaftskunde vermitteln „[w]ie, warum und unter welchen subjektiven, sozio-kulturellen und physisch-materiellen Gegebenheiten raum- und wirtschaftsbezogene Handlungen zustandekommen“. Schüler und SchülerInnen sollten dabei „lokalen, regionalen und globalen Lebenswirklichkeiten kennenlernen, um daraus Anregungen für das eigene Tun zu gewinnen“ (SITTE 2006: 164). Das Fach GW kann daher auf eine nunmehr über 30-jährige Tradition der Handlungs- und Lebensweltorientierung zurückblicken.

Den Ausgangspunkt des Faches stellt seither der „in gesellschaftlicher Bindung räumlich und wirtschaftlich handelnden Menschen“. Somit ist man heute weit davon entfernt „ausschließlich räumliche Strukturen vorzustellen und verständlich zu machen“. Phänomene werden nunmehr nicht mehr nur unter räumlichen, sondern auch gesellschaftlichen Gesichtspunkten beleuchtet (SITTE 2006: 164). Außerdem führt das neue Verständnis weg von der „Vermittlung von Fakteninformationen über Länder und Staaten“, während die Medienkompetenz und somit die Fähigkeit „Informationen zu finden und kritisch zu verarbeiten“ weiter im Mittelpunkt stehen (SITTE 2006: 164).

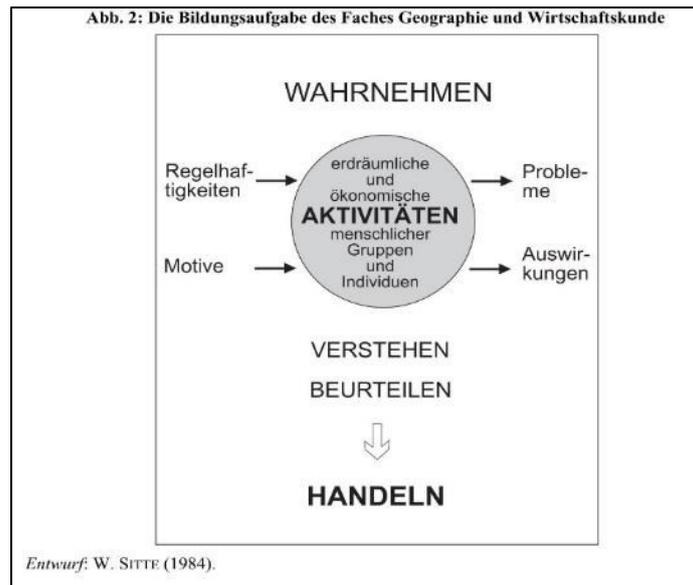


Abbildung 23 Bildungsaufgaben des Faches Geographie- und Wirtschaftskunde, zitiert in (SITTE 2006: 163)

Rückblickend waren die Grundlagen der Geographie und Wirtschaftskunde-Fachdidaktik bereits in den 1980er Jahren was noch heute als zeitgemäß bezeichnet werden könnte. Dabei ist vor allem das oben beschriebene Verständnis eines handlungs- und lebensweltorientierten Wirtschaftskundeunterrichtes hervorzuheben. Die GW-Fachdidaktik kann somit auf eine lange Tradition zurückblicken, deren wesentliche Innovationen vielleicht nicht zuletzt auf der ursprünglich unfreiwilligen Verbindung zweier sich ergänzenden Bereiche der Geographie und der Wirtschaftskunde, beruht. Die Verschmelzung der Bereiche ist seit der Einführung zentrale Aufgabe der GW-Fachdidaktik, welche seit den 1980ern gelöst und seitdem stetig verfeinert wird - der aktuelle Stand wird im nachstehenden Kapitel näher beleuchtet. In einer ganzheitlichen Betrachtung stellt das Fach Geographie und Wirtschaftskunde heute wie damals einen innovativen und ehrgeizigen Versuch dar, der in einem relevanten und komplexen integrativen Fach mündete.

Die Interdisziplinarität kann oder soll sich auch in den für das Fach entwickelten Materialien und somit auch in digitalen Lernräume widerspiegeln. Wesentlich ist hierbei die Geographie und Wirtschaftskunde als Synthesefach zu verstehen. Die beiden Konzepte stehen nicht im Widerspruch, sondern bilden mittlerweile gemeinsam die fachlichen Grundlagen, wie sie auch im Lehrplan niedergeschrieben sind, und müssen dementsprechend vermittelt werden. In der Entwicklung entsprechende *Virtual Reality*-Anwendungen ist daher zu beachten, dass derThemenwahl kein klassisches Geographie Verständnis zu Grunde liegt, sondern die Vermittlung GW-relevanter Themen im Sinne des angestrebten Charakters fördert.

Formal festgehalten sind die fachlichen Rahmenbedingungen in den Lehrplänen. Diese gliedern sich jeweils in einen allgemeinen Teil, der für alle Fächer gültig ist, als auch eine fachspezifische Aufzählung der zu vermittelnden Inhalte. Es gibt jeweils einen Lehrplan für die Unter- und Oberstufe AHS, wobei ersterer auch für die NMS Gültigkeit besitzt. Darüber hinaus verfügen berufsbildende höhere Schulen über eigene Lehrpläne.

Die Lehrpläne haben zum einen den Sinn einer Vereinheitlichung als auf der anderen Seite auch das Ziel ‚Freiräume‘ zu eröffnen „die der Konkretisierung am Standort vorbehalten sind“ (RIS 2018) sowie auch den Lehrenden selbst:

„Der Lehrplan gibt Ziele vor. Im Sinne ihrer eigenständigen und verantwortlichen Unterrichts- und Erziehungsarbeit haben die Lehrende und Lehrer –die Auswahl der Unterrichtsinhalte und Unterrichtsverfahren zur Erreichung dieser Ziele vorzunehmen, –im Unterricht Lernsituationen zu gestalten und Lernprozesse einzuleiten und zu unterstützen, –vielfältige Zugänge zum Wissen zu eröffnen und auch selbst Informationen anzubieten, –Gelegenheiten zu schaffen, Können zu entwickeln und anzuwenden sowie Erfahrungen und Eindrücke zu gewinnen“ (RIS 2018).

Die Lehrpläne sind dabei nicht nur auf inhaltliche Vorgaben bzw. Rahmenbedingungen beschränkt, sondern liefern auch die Grundlage für:

„[...] die Konkretisierung des Erziehungsauftrags der Schule,
die Planung und Steuerung des Unterrichts in inhaltlicher und in methodischer Hinsicht,
die Gestaltung des Erweiterungsbereichs und für schulautonome Lehrplanbestimmungen,
die Planungen der schulparterschaftlichen Gremien,
das standortbezogene Bildungsangebot,
die Berücksichtigung der individuellen Interessen und persönlichen Lebensrealität der Schülerinnen und Schüler“ (RIS 2018).

Aus den Zielsetzungen und den Ansprüchen des Lehrplans geht hervor, dass für den Unterricht und somit gewissermaßen auch für die Entwicklung von Unterrichtsmaterialien und digitalen Lernräumen sehr viel mehr als die rein fachlichen Aspekte zu beachten sind. Zu bearbeitende Beispiele müssen sich thematisch in den Lehrplan einordnen lassen aber idealerweise gleichzeitig zum Beispiel auch den allgemeinen Bildungszielen zuarbeiten und mit didaktischen Grundsätzen vereinbar sein. Zwei Beispiele, die demonstrieren sollen wie komplex und umfangreich diese Anforderungen teilweise sind, sind im Folgenden angeführt:

„Die jungen Menschen sind bei der Entwicklung zu eigenverantwortlichen Persönlichkeiten zu fördern und in der Herausforderung, in ihrem Dasein einen Sinn zu finden, zu stützen. Die Würde jedes Menschen, seine Freiheit und Integrität, die Gleichheit aller Menschen sowie die Solidarität mit den Schwachen und am Rande Stehenden sind wichtige Werte und Erziehungsziele der Schule“ (RIS 2018)

„In den Unterrichtsgegenständen ist auf philosophische und religiöse Erklärungs- und Begründungsversuche über Ursprung und Sinn der eigenen Existenz und der Welt einzugehen. Junge Menschen sollen Angebote zum Erwerb von Urteils- und Entscheidungskompetenz erhalten, um ihr Leben sinnerfüllt zu gestalten. Orientierungen zur Lebensgestaltung und Hilfen zur Bewältigung von Alltags- und Grenzsituationen sollen die Schülerinnen und Schüler zu einem eigenständigen und sozial verantwortlichen Leben ermutigen“ (RIS 2018)

In den fachspezifischen Teilen sind der Aufzählung der fachlichen zu vermittelnden Inhalte wiederum jeweils allgemeine Grundlagen wie „Beiträge zu den Bildungsbereichen“ und „didaktische Grundsätze“ vorgelagert (RIS 2018). Im Folgenden soll nun ein kurzer Blick auf die fachlichen Aspekte der GW-Lehrpläne geworfen werden – beispielhaft werden dafür der AHS Unter- und Oberstufenlehrplan herangezogen.

Der AHS-Unterstufen Lehrplan umfasst 17 Themengebiete, die auf 4 Schulstufen aufgeteilt sind. Dabei sind jeweils der ersten und der zweiten, sowie der dritten und vierten Schulstufe gemeinsame Richtlinien zugeordnet.

„1. und 2. Klasse: Darstellung menschlichen Lebens und Wirtschaftens; Aufzeigen von Gleichartigkeiten und Unterschieden. Grundlegende Einsicht, dass Gesellschaft und Wirtschaft räumlich strukturiert sind. Beispiele aus Österreich und Europa sollen in der ersten und zweiten Klasse vertreten sein, jeder außereuropäische Erdteil wenigstens einmal in einer der beiden Klassen“ (BMBWF 2000)

„3. und 4. Klasse: Vertiefende Kenntnisse und Einsichten über menschliches Leben und Wirtschaften in Österreich, Europa und auf der Erde. Darstellung in Einzelbildern und Übersichten. Besondere Berücksichtigung von natürlicher und gestalteter Umwelt, Wirtschaft, Arbeitswelt und Berufsfindung. Aufbau der Bereitschaft, sich aktuellen politischen, gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Fragen zuzuwenden. Weiterentwicklung topographischer Kenntnisse und methodischer Zugänge zu deren Erwerb. Behandlung eines Fallbeispiels in Projektform“ (BMBWF 2000)

Der Lehrplan des Fachs Geographie und Wirtschaftskunde für die AHS Oberstufe umfasst 21 Themengebiete, welche auf acht Semester aufgeteilt sind. Beide Lehrpläne zeichnen sich

durch eine lose Formulierung der Themengebiete aus. Dies gibt auf der einen Seite Lehrenden viel Freiraum in der Gestaltung des Unterrichts, auf der anderen Seite kommt dadurch den allgemeinen Richtlinien sowie den didaktischen Grundsätzen mehr Bedeutung zu. Für den Unterricht gewählte und aufbereitete Beispiele müssen sich dadurch nicht nur in einem der Themengebiete wiederfinden, sondern auch die übergeordneten Ansprüche erfüllen.

Während der Lehrplan das zentrale Dokument zur fachlichen Orientierung darstellt ist es nicht das einzige. Als weiteres Beispiel kann der Grundsatzterlass der politischen Bildung genannt werden, die Lehrenden dazu auffordert bzw. verpflichtet politische Bildung in den Unterricht einfließen zu lassen (BMBF 2015). Unterrichtsprinzipien wie diese legen zwar nicht die groben Thematiken fest, sind aber dennoch in der Auswahl spezifischer Anschauungsbeispiele und in der Aufbereitung bestimmter Themen von Relevanz und somit auch Teil der fachlichen Rahmenbedingungen.

Die diversen Grundlagenpapiere wie der Lehrplan verfügen über verschiedene Grade an Komplexität und Konkretisierung. Besonders der Lehrplan als zentrales Dokument lässt dabei bewusst große Interpretationsspielräume, die von fachkundigen Lehrenden genutzt werden sollen. Daraus kann geschlossen werden, dass der Lehrplan explizit nicht für Laiengeschrieben und nicht für diese zur Interpretation freigegeben ist, sondern die Grundlage für ausgebildete PädagogInnen darstellt. Genau dies kann zumindest für den österreichischen Bildungskontext als weiteres gewichtiges Argument für eine verstärkte Zusammenarbeit zwischen fachkundigen Personen und EntwicklerInnen bei der Entwicklung von *Virtual Reality*-Lernanwendungen gedeutet werden. Darüber hinaus zeigt der schiere Umfang und die Komplexität des Lehrplans was eigentlich hinter dem Anspruch der „curricularen Einbettung“ (siehe Kapitel 5.1.5) steckt.

Für die Entwicklung von VR-Lernanwendungen lassen sich folgende Punkte festhalten: Fachlich stellen der Lehrplan sowie begleitende Dokumente wie der Grundsatzterlass der politischen Bildung aber auch die historisch gewachsenen Ziele und Anforderungen des jeweiligen Fachs die Grundpfeiler für die Themenwahl des zu entwickelnden Lernraums dar. Die Orientierung an den Themengebieten des fachspezifischen Lehrplans eignet sich dabei nur für die Wahl eines groben Themas. Besonders wenn Lernräume die über die Darstellung und Vermittlung reines Faktenwissens hinaus gehen, sollte sich das Herunterbrechen der Thematik auch an den anderen Richtlinien fachlicher und fachdidaktischer Natur (siehe Kapitel 5.3.2) orientieren und dementsprechend ausreichend begründet werden.

5.3.2 Fachdidaktische Rahmenbedingungen

Das für die Lehramtsausbildung für das Fach der Geographie und Wirtschaftskunde zuständige Institut der Universität Wien ist das „Institut für Geographie und Regionalforschung“ (im Folgenden als IfGR abgekürzt). Die fachdidaktische Grundlage des IfGR bildet der 2012 formulierte fachdidaktische Grundkonsens, welcher sich auch im Lehrplan widerpiegelt. Der Grundkonsens umfasst vier Aspekte: Didaktische Konzepte und Modelle, didaktische & methodische Prinzipien, Raumkonzepte sowie zusätzliche Aspekte der Themenerschließung (VIELHABER u. PICHLER 2012). Der Grundkonsens stellt sowohl die Grundlage für die Lehramtsausbildung aber auch für den Unterricht an sich dar. Er ist als ‚Orientierung‘ konzipiert und als solche vermutlich mehr für die Unterrichtspraxis relevant als für die Entwicklung einzelner Applikationen. In der Entwicklung von *Virtual Reality*-Anwendungen inklusive begleitenden Materialien ist aber zumindest darauf zu achten, dass diese einen den Grundlagen entsprechenden Unterricht nicht hindern oder gar verunmöglichen. Im besten Fall fördern sie einen den Prinzipien des Grundkonsenses entsprechenden Unterricht. Im Folgenden sollen die vier Aspekte kurz erläutert und deren mögliche Bedeutung für den Entwicklungsprozess von *Virtual Reality*-Anwendungen für den Geographie- und Wirtschaftskundeunterricht einzeln beleuchtet werden.

Der erste Eckpfeiler des fachdidaktischen Grundkonsenses stellen die didaktischen Konzepte und Modelle dar. Sie werden von Vielhaber und Pichler (2012) als „Standardprogramm der universitären Lehramtsausbildung und damit zum Begründungswerkzeug für die fachdidaktische Ausrichtung des GWK-Unterrichts“ beschrieben (VIELHABER u. PICHLER 2012: 46). Sie lauten wie folgt:

- Curriculumtheoretische Didaktik
- Kritisch-Konstruktive Didaktik
- Lehr-Lerntheoretische Didaktik
- Konstruktivistische Didaktikansätze (VIELHABER u. PICHLER 2012: 46)

In der konkreten Unterrichtsplanung und -praxis ist damit einhergehend auf die entsprechenden Vermittlungsinteressen hinzuweisen, welche sich aus den gewählten Didaktikansätzen ergeben. Wie auch die Formulierung und Orientierung an bestimmten Lernzielen, soll auch die Wahl einer lerntheoretischen Basis einer Beliebigkeitsdidaktik vorgebeugen. Dieser Aspekt ist auch für die Entwicklung von Unterrichtsmaterialien aber auch von Lernanwendungen relevant.

Wie bereits in vorhergehenden Kapiteln erwähnt, kristallisiert sich ein konstruktivistischer Ansatz als besonders beliebtes Grundgerüst für die Entwicklung von *Virtual Reality*-Lernanwendungen heraus (siehe Kapitel 5.1.5). Der Konstruktivismus findet sich im didaktischen Grundkonsens wieder und ist damit auch als wesentlicher Teil der Lehramtsausbildung an der Universität Wien zu vermuten. Für *Virtual Reality*-Lernanwendungen gilt, dass diese nicht in jedem Fall an sich „konstruktivistisch“ sein kann oder muss sondern vielmehr, dass diese so angelegt sein soll, dass sie für einen Einsatz im konstruktivistischen Unterricht gut geeignet ist. Sie stellt also die Rahmenbedingungen bereit, die einem konstruktivistischem Unterricht nicht im Wege stehen, sondern im besten Fall einen erfolgreichen Einsatz in einem konstruktivistischen Lernszenario fördern. Die Untersuchung eines diesem Konzept folgenden Anwendungsbeispiels ist zum Beispiel im Artikel „When does immersion in a virtual environment help students construct understanding?“ (WINN et al. 2002) zu finden.

Im Vergleich zur Aufzählung der didaktischen Konzepte und Modelle, fällt die der didaktischen und methodischen Prinzipien umfangreicher aus. Sie bilden die Grundlage der „Lehr-/Lernprozesse des GWK-Unterrichts“ (VIELHABER u. PICHLER 2012: 46):

- Schülerorientierung / Lebensweltorientierung
- Handlungsorientierung
- Aktualitätsorientierung / Zukunftsorientierung
- Orientierung am Prinzip des Exemplarischen
- Orientierung an Qualifikationsansprüchen, die zur Lösung komplexer Problemstellungen befähigen (Kompetenzorientierung)
- Orientierung am Prinzip der inhaltlichen Mehrperspektivität und methodischen Vielfalt
- Politische Bildung auf Basis gesellschaftskritischer Reflexionen
- Individualisiertes und kooperatives Lernen (VIELHABER u. PICHLER 2012: 46)

Aus der Aufzählung ist besonders die Kompetenzorientierung hervorzuheben, da diese gewissermaßen als übergeordnet betrachtet werden kann. Mit der Umstellung auf die standardisierte Reifeprüfung (Zentralmatura), wurde die Kompetenzorientierung als didaktisches Konzept für alle Fächer Voraussetzung. Das wirkt sich neben der Gestaltung des Unterrichts vor allem auch auf die Art der Aufgabenstellungen aus. Im Lehrplan ist zusätzlich noch das Konzept der Kontingenz verankert welches VIELHABER und PICHLER (2012) in der Einführung erwähnen. Die didaktischen Konzepte sind vermutlich nicht für jede *Virtual Reality*-Anwendung von Relevanz – wird eine Thematik in einer Anwendung aber beispielhaft anhand einer Situation aufbereitet, können zur Auswahl dieser, bestimmte didaktische

Konzepte wie zum Beispiel die SchülerInnenorientierung herangezogen werden. Einmal mehr können auch die didaktischen Konzepte als Orientierungshilfen im Auswahlprozess gesehen werden welche mit zunehmender Detaillierung bzw. Beispielhaftigkeit an Relevanz zunehmen.

Weiters finden sich im fachdidaktischen Grundkonsens auch die Aufzählung von „Raumkonzepten“. Es wird dabei „[d]ie Berücksichtigung zumindest folgender unterschiedlicher Raumkonzepte der Fachwissenschaft im Rahmen von Lehr-/Lernprozessen [...] als unverzichtbar erachtet“ (VIELHABER u. PICHLER 2012: 46):

- Geographischer Raum
- Relationaler Raum
- Wahrnehmungsraum
- Konstruierter Raum (VIELHABER u. PICHLER 2012: 46)

Die genannten Raumbegriffe können auch nach WARDENGA (2002) als Raum als „Behälter“, „System von Lagebeziehungen“, „Kategorie der Sinneswahrnehmung“ oder als „gemacht“ bezeichnet werden. Die wesentlichen Unterschiede liegen dabei im Fokus des Dargestellten sowie darin, inwiefern die Räume als reale Entitäten angesehen werden. Ein „geographischer Raum“ oder „Containerraum“ wird dabei „als Wirkungsgefüge natürlicher und anthropogener Faktoren verstanden, als Ergebnis von Prozessen interpretiert, die die Landschaft gestaltet haben oder als Prozessfeld menschlicher Tätigkeiten gesehen“. Sie dienen dazu „bestimmte Sachverhalte der physisch-materiellen Welt wie z.B. Oberflächenformen und Böden, Klima und Gewässer, Vegetation und Tierwelt sowie die Werke des Menschen“ abzubilden. Diese Art von Räumen werden „als Entitäten gesehen, d.h. es wird ohne weitere Reflexion davon ausgegangen, dass sie in ‚der‘ Wirklichkeit vorkommen“. Sie entspringen somit einem klassischen Geographiebegriff und werden als „als Realien behandelt“ (WARDENGA 2002). Als „Relationaler Raum“ oder als System von Lagebeziehungen „materieller Objekte“. Typische Fragestellungen liegen hier auf „der Bedeutung von Standorten, Lage-Relationen und Distanzen und es wird danach gefragt, was diese Sachverhalte für die vergangene und gegenwärtige gesellschaftliche Wirklichkeit bedeuten“. Wie auch beim „geographischen Raum“ wird davon ausgegangen, dass „es ‚die‘ allgemeinbegrifflich zu fassende gesellschaftliche ‚Wirklichkeit‘ gibt“ (WARDENGA 2002).

Im Gegensatz dazu sind „Wahrnehmungsräume“ Ausdruck eines pluralistischeren Wirklichkeitsbegriffes. Räume werden dabei als „Kategorie der Sinneswahrnehmung betrachtet“ und der Fokus liegt unter anderem auf dem Hinterfragen und Dekonstruieren

„scheinbar real vorhandene[r] ‚Räume‘ von Individuen, Gruppen oder Institutionen“ (WARDENGA 2002). Auf einem ähnlichen Gerüst baut der „gemachte“ oder „konstruktivistische“ Raum auf. Zentrale Fragestellungen für deren Beantwortung sich dieser Raumbegriff eignet sind zum Beispiel „wie raumbezogene Begriffe als Elemente von Handlung und Kommunikation auftreten und welche Funktionen eine raumbezogene Sprache in der modernen Gesellschaft erfüllt, wer unter welchen Bedingungen und aus welchen Interessen wie über bestimmte Räume kommuniziert wird und wie die durch die raumbezogene Sprache erst konstituierten räumlichen Entitäten durch alltägliches Handeln und Kommunizieren fortlaufend produziert und reproduziert werden“. Letzterer lehnt die Möglichkeit eines Raums als reale Entität komplett ab (WARDENGA 2002).

Im Bezug auf die Entwicklung von VR-Lernräumen, die an sich einen virtuellen Raum einer bestimmten Perspektive darstellt, kann die Einordnung oder bewusste Wahl eines Raumbegriffs ein notwendiger Aspekt der Begründungsgrundlage gesehen werden. Dabei ist ein Bewusstsein über die zugrundeliegenden Wirklichkeitsauffassungen vermutlich hilfreich, um eine passende Wahl für das Thema zu wählen.

Abschließend werden im didaktischen Grundkonsens auch „zusätzliche Aspekte der Themenerschließung“ aufgezählt. Wie die fachdidaktischen Konzepte können diese als Orientierungshilfe im Entwicklungsprozess und vor allem auch zur Begründung von Entscheidungen fachlicher und fachdidaktischer Natur herangezogen werden. Sie lauten wie folgt (VIELHABER u. PICHLER 2012: 46):

- „• Geschlechtersensibilität
- Wirklichkeitsnähe und Alltagstauglichkeit
- Reflexion von Wahrnehmungsmustern
- Konflikt- und Widerspruchspotenzial
- Berufsorientierung
- Interkulturalität“ (VIELHABER u. PICHLER 2012: 46)

Zusammenfassend stellen alle fachlichen und fachdidaktischen Rahmenbedingungen Leitlinien dar, die bei der Entwicklung von *Virtual Reality*-Lernräumen mehr oder weniger berücksichtigt werden müssen. Sollen VR-Lernanwendungen im Geographie- und Wirtschaftskundeunterricht einsetzbar sein müssen sie zumindest Thematiken behandeln, welche im Lehrplan aufgeführt sind. Darüber hinaus ist eine curriculare Einbettung nur dann gegeben, wenn die Anwendung keinem der angeführten Bildungsprinzipien fachlicher und fachdidaktischer Natur widerspricht. Aus didaktischer und fachlicher Sicht scheint es ideal,

wenn Anwendungen nicht nur den Bildungsprinzipien im Wege stehen, sondern einen diesen entsprechenden Unterricht unterstützen. Grundlage dafür ist ein Entwicklungsprozess, der auf fach- und fachdidaktisch begründeten Entscheidungen beruht, und diese im besten Fall auch nachvollziehbar dokumentiert sind. Außerdem sind vor allem auch bei der Entwicklung von Aufgabenstellungen, Begleitmaterial oder Unterrichtsempfehlungen übergeordnete didaktische Standards einzuhalten. Dazu zählt zum Beispiel die Formulierung und Orientierung an Lernzielen sowie der Kompetenzorientierung. Auch hier gehört eine Dokumentation zur professionellen Praxis. Aufgrund der Komplexität und des Umfangs der rahmengebenden Dokumente scheint die Beziehung professioneller Unterstützung empfehlenswert.

5.3.3 Infrastrukturelle Rahmenbedingungen

Wie bereits in Kapitel 5.2.1.2 beschrieben, sind die wichtigsten infrastrukturellen Voraussetzungen für einen reibungslosen Einsatz von *Virtual Reality*-Anwendungen im Unterricht eine der Anzahl an Lernenden und dem Aufgabendesign entsprechende Ausstattung mit mobilen Endgeräten sowie eine zuverlässige und leistungsstarke W-Lan Verbindung. In Österreich ist derzeit weder das eine noch das andere flächendeckend gegeben. Da diese Aspekte wesentlich für die Entwicklung von VR-Lernanwendungen sind, sollen im Folgenden die aktuellen österreichischen infrastrukturellen Rahmenbedingungen kurz dargestellt und eine Einschätzung getroffen werden, was dies für den Einsatz von VR-Lernanwendungen und deren Entwicklung bedeutet.

In Österreich liegt der Fokus derzeit auf dem *Bring Your Own Device*-Konzept. Laut dem Bundesministerium für Bildung, kommt dieser Ansatz bereits in 35% der Bundesschulen zum Einsatz. Als mittelfristige Perspektive, nennt das Ministerium das Ziel der Ausstattung aller Schüler und Schülerinnen mit mobilen Endgeräten – konkret mit Tablets in der fünften und Laptops in der neunten Schulstufe. Dabei handelt es sich um ungefähr 86.000 bzw. 84.000 Schüler und Schülerinnen, die jährlich ausgestattet werden sollen (BMBWF 2017a). Letzteres Vorhaben wurde durch Inhalte des 2017 erschienen „Plan A – Das Programm für Wohlstand, Sicherheit & gute Laune“ unterstrichen. Darin spricht sich die Sozialdemokratischen Partei Österreichs ebenfalls dezidiert für die Erreichung des Ziels der Ausstattung von SchülerInnen mit Tablet bzw. Computern aus (SPÖ 2017: 68). Durch den kürzlich vollzogenen Regierungswechsel ist derzeit allerdings nicht absehbar, ob die oben definierten Ziele weiterverfolgt werden sollen.

Für den Einsatz von *Virtual Reality*-Anwendungen scheint aber ein *Bring Your Own Device* völlig ausreichend und möglicherweise sogar besser, da dadurch eine Normalisierung des Mitbringens und Verwendens eigener Geräte im Unterricht gefördert wird. Große Vorteile liegen dabei auf der laufenden Aktualisierung der zu verwendenden Geräte (siehe Kapitel 2.4.2). Darüber hinaus würde eine Ausstattung mit Laptops der Schüler und Schülerinnen keinen Beitrag zu einem vermehrten Einsatz von VR-Anwendungen leisten, da die Abbildung von immersiven VR-Inhalten auf Tablets und Laptops nicht praktikabel ist. Eine flächendeckende Ausstattung, wie in Österreich geplant, würde daher kaum VR als Unterrichtsmedium nützen. Hilfreicher wäre eine Ausstattung von zusätzlichen Smartphones pro Schule sowie cardboardbasierte Halterungen in Klassenstärke. Für Letzteres liegen die Anschaffungskosten derzeit bei ungefähr 10 Euro. Würde sich eine Schule zur Anschaffung in Klassengröße entschließen, wäre dazu demnach ein Budget von um die 300 Euro notwendig – eine Summe die vor allem vor dem Hintergrund einer deklarierten Förderung von *Bring Your Own Device* möglicherweise leicht finanzierbar ist.

Neben dem Vorhandensein genügend mobiler Endgeräte, gibt es eine weitere infrastrukturelle Grundvoraussetzung um einen reibungslosen Einsatz zu ermöglichen - eine entsprechende Internetverbindung. Laut dem Bundesministerium für Bildung sind in 65% der Bundesschulen und in 46,2% der Pflichtschulen „mehr als der Hälfte der Räume WLAN verfügbar“ (BMB 2017). Das bedeutet im Umkehrschluss, dass etwas weniger als die Hälfte der Pflichtschulen über keine W-Lan Verbindung verfügen und außerdem geht aus den Angaben nicht hervor in wie vielen Schulen ein flächendeckendes Angebot vorhanden ist. Keine bzw. eine nur teilweise Ausstattung mit W-lan stellt dabei ein signifikantes Hindernis beim Einsatz von VR-Lernanwendungen dar. Die Alternative, dass Lernende ihr eigenes Datenvolumen verwenden ist dabei äußerst kritisch zu beurteilen. Außer einen möglichst geringen Datenverbrauch anzustreben dürften im Entwicklungsprozess kaum Möglichkeiten zur Verfügung stehen das Problem nicht vorhandener Internetverbindungen zu lösen oder zu mildern.

Zusammenfassend ergeben sich aus diesen Rahmenbedingungen keine idealen Voraussetzungen für den Einsatz von VR-Anwendungen im Unterricht. Dabei stellt der bisher verfolgte *Bring Your Own Device* -Ansatz weniger große Herausforderungen als die nur mäßige W-Lan Ausstattung der Schulen dar. Für die Entwicklung bedeutet das, dass ein möglichst geringer Datenverbrauch angestrebt werden sollte.

5.3.4 Lehramtsausbildung Verbund Nord-Ost

Eine weitere wichtige Komponente im Einsatz von *Virtual Reality*-Lernanwendungen sind die Lehrenden selbst. Dabei zeigt sich, dass eine fundierte Ausbildung der Lehrenden eine wesentliche Komponente im Gelingen von Unterrichtsszenarien mit digitalen Medien ist. Aus diesem Grund ist das folgende Unterkapitel der Lehramtsausbildung in Österreich gewidmet. In einer kurzen Analyse soll am Beispiel der Ausbildung an der Universität Wien dargestellt werden, in welchem Ausmaß Lehramtsstudierende der Geographie und Wirtschaftskunde in Pflichtlehrveranstaltungen theoretisch und praktisch auf den Einsatz neuer Medien im Unterricht vorbereitet werden.

In einem ersten Schritt wurde nach den unten aufgezählten Schlüsselbegriffen in den Dokumenten „Teilcurriculum für das Unterrichtsfach Geographie und Wirtschaftskunde im Rahmen des Masterstudiums zur Erlangung eines Lehramts im Bereich der Sekundarstufe (Allgemeinbildung) im Verbund Nord-Ost“ und dem „Teilcurriculum für das Unterrichtsfach Geographie und Wirtschaftskunde im Rahmen des Bachelorstudiums zur Erlangung eines Lehramts im Bereich der Sekundarstufe (Allgemeinbildung) im Verbund Nord-Ost“ (QUELLE) gesucht:

- digital
- virtuell
- mobil
- Medien
- neue Medien
- Technologie
- virtual reality

Die Suche ergab folgendes Ergebnis:

Suchbegriff	Curriculum Bachelor	Curriculum Master
digital	1	0

virtuell	0	0
mobil	0	0
Medien	12	6
neue Medien	0	0
Technologie	0	0
Virtual reality	0	0

Tabelle 2 Anzahl der Suchbegriffe im Lehramtscurriculum (eigener Entwurf)

Bei näherer Betrachtung, können im Curriculum des Bachelorstudiums drei Lehrveranstaltungen herausgefiltert werden, die laut Beschreibung den Rahmen für die Auseinandersetzung mit neuen Medien im Unterricht liefern könnten. Allerdings ist keine der Lehrveranstaltungen explizit dem Einsatz neuer/digitaler Medien gewidmet:

- PS Fachdidaktik II: Lehr-und Lernprozess: Sozialformen und Medien im GW-Unterricht*
- PS Geomedien und Geokommunikation im GW-Unterricht
- PS Fachdidaktisches Proseminar, Vertiefung zu einem Spezialthema aus der Fachdidaktik Geographie

Im Mastercurriculum findet sich lediglich der Suchbegriff „Medien“ wieder. Dieser wird dabei fünf Mal im Kontext „kritischer Medienkompetenz und-erziehung“ und einmal im Zusammenhang mit einer Voraussetzung einer Lehrveranstaltung erwähnt und hat daher für den Kontext des Einsatzes neuer Medien im Unterricht keine Bedeutung. Prinzipiell bietet auch das Mastercurriculum die Möglichkeit des Übens des Einsatzes neuer Medien vor allem auf praktischer Ebene, allerdings ist auch hier die Auseinandersetzung mit neuen, digitalen Medien nicht explizit verankert.

Ob sich dies in anderen fachspezifischen Curricula ähnlich verhält oder ob das Thema im Rahmen der allgemeinen pädagogischen Lehrveranstaltungen verankert ist, bleibt offen. Daher sei an diesem Punkt lediglich darauf hingewiesen, dass nicht von idealen Voraussetzungen im Sinne fundierter Fachkenntnisse zum Einsatz neuer Medien im Unterricht ausgegangen werden kann. Dies kann sowohl dazu führen, dass Lehrende tendenziell den Einsatz neuer Medien vermeiden oder es nicht zu einem professionellen Einsatz kommt (JANßEN et al. 2016: 56).

Aus Entwickler- und Entwicklerinnensicht ist an der Gesamtsituation wenig zu ändern, allerdings kann die Art der Bereitstellung und Aufbereitung der Anwendung und der begleitenden Materialien, die zur Akzeptanz unter Lehrenden beitragen und somit den Einsatz für Lehrende vereinfachen. Dabei sind unterschiedliche Szenarien denkbar. Es könnten beispielsweise schriftliche Hilfestellungen für Lehrende zu den Stolpersteinen und Lösungen zum Einsatz der Technologie im Unterricht oder Anleitungsvideos zur Verfügung gestellt werden. Ein Angebot an Kontaktmöglichkeiten und Weiterbildungsangeboten könnten ebenfalls zur größeren Akzeptanz und zum professionelleren Einsatz beitragen.

Abschließend ergeben sich aus den Rahmenbedingungen einige Aspekte, die bei der Entwicklung von *Virtual Reality*-Lernanwendungen beachtet werden können. Die fach- und fachdidaktischen Grundlagen, welche hauptsächlich im Lehrplan festgehalten sind und unter anderem die historisch gewachsenen Ansprüche des Synthesefachs Geographie und Wirtschaftskunde widerspiegeln, können als komplex und umfangreich bezeichnet werden. Für die Entwicklung entsprechender Anwendungen stellt dies zum einen Vorteile dar, da viele Leitlinien zur Orientierung bereitstehen und aus einem großen Angebot zur Begründung der im Entwicklungsprozess zu treffenden Entscheidungen zur Verfügung stehen. Auf der anderen Seite setzt der Umfang und die Komplexität sowie die Art, in welcher der Lehrplan und andere Dokumente formuliert sind, eine gewisse Fachkompetenz zur Interpretation voraus. Besonders erfolgreich und vielseitig einsetzbar könnten VR-Anwendungen dann sein, wenn sie neben einer fachlichen Einordnung auch einen Unterricht fördert, der die Erfüllung von Unterrichtsprinzipien erleichtert.

Als besonders herausfordernd kann sowohl die nicht flächendeckende W-lan Verfügbarkeit als auch eine nicht gesicherte Verankerung des Umgangs mit neuen Medien im Unterricht in der Basislehrramtsausbildung gesehen werden. Positiv sind hier die Absichten des verkündeten Absichten des Bundesministeriums für Bildung zur Förderung von mobilen Lernen und die

Bring Your Own Device-Ansätzen zu beurteilen (BMBWF 2017a). Mit dieser Herangehensweise wäre eine Förderung von VR-Einsatz in der Schule kompatibel. Insgesamt können die Rahmenbedingungen im österreichischen Bildungskontext aber als nicht ideal beschrieben werden. Auch wenn es größtenteils außerhalb des Wirkungsbereichs von Entwicklern und Entwicklerinnen liegt an der Gesamtsituation etwas zu ändern, gibt es aber dennoch einige Maßnahmen, die getroffen werden können. Dazu zählen vor allem Unterstützungsangebote für Lehrende sowie eine niederschwellige Konzeption der VR-Anwendung.

Welche VR-Anwendungen es bereits gibt, die thematisch für den österreichischen Geographie- und Wirtschaftskundeunterricht interessant sein könnten, und wie die Planung einer VR-Lernanwendung auf der im Zuge der Arbeit erstellten Entwicklungsgrundlage aussehen kann, soll nun im folgenden Kapitel erläutert und beispielhaft dargestellt werden.

6 Ausgewählte Anwendungsbeispiele der „Virtual Reality“-Technologie: Aktuelle Angebote sowie Planungsmuster für den Geographie- und Wirtschaftskundeunterricht

Im folgenden Kapitel soll anhand einiger Beispiele besprochen werden, welche Anwendungsmöglichkeiten sich aus dem Angebot bereits vorhandener *Virtual Reality*-Applikationen und Plattformen für den Geographie- und Wirtschaftskundeunterricht ergeben. Da bereits in Kapitel fünf festgelegt wurde, dass für den Schulunterricht vor allem webbasierte, *Low Cost* und wenig anspruchsvolle - also auf Smartphones abbildbare - Anwendungen geeignet sind, liegt der Fokus auf diesen. Im zweiten Teil des Kapitels soll besprochen werden welche weiteren Anwendungsmöglichkeiten es gibt und beispielhaft demonstriert werden wie die Planung einer passenden, den erarbeitenden Kriterien entsprechenden *Virtual Reality*-Lernanwendung für den Geographie- und Wirtschaftskundeunterricht aussehen könnte.

6.1 „Virtual Reality“-Lernanwendungen: Ein paar Beispiele

Die Einsatzmöglichkeiten für *Virtual Reality*-Anwendungen im Geographie und Wirtschaftskunde -Unterricht sind umfangreich. Dabei kann VR allgemein die Lernumgebung bilden oder spezifische Erfahrungen wie Simulationen abbilden oder auch dazu benutzt werden konkrete Fähigkeiten wie die Orientierung im Raum zu trainieren. VR-Anwendungen können auf 360 Grad Videos oder Kugelpanoramafoto aufbauen, vollständig digital

erschaffene Umgebungen abbilden oder zur Darstellung einzelner Objekte wie 3D Körper herangezogen werden. Es gibt Plattformen, die primär Inhalte zur Verfügung stellen und andere, die darauf ausgelegt sind, dass Nutzer und Nutzerinnen selbst ihre Umgebungen und/oder Objekte erschaffen. Die Anwendungen sind außerdem webbasiert oder benötigen Programme bzw. *Apps* zur Ausführung. Im Folgenden sollen einige Anwendungen die sich für den Einsatz im Geographie- und Wirtschaftskundeunterricht eignen, vorgestellt werden.

6.1.1 Eigene Inhalte

Unter den vielen *Virtual Reality*-Anwendungen und Plattformen gibt es einige, die für das Erstellen und zur Verfügung stellen eigener Inhalte ausgelegt sind. MARTÍN-GUTIÉRREZ (2017) sieht darin einen Trend mit dem Firmen versuchen ihre Plattformen attraktiver zu machen – denn nur wenn genügend Inhalte zur Verfügung stehen, sind diese für die Nutzer und Nutzerinnen interessant (MARTÍN-GUTIÉRREZ 2017: 477). Da aus kommerzieller Sicht also ein wesentliches Interesse an einem breiten und von *Usern* gespeistes Angebot an VR-Inhalten besteht lässt sich vermuten, dass die Erstellung und Bereitstellung von Inhalten nutzerfreundlich gestaltet und zunehmend einfacher werden wird. Genau hierin liegt auch ein großes Potential für den Bildungsbereich, da somit die Hürden für Lehrende und Lernende ohne Fachkenntnisse im Bereich Informationstechnologie zunehmend reduziert werden (MARTÍN-GUTIÉRREZ 2017: 472).

In diesem Zusammenhang ist das Erstellen von Kugelpanoramafotos ein besonders niederschwelliges Beispiel. Aktuelle Smartphone verfügen mittlerweile oft schon über eine Funktion zur Aufnahme von Kugelpanoramafotos durch das Zusammenfügen mehrerer Aufnahmen ausgehend vom gleichen Punkt. Die Aufnahme von Kugelpanoramafotos ist dabei mit ein wenig Übung nicht viel schwieriger als die Aufnahme eines einzelnen Fotos. Doch nicht nur das Erstellen von Kugelpanoramafotos ist machbar. Andere Plattformen erlauben zum Beispiel das Produzieren eigener digitaler Inhalte wie zum Beispiel im Fall von „Sketchfab“ (SKETCHFAB) das Erstellen von 3D Objekten oder auch Lernumgebungen.

Nachdem Inhalte produziert wurden, braucht es für den Einsatz in der Klasse auch Plattformen bzw. Wege auf welche diese gespeichert und anderen zur Verfügung gestellt werden können. Für den Schulunterricht ist es dafür von Vorteil, wenn die Schüler und Schülerinnen kein eigenes Konto anlegen müssen, um zugreifen zu können und auch, dass die Datenprivatsphäre der Schüler und Schülerinnen geschützt ist. Nützlich sind auch Plattformen, die Informationen und Vernetzungsmöglichkeiten bieten, um das Erstellen von Inhalten zu erleichtern. Hier kann

zum Beispiel das Projekt von „Facebook“ namens „Facebook360“ genannt werden (FACEBOOK). Weitere Plattformen die auch MARTÍN-GUITÉRREZ (2017) in diesem Zusammenhang erwähnt sind „DayDream VR“ (GOOGLE) und „Jump“ (GOOGLE) (MARTÍN-GUTIÉRREZ 2017: 477).

Aus einer Unterrichtsperspektive ist die Option mit eigenen Inhalten zu arbeiten sehr interessant. Dabei können nicht nur Lehrende, sondern auch Lernende, Inhalte erstellen und mit anderen teilen. Speziell im Geographie- und Wirtschaftskundeunterricht könnte diese Möglichkeit herangezogen werden, um zum Beispiel selbst gewählte Räume für andere erfahrbar machen zu machen, zu vergleichen und unter bestimmten Aspekten näher zu beleuchten. Ein Austausch ist dabei im Klassenzimmer aber über das Internet auch über Schul- und Ländergrenzen hinweg möglich und könnte somit auch einen spannenden Beitrag zum „Globalen Lernen“ leisten.

6.1.2 360 Grad Videos und Kugelpanoramafotos

Nutzungsstatistiken zufolge wird die „Google Cardboard“ derzeit hauptsächlich als passives Unterhaltungsmedium für 360 Grad Videos verwendet (POWELL et al. 2016). Es lässt sich vermuten, dass dies auch für den Einsatz im Schulunterricht zutrifft. Doch alleine diese passive Verwendung kann zu erhöhter Motivation sowie Freude beim Betrachten von Videos im Vergleich zu 2D Videos führen (LEE et al. 2017: 157) und sich somit potentiell positiv auf Lernerfahrungen auswirken.

Im Bereich 360 Grad Videos und Fotos steht bereits ein großes Angebot auf diversen Plattformen zur Verfügung. Diverse Arbeiten, wie etwa (BROWN u. GREEN 2016) und (VISHWANATH et al. 2017) geben einen kurzen Überblick über diverse cardboardbasierten *Virtual Reality*-Applikationen, deren Einsatz im Unterricht empfohlen werden. Aus dieser Übersicht sind im Bereich der 360 Grad Kugelpanoramafotos und Videos die „Google Expedition“ (GOOGLE) sowie „Googles Street View“ (GOOGLE) zu erwähnen. Auf Plattformen wie „Youtube“ finden sich darüber hinaus viele 360 Grad Videos von kurzen Aufnahmen bis Dokumentationen reichen. Ein weiteres Produkt, welches dezidiert auf Unterrichtsklassen ausgelegt ist, ist das kostenpflichtige Produkt „Class VR“ (AVANTIS SYSTEMS LTD.)

Insgesamt kann das Angebot als niederschwellig und vielseitig charakterisiert werden, wobei nur ein Bruchteil dessen auch für den Unterricht, insbesondere für den Geographie und Wirtschaftskundeunterricht, genutzt werden kann. GW-spezifisch gibt es bereits besonders

viele Aufnahmen im Bereich der Physiogeographie, aber auch zum Globalen Lernen dürften sich einige Inhalte eignen, wie etwa das VR Storytelling Erlebnis der „Wiener Zeitung“ aus dem Jahr 2017 (WIENER ZEITUNG 2017).

6.1.3 3D-virtuelle-Welten und digitale Erlebnisräume

Eine andere Anwendungsmöglichkeit liegt im Bereitstellen virtueller Welten. Im Gegensatz zu 360 Grad Videos und Fotos, baut die virtuelle Umgebung hier primär auf digitalem Input auf. Eine wesentliche Unterscheidung im Bildungskontext liegt darin, ob es sich um einen Erlebnisraum oder eine digitale Lernplattform im Sinne digitaler Klassenzimmer handelt (siehe Kapitel 2.4.1). Als Beispiel für den Geographie und Wirtschaftskunde-Unterricht kann die Anwendung „Fieldsapes“ (BECK et al. 2017) genannt werden, welche zum Üben von Feldforschungsszenarien verwendet werden kann.

6.1.4 Simulationen, „Storytelling“ und interaktive Diagramme

Weitere Alternativen, welche als Basis für einige Aspekte des Geographie- und Wirtschaftskunde-Lehrplans herangezogen werden können sind Simulationen, interaktive Diagramme und *Storytelling* (BUCHER 2017). Letzteres wird vor allem im Bereich des Journalismus verwendet, z.B. ein virtuelle informative Achterbahnfahrt des „Nasdaq“ Aktionindex (ROGER KENNY), sind aber für den GW-Unterricht geeignet, um zum Beispiel Wirtschaftsthemen zu behandeln. Weitere Beispiele sind eine virtuelle Tour auf *Storytelling* basierten Elementen durch „Gale Krater“ auf dem Mars (EMAMDJOMEH 2015) oder „Splash Sim: A VR Experience in water cycle“ (CHIN et al. 2017), in der der Wasserkreislauf auf einem 3D Geländemodell schematisch nachgebaut wurde und in einer Art Tour das Wasser nachverfolgt werden kann.

Fokus	Beispiele
Eigene Inhalte	„Sketchfab“, „Daydream VR“
360 Grad Videos	„Google Expeditions“, „Youtube“

Kugelpanoramafotos	„Google Street View“, „ClassVR“
VR als Erlebnisraum	„Fieldsapes“
Storytelling	„Splash Sim: A VR Experience in water cycle“

Tabelle 3 Beispiele verschiedener Anwendungen (eigener Entwurf)

Insgesamt kann von einem großen aber mitunter unübersichtlichen Angebot gesprochen werden, wovon sich viele Anwendungen auch für den Geographie- und Wirtschaftskundeunterricht einsetzen lassen. Lehrende haben dabei nicht nur die Möglichkeit aus einer Vielfalt an verschiedenen Plattformen und Inhalten zu wählen, sondern können auch selbst Inhalte wie 360 Grad Videos oder auch komplexere Lernräume erstellen. Bei der Wahl passender Inhalte und Plattformen sollte allgemein darauf geachtet werden, dass der Datenschutz der Lernenden beachtet wird und die Anwendungen mit verschiedenen Betriebssystemen kompatibel sind.

6.2 Planungsmuster: 3 Beispiele

Im Zuge der vorliegenden Arbeit wurde versucht auf theoretischer Ebene der Frage, welche didaktischen, pädagogischen und technischen Kriterien in der Entwicklung einer *Virtual Reality*-Lernanwendung für den Geographie- und Wirtschaftskundeunterricht beachtet werden sollten, nachzugehen. Drei Grundpfeiler der in der Arbeit dargelegten Ergebnisse sind, dass *Virtual Reality*-Anwendungen einer profunden didaktischen und fachlichen curricularen Einbettung bedürfen, die Ansprüche an die Anwendung, die sich aus dem Einsatz im Unterricht ergeben beachtet werden sollten und auch, dass diese den Qualitäten der Technologie selbst entsprechen müssen, um die Potentiale dieser nutzen zu können. In welcher Reihenfolge diese Eckpfeiler Beachtung finden, kann variieren und hängt von der eigenen Herangehensweise ab. Es ist gleichwertig möglich vom Lehrplan ausgehend eine Anwendung zu planen als auch eine bestimmte Eigenschaft der Technologie als Grundlage heranzuziehen. Zentral dabei ist es jedoch immer, dass wirklich das Medium der virtuellen Realität das geeignetste ist, um die vorgesehenen Lernziele zu verfolgen.

Im Folgenden soll nun beispielhaft und grob skizziert werden wie eine Planung aussehen könnte, die auf diesen Grundlagen aufbaut. Darauffolgend wird in Kapitel 7 die Gesamtheit der Ergebnisse in einem Entwicklungsleitfaden zusammengefasst. Dieser bildet schließlich die Grundlage der in der darauffolgenden Darstellung einer Entwicklung eines VR-Lernraums mit Begleitmaterial zum Einsatz in der Schule.

6.2.1 Beispiel 1: Charaktereigenschaften der Technologie

Im ersten Beispiel stellt der Ausgangspunkt die technologische Eigenschaft der Immersion dar. Diese bildet erneut die Grundlage, von der ausgehend die weiteren Entscheidungen getroffen werden. Es soll also überlegt werden, welche Inhalte des Fachs Geographie- und Wirtschaftskunde von einer immersiven Darstellung profitieren würden. Als Beispiel könnte hierfür eine Globusanwendung im Zusammenhang mit einem relationalen oder geographischen Raumbegriff gewählt werden. Es könnte dabei argumentiert werden, dass eine immersive Globusanwendung anderen Abbildungsformaten in vielen Hinsichten überlegen ist. Im Vergleich zur Karte, wie sie zum Beispiel oft in Schulbüchern zu finden ist, können in einer immersiven Darstellung eine realitätsnähere Abbildung der Welt ähnlich eines physikalischen Globus darstellen. Gerade wenn es um Relationen und Verortung im Raum geht, könnten sich Darstellungen in der virtuellen Realität darüber hinaus allgemein anbieten, weil auch die Verortung von Ländern oder Objekten zueinander im virtuellen Raum der Realität näher sind. Zusätzlich ist es leicht möglich jedem Lernenden eine eigene Weltabbildung zur Erkundung zur Verfügung zu stellen. In diesem Aspekt ist die immersive VR-Anwendung dem Globus als Objekt aber auch einer Computerabbildung überlegen.

Unter Berücksichtigung dieser Aspekte kann anschließend eine curriculare Einbettung durchgeführt werden, die die Bestimmung grober Themenbereiche sowie etwaige fachdidaktische Entscheidungen beinhaltet. In folgendem Beispiel wurde dazu die Erklärung von PICHLER und HINSCH (2014) zum semestrierten Oberstufenlehrplan herangezogen. Für eine Globusanwendung käme zum Beispiel der Themenbereich „Gliederungsprinzipien der Erde nach unterschiedlichen Sichtweisen reflektieren“ (HINSCH et al. 2014: 56) in Frage. Als Lernziele könnten sich zum Beispiel „Gliederungsmöglichkeiten der Erde nach naturräumlichen, kulturellen, politischen und ökonomischen Merkmalen analysieren“, „Geographien durch Zonierungen / Gliederungen / Grenzziehungen machen und reflektieren“ und „Die Wechselwirkung von Klima, Relief, Boden, Wasser und Vegetation analysieren Geoökosysteme und deren anthropogene Überformung erklären“ (HINSCH et al. 2014: 56) eignen.

Für eine an sich darstellende Anwendung müsste vermutlich über die curriculare Einbettung hinaus die fachdidaktischen Grundprinzipien nicht berücksichtigt werden. Wenn begleitende Materialien oder Unterrichtsempfehlungen beigelegt werden sollen, müssten diese zur Verfolgung der Lernziele geeignet sein und den fachdidaktischen Grundprinzipien entsprechen.

6.2.2 Beispiel 2: Unterrichtsprinzip

In Beispiel zwei sollen nicht die Charaktereigenschaften der Technologie die Ausgangsbasis bilden, sondern die Frage welche didaktischen Ansprüche sich besonders gut mit dem Medium der virtuellen Realität erfüllen lassen. Eine passende Wahl könnte das didaktische Prinzip der Mehrperspektivität sein. Die Immersion bietet dabei gute Voraussetzungen eine wörtliche Interpretation des Prinzips im Unterricht umzusetzen. Dafür könnten zum Beispiel 360 Grad Videos herangezogen werden, da sich diese besonders gut eignen, um gleiche Situationen oder Umgebungen mehrmals unter verschiedenen Aspekten zu betrachten oder unterschiedliche subjektive Wahrnehmungen der gleichen Umgebung zu vergleichen. Dazu kann zum Beispiel das gleiche Video oftmals unter verschiedenen Gesichtspunkten angesehen werden oder auch nach einmaligem Betrachten die Wahrnehmungen verschiedener Betrachter und Betrachterinnen verglichen werden. Im Vergleich zur 2D Variante kann durch ein 3D Video eine eindringlichere und realistischere Erfahrung erzielt werden. Bezüglich Raumkonzept dürfte sich sowohl eine konstruktivistische Raumauffassung als auch ein Wahrnehmungsraum anbieten.

Generell dürfte sich diese Herangehensweisen für das Hineinversetzen in andere wie zum Beispiel benachteiligte Teilnehmer und Teilnehmerinnen der Gesellschaft oder auch das Erfassen der Subjektivität von Raumwahrnehmungen eignen. Für den Geographie und Wirtschaftskunde-Unterricht würde sich daher zum Beispiel der Themenbereich „Städte als Lebensräume und ökonomische Zentren untersuchen“ anbieten und im Speziellen die Verfolgung des Lernziels „Die Vielfalt der subjektiven Wirklichkeiten in Städten vergleichen“ (HINSCH et al. 2014: 61).

Ein denkbare Unterrichtsszenario könnte zum Beispiel die Verteilung von Rollen beinhalten mit anschließender Immersion in einer Situation, welche sich in Städten typischerweise abspielt. Beispiele hierfür wären die Teilnahme im Verkehr aus unterschiedlichen Perspektiven, ein Spaziergang bei Nacht oder ein Marktbesuch am Samstag. Dazu könnten kurze Biographien und Charaktereigenschaften unter den Schülern und Schülerinnen verteilt

werden. Vor dem Hintergrund der jeweiligen Rolle sollen diese dann die gleiche Situation bzw. Umgebung anhand von simplen Fragen und Aufgabenstellungen, wie zum Beispiel „Hat der Raum auf dich eher positiv oder negativ gewirkt und warum?“, „Zähle drei Punkte auf die dir besonders aufgefallen sind“ oder „Beschreibe den Raum mit drei Adjektiven“ zu analysieren. Die Antworten könnten dann die Grundlage liefern die subjektiven Raumwahrnehmungen zu vergleichen und über die Hintergründe für Unterschiede und Ähnlichkeiten zu reflektieren.

Ein weiteres sich anbietendes Prinzip ist die Maßstäblichkeit, die sogar auch in den technologischen Vorteilen des Mediums VR aufgezählt werden. Es sind dabei diverse Anwendungsbereiche denkbar, besonders im Bereich der Physiogeographie.

6.2.3 Beispiel 3: Thematisch

Eine weitere Herangehensweise an die Planung einer *Virtual Reality*-Lernanwendung für den Geographie- und Wirtschaftskunde-Unterricht wäre von einem Themenbereich auszugehen und für diesen eine die Potentiale der Technologie nutzende Anwendung zu entwickeln. Besonders wichtig scheint es dabei erst ein grobes Thema zu wählen und die Spezialisierung bzw. die zu verfolgenden Lernziele erst auszuformulieren, wenn definiert ist welche Vorzüge des Mediums genutzt werden sollen.

Die Basis für das letzte Beispiel ist die Wahl des Themenbereichs des „Globalen Lernens“, im speziellen der Lehrplanpunkte „Chancen und Gefahren der Globalisierung erörtern“ oder auch „Wirtschaftliche Ungleichheiten auf der Erde anhand der Verfügbarkeit an Produktionsfaktoren (Boden, Arbeit, Kapital, Humanressourcen)“ (HINSCH et al. 2014: 56). Von den VR-spezifischen Vorzügen scheint sich dabei vor allem die Möglichkeit „Authentische Erfahrungen“ zu erzeugen anzubieten. Dieser Vorteil könnte dazu genutzt werden durch authentische Erfahrungen die Auswirkungen der Globalisierung zu veranschaulichen. Mit diesem Anspruch könnten sich besonders folgenden Lernziele eignen:

„Den eigenen Standort in Prozessen der Globalisierung in Bezug auf persönliche Chancen und Risiken analysieren

Den globalen Wandel und seine ökonomischen, sozialen und ökologischen Ursachen und Wirkungen erörtern

Die Auswirkungen ökonomischer Globalisierung diskutieren“ (HINSCH et al. 2014: 60)

Mithilfe von länderübergreifenden Partnerschulen, könnte versucht werden anhand von Kugelpanoramafotos Alltagssituationen wie Einkaufen, zur Schule gehen oder Freizeitaktivitäten Lebenssituationen und -bedingungen zu vergleichen. Es könnten dazu jeweils einzelne Lernende oder Gruppen schulübergreifend zusammenarbeiten. Ein Austausch von Fotos und die Möglichkeit Fragen zu stellen, die im Kontext der Globalisierung relevant sind, könnten die Grundlage zur Reflexion der eigenen Situation darstellen. Ein direkter Kontakt könnte dabei einen wesentlich größeren Effekt haben als anonym aufgenommene Fotos.

Im Gegensatz zur 2D Version wäre auch hier die Möglichkeit zum eigenen Entdecken und authentischeren Erleben eher gegeben. Darüber hinaus könnte es in diesem Zusammenhang einen Vorteil darstellen, dass es schwieriger ist, die Inhalte eines Fotos selektiv zum Beispiel durch eine bestimmte Perspektive zu beeinflussen. Fotos könnten auch helfen Sprachbarrieren zu überwinden.

Zusammenfassend wurde in diesem letzten inhaltlichen Kapitel beispielhaft dargestellt, dass es unter Beachtung der in der Arbeit erarbeiteten Kriterien verschiedene Herangehensweisen an die Planung einer *Virtual Reality*-Lernanwendung gibt. Die Varianten stehen dabei gleichberechtigt nebeneinander, wobei jede mit anderen Vorteilen, Herausforderungen und Ansprüchen begleitet ist. Insbesondere bei der letzten Herangehensweise scheint das Risiko eine zur Technologie unpassende Anwendung zu entwickeln größer. Besonders wenn nicht die technischen Rahmenbedingungen die Ausgangslage zur Planung darstellen, ist das Risiko, dass *Virtual Reality* gar nicht das geeignetste Medium höher.

7 Zusammenfassung der Entwicklungsgrundlagen

Die vorangegangenen Kapitel waren mit der Diskussion verschiedener Kriterien, die bei der Planung und Entwicklung von *Virtual Reality*-Lernanwendungen – insbesondere für den Geographie- und Wirtschaftskundeunterricht – beachtet werden sollten. In den folgenden Tabellen sollen die Ergebnisse anschaulich zusammengefasst werden. Tabelle 4 widmet sich den Vorüberlegungen, Tabelle 5 dem Einsatz in der Schule und Tabelle 6 schließlich den Rahmenbedingungen des österreichischen Schulsystems. Die Zusammenfassung ist bewusst kurzgehalten und auf die wesentlichsten Aspekte beschränkt. Die Kategorien korrespondieren dabei mit den Bezeichnungen der jeweiligen Kapitel, in welchen die jeweiligen Themen ausführlicher diskutiert werden.

Die in der Arbeit definierten, wesentlichen Eckpfeiler der Vorüberlegungen zur Planung eines *Virtual Reality*-Lernraums sind die Eigenschaften der VR-Technologie, die Wahl des Systems, die Gestaltung bzw. das Design einer Anwendung, die Wahl eines passenden Inhalts sowie einer lerntheoretischen Grundlage. Zu allen Punkten sind jeweils die erarbeiteten Empfehlungen, Leitfragen sowie, wenn vorhanden, direkte Implikationen zur technischen Entwicklung dargestellt.

Vorüberlegung	Empfehlung	Leitfrage	Implikation für die technische Entwicklung
Eigenschaften und Potentiale	Die Eigenschaften und Potentiale sollen die Grundlage für die Themenwahl sein.	Entspricht die Themenwahl und das Design den Eigenschaften und Potentialen der Technologie?	-
Virtual Reality-Systeme	Mobile <i>Low Cost</i> -Systeme eignen sich am besten für den Einsatz in der Schule.	Ist die Applikation mit Smartphones kompatibel?	Technische Anforderungen sollen die Leistung handelsüblicher Smartphones nicht übersteigen.
Design/Gestaltung	Das Design soll sich am Lernprozess orientieren. Es gilt dabei „Liking is not learning“.	Ist das Design darauf ausgelegt Lernen zu fördern?	Ein simples Design um <i>Cognitive Overload</i> zu verhindern ist im Zweifelsfalls zu bevorzugen.
Inhalt	Inhalte sollen den technologischen Eigenschaften entsprechen.	Ist das Medium VR das geeignetste Mittel zur Darstellung der Inhalte?	-

Lerntheoretische Grundlagen	Die Anwendung soll auf einer lerntheoretischen Grundlage aufbauen. Ein konstruktivistischer Ansatz ist besonders geeignet die Potentiale der Technologie zu nutzen.	Welche lerntheoretische Grundlage liegt der Applikation zugrunde? Fördert sie einen Unterricht im Sinne dieser Grundlage?	-
------------------------------------	---	---	---

Tabelle 4 Zusammenfassung Vorüberlegungen(eigener Entwurf)

Ein weiterer wesentlicher Aspekt, der für die Entwicklung herangezogen werden sollte, ist der Einsatz im Unterricht selbst. Dabei gilt es sowohl etwaige Stolpersteine, die im Zusammenhang mit dem Einsatz der Technologie auftreten können, als auch die schulspezifischen infrastrukturellen Rahmenbedingungen zu bedenken. Außerdem gibt es gewisse Verzögerungen im Unterricht, denen mit einer bedachten Planung und Entwicklung entgegengewirkt werden können. Darüber hinaus kann es sinnvoll sein, Möglichkeiten der Überprüfung und Prüfung als auch Austausch und Begleitungsmöglichkeiten mitzubedenken. In der folgenden Tabelle sind die Ergebnisse unter Empfehlungen und Implikationen für technische Umsetzung zusammengefasst.

Aspekte des Einsatzes in der Schule	Empfehlung	Implikation für die technische Entwicklung
Bewegungskrankheit	Es soll versucht werden das Risiko des Auftretens von Symptomen der Bewegungskrankheit zu minimieren.	Die Nutzerin/der Nutzer sollte das Gefühl einer statischen Position in der virtuellen Realität haben. Die Applikation soll auch im nicht-immersiven Zustand nutzbar sein.

Infrastrukturelle Voraussetzungen	Die Anwendung soll den infrastrukturellen Voraussetzungen der Einsatzumgebung entsprechen.	Ein niedriger Datenverbrauch ist anzustreben.
Vermeidbare Verzögerungen	Die Anwendung soll vermeidbaren Verzögerungen entgegenwirken.	Webbasierte Applikationen sind zu bevorzugen. Die technischen Anforderungen sollen ein Abspielen ohne Verzögerungen nicht verhindern.
Austausch und Begleitung	In der Planung sollten Begleitungsmöglichkeiten der Lehrenden sowie Austauschszenarien zwischen Lernenden mitbedacht werden. Insbesondere die Schnittstellen zwischen virtueller und physikalischer Realität spielen dabei eine wichtige Rolle.	Die Option einer Lehrendensicht kann überlegt werden.
Überprüfen und Prüfen	Es sollte eine bewusste Entscheidung für die Einbettung der Plattform in analoge, <i>Blended</i> oder virtuelle Management-Systeme getroffen werden.	Die Option Einbettung in ein Management-System kann überlegt werden.

Tabelle 5 Zusammenfassung Einsatz in der Schule (eigener Entwurf)

Wesentlich, wenn nicht sogar am wesentlichsten für einen erfolgreichen Einsatz ist das Schulumfeld. Dieses umfasst Lehrende und andere *Stakeholder* sowie die schulspezifische Kultur. Aus diesen Komponenten ergeben sich kaum technische Implikationen, allerdings scheint es trotzdem wichtig sich der jeweiligen Rollen bewusst zu sein und abseits von

technologischer Optionen Herangehensweisen bzw. Lösungen zu suchen. In der folgenden Tabelle sind einige wichtige Aspekte zusammengefasst:

Schulumfeld	Rolle	Faktoren	Eingreifmöglichkeiten
Lehrende	Wichtig.	Akzeptanz und Fachwissen.	Niederschwellige Anwendungen, Unterstützungsangebote und begleitende Materialien.
Schulspezifische Kultur	Wichtig.	Schulklima und Regulierungen (zum Beispiel in Bezug auf mobiles Lernen)	Lobbyingarbeit und Zusammenarbeit mit Schulen mit positiven Klima.

Tabelle 6 Zusammenfassung Rolle des Schulumfelds (eigener Entwurf)

Ein längeres Kapitel der Arbeit war auch den Rahmenbedingungen in Österreich gewidmet. Dabei wurden vier Aspekte analysiert, die sich in der Literaturrecherche als wesentlich herauskristallisiert haben: Fachliche, fachdidaktische, infrastrukturelle Rahmenbedingungen als auch die Ausbildungssituation der zukünftigen Lehrenden. Die Ergebnisse haben größtenteils keine Auswirkungen auf die technische Umsetzung, wohl gibt es aber abseits der Technik Maßnahmen, die Entwickler und Entwicklerinnen ergreifen können. Im Rahmen der Arbeit war nur ein Andiskutieren verschiedener Eckpunkte möglich, die grob in der folgenden Tabelle zusammengefasst sind:

Rahmen in Österreich (GW)	Ausgangssituation	Empfehlung an EntwicklerInnen	Empfehlung an <i>Policy Makers</i>
Fachlich	Hauptsächlich: Lehrplan	Einbeziehen von pädagogischem	-

	Zusätzlich: Grundsatzterlass der politischen Bildung u.ä.	Personal in der Entwicklung.	
Fachdidaktisch	Fachdidaktischer Grundkonsens	Einbeziehen von pädagogischem Personal in der Entwicklung.	-
Infrastrukturell	Kein flächendeckendes W-Lan und keine flächendeckende Ausstattung mit <i>Virtual Reality</i> -Systemen.	Wenig Datenverbrauch und Lobbyingarbeit	W-Lan Ausbau, Förderung von mobilem Lernen, Förderung des <i>Bring Your Own Device</i> -Ansatzes statt flächendeckende Ausstattung mit Tablets.
Lehramtsausbildung	Der Einsatz neuer Medien im Unterricht ist kein verpflichtender Bestandteil jeder Lehramtsausbildung.	Niederschwellige Anwendungen, Unterstützungsangebote und begleitenden Materialien.	Starke Verankerung in der Lehramtsausbildung

Tabelle 7 Zusammenfassung Rahmenbedingungen in Österreich (eigener Entwurf)

Nach der Zusammenfassung der Entwicklungsgrundlage, bewegt sich die Arbeit nun weg von der Erarbeitung eines allgemeinen Entwicklungsleitfaden sowie der theoretischen Auseinandersetzung mit allgemein gültigen Kriterien, die bei einer Entwicklung zu beachten sind, hin zu deren Anwendung. Im Konkreten sollen die erarbeiteten Grundlagen nun herangezogen werden, um eine *Virtual Reality*-Lernanwendung für den Geographie- und Wirtschaftskundeunterricht zu entwickeln. Anspruch ist es hierbei eine Anwendung zu entwickeln die eine webbasierte Applikation beinhaltet, thematisch im zugehörigen Lehrplan wiederzufinden ist und sich nach den didaktischen Grundsätzen des Fachs einsetzen lässt. Um ein möglichst niederschwelliges Erlebnis zu garantieren, soll auch der Einsatz mitbedacht

werden. In den folgenden Kapiteln wird die Planung und technische Umsetzung der Anwendung beschrieben.

8 Entwicklung einer Lernanwendung im Medium der immersiven virtuellen Realität

Dieser Teil der Arbeit soll in den nun folgenden Kapiteln die Umsetzung Lehr- und Lernanwendung, welche in einem mobilen (*Low Cost*) *Head Mounted Display* (HMD) (siehe dazu Kapitel 2.4) verwendet werden kann, im Medium der immersiven virtuellen Realität beschreiben. Dazu legt dieses Kapitel den Grundstein, indem es unter Berücksichtigung der weiter oben entwickelten Entwicklungsgrundlagen (siehe Kapitel 5), einen virtuellen Globus als konkrete Anwendungsform für eine Applikation begründet. Weiters werden die Kriterien für die Analyse der softwaretechnischen Plattform herangezogen (siehe Kapitel 9), welche auf dieses Medium angewendet werden kann, um daraufhin eine Implementation der Applikation zu ermöglichen (siehe Kapitel 10). Die Implementation der Applikation wird dabei textuell detailliert und weitestgehend nachvollziehbar begleitet.

8.1 Globen im Geographie- und Wirtschaftskunde-Unterricht

Der computergestützte Geographie- und Wirtschaftskunde-Unterricht (GW-Unterricht) weist, neben seiner langen Tradition in Österreich, bis dato rege Akzeptanz seitens der Lehrkräfte und Lernenden auf (LINDNER-FALLY 2012). Die Palette der Dienste, Software sowie Initiativen sind groß und vielzählig. Beispiele wie das Kompetenzzentrum *digital:earth:at* (DIGITAL:EARTH:AT) sowie die ehemalige „GW und Informatik“-Reihe im Online Magazin - (GW-UNTERRICHT) belegen die Relevanz von informations- und kommunikationstechnologisch bzw. elektronischem Lernen gestütztem Unterricht sowie digitaler Medien. Entsprechend gibt es viele positive Impulse für den Einsatz digitaler Medien im GW-Unterricht, obgleich natürlich die Computertechnik allein nicht den Leitmedienwechsel im GW-Unterricht beanspruchen kann, sondern diese einen Mehrwert im Gegensatz zu traditionellen Medien haben muss (DETLEF 2013: 82).

Digitalen Medien kommen, im Kontext der Geographie allgemein, sowie im speziellen im GW-Unterricht, oft in Form eines „virtuellen Globus“ vor (RIEDL 2011). Globen sind dabei Werkzeuge, um die unterschiedlichsten Dinge im Unterricht durchzuführen und eignen sich daher als Anwendungsdomäne für viele didaktische Inhalte. Beispielsweise ermöglichen sie

die Darstellung von thematischen globalen Inhalten, die Analyse von Satellitenbildern und die Vermittlung von Kartenprojektionen (HITZ u. KOLLER 2010). Dementsprechend findet sich eine Affirmation zum informationstechnisch gestützten Unterricht auch im GW-Lehrplan wieder:

„Im Unterricht soll die Aktivität der Schülerinnen und Schüler im Vordergrund stehen. Daher sind verstärkt Unterrichtsverfahren einzusetzen, die zu eigenständiger und kritischer Informationsverarbeitung führen. Dabei sind neben traditionellen geographischen Arbeitsformen insbesondere die **Möglichkeiten der IKT** [Informations- und Kommunikationstechnologie] zur Gewinnung sowie Verarbeitung und **Darstellung geographischer** und wirtschaftskundlicher **Informationen zu nutzen.**“ (RIS 2018) (Hervorhebung Autor)

Die lange Tradition des computergestützten GW-Unterrichts suggeriert daher auch eine Umsetzung eines virtuellen Globus in der zu entwickelnden Applikation. Globen ermöglichen auch die Abbildung eines breiten Spektrums an möglichen Lehr- und Lerninhalten.

8.2 Virtueller Globus als Anwendung

Im folgenden Kapitel soll ein Überblick über die Anforderungen von einerseits virtuellen Globen, aber auch Anforderungen des Mediums der virtuellen Realität, vor allem im Hinblick auf den Unterricht, mit Hilfe der Literatur vorgestellt werden. Dabei wird auch die Kritik von traditionellen Globen berücksichtigt. Diese erarbeitenden Anforderungen legen den Grundstein für die in Kapitel 7 zu entwickelnden Applikation.

8.2.1 Typologisierung von Globen

Die *Hyperglobe Research Group* am Institut der Geographie und Regionalforschung der Universität Wien forscht und entwickelt gegenwärtig eine Typologisierung von Globen nach deren Beschaffenheit. Im Kontext des Digitalen wird von der Forschungsgruppe der Terminus *Hyperglobus*, im Gegensatz zum analogen Globus, empfohlen. Der Präfix „hyper“ verdeutlicht dabei die Möglichkeit der Vernetzung mit einem globalen Informationssystem durch die Nutzung von Hyperlinks (HRUBY et al. 2008: 2). Ein solcher Globus gibt dabei ein vernetztes und interaktives Informationsmedium wieder, welche auf einem virtuellen geometrischen Körper in einem virtuellen Raum abgebildet werden (RIEDL 2011). In dieser Arbeit wird der virtuelle Globus immer auch als Hyperglobus verstanden und weiter begrifflich nicht

differenziert. Die folgende Grafik zeigt die Typologie der Globen nach deren Beschaffenheit, wobei der virtuelle Globus sich am meisten vom analogen physischen Globus abhebt.

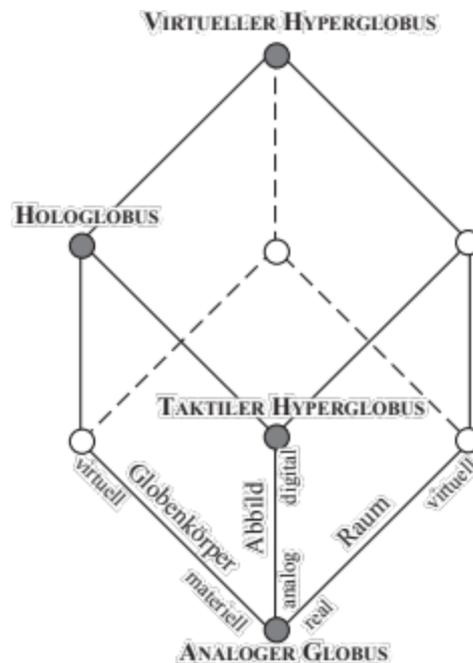


Abbildung 24 Typologie der Globen nach deren Beschaffenheit (RIEDL 2000, 9)

Entsprechend der Typologisierung von Globen nach RIEDL handelt es sich bei einem Hyperglobus im Kontext einer virtuellen Realität immer um einen „Virtuellen Hyperglobus“, d.h. die Visualisierung einer digitalen Globuskarte findet auf einem immateriellen Globuskörper statt, der sich in einem virtuellen Raum befindet (RIEDL 2000: 9). Hypergloben finden aufgrund ihrer Analogie zu analogen Globen eine weite Verbreitung in verschiedenen Umgebungen (RIEDL 2011: 10). Speziell im GW-Unterricht finden digitale Hypergloben, nicht zuletzt durch ihre prominente proprietäre Varianten wie *Google Earth* (GOOGLE) oder *NASA WorldWind* (NASA WORLDWIND), aber auch freien Varianten wie *Marble* (NIENHÜSER), ein vielfältiges Anwendungsgebiet. Doch handelt es sich bei diesen Produkten per se nicht um Lernsoftware, sondern diese Globen sind auf ein breites Anwendungsspektrum ausgerichtet. Entsprechend Kritik gibt es daher von Lehrkräften, wie es beispielsweise SCHEIDL pointiert formuliert:

„Dort, wo Geographielehrer/innen multimediale Unterstützung suchen würden (z.B. bei der Einführung ins Gradnetz, bei der Darstellung der Erde als Planeten, bei globalen Kausalzusammenhängen klimatischer oder geotektonischer Art, bei Weltpolitik oder Verkehrsströmen), da bieten virtuelle Globen wenig Information und Unterstützung.“ (SCHEIDL 2009a: 71)

Auch verrät die Nutzungsstatistik von diesen Produkten, dass die allgemeine Nutzung eine Abkehr von den traditionellen Verständnissen analoger Globen impliziert. Die grundsätzliche Interpretation und Wahrnehmung der Erde wird durch diese Globen nicht gefördert, sondern die häufigste Nutzung beschränkt sich schlicht auf das Aufsuchen individueller weltweiter Standorte (HRUBY u. TORRES 2009: 4).

Obgleich der Einsatz von digitalen Medien, wie etwa Globen im Unterricht, unumstritten ist, ist der didaktische Mehrwert, den das Medium mit sich bringt, unbestreitbar, wie die Erfahrungsberichte von SCHEIDL (2009b) und HITZ und KOLLER (2010) belegen. Auch Schulbücher stellen den Einsatz von digitalen Globen dar, jedoch in erster Linie nur um Orte aufzusuchen, georeferenzierte Punktinformationen einzublenden bzw. Satellitenaufnahmen zu besichtigen (HOFMANN-SCHNELLER et al. 2014: 20).

Hierin liegt auch das primäre Interesse einen virtuellen Globus im Medium der virtuellen Realität für den Schulgebrauch zu entwickeln. Zudem sind virtuelle Globen nicht nur für geographische Thematiken verwendbar, sondern können auch interdisziplinär eingesetzt werden (RIEDL 2012, S. 137). Bis dato (April 2018) gibt es jedoch kein vergleichbares Produkt oder eine Studie zu virtuellen Hypergloben.

8.2.2 Anforderungen an einen virtuellen Globus

An dieser Stelle werden kontextualisierend die Eigenschaften eines virtuellen Globus, in der Literatur auch als Globenprofil bezeichnet, vorgestellt. Damit sollen kurz die Vorteile und Einschränkungen im Vergleich zu einem traditionellen analogen Globus deutlich gemacht werden.

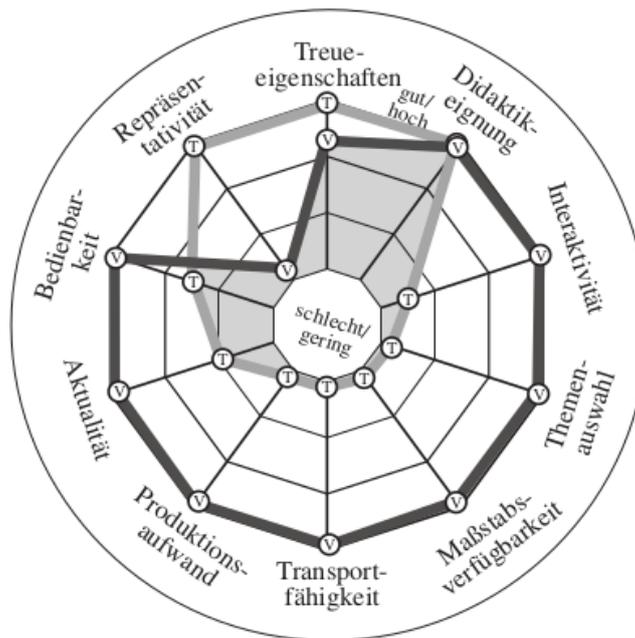


Abbildung 25 Globenprofil im Vergleich zwischen analogen und virtuellen Globen (RIEDL 2000, 129)

Wie in der Abbildung gut ersichtlich, ist der Aspekt der sogenannten Didaktikeignung stark ausgeprägt, und macht den virtuellen Globus aufgrund seiner Möglichkeit der animierten Sachverhaltsdarstellung, sowie Interaktionsmöglichkeit, und geringen Produktionskosten, sowie der potenziellen ubiquitären Verfügbarkeit für den Schulgebrauch einsetzbar (RIEDL 2000: 130). Zusammengefasst nach RIEDL:

„Da der virtuelle Globus dynamische Präsentationsformen und Interaktivität beinhalten kann, lassen sich mit ihm noch effizienter korrekte Raumvorstellungen vermitteln sowie globale Prozesse und Strukturen veranschaulichen.“ (RIEDL 2000: 116)

Die Narration von globalen Thematiken bei Globen erfolgt als einheitliche Geschichte und fußt auf dem Konzept des *Storytellings* (RIEDL u. WINTER 2013: 1). Das Konzept des *Storytellings* findet sich generell in Geographie- und Wirtschaftsdidaktik wieder (siehe Kapitel 6.1.4). Das *Storytelling* wird im Globenkontext über digitale Geoanimationen entwickelt, welche die Inhalte der Geschichte dynamisch-visuell steuern (RIEDL u. WINTER 2013: 2), Geoanimationen spielen bei Hypergloben eine zentrale Rolle bei der Kommunikation mit dem Anwender und der Anwenderin und somit auch in der Schuldidaktik. Weitere Beispiele zu *Storytelling* sind in Kapitel 6.1.4 gelistet. Denn RIEDL und SCHRATT zeigen dabei auf, dass Geoanimation die räumliche Interpretation sowie das kognitive Verständnis erleichtern (RIEDL u. SCHRATT

2011). Zudem ist bei diesen, im Vergleich zu statischen Karten, eine erhöhte Informationsdichte gegeben. Geoanimationen sind so vielfältig, dass sie anhand ihrer Komplexität weiters klassifiziert werden können (RIEDL u. SCHRATT 2011: 163–166). Am Beispiel eines Herstellers von taktilen Hypergloben und seiner Narration von thematischen Inhalten durch ein *Storytelling* unter der Verwendung von Geoanimation ist bei *Globoccess* (GLOBOCCESS 2017) sichtbar. Als Nachteil von Geoanimationen kann der ressourcenintensive Aufwand bei deren Entwicklung gesehen (WINTNER 2012). Das Konzept des *Storytellings* bzw. der dadurch inhärenten Geoanimation, werden im Zuge dieser Arbeit auch bei virtuellen Hypergloben als sinnvolle Anforderungen erachtet.

Folgende Anforderungen an die virtuelle Globenapplikation können abschließend daher aus den zuvor zitierten Quellen eruiert werden:

1. Einsatz von *Storytelling* durch Geoanimationen
2. Interaktivität durch dynamische Präsentationsformen
3. Veranschaulichung globaler Prozesse und Strukturen

Die bisherige marginale theoretische Abhandlung des virtuellen Raums bei virtuellen Hypergloben lässt leider keine Anknüpfungen an das immersive Medium der virtuellen Realität zu. Denn ein virtueller Raum bedingt zwar keine virtuelle Realität, jedoch hingegen bedingt das Medium der virtuellen Realität einen virtuellen Raum.

8.3 Virtueller Raum in der virtuellen Realität

Der virtuelle Raum im Medium der virtuellen Realität soll mithilfe des Konzepts der „Virtuellen Welt“ (ESTES et al. 2016: 278) erklärt werden. Die Autoren des Konzepts haben dieses im Lehr- und Lernprozess im Kontext von konkreten Anwendungen erarbeitet. Entsprechend soll im weiteren Verlauf der Arbeit die Nomenklatur der „Virtuellen Welt“ (im Gegensatz zum Begriff des virtuellen Raums) verwendet werden, da Ersterer per se an das Medium sowie Lernumgebung gebunden ist. „Virtuelle Welten“ können einerseits reale Gegebenheiten, wie etwa Klassenräume abbilden oder aber auch imaginäre Umgebung, wie beispielsweise einen virtuellen Globus, widerspiegeln. Sie beinhalten dabei folgende vier Charakteristiken, welche mit Erläuterungen zu dem spezifischen Einsatz als virtueller Globus ergänzt wurden (ESTES et al. 2016: 278):

1. Die Illusion eines dreidimensionalen Raumes:
Der dreidimensionale Raum für einen Hyperglobus, kann durch zwei Varianten ermöglicht werden: entweder der Globus ist selbst in einem Raum eingeschlossen (etwa dem Universum oder einem Klassenraum) oder der Globusmantel bildet selbst den Raum. Vor allem Letzteres ist, wie sich im weiteren Verlauf der Arbeit herausstellt, im Medium der virtuellen Realität eine interessante Variante, welche weiters verfolgt werden soll.
2. Avatare, welche die Anwender der Applikation im Raum abbilden:
Durch den Einsatz von Avataren in der virtuellen Welt wird eine aktive virtuelle Realität (siehe Kapitel 2.3.3) erst ermöglicht. Ein Avatar, welcher in der virtuellen Welt immer existiert, ist der Anwender selbst.
3. Eine Kommunikationsmöglichkeit zwischen den Avataren:
Virtuelle Welten sollen idealerweise simultan mehrbenutzerfähig sein. Entsprechende Kommunikationsmöglichkeiten zwischen den Avataren müssen berücksichtigt werden, um eine intuitive Kooperation zu ermöglichen.
4. Die Möglichkeit der Interaktion mit dem Raum:
Die Möglichkeit der Interaktion mit dem Raum erlaubt den Lernenden ein *learning by doing*. Diese Interaktionsmöglichkeit wird erst durch den virtuellen Globus richtig ermöglicht. (Bei taktilen Hypergloben wird unter dem Begriff "taktil" die Möglichkeit des Berührens verstanden, jedoch nicht die haptische Kommunikation mit dem Globus, wie beispielsweise der Informationsgewinnung durch Ertasten. Eine Interaktion ist jedoch eventuell über einen externen Steuerungsmonitor möglich (RIEDL 2012: 135).

Diese Charakteristiken von „Virtuellen Welten“ müssen als Anforderungen in die zu entwickelnde Applikation einfließen. Weitere Anforderungen ergeben sich durch die spezifischen, einerseits technischen sowie konzeptionellen, Limitierungen des Mediums, welche im folgenden Kapitel besprochen werden.

8.4 Medium der virtuellen Realität

Wird von *Virtual Reality* gesprochen so wird dahinter immer das Medium der immersiven virtuellen Realität verstanden. Dahingehend können diese Begriffe austauschbar verwendet werden.

8.4.1 Technische Limitierungen

Folgende technische Limitierungen des Mediums der immersiven virtuellen Realität sind bis dato gegeben, und haben dadurch auch Auswirkungen auf die Anforderungen von Anwendungen.

8.4.1.1 „Degree of Freedom“

Der Begriff *Degree of Freedom* (DOF) beschreibt die Bewegungsmöglichkeit des Anwenders im virtuellen Raum. Es gibt insgesamt sechs mögliche Parameter, drei Winkel- und drei Längswerte, um einen beweglichen Punkt relativ zu einem Referenzpunkt zu messen. Dadurch wird zwischen *3 Degrees of Freedom* (3DOF), welche nur die drei Winkelwerte messen kann, sowie *6 Degrees of Freedom* (6DOF), wo zusätzlich auch die Längswerte gemessen werden, unterschieden. Mobile HMDs registrieren in Echtzeit über das eingebaute Gyroskop die Rotation des Kopfes. Lokationsmessung durch etwaige eingebaute GPS Sensoren sind aufgrund der zu geringen Standortauflösung (sub zehn Meter-Bereich) nicht möglich. Um ein 6DOF daher zu ermöglichen, müssen in dem Bewegungsraum zusätzliche stationäre Sensoren angebracht werden, was ressourcentechnisch einen erhöhten Aufwand darstellt (FUCHS 2017: 62).

8.4.1.2 Pixeldichte

Die Pixeldichte ist ein weiteres Kriterium für die Qualität des Mediums. Die Pixeldichte gibt die Auflösung des Bildschirms des *Head Mounted Display* (HMD) an und wird in *pixels per degree* (ppd) angegeben. Die für die Entwicklung der Lernanwendung vorausgesetzten HMDs erreichen eine Pixeldichte von 25 ppd, die im Gegensatz zum menschlichen Auge von 120 ppd ist. Es wird vorausgesagt, dass zukünftige Displaytechnologien die Pixeldichte erheblich erhöhen werden (FUCHS 2017: 60–61).

8.4.1.3 Sichtweite

Die Sichtweite, im technischen Jargon als *Field of View* (FOV) bezeichnet, beträgt bei mobilen HMDs zwischen 60 und 100 Grad (abhängig von der Displaygröße) in die horizontale bzw. vertikale Achse (FUCHS 2017: 56). Das menschliche bewegliche Auge hat dagegen ein Sichtfeld von 210 Grad entlang der Horizontalen bzw 140 Grad in die vertikale Richtung. Ist die Sichtweite zu sehr eingeschränkt, kommt das unangenehme und beschränkende Gefühl eines Tunnelblicks auf (DAVID R. BADCOCK et al. 2015: 42).

Die Erweiterung der Sichtweite gilt als eine der größten technischen Herausforderungen und ist gleichzeitig eine der größten Nachteile mobilen HMDs (FUCHS 2017: 79). Das folgende Diagramm zeigt dabei, wie weit selbst teure HMDs im Bezug auf FOV und ppd noch entfernt von der menschlichen Sehweise sind (FUCHS 2017: 9).

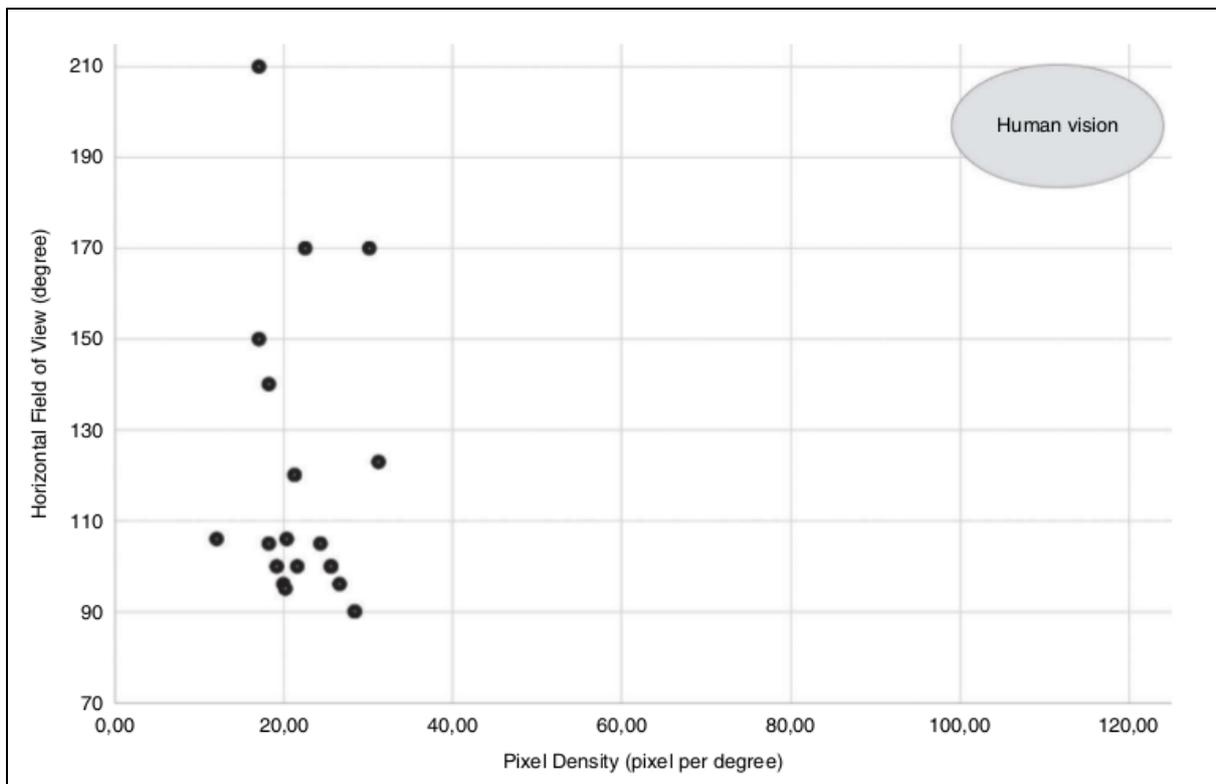


Abbildung 26 Verteilung von Head Mounted Displays nach dem horizontalen Sichtfeld und der Pixeldichte

Dieses noch unausgewogene Verhältnis zwischen dem menschlichen Sehvermögen und dem Sehvermögen innerhalb des Medium wird sich durch technische Verbesserungen angleichen.

8.4.1.4 Interaktionsmöglichkeit

Die Interaktion in der virtuellen Realität kann ohne weitere Eingabemöglichkeiten nur über die Kopfdrotation sowie über den Blick erfolgen (siehe Kapitel 5.1.2). Mobile *Low Cost* HMDs haben per se keine weiteren Eingabemöglichkeiten.

8.4.2 Konzeptionelle Limitierungen

Die Studien von DIMITROPOULUES et al. (2008: 65) und JANßEN et al. (2016) beschreiben die Problemfelder von immersiven, auf der virtuellen Realität basierten Applikationen im Bildungskontext. Beide Studien differenzieren, obgleich in etwas unterschiedlicher Nomenklatur, zwischen der Navigation, dem Realismus sowie der Interaktion als jeweiliges zentrales Problemfeld. Zusätzlich können die Konzepte Immersion, *Presence* und *Flow* als weiteres Problemfeld zusammengefasst werden (MIKROPOULOS u. NATSIS 2011a). Je nach Anwendungsdomäne, in unserem Fall der virtuelle Globus, wird eine entsprechende Lösungsstrategie zu den Problemfeldern benötigt. Diese Problemfelder sind dabei unweigerlich auch mit den Charakteristiken von „Virtuellen Welten“ verknüpft. Entsprechend sollen im Folgenden, neben der Beschreibung der drei Problemfelder, auch die Anforderungen des virtuellen Hyperglobus (siehe dazu Kapitel 8.2.2) betrachtet werden.

8.4.2.1 Navigation

Die Navigation zählt zu der wichtigsten Komponenten in dreidimensionalen virtuellen Welten (DIMITROPOULOS et al. 2008: 65). Die Navigation ist im Design ein zentraler Bestandteil um Desorientierung zu vermeiden, ein exploratives Lernen zu ermöglichen und um damit das Gefühl der Immersion aufrecht zu halten. Einfache Navigationsmöglichkeiten und eine gute Kontrolle über die Navigation sind Schlüsselemente für die Akzeptanz einer Anwendung (STERNIG et al. 2017: 184).

Eine minder entwickelte Navigation kann zu sensomotorischen Diskrepanzen zwischen natürlich und unnatürlichen Sehprozessen führen (FUCHS 2017: 9). Die häufigste Diskrepanz ist die Bewegungskrankheit (siehe Kapitel 5.2.1.1). Diese visuelle induzierte Bewegungskrankheit wird durch den besonderen Umstand ausgelöst, dass sich der Avatar im visuellen Raum zwar bewegt aber der Anwender selbst im physikalischen Raum nicht (KESHAVARZ u. HECHT 2014: 521). Um dies zu verhindern muss die Bewegung im Raum immer in Richtung der Kopfbewegung erfolgen (POWELL et al. 2016). Obgleich die Problematik eine große, vielfach aber noch wenig untersuchte ist, können aufgrund der eingeschränkten

Navigationsmöglichkeiten viele Probleme bei mobilen *HMDs* nicht bzw. nur minder auftreten (FUCHS 2017: 99-101). FUCHS gibt zudem eine Liste von den vielen möglichen Diskrepanzen wieder, wobei hauptsächlich Diskrepanzen mit der Bewegung im virtuellen Raum verbunden sind, welche bei einer stationären Navigation nur bedingt auftreten (FUCHS 2017: 109-114).

Aufgrund der reduzierten Interaktionsmöglichkeiten impliziert durch ein „3 Degree of Freedom“ (siehe Kapitel 8.4.1.1) bei *HMDs* sollen folgende drei Lösungsmöglichkeiten der Navigation eines virtuellen Globus vorgestellt werden.

8.4.2.1.1 Klassisch-Rotierend

Der Globus kann durch das Neigen des *HMDs* (ergo der Kopf des Anwenders) entlang der beiden horizontalen sowie der vertikalen Achse rotiert werden. Ein Schwenken entlang der horizontalen Kopfachse ergibt eine Bewegung entlang des Breitengrades, sowie die vertikale Bewegung entlang der Längengrade. Die Stärke der Neigung bestimmt gleichzeitig die Geschwindigkeit der Rotation.

Diese Navigationsart ist der klassischen Navigation mit der Computermaus nachempfunden, und erbt somit deren Schwächen einer langsamen Navigation sowie der Gefahr in eine Orientierungslosigkeit zu laufen, besonders wenn der Globus stark gedreht wurde.

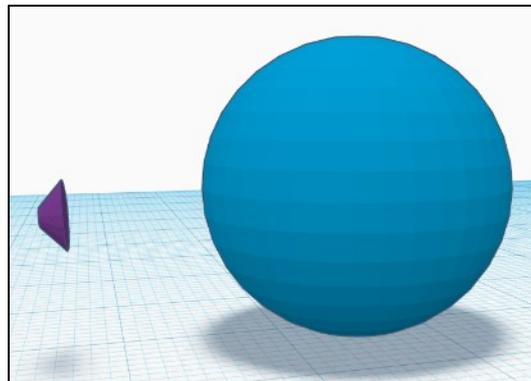
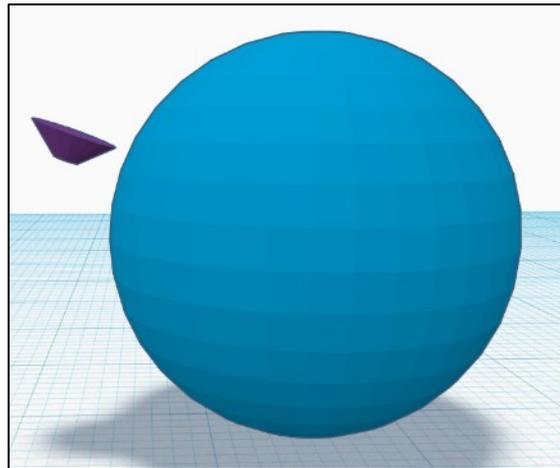


Abbildung 27 Globus (blaue Kugel) und stationärer Avatar (violetter Kegel) mit fixem Abstand. (eigene Darstellung)

Die Bewegungskrankheit kann nur bedingt auftreten, da der Avatar sich im virtuellen Raum nicht bewegt, sondern nur der Globus rotiert wird. Didaktisch sinnvoll ist diese Art der Navigation deswegen, weil sie bereits in nicht immersiven Medien weitgehend etabliert ist.

8.4.2.1.2 Fliegend-Bewegt

Der Avatar bewegt sich, wie ein Satellit, konstant parallel zum Globusmantel mit Blick auf den Horizont. Die Kopfrichtung des Anwenders bestimmt dabei die Flugrichtung. Die horizontale Kopfachse bestimmt die Richtung bzw. das Azimut. Die vertikale Kopfachse bestimmt die Flughöhe. Die Neigung des Kopfes anhand der Blickachse bestimmt das Rollen des Bildes, obgleich dies keinen Effekt auf die Richtung ausübt.



*Abbildung 28 Automatisch bewegter Avatar (violetter Kegel) entlang einer Tangentialebene des Globus' (blaue Kugel).
(eigene Darstellung)*

Die Bewegungskrankheit kann auftreten, da der Avatar sich in konstanter automatisierter Bewegung befindet, obgleich sich der Anwender im physikalischen Raum nicht bewegt. Didaktisch wertvoll ist diese Navigationsart vor allem, wenn lerninhaltlich Navigationsfragen auf der Erde thematisiert werden, wie etwa der Navigation von Schiffen, Flugzeugen oder Satelliten (RIEDL 2000: 118).

8.4.2.1.3 Stationär-Invertiert

Der Avatar befindet sich stationär im Mittelpunkt des Globus und hat keine Möglichkeit einer Bewegung entlang der Längsachsen im Raum. Der Globusmantel wird dabei invertiert bzw. überstülpt von innen angezeigt. Bedingt durch die eingeschränkten Interaktionsmöglichkeiten von mobilen *Head Mounted Displays* ist diese Navigationsform besonders naheliegend, weil sie keine Bewegung des Avatars im virtuellen Raum erfordert. Rein durch Kopfbewegungen kann der ganze Globus erfasst werden. Diese Navigationsart ermöglicht zudem eine schnelle Orientierung im Raum.

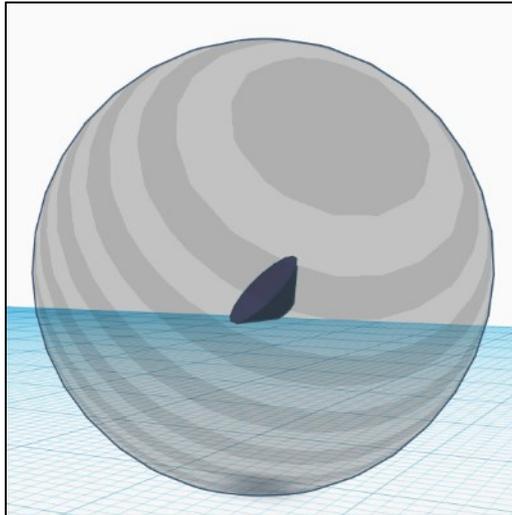


Abbildung 29 Stationärer Avatar (violetter Kegel) innerhalb des invertierten Globus (transparente Kugel) (eigene Darstellung)

Die Bewegungskrankheit kann nicht auftreten, da sich der Avatar im Raum nicht bewegt bzw. automatisiert bewegt wird. Diese Art der Navigation wird in der Literatur auch als orbitales Betrachten bezeichnet, und die Vorteile der schnellen Informationsauffassung sowie unkomplizierten Interaktionsmöglichkeiten werden als vorteilhaft angesehen (SHERMAN u. CRAIG 2002: 358).

Im Zuge der weiteren Implementierung soll die stationär-invertierte Navigationsart aufgrund der simplen Navigationsart sowie der schnellen Orientierung gewählt werden.

8.4.2.2 Realismus

Der virtuelle Raum muss einen gewissen Realismus aufweisen, um die Immersion sowie die Präsenz des Avatars aufrecht zu halten. Da die Hardware von Smartphones bei mobilen HMDs primär auf zweidimensionalen Anwendungen ausgerichtet ist, muss die verringerte Bildwiederholrate bei dreidimensionalen Inhalten berücksichtigt werden, um den Realismus aufrecht zu halten.

Virtuelle Globen weisen dank ihrer Darstellung als Kugel und der oftmaligen Verwendung von Satellitenbildern bereits einen entsprechenden hohen Realitätsgrad auf (SCHEIDL 2009a: 75). Jedwede globale GIS-Daten können im entsprechenden räumlichen Bezugssystem auf eine geometrische Kugel affiziert werden und somit können unterschiedliche Inhalte, thematischer

oder topographischer Art, auf einem Globus angezeigt werden (siehe zB (HITZ u. KOLLER 2010)), was den Realitätsgrad zusätzlich erhöht.

8.4.2.3 Interaktion

Die Interaktion innerhalb der Applikation ist nicht nur ein zentrales Kriterium von „Virtuellen Welten“, sondern auch von Anforderungen der Hypergloben selbst. Die Interaktion von Globen ermöglicht gewisse Lernsituationen durchzuspielen und fördert damit den Lernprozess (RIEDL 2000: 116). Mobile HMDs, so wie sie in einer mobilen Schulanwendung vorkommen, ermöglichen dabei lediglich folgende drei Interaktionsmöglichkeiten (FUCHS 2017: 43)

1. Interaktion über die Kopfdrotation
2. Interaktion über den Blickpunkt. Dabei werden die Augen für die Selektion von Objekten im virtuellen Raum verwendet.
3. Drücken auf den Bildschirm des Smartphones, um eine einfache Interaktion abzubilden

Ein Studie belegt dabei, dass die Interaktion über den Blickpunkt, aufgrund der inhärenten intuitiven Verwendung, für einfache Interaktionsabläufe geeignet ist, jedoch für komplexe Bewegungsabläufe stark beschränkt bleibt (MÜLLER et al. 2016: 52). Die Komplexität von Interaktion in immersiven Umgebungen muss daher auf einfache minimale Aktion- und Reaktionseingaben reduziert werden. Dadurch gibt es nicht die Möglichkeiten eines regellosen Zoomen des Globusmantels, wie es bekannte digitale Globenprodukte etwa unterstützen, und für gewisse Aufgabenstellungen in Schulen notwendig ist (KOLLER u. HITZ 2011: 84).

Der größte Nachteil der Interaktion über den Blick wird über die Metapher der griechischen Legende des Helden Midas' abgeleitet (VELICHKOVSKY et al. 2014: 76). Der Legende nach wird alles zu Gold was Midas angreift, bzw. umgelegt auf die virtuelle Realität, werden alle virtuelle Objekte aktiviert, welche durch den Anwender angeblickt werden. Um dies für den Anwender möglichst intuitiv zu machen, sind spezielle Mechanismen wie Feedback Meldungen oder zeitbasierte Interaktionsabläufe notwendig. Eine ubiquitäre Lösung ist etwa, dass ein Objekt im virtuellen Raum erst aktiviert, wenn der konstante Blick des Anwenders auf dieses Objekt eine bestimmte Zeitdauer anhält. Dieser Zeitschwelle ist entsprechend der zuvor genannten Literatur zwischen einer halben Sekunde und Sekunde lang, kann aber je nach Anforderungen der Anwendung länger sein.

8.4.2.4 Immersion, „Presence“ und „Flow“

Einleitend wurden in der Kontextualisierung bereits die Konzepte der Immersion, „Presence“ und „Flow“ vorgestellt (siehe Kapitel 2.2). Hier geht es nun darum, wie diese Konzepte im Hinblick der technischen Voraussetzungen umgesetzt werden können. Dabei wird die Immersion als eine aktive virtuelle Realität (siehe Kapitel 2.3.3) erlebt. Der Benutzer kann durch das 3DOF mittels Kopfbewegungen seinen Avatar im immersiven Raum steuern. Trotz der Nachteile, schafft die Eingabemöglichkeit über den Blick ein erhöhtes Immersionsgefühl im Vergleich zu der Eingabe etwa über externe Eingabeeinheiten (GOWASES et al. 2008). Die *Presence* und der *Flow* hingegen werden über die vielfältigen Interaktionsmöglichkeiten geschaffen bzw. aufrechterhalten. Um diese Wahrnehmung in virtuellen Umgebungen zu fördern, muss die virtuelle Welt auf Interaktionen seitens des Anwenders reagieren und entsprechend Feedback geben (MIHELJ 2014: 14). Die Interaktion soll den Informationsraum verändern können und dadurch die *Presence* ermöglichen. Durch den Einsatz von Geoanimationen wird zusätzlich der *Flow* unterstützt.

Die *Presence* und der *Flow* gehen mit dem Kriterium des Designs einher (siehe dazu erklärend Kapitel 5.1.3). Bei Globen gibt es im Design folgende Punkte zu berücksichtigen (RIEDL 2000: 88–89):

- Konstantes Feedback für den Benutzer und seiner Interaktion,
- die Konsistenz der graphischen Elemente am Globusmantel und sowie des Verhaltens und
- fehlervermindernde und tolerante Bedienung des Globus

Bis dato wurden die Anforderungen des Mediums der virtuellen Realität, des Konzepts der „Virtuellen Welten“ sowie virtueller Hypergloben besprochen, jedoch ein mögliches Lehrplanthema wurde bewusst noch nicht suggeriert. Um diese Lücke zu schließen, wird im folgenden Kapitel nun der Themenkomplex des Klimas als Anwendungsmöglichkeit beschrieben.

8.5 Klima als Lernwanwendung

Entsprechend der Entwicklungsgrundlagen ist der Inhalt bei Anwendungen von hoher Bedeutung (siehe Kapitel 5.1.4). Dieser Inhalt soll curricular stark eingebettet sein, sowie konkrete Lehr- und Lernziele enthalten. Hierbei wurde der Themenkomplex des Klimas, neben

vielen anderen möglichen Kandidaten, als naheliegend erachtet. Gründe für die Wahl dieses Themas als Inhalt der zu entwickelnden Applikation in diesem Teil der Arbeit sind einerseits die bereits in mehreren Studien stattgefundenen Implementationen als Hypergloben (siehe beispielsweise (HRUBY et al. 2008) und (RIEDL u. SCHRATT 2011)), wodurch hier auf Erfahrungen zurückgegriffen werden kann. Die Thematisierung von globalen komplexen Phänomenen, wie Klimaphänomene, eignet sich durch den Einsatz von Geoanimationen in der Didaktik. Zudem gibt es bezüglich des Klimas gut erschlossene freie bildliche sowie tabellarische Datenquellen, welche als Basis für die Geoanimationen bzw. des Storytellings fungieren. Der Themenkomplex Klima kommt sowohl in der Unterstufe als auch Oberstufe im Lehrplan vor. Dahingehend sollen Lehrplanpunkte aufgegriffen werden und deren Umsetzung in der zu entwickelnden Applikation beschrieben werden. Weiters werden die Inhalte und Methoden unter Berücksichtigung von Lerntheorien beschrieben und die Einsatzmöglichkeiten im Unterricht aufgezeigt.

8.5.1 Lehrplanbezug

Die Thematisierung des Klimas in seinen unterschiedlichsten Facetten im Geographie- und Wirtschaftskundeunterricht werden in dem Lehrplan der Ersten Klasse Unterstufe anhand folgender Punkte behandelt (BMBWF 2000):

- Ein Blick auf die Erde
- „Ein erster Überblick“: Klimatische Erscheinungen

Dabei geht es primär in der Unterstufe um eine Einführung in das Klima, deren global einfache Zonierung sowie Auswirkungen auf die Lebensweisen des Menschen bzw. seiner natürlichen Umgebung.

Der Lehrplan der gymnasialen Oberstufe enthält speziell in der fünften Schulstufe weiterführende Thematiken (BMBWF 2016: 2):

- Gliederungsprinzipien der Erde
- Landschaftsökologische Zonen der Erde

Die Oberstufe ermöglicht dabei einen vertieften Blick auf die klimatischen Phänomene der Erde, und lässt eine komplexere Methodenarbeit, etwa durch die Analyse von empirischen Daten wie Satellitenbildern sowie Präsentation von Statistiken und Quantitäten, usw. zu.

Folgende tabellarische Darstellung, der im Lehrplan geforderten Kompetenzen (BMBWF 2016: 1–2), sollen in der Applikation als Anforderung umgesetzt werden:

Kompetenz	Anforderung
<p>„Methodenkompetenz“: Nutzung und Auswertung topographischer und thematischer Karten sowie von Weltraumbildern</p>	<p>Typologisierung durch Visualisierung mittels thematischer Klimazonenkarten.</p> <p>Darstellung und Interaktion von Satellitenbildern und relevanten thematischen Karten durch Geoanimationen</p>
<p>„Synthesekompetenz“: die räumlichen Gegebenheiten und deren Nutzung sowie die Regelmäßigkeiten menschlichen Verhaltens in Raum, Gesellschaft und Wirtschaft aufzeigen</p>	<p>Visualisierung einer Bevölkerungsverteilungskarte als Synthese zwischen Mensch und Klima</p>
<p>„Orientierungskompetenz“: Verdichtung und Sicherung eines weltweiten topographischen Rasters um raumbezogene Informationen selbständig einordnen zu können</p>	<p>Darstellung von für Globen relevante Hilfslinien wie Äquator, Wendekreise, Gradnetz sowie Datumslinien</p>

Tabelle 8 Im Lehrplan geforderte Kompetenzen als Anforderungen in der Applikation (eigener Entwurf).

8.5.2 Anwendungsmöglichkeiten

Die Anwendungsmöglichkeiten dieser Applikation soll auf Basis der Ausführungen von DETLEF erfolgen (DETLEF 2013). Nach ihm entspringt der Mehrwert von digitalen Applikationen im

Unterricht nicht automatisch aus der Technologie, sondern es müssen bei der Entwicklung folgende vier Kriterien berücksichtigt werden (DETLEF 2013: 83) (zitiert nach (KERRES 2005: 10)):

1. Adressierung des Bildungsproblems bzw. –anliegens durch Vorstellung der didaktischen Inhalte
2. Lösung des Bildungsproblems durch Beschreibung eines Konzepts und Ermittlung der Anforderung
3. Festsetzung der Parameter des didaktischen Feldes, wie Zielgruppe, Bildungsbedarf Lehrinhalte und -ziele spezifizieren, um daraus ein didaktisches Konzept ableiten zu können
4. Mehrwert und Effizienz gegenüber anderen Lösungen durch ein Kosten-Nutzen-Kalkül eruieren

Entsprechend soll nun in den folgenden Unterkapiteln diese Kriterien näher im Bezug zum Lehrplanthema Klima beleuchtet werden.

8.5.2.1 Bildungsanliegen

Das Bildungsanliegen adressiert das Klima als dynamisches und globales Phänomen. Gesellschaftliche und klimatische Sachverhalte bilden oftmals einen Kausalzusammenhang, was durch empirische Daten belegt wird. Die Visualisierung von klimatischen Verhältnissen sowie Phänomenen durch Elemente des *Storytellings* und Geoanimation bekräftigen zudem das Bildungsanliegen. Zusätzlich wird das Problem der Orientierung innerhalb der Weltkugel vieler Lernenden durch den Einsatz von Globen unterstützt. Andererseits tritt der Lernende in einen Dialog mit dem Globus, indem durch Interaktion Visualisierung von Klimazonen bzw. der klimatischen Veränderung der Welt innerhalb eines Jahres visualisiert werden können.

8.5.2.2 Konzeption

Klima ist wie bereits erwähnt ein vielschichtiger Themenkomplex. Eine Literaturrecherche in der Klimadidaktik ergibt dabei eine Schwerpunktlegung bei der Analyse von Satellitenbildern, der Simulation von Phänomenen sowie die Kontextualisierung des Klimas mit dem Menschen. Diese Schwerpunktlegungen sollen in die anschließende Konzeption der zu entwickelnden Applikation als Anforderungen einfließen.

Die Analyse von Satellitenbildern generell bzw. bei klimatischen Phänomenen im Speziellen wird von Bildungsexperten wie KOLLER für sinnvoll erachtet, indem er schreibt: „Die Interpretation der erkennbaren Strukturen und die Methoden des Lesens [von Satellitenbildern] werden damit verstärkt Lerninhalte des GW-Unterrichts.“ (KOLLER 2001: 73) Nach KOLLER sind auch generell Simulationen als Unterrichtsmethode sinnvoll, indem er schreibt: „[Eine Simulation trägt] somit zu einem besseren Verständnis bei [...]. Sie erlauben Extrapolationen oder das Überprüfen von Hypothesen [...]. Damit fördern sie das Arbeiten mit Modellen und das Denken in vernetzten Systemen“ (KOLLER 2001: 59).

Vor allem Schulbücher behandeln die Klimazonen der Erde im Kontext des Menschen. Diese haben Einfluss auf den Raum und die Arbeit von Menschen (HOFMANN-SCHNELLER et al. 2014: 24). Dahingehend eignen sich Rasterbilder zur Bevölkerungsdichte, um Mensch- und Klimainteraktionen unterstützend analysieren zu können. Klima steht auch im Zusammenhang mit Vegetationszonen, worin auch der Fokus in Schulbüchern zum Thema liegt (HOFMANN-SCHNELLER et al. 2014: 26–28). Wie im bereits zitierten Schulbuch ersichtlich, sind Klimazonen prototypisch immer mit Bildern der Vegetation sowie Umgebung hinterlegt. Dementsprechend soll dies auch in der Applikation erfolgen.

Empirische Untersuchungen zeigen zudem, dass Kenntnisse in Bezug zum geografischen Koordinatensystem oder der Verortung von Sachverhalten durch das Gradnetz, auf großen sowie kleinen Maßstäben den Schülern oftmals fehlen (HÜTTERMANN 2004). Entsprechend hilfreich für den Umgang mit den Netzen, ist es schlichtweg einfacher diese Informationen auch als Linien anzuzeigen, um die Orientierung für die Lernenden auf der Erde simplifiziert zu veranschaulichen. Generell soll die Applikation eine interessante und motivierende Form der „geographischen Informationsverarbeitung“ (KOLLER 2001: 59) anbieten.

Im Zuge der Konzeption soll die folgende Tabelle die zuvor genannten Vermittlungsinteressen darlegen und die Umsetzung in die Applikation konzeptionell anhand der Methode darlegen.

Vermittlungsinteresse	Konzept	Methodik
-----------------------	---------	----------

<p>Klimatische Zonierung der Erde</p>	<p>Visualisierung einer Klassifikation von Klimazonen</p>	<p>Geographische Lokalisierung von Klimazonen</p>
<p>Visualisierung der Klimazonen über örtliche Fotoaufnahmen</p>	<p>Kuratierte Fotoaufnahmen von Orten sollen Klimazonen idealtypisch darstellen</p>	
<p>Bevölkerungsverteilung punktekarte</p>	<p>Visualisierung von Bevölkerungsverteilungspunkte für das Mensch-Klima Verständnis</p>	<p>Geographische Lokalisierung der Bevölkerungsverteilung und über Klimazonen</p>
<p>Orientierung auf dem Globus</p>	<p>Der Globus als „Virtuelle Welt“ ist der zentrale Orientierungspunkt im Raum:</p> <p>Nord/Süd/Ost/West Exposition durch Oben/Unten/Links/Rechts Kopfbewegung simuliert</p> <p>Geographische Linien wie Äquator, Wendekreise, etc. die geographische Orientierung unterstützen</p>	<p>Navigation innerhalb der Weltkugel durch Kopfbewegung.</p> <p>Orientierung anhand geographischer Linien</p>

Satellitenbilder der Erde	Anzeige von Satellitenbildern, welche die Topographie der Erde zeigen	Analyse von Satellitenbildern
Veränderung der Erde innerhalb eines globalen Jahres	Geoanimation der stetigen Veränderung der Erdoberfläche auf Basis von Satellitenaufnahme. Automatisch und manuelle gesteuerte Simulation der Geoanimation	Analyse der Veränderung von Satellitenaufnahmen und Temperaturkarten innerhalb eines globalen Jahres
Korrelation zwischen Satellitenbildern und Oberflächentemperatur	Darstellung von Satellitenbilder und thematischen Temperaturkarten	Transfer zwischen Satellitenaufnahmen und thematischen Temperaturkarten

Tabelle 9 Überblick über Vermittlungsinteresse, Konzept und Methodik der Applikation (eigener Entwurf).

8.5.2.3 Didaktisches Feld

Die Parameter des didaktischen Feldes können wie folgt spezifiziert werden.

- Zielgruppe (nach Lehrplan):
 - 1. Klasse Sekundarstufe 1
 - 1. Klasse Sekundarstufe 2

- Lehrinhalte:
 - Klassifikation von Klimazonen
 - Geographische Linien
 - Bevölkerungsverteilung
 - Analyse von Satellitenaufnahme
 - Temperaturverteilung

- Lehr- und Lernziele:
 - Verständnis von Zusammenhang zwischen Klimazonen und Bevölkerungsverteilung gewinnen
 - Unterschiede zwischen nördlicher und südlicher Hemisphäre über ein Jahr verteilt beobachten
 - Zusammenhang von Temperatur- und Vegetationsbedeckung erkennen

- Lernsituation bzw. -organisation:
 - Eigenständiges Erkunden des Raumes bzw. des Globus'
 - Erfahren des Mediums in Partnerarbeit oder selbstständig
 - Unterstützung des Lerninhalts durch zusätzliche kontextualisierende Arbeitsblätter sowie durch die Lehrkraft

8.5.2.4 Mehrwert

Der Mehrwert dieser Applikation in Bezug zum Medium ist bereits in Kapitel 2.4 detailliert beschrieben worden. Der für die Thematik des Klimas relevante Mehrwert ergibt sich durch den Einsatz von Geoanimationen und Elementen des *Storytellings*, andererseits durch die Visualisierung von empirischen Sachverhalten.

Der weitere Mehrwert der ubiquitären und zeitungebundenen Verwendbarkeit des Mediums steigert generell den Wert der Lernumgebung (siehe dazu auch Kapitel 5.2).

8.5.3 Lerntheorien

Neben der Anwendungsmöglichkeiten muss nach DETLEF auch die Lerntheorie der Applikation festgelegt werden (DETLEF 2013: 84). Eine Lerntheorie versucht dabei Lernprozesse modellhaft zu beschreiben. Die drei einflussreichsten Lerntheorien, ergänzt mit Stichworten, sind:

- Behaviorismus:
know-that, Faktenwissen, Wiedergabe korrekter Antworten, Merken.

- Kognitivismus:
know-how, Prozeduren, Problemlösen, Fähigkeit.

- Konstruktivismus:
knowing-in-action, Interaktion, Kooperieren, reflektierendes Handeln

Die Kontextualisierung der Lerntheorie ist auch anhand der Entwicklungsgrundlagen entsprechend aufgefasst, bei vor allem die konstruktivistische Lerntheorie für Anwendungen hervorgehoben wird (siehe bezüglich der Entwicklungsgrundlagen Kapitel 5.1.5). Entsprechend der zuvor dargelegten Konzeption verfolgt die Applikation selbst ein rein behavioristisches Lernmodell, wobei durch die Visualisierung die Applikation in die Rolle eines Vermittlers eintaucht und von den Lernenden ein Erinnern bzw. Wiedererkennen gefordert wird. Es geht primär um die Reproduktion von Faktenwissen. Da jedoch die Applikation stets in einem Unterricht eingebettet ist (siehe dazu auch Kapitel 5.2.2), können weitere Medien, wie Arbeitsblätter oder Schulbücher, kognitive oder konstruktivistische Lernmodelle impliziert werden. Das vermittelte Faktenwissen wird somit um ein Anwendungswissen oder Handlungswissen erweitert und baut somit auf das Medium auf.

8.5.4 Didaktische Komponenten

Um den didaktischen Erfolg von Lernapplikationen zu messen, müssen nach MASKE folgende Applikationskomponenten beschrieben werden: Interaktivität, Multimedialität, Aufgabentypen, Lernerfolgsmessung (MASKE 2012: 191–196). Diese Komponenten werden nur auf Basis von Kapiteln beschrieben.

8.5.4.1 Interaktivität

Die Interaktivität bei digitalen Lernanwendungen den Grad der Wechselwirkung zwischen Lernendem und der Applikation und sind daher eng mit dem Kriterium der *Usability* bzw. *User Experience* verknüpft (siehe Kapitel 5.1.3). Die Interaktivität in der Applikation soll durch den Blick des Anwenders gesteuert werden, indem beispielsweise die Beschriftungen der Klimatypen nicht von vornherein gegeben ist, sondern erst durch die Interaktion über den Blick ersichtlicht werden soll. Ähnlich soll es sich mit anderen Informationen wie der Bevölkerungsverteilung verhalten. Die *User Experience* soll dadurch gestützt werden, indem ein minimalistische sowie intuitive Menüführung das *Storytelling* bzw. die Geoanimation steuert und die Visualisierung auf die wesentlichsten Informationen reduziert.

8.5.4.2 Multimedialität

Die Multimedialität beschreibt im Kontext des softwarebasierten Lernens die Kombination von mehreren Medien, wie etwa Bilder, Fotos, Animationen, Audio und Videoinhalten. Gerade im Medium der virtuellen Realität bzw. im Kontext des GW-Unterrichts werden oftmals die 360x180 Grad Rundbilder bzw. Kugelpanoramas verwendet (siehe dazu Kapitel 6.1.2). Ein

solches Foto oder Video zeigt neben dem vollen horizontalen Rundumblick auch das vollständige vertikale Blickfeld. Der Nachteil besteht jedoch darin, dass diese Bilder nur mit speziellen Kameras aufgenommen werden können und die Produktion entsprechend aufwendiger ist. Entsprechend wenig verbreitet sind Bilder im Internet, welche unter einer freien Lizenz stehen.

Die Applikation verwendet Satellitenbilder, thematische Karten, Rundbilder und Geoanimationen. Auditive Medien wären prinzipiell möglich, doch würden im Unterricht Kopfhörer benötigen, daher wurde davon explizit abgesehen.

8.5.4.3 Aufgabentypen

Der Aufgabentyp hängt mit dem lerntheoretischen Paradigma zusammen. Im Rahmen der Applikation soll ein Single-Choice Quiz implementiert werden. Dazu sollen den Satellitenbildern ein Monat zugeordnet werden. Der Lernende muss dabei das Satellitenbild nach gewissen Ausprägungen analysieren und daraus eine Jahreszeit ableiten. Markante Veränderungsmerkmale der Erde bei Satellitenbildern betreffen die Variation der Schneedecke, Vegetationsgürtel sowie Wüstenbildung. Merkmale wie Jahreszeitenwechsel oder Nord- und Südhalbkugel Sonnenexposition lassen sich daraus gut ableiten. Folgende beide exemplarischen Abbildungen von Satellitenaufnahmen im Jänner 2004 sowie Juli 2004 sollen die klimatischen Unterschiede verdeutlichen.

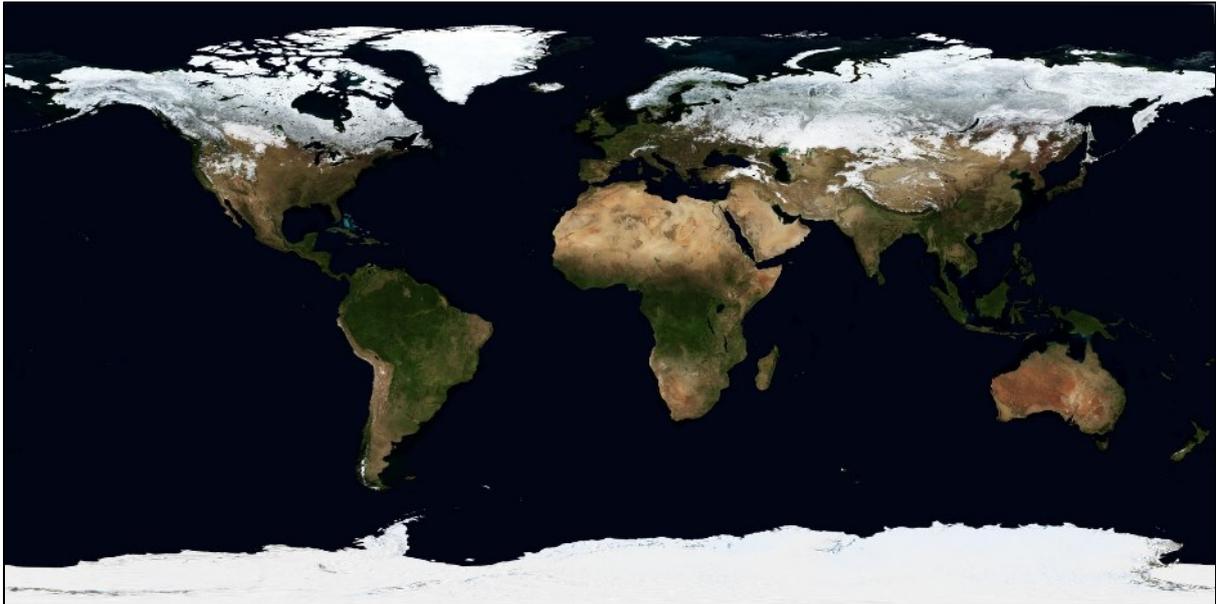


Abbildung 30 Satellitenbild vom Jänner 2004 (Nasa Earth Observation)

Die folgende Abbildung zeigt im Vergleich dazu die Satellitenaufnahme vom nördlichen Sommermonat Juli.

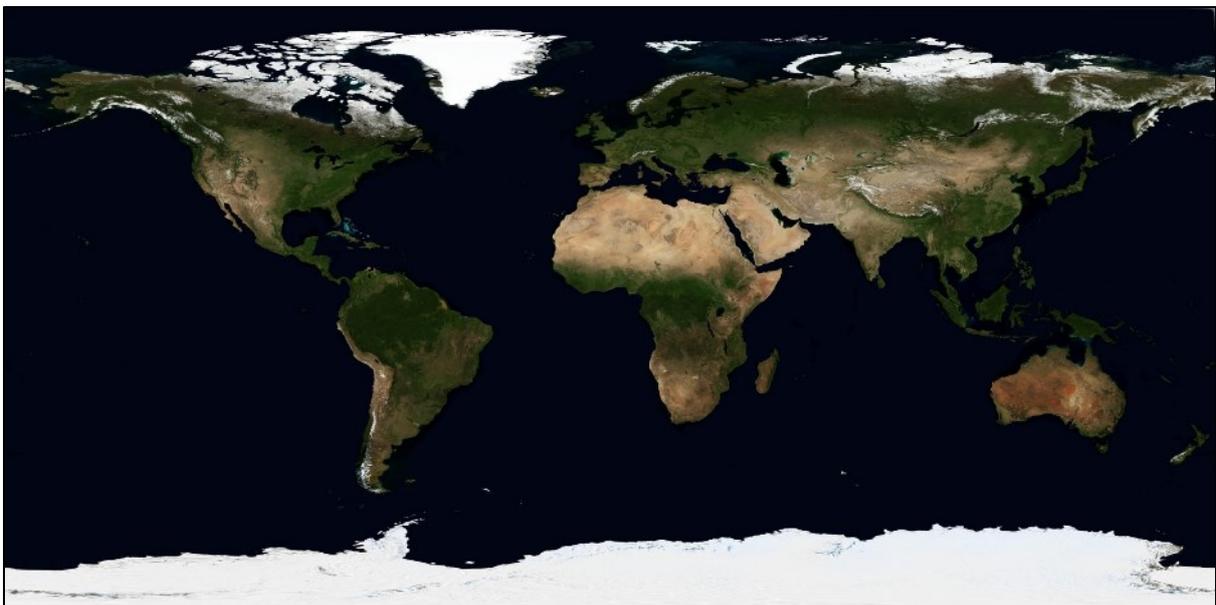


Abbildung 31 Satellitenbild vom Juli 2004 (Nasa Earth Observation)

An der Schneedecke auf der nördlichen Hemisphäre, sowie der Ausbreitung der Sahara sowie der Wüstengebiete in Australien sind Unterschiede zwischen zwei Satellitenaufnahmen auch in niedriger Auflösung einfach erkennbar.

Obgleich nach MASKE Single-Choice Aufgabenstellungen dem Behaviorismus zugeschrieben werden (2012: 194), geht es in diesem Beispiel eher um kognitive Fähigkeiten, Strukturen und Eigenschaften auf einem globale Satellitenbild zu erkennen und daraus auf eine Jahreszeit zu schließen. Im Zuge der Implementation in Kapitel 3 wird genauer auf die Vorgehensweise eingegangen.

8.5.4.4 Lernerfolgsmessung

Die Lernerfolgsmessung kann neben der Lehrkraft auch von dem Softwaresystem gemacht werden. Bei behavioristischen Lernkonzepten kann der Erfolg aufgrund der Erinnerungsleistung des Lernenden an Fakten definiert werden. Hierbei soll das Single-Choice Quiz gleichzeitig auch als Lernkontrolle dienen, indem nach einer bestimmten Anzahl an Runden die richtigen und falschen Antworten addiert werden und daraus eine potenzielle Bewertung abgeleitet werden kann.

8.6 Umsetzung der Anforderungen

Auf dem Medium der virtuellen Realität basierende Anwendungen müssen Lösungsmöglichkeiten zu den Limitierungen bzw. Anforderungen von dem Konzept der virtuellen Welt (siehe Kapitel 8.3) sowie zu den Problemfeldern des Mediums der virtuellen Realität, wie beispielsweise das mobile *Head Mounted Display*, selbst gefunden werden. Zusätzlich muss noch der virtuellen Hyperglobus berücksichtigt werden. Der einfacheren Übersicht wegen, werden die jeweiligen Anforderungen sowie deren Umsetzung in der zu entwickelnden Applikation tabellarisch als Matrix zusammengefasst.

Anforderung	Umsetzung in Applikation
<u>Mobiles Head Mounted Display (siehe Kapitel 2.4.2)</u>	
Navigation	Stationäre mit invertiertem Globusmantel

Realismus	Satellitenbilder und Kugelpanoramas unterstützen den Realitätsgehalt
Interaktion	Interaktive thematische Karten. Verwendung von Geoanimationen. Interaktion mittels Blicksteuerung, Gyroskop sowie mittels Berührung des Smartphonebildschirms
<u>Medium der virtuellen Realität (siehe Kapitel 8.4)</u>	
Immersion	Immersionsgefühl durch Interaktion über den Blick bei mobile <i>Head Mounted Displays</i>
<i>Presence</i>	Stetige Interaktion sowie Feedbackschleifen mit dem Globus
<i>Flow</i>	Einsatz von Geoanimation im Globusmantel
<u>Virtueller Hyperglobus (siehe Kapitel 8.2.2)</u>	
Geoanimation	Visuelle Veränderung des Globusmantels durch gesteuerte Geoanimationen.

<i>Storytelling</i>	Implizites <i>Storytelling</i> durch Geoanimation. Steuerung des <i>Storytellings</i> durch Blicksteuerung
<u>„Virtuelle Welten“ (siehe Kapitel 8.3)</u>	
3D Raum	Kugelgeometrie als Raum für Globus. Globusmantel dient der Visualisierung
Avatar	Avatar in Form einer Kamera, welche aber nicht visualisiert ist. Wahrnehmung des Avatars daher nur in Form des Kameraausschnittes
Kommunikation	Die Applikation ist nicht mehrbenutzerfähig, daher entfällt die Kommunikation zwischen den Avataren
Interaktion	Interaktion in dem Raum erfolgt mittels Blicksteuerung mit dem Globusmantel bzw. über zusätzliche Bedienungselemente, welche individuell nach Kontext eingeblendet werden

Tabelle 10 Übersicht der verschiedenen Anforderungen und der Umsetzung in der Applikation (eigener Entwurf)

Anwendungen im Medium der virtuellen Realität über ein behavioristisches Lernmodell hinauszubewegen obliegt nicht rein dem Medium selbst, sondern muss in der Entwicklung berücksichtigt werden. DETLEF fordert diesbezügliche Anwendungen ein, welche über eine reine Visualisierung hinausgehen sollen. Denn gerade Eingaben seitens der Lernenden tragen zu einem erhöhten Dialog mit der Applikation bei (DETLEF 2013: 84). Zudem fordert er ein gefördertes und „humanistisches und kritisches geographisches Denken“ ein, indem er verbal eine Webplattform konzipiert, welche die Möglichkeit bietet, Bilder, Texte und Audio Dateien

hochzuladen, um darüber zu diskutieren (DETLEF 2013: 85). Den Anspruch eines konstruktivistischen Unterrichts muss das Medium jedoch nicht per se alleine beanspruchen, sondern kann ergänzend durch den Einsatz von weiteren zusätzlichen Unterrichtsmedien und –methoden erlangt werden. Über die generelle Eignung von Virtual Reality basierten Anwendungen bzw. Applikationen in einem konstruktivistischen Unterricht wurde bereits oben beschrieben (siehe Kapitel 5.1.1).

9 Analyse der mobilen Softwaretechnologie

Die folgende Analyse der mobilen Softwaretechnologie richtet sich einerseits an die Anforderungen von Applikationen nach MASKE (2012) sowie an den bereits erarbeitenden Grundlagen zum Einsatz im Schulumfeld (Kapitel 5). Als Applikation wird dabei die softwaretechnische Umsetzung einer Anwendung verstanden, welche auf einem elektronischen Medium, wie in unserem Fall auf das Medium der immersiven virtuellen Realität, ausgeführt werden kann. Dieses Kapitel soll dabei mit Hilfe der Literatur die softwaretechnische Umsetzung nach konkreten Gesichtspunkten analysieren und im Anschluss eine detaillierte Beschreibung der Technologie und ihrer Anwendungsmöglichkeiten legitimieren.

9.1 Einführung

Die softwaretechnische Umsetzung der mobilen Applikation soll über eine Webapplikation erfolgen. Webapplikationen sind Webseiten mit erhöhten Darstellungs- und Interaktionsmöglichkeiten, welche einen Webbrowser zur Anwendung benötigen. Alternativ zur Webapplikationen gehören native Applikationen, wie beispielsweise *Android Apps* oder *iOS Apps* (MASKE 2012: 59), welche keinen Webbrowser zur Anwendung benötigen.

Um einen Vergleich, und damit eine Legitimation der Auswahl, zwischen den verschiedenen Softwaretechnologien zu ermöglichen, werden Applikationen anhand folgender Dimensionen differenziert (MASKE 2012: 451):

- Technologische Dimension, wie beispielsweise eine einfache Benutzbarkeit und geringe Hardwareanforderung der Applikation
- Didaktische Dimension, beispielsweise die Möglichkeit der Einbindung von didaktischen multimedialen Inhalten wie Bildern und Videos in der Applikation

- Ökonomische Dimension, ausgedrückt als Kosteneffizienz bei der Entwicklung der Applikation sowie deren anschließende Verwendung

Webapplikationen haben im Vergleich zu nativen Applikationen vor allem in der ökonomischen Dimension Vorteile. Die erhöhte Kosteneffizienz von Webapplikationen wird durch die Plattformunabhängigkeit erreicht. Nachteile von Webapplikationen ergeben sich hingegen durch die eingeschränkte Benutzbarkeit der Applikation, welche eben aus dem Kompromiss der Plattformunabhängigkeit resultiert (MASKE 2012: 456).

Entsprechend der Erkenntnis von weiteren Studien (wie etwa (CORTIZ u. SILVA 2017) und (BAKRI et al. 2016)), soll auch die zu entwickelnde Applikation als Webapplikation umgesetzt werden. Der Vorteil, den die Studien herausstreichen, ist neben der Plattformunabhängigkeit die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten, unabhängig vom jeweiligen Endgerät (stationärer Desktop-PC, mobiles Tablet oder Smartphone). Diese Plattformunabhängigkeit wird über *Webstandards* des *World Wide Web Consortiums (W3C)* (WORLD WIDE WEB CONSORTIUM) erreicht. Die gängigsten Browserhersteller (Mozilla, Google, Microsoft und Apple) sind Mitglieder dieses Konsortiums und verpflichten sich im Sinne der Marktanteile diese Webstandards auch weitestgehend umzusetzen.

9.1.1 Webstandards

Im folgenden Abschnitt soll ein Überblick über, die für eine Applikation im Medium der virtuellen Realität, notwendigen Webstandards gegeben werden. Webstandards verwenden als Basis die Beschreibungssprache *HTML*, welche die grafischen und semantischen Elemente auf einer Webseite bzw. Webapplikation definiert. Webstandards setzen auf die Programmiersprache *JavaScript*, um Funktionen und Abläufe zu steuern. Durch den vielseitigen Einsatz von Webstandards kann eine Webseite als Webapplikation fungieren.

9.1.1.1 WebGL und Shader

WebGL ist ein Webstandard, der einen Zugriff auf die Grafikkarte über den Webbrowser beschreibt, und somit die Darstellung von dreidimensionalen Objekten ermöglicht (COZZI 2015: 23). Der Standard ist plattform- sowie betriebssystemunabhängig gestaltet (WORLD WIDE WEB CONSORTIUM 2011). Über 90% aller aktuell verfügbaren Browser unterstützen ihn, wodurch viele Websites bereits teilweise oder zur Gänze dreidimensionale Inhalte einbauen (DEVERIA 2014). Die Entwicklung von Webapplikationen geschieht mittels *JavaScript* sowie

Shader. Ein *Shader* ist in der *OpenGL Shading Language (GLSL)* Sprache geschrieben und ermöglicht die Visualisierung von grafischen Effekten. Ein *Shader* ist eine computergenerierte oder von einem Bild ausgegangene, veränderte Grafik und ermöglicht dadurch die Erstellung von animierten Bildern ,wie etwa Geoanimationen (siehe Kapitel 8.2.2). Aus technischer Perspektive ist ein *Shader* eine Funktion, welche eine beliebige Anzahl an Eingabeparametern erhält und einen Farbwert für den Pixel als Ausgabe ermöglicht. In der Grafikkentwicklung wird ein solches Bild auch als Textur bezeichnet.

Eine entsprechende Hardwareleistung der Smartphones muss vorausgesetzt werden, um eine benutzerfreundliche Bildwiederholrate von dreidimensionalen Inhalten zu garantieren.

9.1.1.2 WebVR

WebVR ist ein weiterer Webstandard, der den Zugriff auf *Head Mounted Displays* über den Webbrowser ermöglicht. Der Webstandard wurde 2014 initiiert und wird aktuell (April 2018) bereits von allen gängigen Browsern unterstützt (WORLD WIDE WEB CONSORTIUM).

Im Gegensatz zu mobilen Apps sind Webapplikationen auf allen möglichen mobilen Endgeräten verwendbar. Als mobiler Gerätetyp wird zwischen Desktop/Laptop PC, Tablet und Smartphone unterschieden (MASKE 2012: 58). Je nach Gerätetyp ergibt sich eine unterschiedliche Verwendungsart des Mediums:

- Desktop/Laptop PCs unterstützen aufgrund des externen Bildschirms keine stereoskopische Darstellung und somit keine Immersion. Dies wird auch als Desktop-*Virtual Reality* oder nicht immersive virtuelle Realität bezeichnet (siehe näher erläutert dazu Kapitel 2.3.3). Jedoch kann zur Interaktion im virtuellen Raum auf die Mauseingabe bzw. Tastatureingaben zurückgegriffen werden.
- Tablets sowie Smartphones bieten lediglich ein *3 Degrees Of Freedom* (3DOF), indem die Rotationsbewegungen über das eingebaute Gyroskop abgebildet werden. Interaktionen können über die Blicksteuerung erfolgen sowie durch Drücken auf den Touchscreen und beinhalten aufgrund der fehlenden stereoskopischen Darstellung ebenso keine Immersion.
- Smartphones erlauben die Teilung des Inhalts in ein stereoskopisches Bild und ermöglichen daher als einziger Gerätetyp die Benutzung als mobiles *Head Mounted*

Display. Wie bei Tablets wird das Gyroskop für Rotationsbewegungen verwendet und der Touchscreen kann als weitere Interaktionsmöglichkeit fungieren.

Die Webstandards zu *WebGL* sowie *WebVR* sind komplex und umfassend. Um die Verwendung der Standards zu vereinfachen, sind im Laufe der letzten Jahre Softwarebibliotheken entstanden, welche im Zuge der Implementation verwendet werden

9.1.1.3 „A-Frame“

A-Frame ist eine Softwarebibliothek zur Erstellung von immersiven *Virtual Reality* Applikationen im Webbrowser (MOZILLA FOUNDATION). Die Softwarebibliothek greift zur Darstellung der dreidimensionalen Welt auf eine weitere Software-Bibliothek namens *Three.js* (THREE.JS) zurück. *Three.js* ermöglicht die Darstellung von dreidimensionalen Inhalten über Objekte. Ein dreidimensionales Objekt verfügt über eine geometrische Form sowie einer Oberfläche beschrieben. Die Geometrie speichert die Vertices anhand von dreidimensionalen Vektoren sowie die einzelnen Oberflächen zwischen diesen Vertices. Mit diesen beiden Informationen lassen sich die dreidimensionalen Inhalte im virtuellen Raum abbilden.

Die Oberfläche eines Objekts ist entweder ein Bild, ein Video oder ein *Shader*. Zusätzlich können der Oberfläche weitere Attribute wie Transparenz, Sichtbarkeit, etc. zugeschrieben werden. Alle Objekte sind in einem Szenengraphen enthalten, welche eine Hierarchie der virtuellen Welt ermöglicht. Zusätzlich enthält der Szenengraph eine Kamera, welche die Perspektive bzw. den Bildausschnitt des Betrachters aufnimmt. In Applikationen entspricht der Kameraausschnitt dem Sichtfeld üblicherweise des Avatars im virtuellen Raum.

Immersive Webapplikationen mittels *A-Frame* werden einerseits mittels HTML sowie *JavaScript* entwickelt. In dem HTML Dokument wird die grundsätzliche Struktur der dreidimensionalen Welt sowie deren Objekte und Interaktionsmöglichkeiten definiert. In *JavaScript* werden diese Interaktionsmöglichkeiten als Komponenten beschrieben. Ein Objekt kann durch beliebig viele Komponenten entsprechend erweitert werden.

Eine Steuerung über den Blick wird in *A-Frame* über das *Raycasting*-Konzept ermöglicht. *Raycasting* ermöglicht die Interaktion mit den Objekten im virtuellen Raum, indem es einen unsichtbaren Strahl vom Auge entlang der Blickachse in gewissen zeitlichen Abständen sendet. Dieser Strahl registriert dabei die Objekte, welche sich entlang der Blickachse

befinden, womit anschließend eine Interaktion in der virtuellen Welt ermöglicht wird und dadurch eine aktives *Virtual Reality* ermöglicht wird (siehe Kapitel 2.3.3).

9.1.1.4 Weiterführende Webstandards

Bei der Literaturrecherche taucht in gewissen Publikationen auch der Begriff des *Virtual Reality GIS* sowie das entsprechende Pendant *WebVR GIS* auf (KAMEL BOULOS et al. 2017). Es handelt sich dabei jedoch um keinen offiziellen Standard, sondern dient als Forschungsbegriff um virtuelle GIS Anwendungen in das Internet zu bringen. Dies ist gleichzeitig auch der Schwachpunkt dieser Technologie, da die derzeitigen Anwendungen nicht im Webbrowser angezeigt werden können, sondern dadurch auf proprietäre Software zurückgegriffen werden muss (LV et al. 2016: 412). Da es zu dieser Technologie derzeit keinen offiziellen Standard gibt, bzw. unklar ist, wie die weitere Entwicklung verläuft, wird es im Zuge der Implementation nicht berücksichtigt.

Moderne Smartphones, Tablets und Desktop-PCs verfügen meist über weitere Sensoren wie Videokameras, Mikrofone oder GPS Sensoren. Auch diese können über offizielle Webstandards verwendet werden, wodurch beispielsweise Interaktionen über die Sprache oder über Gesten ermöglicht werden (MASKE 2012, S. 247).

Webstandards, wie beispielsweise der *Web Real Time Communication Standard* (WebRTC), ermöglichen auch die Kollaboration von Anwendern innerhalb eines Netzwerkes. Ein Einsatz in Schulen wäre hier beispielsweise, dass die Lehrperson in Echtzeit den virtuellen Raum steuert, wie es bereits in einer Studien gezeigt wird (CORTIZ u. SILVA 2017).

9.1.2 Alternative Softwaretechnologien

Wurde im Jahr 2000 noch der *VRML* Webstandard, ein Akronym für *Virtual Reality Modeling Language*, als „Ausgangspunkt internet-basierter 3D-Welten“ gepriesen (RIEDL 2000: 92), so wurde dieser 2001 bereits von dem Nachfolger des Standards namens *Extensible 3D Graphics* abgelöst. Der große Nachteil dieser beiden Webstandards war und ist bis heute, dass sie zwar für das Internet entwickelt wurden, aber die Browser spezielle Erweiterungen installiert haben müssen, um die Inhalte darstellen zu können. Dies ist mit den zuvor vorgestellten Webstandards, wie *WebGL* und *WebVR*, nicht notwendig.

Dieses große Manko wird versucht mit einem weiteren, jedoch noch nicht standardisierten Format, namens *X3DOM* (FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT) zu beheben. Eine detaillierte Analyse, inwieweit sich diese Technologie bereits jetzt zur Erstellung von Applikationen eignet, würde den Rahmen der Arbeit sprengen. Derzeit (April 2018) greift die Technologie jedoch zur Darstellung Inhalten noch nicht auf den *WebVR* Standard zurück.

Eine weitere Bibliothek, welche zur Entwicklung von WebVR Anwendungen verwendet werden kann, ist *ReactVR* (FACEBOOK). Im Gegensatz zu *A-Frame* befindet sich diese Bibliothek derzeit (April 2018) jedoch noch in einem frühen Entwicklungsstadium und der Einsatz wird bis dato von keiner Studie angewendet.

9.2 Resümee entsprechend der Entwicklungsgrundlage

Die Wahl der Softwaretechnologie ist von den herangezogenen Kriterien der Applikation abhängig (siehe Kapitel 5.1). Um daher die zuvor vorgestellte Softwaretechnologie zu legitimieren, sollen nun deren Kompatibilität mit den Kriterien argumentativ belegt werden.

9.2.1 Einsatz in der Schule

Für Webapplikationen ergeben sich durch die Plattformunabhängigkeit speziell im Schulumfeld immense Vorteile, welche auch von schulpraktischen Berichten untermauert wird (SCHEIDL 2015: 67). Diese praktische Erfahrungen schildern, dass mobile Endgeräte wie Smartphones im Unterricht als *Bring Your Own Device* bzw. dem *Bottom Up*-Ansatz des mobilen Lernens (siehe dazu Kapitel 2.4.2) entscheidende Vorteile bieten, im Gegensatz zu Softwaretechnologie, welche eine ressourcenintensivere Infrastrukturadministration benötigen (siehe Kapitel 5.2.1.2).

Im Zuge des Kriteriums der Rolle der Lehrenden sind die Vorteile, dass keine Zeit mit der Installation oder dem Update von der Applikation aufgewendet werden muss. Die Webseite ist automatisch auf dem neuesten Stand und muss ohne weitere Installation nur aufgerufen werden. Dies impliziert auch, dass die technologische Heterogenität der mobilen Endgeräte (SCHEIDL 2015: 67) ausgehebelt wird, weil die Webstandards auf allen gängigen Betriebssystemen, wie Android oder iOS, unterstützt werden. Webapplikationen können von jedem Gerät aus aufgerufen werden, unabhängig ob Desktop Rechner, Tablet oder Smartphone. Entsprechend kann die Lehrkraft selbst das Medium wählen, und den Unterricht individuell gestalten (siehe dazu Kriterium im Kapitel 5.2.1.2).

9.2.2 Rolle der Lehrenden

Die Rolle der Lehrenden stellt die Akzeptanz der Technologie in den Mittelpunkt (siehe dazu Kapitel 5.2.2). Eigenschaften wie die Verfügbarkeit der Applikation, sowie der Performanz und Ressourcenaufwand seien als wichtige Faktoren genannt, um ein möglichst inklusives Lehrerumfeld zu erreichen. Webapplikationen sind hier sicher vorteilhaft, in dem Sinne, dass sie relative einfach bedienbar sind und keinerlei Administrationsaufwände hinsichtlich der Endgeräte benötigen. Dennoch kann nur bedingt die Lehrendenrolle ohne empirische Untersuchungen vorhergesagt werden.

9.2.3 Infrastrukturelle Voraussetzung

Als Nachteile von Webapplikationen gilt die Voraussetzung einer Internetverbindung, um die Applikation zu starten. Vor allem in Bezug zum Kriterium der drahtlosen W-LAN Netzwerke in Schulen gilt, dass diese in einer entsprechenden Geschwindigkeit verfügbar sein muss (siehe Kapitel 5.2.1.2). Ist entsprechendes W-LAN in Schulen nicht verfügbar, so steht bei Smartphones gegebenenfalls noch das Mobilfunknetz zur Verfügung, womit aber nicht per se gerechnet werden kann. Die Geschwindigkeit der Mobilfunknetze ist vor allem in entlegenen Regionen von Anbietern abhängig, obgleich die Netzabdeckung zunehmend in westlichen Industrieländern zunimmt (MASKE 2012: 322).

Zudem haben veraltete Softwareinstallationen der Endgeräte, neben der großen Fragmentierung der Smartphones, sowie die unterschiedliche Hardwareleistung der mobilen Endgeräte ebenso Einfluss auf die Anwendbarkeit der Webapplikation im Unterricht (siehe Kriterium in Kapitel 5.2.1.2). Dieses Problem ist jedoch jedweder Softwaretechnologie inhärent. Nur ein entsprechend ausgeprägtes Testen im Zuge der Entwicklung der Applikation kann diese Einschränkung minimieren (MASKE 2012: 520).

9.3 Bewertung

MASKE sieht als Vorteile im browserbasierten Ansatz von Applikation die hohe Kompatibilität mit mobilen Endgeräten, die potenziell größere Nutzergruppe, sowie den geringeren Entwicklungsaufwand pro Mobilplattform. Als Nachteile wird die obligatorische mobile Internetverbindung genannt, sowie die höhere Nutzungskosten je nach mobilem Datentarif, falls kein Schulinternet vorhanden ist, und die geringere Leistungsfähigkeit der Anwendung im Gegensatz zu mobilen nativen Anwendungen (MASKE 2012: 318). Mobile Webapplikationen

finden jedoch aufgrund der überwiegenden Vorteile vermehrt Aufmerksamkeit in aktuellen Studien (siehe dazu (BUTCHER u. RITSOS 2017) und (CORTIZ u. SILVA 2017)).

Als Nachteil muss die mangelnde Unterstützung bei der Entwicklung genannt werden, welche im Vergleich zu bereits etablierten Medien, wie beispielsweise dem taktilen Hyperglobus (BUCHROITHNER u. KNUST 2013), den Entwicklungsaufwand ungemein erhöht. Es ist jedoch davon auszugehen, dass in den kommenden Jahren sich der Markt hierbei auf Webapplikationen konsolidieren wird und die Erstellung von Webapplikationen vereinfachen wird.

10 Implementation der Lernanwendung

Dieses Kapitel beschreibt die Implementation der in Kapitel 7 erarbeitenden Lernanwendung, eines virtuellen Klima Hyperglobus, für ein mobiles *Head Mounted Display* (siehe auch Kapitel 2.4) auf Basis der in Kapitel 9 ausgewählten Softwaretechnologie als Webapplikation. Aus Gründen der Lesbarkeit wird von einer detaillierten technischen Beschreibung der Implementation jedoch abgesehen. Der Source Code befindet sich im Anhang. Zur besseren Veranschaulichung bzw. des Verständnisses der Abläufe innerhalb der Applikation werden Ablaufdiagramme verwendet. Ein Ablaufdiagramm zeigt einen grafischen Gesamtüberblick über die Zustände der Applikation, welche mit einem Rechteck dargestellt werden, und visualisiert die möglichen Übergänge zwischen den Zuständen anhand von gerichteten Linien (MASKE 2012: 480). Des Weiteren werden zu jeder Applikation komplementäre Arbeitsblätter und –aufgaben definiert und der Einsatz im Schulunterricht beschrieben.

Um dem Kriterium der infrastrukturellen Voraussetzungen (siehe dazu Kapitel 9.2.3) gerecht zu werden, findet die Implementation auf dem „Google LG Nexus 5“ (GOOGLE 2013) Smartphone statt, welches bereits im November 2013 erschienen ist und im mittleren Preissegment (zirka 350 €) angesiedelt war.

10.1 Einführung

Der weit gefasste thematische Umfang des Themenkomplexes Klima und ihr Einsatz im Schulunterricht (siehe Kapitel 8.5) suggeriert die Entwicklung von zwei technisch getrennten Webapplikationen. Namentlich sollen die beiden Webapplikationen als „Klimazonen Globus“ sowie „Nasa Earth Observation Globus“ bzw. kurz „NEO Globus“ unterschieden werden, und jeweils eine unterschiedliche Thematik im Themenkomplex Klima vermitteln. Die folgende

Tabelle teilt dabei jeder Applikation das entsprechende Vermittlungsinteresse, die zentrale Inhalte der Anwendung, sowie die Methodik der Vermittlung zu.

Vermittlungsinteresse	Inhalt	Methodik
„Klimazonen Globus“		
Klimatische Zonierung der Erde	Darstellung der Klimazonen	Visualisierung der Klimazonen über den Blick
Bevölkerungsverteilung und Klimazonen	Darstellung der Bevölkerungsverteilungskarte	Visualisierung der Bevölkerungsverteilung pro Quadratkilometer über den Blick
Orientierung auf der Erde	Anzeigen der geographischen Linien	
„NEO Globus“		
Satellitenbilder der Erde	Darstellung von Satellitenaufnahmen des „Nasa Earth Observatorys„ (NEO)	Bildliche Analyse der Satellitenbilder

Veränderung der Erde innerhalb eines Jahres	Geoanimation der Satellitenbilder im Verlauf innerhalb eines Jahres	Analyse der Veränderung der Satellitenbilder innerhalb eines Jahres.
Orientierung auf der Erde	Anzeigen der geographischen Linien	
Korrelation zwischen Vegetation und Oberflächentemperatur	Zuteilung der Satellitenaufnahme zu Monat	Zuteilung des jeweiligen Monats zu Satellitenaufnahmen.

Tabelle 11 Beschreibung der entwickelten Webapplikationen nach Vermittlungsinteressen, Inhalt und Methodik (eigener Entwurf)

Wie aus der Tabelle ersichtlich verfolgen beide Applikation selbst rein behaviouristischen Lernmodellen (siehe erläuternd dazu Kapitel 5.1.5 und 8.5.3). Um ein kognitivistisches oder konstruktivistisches Lernmodell anzuwenden, müssen entsprechende weiterführende Aufgabenstellungen im Zuge anderer Medien entwickelt werden. Um diesen Anspruch gerecht zu werden, soll in dieser Arbeit daher für beide Applikationen jeweils ein weiterführendes Arbeitsblatt mit Aufgabenstellungen entwickelt werden. Für die Beurteilung der Anforderungsbereiche sowie Kompetenzniveaus der Aufgabenstellung und damit des Lernmodells wird das dreistufige Kompetenzmodell nach SITTE (2011) herangezogen.

10.2 „Klimazonen Globus“

Die Webapplikation ist auf der Webseite des Autors mittels Smartphone, Tablet oder Desktop Rechner abrufbar (TREITLER 2018a). Der komplette Source Code der Applikation ist unter dem Anhang zu finden.

10.2.1 Datenquellen

In den folgenden Kapiteln wird die jeweilige Quelle der verwendeten Daten und deren eventuelle Modifikationen sowie Einsatz in der Applikation beschrieben.

10.2.1.1 Globusmantel

Die Textur des Globusmantels wird von Natural Earth (NATURAL EARTH) bezogen und trägt den Namen „1:10m Cross-blended Hypsometric Tints“. Die Textur stellt eine Reliefdarstellung mit künstlerischen Farben entsprechend des jeweiligen Klimas dar. Tiefegelegene bzw. feuchtigkeitsgeprägte Gebiete werden grün dargestellt und trockene Gebiete braun. Diese Farben verlaufen ineinander und geben damit einen natürlichen Eindruck der Erdoberfläche wieder und haben damit einen klimatischen Kontext. Die Textur selbst dient jedoch nicht zur Analyse, sondern soll nur die Erdoberfläche visuell darstellen. Das Bild wird von der Quelle als *TIFF* Datei bereitgestellt und zur weiteren Verwendung wird es manuell mittels eines Grafikprogramms in eine für den Webbrowser lesbare *JPEG* Datei transformiert.

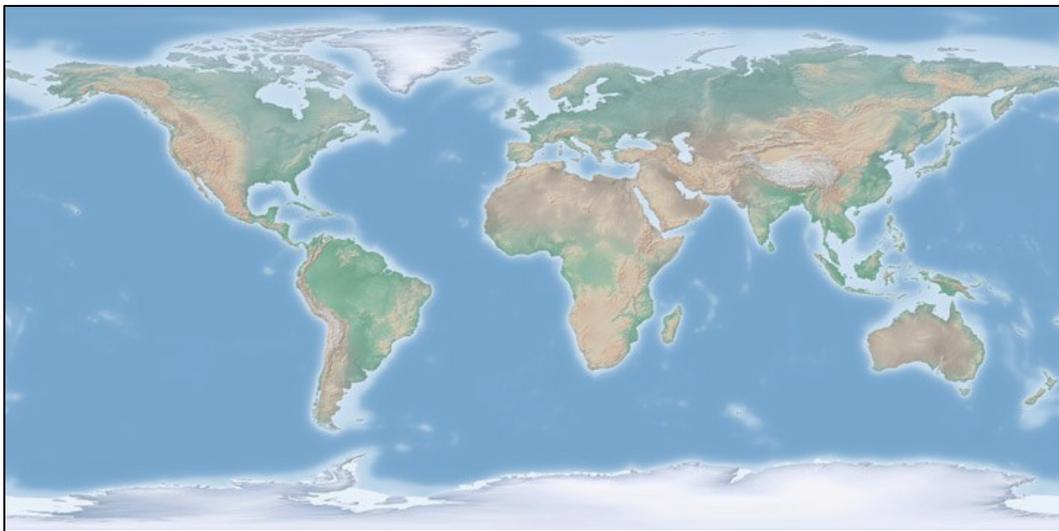


Abbildung 32 Textur für den Globusmantel (Natural Earth)

10.2.1.2 Bevölkerungspunktearte

Die Visualisierung der globalen Bevölkerungsverteilung soll auf einer ähnlichen Darstellung, wie sie in Schulbüchern (HOFMANN-SCHNELLER et al. 2017: 29) verwendet wird, basieren. Die Daten der Bevölkerungspunktearte namens „Population Density“ stammen aus aggregierten Zensusdaten aus dem Jahr 2000 und basieren kilometergroßen Zellen der Nasa Earth Observations (NASA EARTH OBSERVATIONS 2017). Die Quantität der Verteilung wird durch einen unipolaren roten Farbgradienten dargestellt, der eine Werteskala von 1 bis 10.000 Personen pro Quadratkilometer visualisiert.

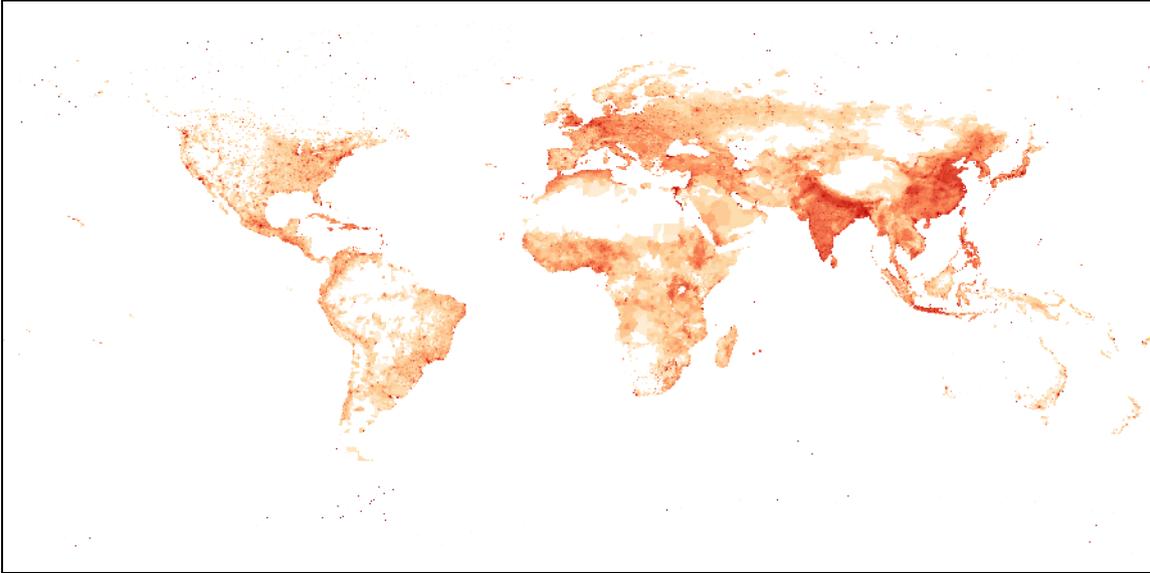


Abbildung 33 Bevölkerungspunktekarte (Nasa Earth Observations)

Da dieses Rasterbild keine künstlerische Darstellung ist, sondern jedem Farbpixel ein semantischer Wert zugeordnet werden kann, kann dieses Bild auch als *Lookup Table* (LUT) verwendet werden und gilt daher auch als indexiertes Rasterbild (MCINERNEY u. KEMPENEERS 2015). Dies erlaubt die Messung der konkreten Bevölkerungsanzahl durch den Lernenden.

10.2.1.3 Klimazonen

Als Quelle für die Einteilung der Klimazonen wird die „Köppen Klimagürtel Klassifikation“ zwischen 1901 und 2010 herangezogen (CHEN 2014). Diese Klassifikation wird als Vektorbild zur Verfügung gestellt, welche zur Anzeige in der Applikation in ein Rasterbild konvertiert wird.

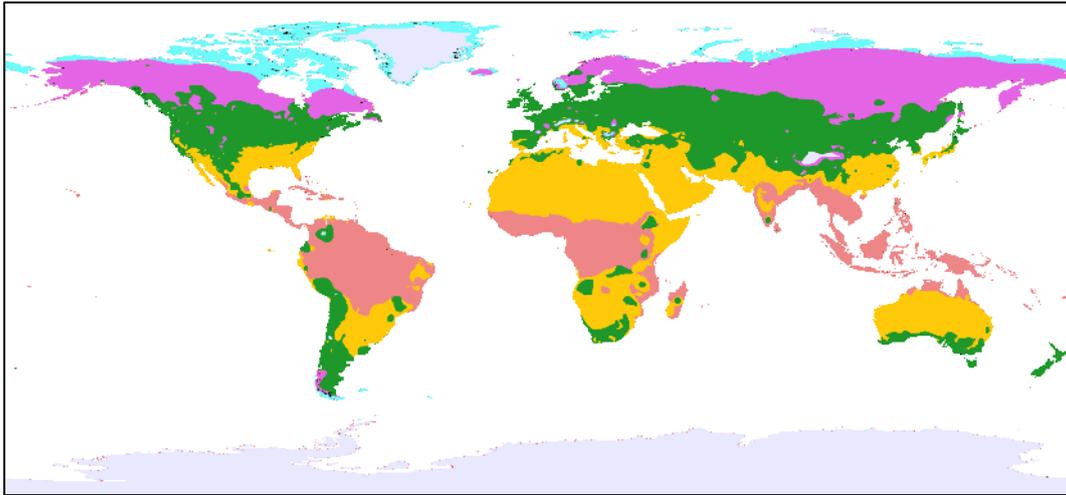


Abbildung 34 Modifizierte Darstellung der Klimazonen nach Köppen im Zeitraum zwischen 1901 und 2010. (Köppen Klimagürtel Klassifikation)

Der Meereshintergrund sowie die Ländergrenzen wurden mit einem Vektorprogramm entfernt, um optimale Darstellung über die Satellitenbilder zu ermöglichen. Eine ähnliche, jedoch zusätzlich vereinfachte, grafisch ähnliche Darstellung der Erde findet sich in Schulbüchern wieder (HOFMANN-SCHNELLER et al. 2014: 24). Die Farbgebung wurde entsprechend der Quelle belassen. Anschließend wurde die Vektordatei in eine indexbasierte Rasterdatei gespeichert, um mittels Farbpixel der entsprechenden Klimagürtelbezeichnung zu ermitteln.

Die Bezeichnungen der Klimazonen wurden selbst gewählt und lauten folgend:

Farbwert	Klimabezeichnung
rot	Tropisches Klima
gelb	Subtropisches Klima

grün	Kontinentales Klima
magenta	Borelaes Klima
cyan	Tundrenklima
weiß-grau	Dauerfrostklima

Tabelle 12 Matrix Farbwert und Klimabezeichnung (eigener Entwurf)

10.2.1.4 Geographische Linien

Die Anzeige der geographischen Linien, wie Äquator, Wendekreise und Polarkreise werden mittels Vektordaten ermöglicht. Diese Datensätze werden ebenso von „Natural Earth“ (NATURAL EARTH) unter einer gemeinfreien Lizenz angeboten. Die Daten sind im Maßstab 1:110.000.000 projiziert und weisen geographische Koordinaten mit WGS84 Datum auf. Mittels Import- und anschließender Exportfunktion von konventionellen GIS Software können diese ESRI Shapefiles in ein PNG als Plattkarte konvertiert werden und damit auf die Kugelgeometrie affiziert werden.



Abbildung 35 Geographische Linien (Äquator, Wendekreise, Polarkreise und Datumslinie) als Plattkarte im Rasterformat (eigene Darstellung)

Die Beschriftung der jeweiligen Linien erfolgt im Anschluss eigenständig im dreidimensionalen Raum.

10.2.1.5 Übersicht der Kugelpanoramafotos

Ausgewählte Kugelpanoramafotos zu den einzelnen Orten werden über den *Google StreetView* Download Dienst manuell bezogen (ORLITA). Die folgende Karte gibt einen Überblick über die manuell gewählten Standorte der Panoramafotos, welche jeweils eine Klimazone repräsentieren.



Abbildung 36 Geographische Standorte (graue Pins) der Panoramafotos pro Klimazone als grau markierte Punkt (eigene Darstellung)



Abbildung 37 Miniaturansicht der verwendete Panoramafotos mit Beschriftung der Klimazone (Panoramafotos Quelle ORLITA, eigene Illustration)

Die verwendeten Panoramafotos sind manuell ausgewählt worden und stehen unter der jeweiligen Lizenz der Fotografen. Es handelt sich dabei um Kugelpanoramen in der Auflösung von 2048 mal 1024 Bildpixel. Diese können auf einer Kugelgeometrie direkt dargestellt werden.

10.2.2 Ablaufdiagramm

Nach dem Öffnen der Webseite wird die Webapplikationen geladen. Danach befindet sich der Anwender im Hauptmenü der Applikation. Dort sind das Impressum einsehbar, sowie ein Menüpunkt um den Globus anzuzeigen.

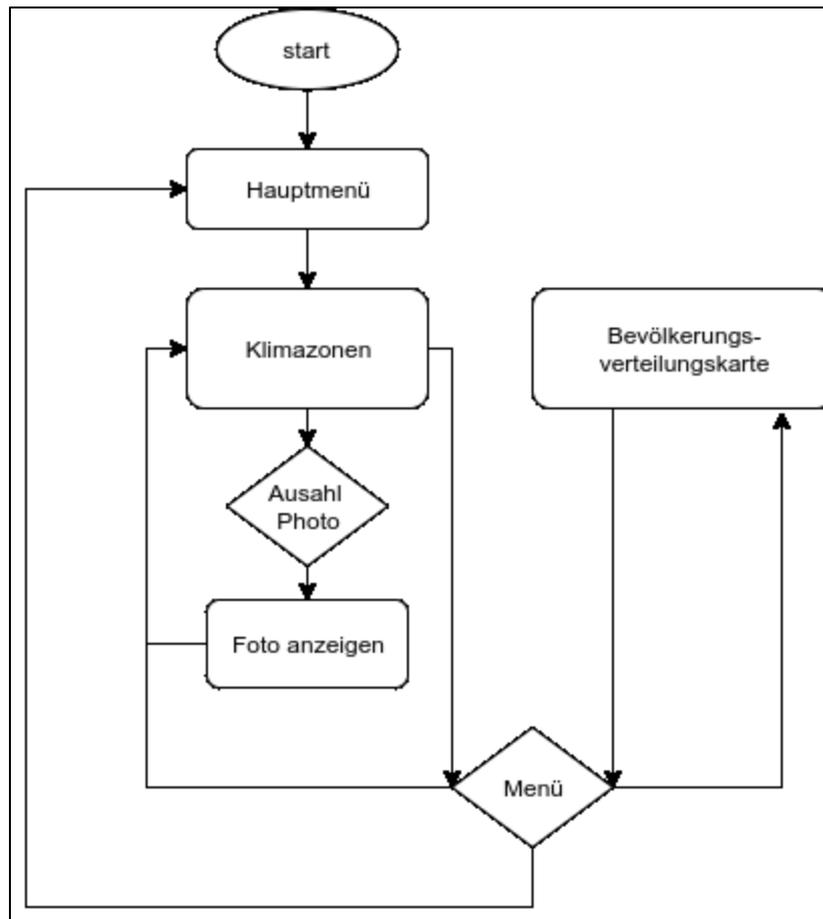


Abbildung 38 Ablaufdiagramm der Klimazonen Globus Applikation (eigene Darstellung)

Wie in der Abbildung ersichtlich, zeigt der Globus beim Start die Klimazonenkarte an. Der Avatar befindet sich im Mittelpunkt des Globus'. Durch das Öffnen des Menüs kann einerseits in das Hauptmenü zurückgewechselt werden, oder aber die Bevölkerungsverteilungspunktekarte visualisiert werden. Je nach angezeigter Visualisierung ist eines der beiden Karten dargestellt, nie jedoch beide gleichzeitig. Die Klimazonenkarte beinhaltet zusätzlich noch die fünf Fotopunkte, welche aktiviert werden können. Nach entsprechender Auswahl wechselt die Ansicht, indem die Textur des Globus durch das Panoramafoto ersetzt wird. Durch einen neuen Menüpunkt kann von dort wieder zur Klimazonenkarte gewechselt werden.

10.2.3 Darstellung

Die Kamera des Avatars befindet sich am Nullpunkt entlang der drei Längsachsen und damit im Zentrum des Globus'. Es gibt keine Möglichkeit der bewegten Navigation, sondern der Avatar hat die Rotationsmöglichkeit des 360 Grad Rundblicks über.

Der Globus entspricht einer Kugelgeometrie mit Radius n mit einer überstülpten Rastertextur, welche eine künstlerische topographische Oberfläche der Erde zeigt. Danach wird mit einem geringeren Radius die Klimazonen Textur sowie die Aktivierungspunkte für die Panoramafotos oder die Bevölkerungspunktekarte angezeigt, je nach gewähltem Modus. Eine Änderung der thematischen Grundlage entspricht eines Austausches der Textur auf der Kugelgeometrie. Geographische Linien, wie Äquator und Wendekreise werden als Linien dargestellt auf einer Kugelgeometrie wieder mit geringerem Radius.

Folgende Darstellung verdeutlicht das zuvor Beschriebene. Diese, für Dokumentationszwecke erstellte, Ansicht ist im normalen Betrieb der Applikation nicht möglich. Die Kamera bzw. das Sichtfeld des Avatars werden mit den vier orangen Linien angezeigt.

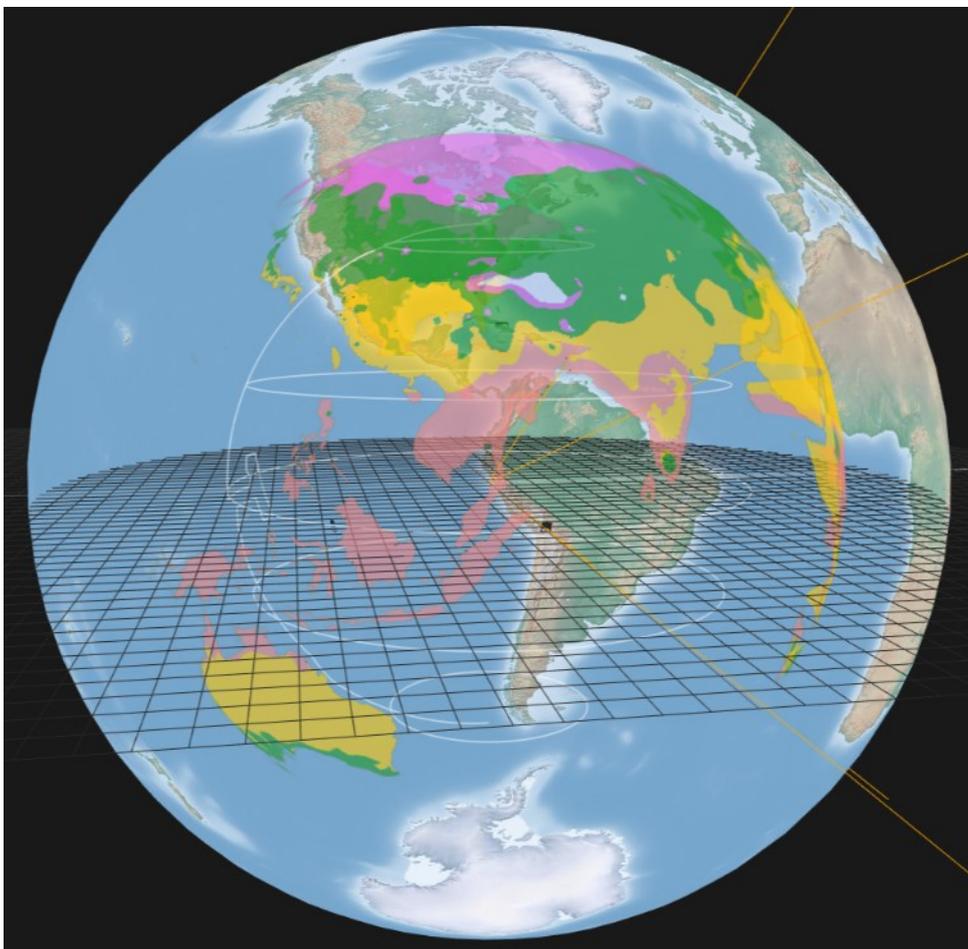


Abbildung 39 Außenansicht der Kugelgeometrien deren und Texturen (eigene Darstellung)

Die Sicht des Avatars im normalen Betrieb ermöglicht ein Rundumblick im Globus. Der Globusmantel ist interaktiv, indem er durch den Blickpunkt, repräsentiert durch eine kleine

löchrige Scheibe, auf dem Globusmantel entlang blickt. Ein Blick in den Himmel entspricht dabei den Blick in den Norden, ein Blick Richtung Boden, dem Süden. Auf Desktop-Systemen wird der Blick über den Mauszeiger verändert. Die folgenden Abbildungen zeigen jeweils das stereoskopische Bild auf einem Smartphone, welches als mobiles *Head Mounted Display* fungiert.



Abbildung 40 Stereoskopische Ansicht des Avatars auf einem Smartphone (eigene Darstellung)

Wählt der Benutzer das Foto Symbol, so wechselt die Ansicht in die Kugelpanoramadarstellung.



Abbildung 41 Ansicht eines Kugelpanoramas zu einer Klimazone (eigene Darstellung)

Durch Blick auf den Boden kann auf die normale Ansicht zurückgeschaltet werden. Eine Berührung des Touch-Screens bzw. auf Desktop Systemen ein Doppelklick mit der Maus wird das Menü geöffnet.

Die normale Ansicht verdunkelt sich und es kann die andere thematische Karte gewählt werden.



Abbildung 42 Ansicht des Hauptmenüs mit Möglichkeit der Auswahl des Hintergrundbildes (eigene Darstellung)

Die Bevölkerungsverteilungskarte reagiert ebenso auf den Blickpunkt, gibt jedoch die Anzahl Einwohner pro Quadratkilometer an.

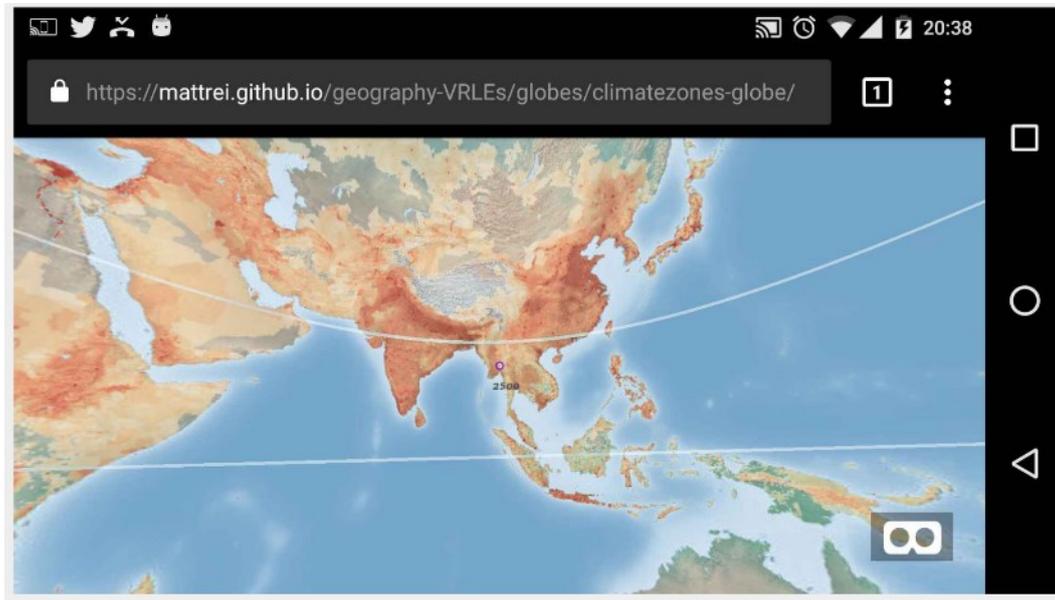


Abbildung 43 Nicht stereoskopische Ansicht auf einem Smartphone (eigene Darstellung)

Nun sollen wichtige Aspekte der Implementation vorgestellt werden.

10.2.4 Implementationsdetails

Folgende zwei Aspekte sollen im Zuge der Implementation näher erläutert werden.

10.2.4.1 Panoramafotopunkte

Die Fotopunkte der Kugelpanoramafotos werden im *Geographic JavaScript Object Notation* (GeoJSON) Format gespeichert. GeoJSON ist ein offenes Format um GIS Informationen zu speichern, welches hauptsächlich bei Webapplikationen verwendet wird. Das GeoJSON Format ist als Webstandard standardisiert (BUTLER et al. 2016). Gängige GIS Systeme unterstützen den Export und Import von GeoJSON Dokumenten und ermöglichen beispielsweise dadurch die Konvertierung zwischen ESRI-Shapefiles.

In GeoJSON werden die Daten folgendermaßen als Text gespeichert:

```

1 {
2   "type": "FeatureCollection",
3   "features": [
4     {
5       "type": "Feature",
6       "properties": {},
7       "geometry": {
8         "type": "Point",
9         "coordinates": [
10          51.67968749999999,
11          60.23981116999893
12        ]
13      }
14    }
15  ]
16 }|

```

Abbildung 44 Auszug eines GeoJSON Datensatzes (eigene Darstellung)

In Zeile 6 können unter *properties* Attribute zu den Geodaten angegeben werden (in diesem Beispiel leer). In Zeile 9 bis 11 werden unter *coordinates* die geographischen Koordinaten als Breitengrad und Längengrad angegeben.

Um die Fotopunkte als dreidimensionale Punkte im Raum anzeigen zu können, müssen die geographischen Koordinaten in geozentrische Koordinaten konvertiert. Geographische Koordinaten werden als geographische Breite ϕ (Phi) und die geographische Länge λ (Lambda) in Grad angegeben. Diese gehen vom Äquator aus und der Winkel ϕ hat einen Wertebereich von $[-90^\circ, 90^\circ]$, der Winkel λ einen von $[-180^\circ, 180^\circ]$. Die Transformation von geographischen Koordinaten zu geozentrischen Koordinaten wird über folgende Formel durchgeführt, wodurch die beiden Winkel zuerst jedoch ins Bogenmaß umgerechnet werden müssen (DUNN & PARBERRY 2015, S. 211).

$$x = r \cos \varphi \sin \lambda$$

$$y = -r \sin \varphi$$

$$z = r \cos \varphi \cos \lambda$$

Formel 1 Formel zur Transformation von geographischen Koordinaten zu geozentrischen Koordinaten (DUNN et.al. 2015)

Diese geozentrischen Koordinaten werden als dreidimensionaler Vektor im Raum behandelt. Dadurch können die Punkte auf dem Globusmantel angezeigt werden.

10.2.4.2 Raycasting

Für diese Applikation interessante Aspekt der Implementation, ist wie das Abtasten des Bildes über den Blick des Anwenders funktioniert. Dabei werden, wie in der folgenden Abbildung ersichtlich, zwei Kugelgeometrien erstellt, wobei die innere Kugel die LUT Textur beinhaltet und unsichtbar geschaltet ist, und die äußere Kugel enthält die für den Anwender sichtbare farblich skalierte Textur.

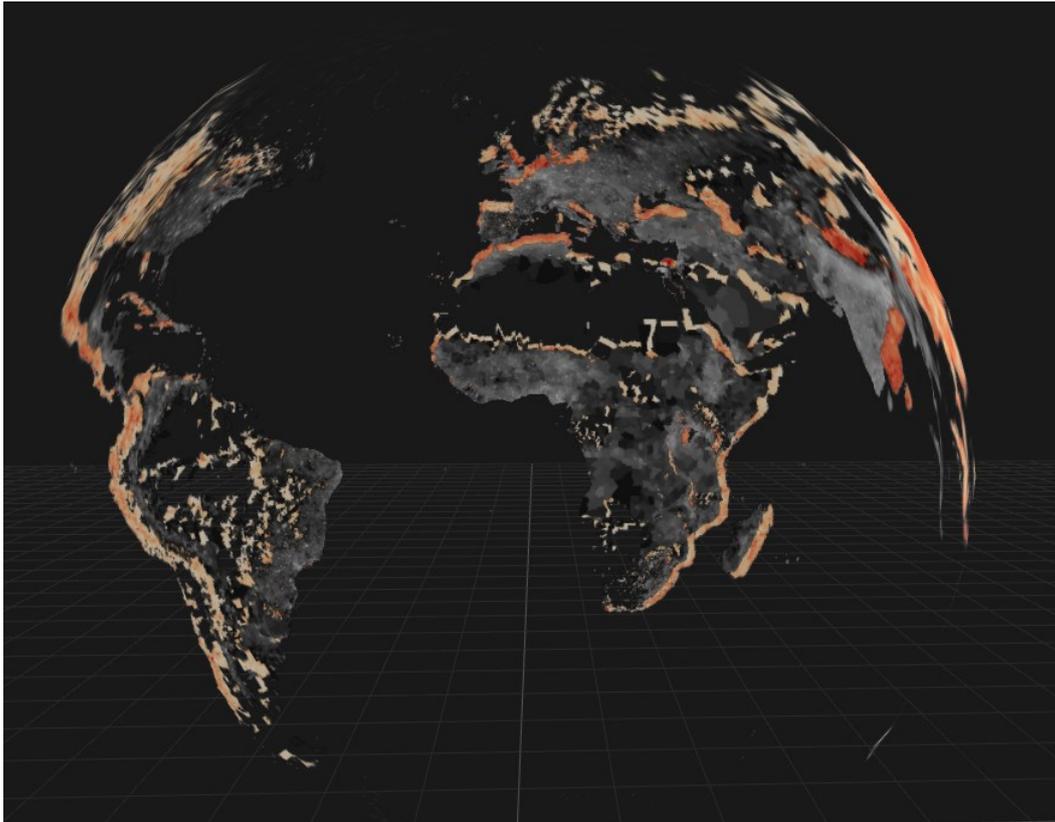


Abbildung 45 Konzeptionelle Außenansicht zweier Kugelgeometrien, welche die für den Benutzer unsichtbare grauskalierte Textur und die kartographisch farbskalierte Textur anzeigen (eigene Darstellung)

Technisch umgesetzt wird dies mit der von Three.JS angebotenen Funktion `readRenderTargetPixels` (THREE.JS) umgesetzt. Diese Funktion ermöglicht selbst bei unsichtbar geschalteten Objekten die Pixelwerte aus einer Textur zu lesen. Die Funktion retourniert dabei den Farbwert des Pixels. Der Wertebereich der Farbwerte verläuft zwischen 0 und 255 und ist im additiven RGBA Farbsystem kodiert und enthält somit 256 mögliche Farbzustände. Da es sich bei der LUT um ein grauskaliertes Bild mit einem Indexwert zwischen 0 und 255 Farben handelt, sind alle drei Farbwerte gleich und es muss somit nur ein Wert herangezogen werden.

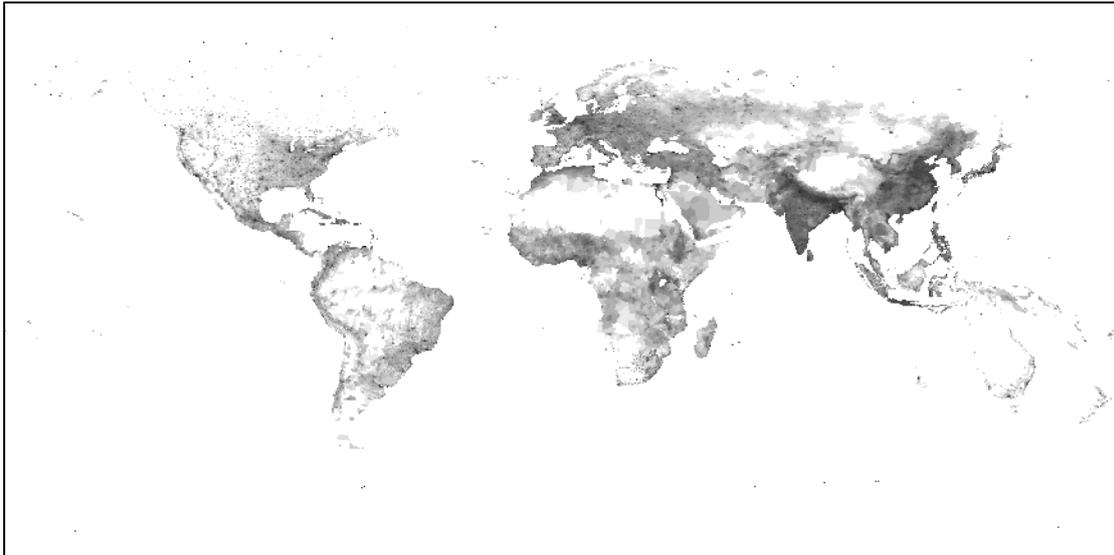


Abbildung 46 LUT Bild der Bevölkerungspunkte von 1 bis 10.000 Personen pro Quadratkilometer (eigene Darstellung)

Der LUT-Index verläuft laut Beschreibung des Datensatzes zwischen 1 (weiß) und 10.000 (schwarz) Personen pro Quadratkilometer. Der Farbgradient von weiß zu schwarz verläuft linear, wobei die interpretierten Werte nicht linear skaliert sind, sondern, wie in der folgenden Abbildung ersichtlich ist, diese logarithmisch skaliert sind.

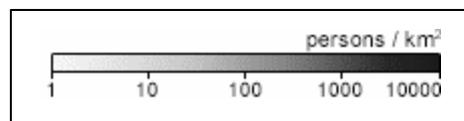


Abbildung 47 Lineare Farbskalierung des LUT Bildes (Nasa Earth Observatory)

Der Farbwert weiß entspricht einer Person pro Quadratkilometer und der Farbwert schwarz 10.000 Personen. Das gemittelte Grau entspricht 100 Personen, usw. Zum besseren Verständnis wird daher die Legende in vier Kategorien geteilt. Die folgende Tabelle gibt nochmals das Verhältnis zwischen Farbwert und eigentlich semantischen Bevölkerungswert entsprechend der Legende wieder.

Farbe	RGB-Farbwert	Personen pro km ²

	0, 0, 0	10.000
	64, 64, 64	1.000
	128, 128, 128	100
	192, 192, 192	10
	255, 255, 255	1

Tabelle 13 Sichtbare Farbe, RGB Farbwert und korrespondierende Anzahl der Personen pro Quadratkilometer (eigener Entwurf)

Der Algorithmus, um von einem Farbwert auf den semantischen Bevölkerungswert zu schließen, kann nicht über eine einfache Funktion abgebildet werden, da die Farbskalierung zwar durchgängig zwischen weiß und schwarz linear verläuft, aber nicht die Bevölkerungswerte. Entsprechend muss die Skalierung in fünf Bereiche gegliedert werden wobei der jeweilige unterste und oberste Wertebereich aus der Legende abgelesen wird.

Den Vorgang um Werte von einer linearen Skalierung in einer anderen linearen Skalierung zu übertragen heißt Normalisierung. Die mathematische Formel zum Normalisieren von Werte zwischen zwei Wertebereichen (Minimum und Maximum) lautet:

$$t = \frac{x - \min(x)}{\max(x) - \min(x)}$$

Formel 2 Normalisierung eines Wertes entlang eines oberen und unteren Wertebereiches (eigener Entwurf)

Die zurückgelieferte normalisierte Variable t dieser Formel liegt zwischen 0 und 1, wobei 0 dem unteren Wertebereich ($\min(x)$) und 1 dem obersten Wertebereich ($\max(x)$) entspricht. Um

diese Normalisierungsvariable nun auf einen anderen Wertebereich anzuwenden, muss folgende lineare Interpolierungsformel angewendet werden:

$$v = \min(x) + t * (\max(x) - \min(x))$$

Formel 3 Lineare Interpolierung einer normalisierten Variable entlang eines oberen und unteren Wertebereiches (eigener Entwurf)

Der zurückgelieferte Wert v spiegelt nun die entsprechende Bevölkerungszahl pro Quadratkilometer in der jeweiligen Kategorie wieder.

In der Implementation selbst wird von einer eigenen Implementierung abgesehen und auf die Skalierungsfunktion `scaleLinear` der `d3.js` Softwarebibliothek (BOSTOCK 2018) zurückgegriffen. Die folgende Abbildung zeigt eine exemplarische Verwendung dieser Funktion.

```
1  const interpolate = scaleLinear()
2    .domain([0, 64, 128, 192, 256])
3    .range([1, 10, 100, 1000, 10000]);
4
5
6  console.log(interpolate(128)); // 100
7  console.log(interpolate(64)); // 1000
8
```

Abbildung 48 Verwendung der Skalierungsfunktion (eigene Darstellung)

In Zeile 1 wird angegeben, dass es sich um eine lineare Skalierung handelt. In Zeile 2 werden die Wertebereiche des Rasterbildes angegeben. In Zeile 3 werden die semantischen Wertebereiche, welche sich mit den in Zeile 2 angegeben decken, hingeschrieben. Der Aufruf retourniert eine Interpolierungsfunktion, welche nun einen Parameter nämlich den Wertebereich des Bildes annimmt und den semantischen Bevölkerungswert entsprechend zurückliefert.

10.2.5 Arbeitsblatt

Das Vermittlungsinteresse dieser Applikation sowie deren Methodik (siehe Kapitel 10.1) entspricht primär der Visualisierung. Um daraus Arbeitsaufgaben abzuleiten, soll im Folgenden exemplarisch ein im Unterricht einsetzbares Arbeitsblatt entwickelt werden. Die

folgende Tabelle zeigt die Aufgabenstellungen des Arbeitsblattes auf und listet die jeweiligen Anforderungsbereiche nach SITTE (2011):

Aufgabenstellung	Anforderungsbereich nach SITTE (2011)
<p>Eine Aufgabenstellung ist, die im Globus analysierten Klimazonen, mit Farbstiften auf einen schematischen Globus einzuzeichnen. Hierdurch wird der Transferleistung von der immersiven 360° Grad Darstellung hin zu Papier gefordert, was dem Anforderungsbereich entspricht.</p>	<p>„Reproduktion“ (Kompetenzniveau 1)</p>
<p>Eine weitere Aufgabe ist die Zuteilung von konkreten Bildausschnitten zu Klimazonen. Dadurch wird der zweite Anforderungsbereich nach SITTE, abgedeckt.</p>	<p>„Reorganisation und Transfer“ (Kompetenzniveau 2)</p>
<p>Die Aufgabenstellungen der Bevölkerungspunktekarte sowie der Zusammenhang zu den Klimazonen kann durch folgende Aufgabenstellungen abgedeckt werden.</p> <p>Die SuS soll die fünf am dichtesten bevölkerten Gebiete nennen und ihre Klimazonen lokalisieren und die jeweils größte Zahl der Anzahl der Einwohner pro Quadratkilometer wiedergeben.</p>	<p>„Reflexion & Problemlösung“ (Kompetenzniveau 3)</p>

<p>Die SuS sollen die fünf am wenigsten dicht besiedelten Gebiete benennen und ihre Klimazonen lokalisieren.</p> <p>Die SuS soll drei Gebiete und ihre Klimazonen benennen, welche gar nicht besiedelt werden, und begründen, warum diese Gebiete nicht bewohnbar sind.</p>	
---	--

Tabelle 14 Aufgabenstellungen des Arbeitsblatts für die "Klimazonen Globus" Applikation (eigener Entwurf)

Die folgende Abbildung zeigt die exemplarische Gestaltung des zweiseitigen Arbeitsblattes.

Arbeitsblatt zum VR Klimazonen-Globus (1/2)



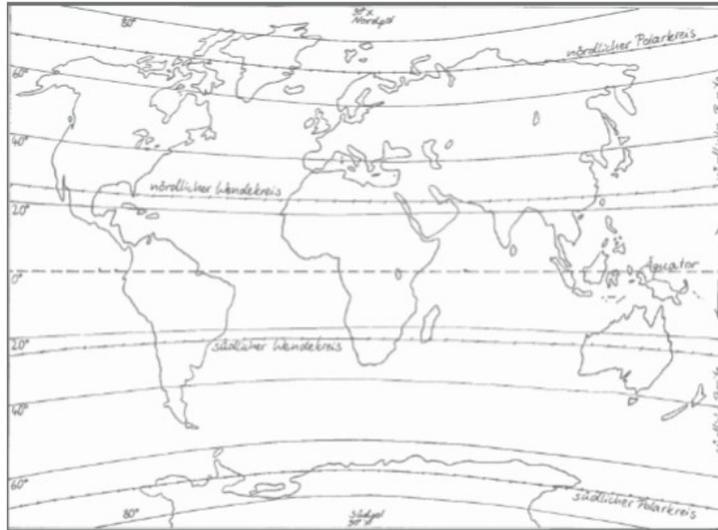
Start!

Öffne folgende Seite:
Klicke auf den Punkt **Start**. Rund um dich herum werden die Klimazonen angezeigt. Ein Blick auf die Zone verrät den Namen.



Decke alle Klimazonen auf und trage diese verschiedenfarbig in folgende Skizze ein. Beschrifte die Klimazone entsprechend.

QR Code zur Webseite



Auf der Karte findest du auch 6 Fotopunkte.
Schau dir alle an und merke dir Ihre jeweilige Position am Globus.



Ordne den folgenden Bildern die jeweilige Klimazone zu und trage ihre ungefähre Position in der Skizze ein:
Kontinental, Polar, Subtropisch, Tropisch, Tundra

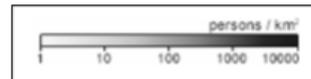
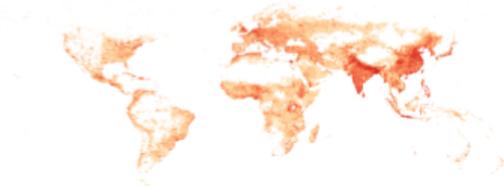


Abbildung 49 Arbeitsblatt zum „Klimazonen Globus“ Seite 1 (eigene Darstellung)

Die folgende Abbildung zeigt Seite zwei des Arbeitsblattes.

Arbeitsblatt zum VR Klimazonen-Globus (2/2)

Öffne durch Berühren des Touchscreens das Menü und öffne die Bevölkerungsverteilungskarte.



Farbgradient verläuft zwischen 0 und 10.000 Personen pro Quadratkilometer.



Lokalisier die fünf am dichtesten bevölkerten Gebiete und nenne ihre Klimazonen.



Erörtere die fünf am wenigsten dicht besiedelten Gebiete mit Anzahl der Personen pro Quadratkilometer und benenne ihre Klimazonen.



Lokalisier drei Gebiete, welche gar nicht besiedelt werden und benenne ihre Klimazonen.

Abbildung 50 Arbeitsblatt zum "Klimazonen Globus" Seite 2 (eigene Darstellung)

10.3 „NEO Globus“

Die Webapplikation ist auf der privaten Seite des Autors abrufbar (TREITLER 2018b). Der komplette Source Code der Applikation ist unter Anhang A2 zu finden.

10.3.1 Datenquellen

Die Rasterdaten werden von *NASA Earth Observing System* (NASA EARTH OBSERVATIONS 2017) bezogen. Dies stellt einen Dienst bereit, der den Download von globalen Satellitenbildern ermöglicht. Die Datensätze werden in über 50 Kategorien geteilt und umspannen vielseitige globale Messdaten wie Temperaturmessungen, Treibhausgase, Vegetationen, etc. Viele der Datensätze weisen einen historischen Verlauf auf, wodurch eine chronologische Visualisierung ermöglicht wird. Der Dienst erlaubt das Herunterladen der Bilder variabel nach der Auflösungsgröße sowie dem Dateiformat. Die Datenquellen sind bei entsprechender Nennung der Quelle frei verwendbar.

10.3.1.1 Satellitenaufnahmen

Die monatliche durchschnittliche Veränderung anhand eines Beispieljahres soll die Jahreszeiten veranschaulichen. Der „Blue Marble: Next Generation“ (NASA EARTH OBSERVATIONS 2017) Datensatz wird für die Visualisierung des Globusmantels verwendet. Dieser Datensatz besteht aus zwölf Satellitenaufnahmen aus dem Jahre 2004, wodurch jeder Monat repräsentiert wird. Das Rasterbild zeigt die durchschnittliche Erdoberfläche in Echtfarben eines Monats. Die Bilder weisen eine äquirektangulare Projektion auf und können dadurch auf eine Kugelgeometrie ohne weitere Konvertierung affiziert werden.

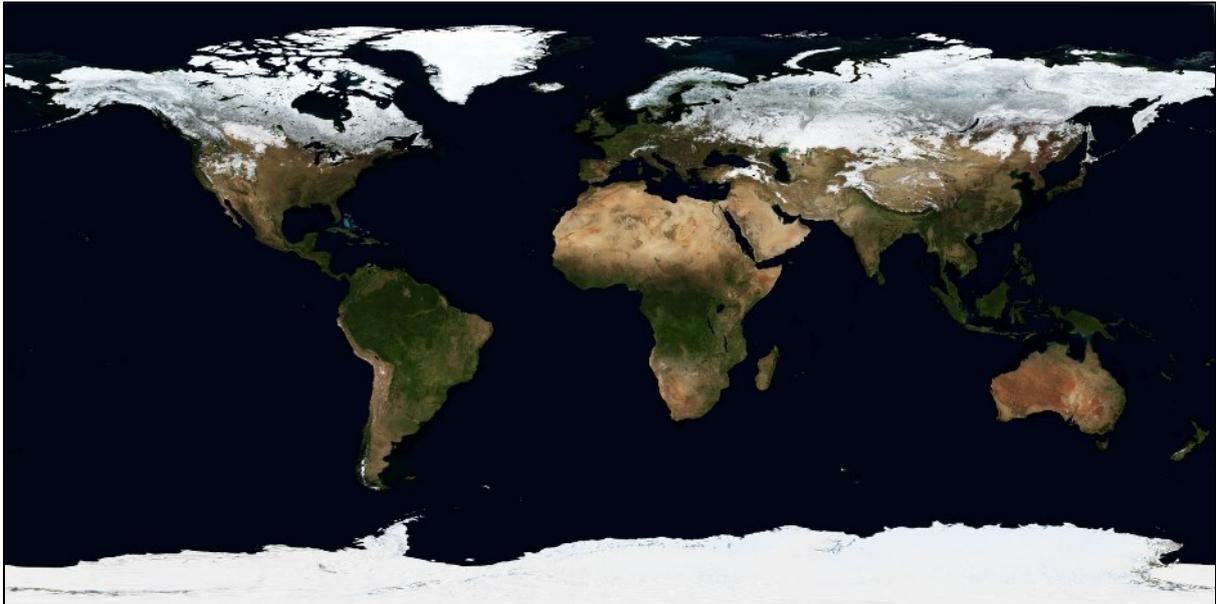


Abbildung 51 „Blue Marble“ Satellitenbild vom Jänner 2004 (Nasa Earth Observation)

Die Aufnahmen stammen vom *NASA Terra Satelliten* (THOME) und eignen sich explizit zur Analyse der laufenden Veränderung der Erde über das Jahr hin gesehen. Neben den Satellitenaufnahmen sollen auch Temperaturkarten herangezogen werden, um den Bezug zwischen Klima und Temperaturen herzustellen.

10.3.1.2 Temperaturkarte

Der „Average Land Surface Temperature (Day)“ (NASA EARTH OBSERVATIONS 2017) Datensatz zeigt die durchschnittliche Oberflächentemperatur innerhalb eines Monats. Diese Rasterbilder weisen eine Lookup Table (LUT) auf, womit der Farbpixel einem Temperaturwert zugeordnet werden kann. Der Datensatz beinhaltet nur Informationen über die Erdoberflächentemperatur und beinhaltet keine Daten über die Meerestemperaturen. Es steht eine farbskalierte Version zur Verfügung, wobei der Temperatur- bzw. Farbgradient zwischen -25 Grad Celsius (weiß-blau) und 45 Grad Celsius (gelb) verläuft. Die Rasterdaten werden im PNG Format verwendet, um keine Veränderungen der Pixelwerte durch eine inhärente JPEG-Komprimierung zu ermöglichen.

Leider ist, wie folglich in der Abbildung ersichtlich, die verwendete bipolare Farbskala für die Darstellung von Temperatur im Kontext der Kartographiedidaktik nur bedingt verwendbar.

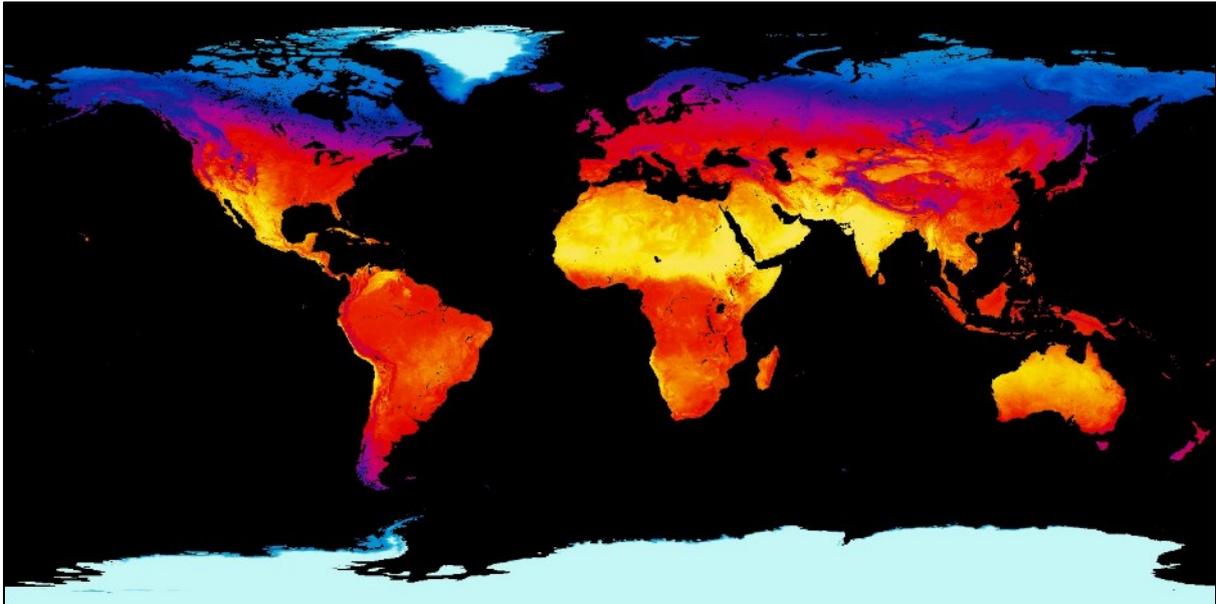


Abbildung 52 Temperaturkarte vom April 2001 mit original Farbgradient (weißblau - rot - gelb). (Nasa Earth Observation)

Daher wird das Rasterbild mit einem Grafikprogramm modifiziert, sodass die Wasseroberflächen transparent gemacht werden und ein kartographisch sinnvoller Farbgradient (BREWER & HARROWER 2009) verwendet wird. Dadurch wird das Bild in eine zweipolige Farbskala umgewandelt, da es negative und positive Werte beinhaltet. Dieser kartographisch oft verwendete blau-gelb-rot Gradient wird auf das Originalbild angewendet, und ergibt folgendes Resultat.

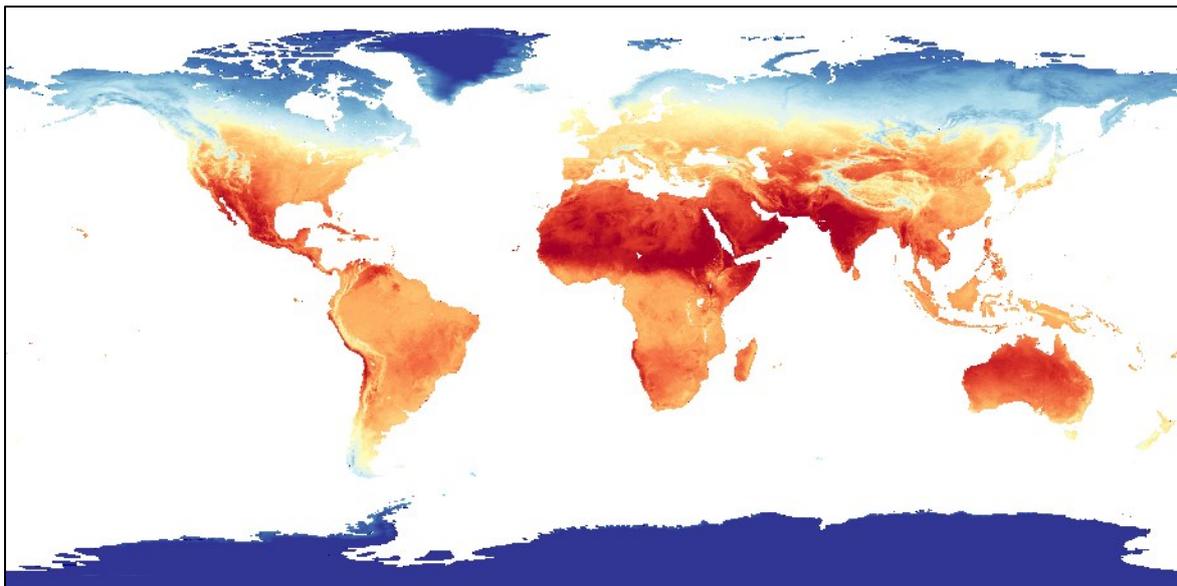


Abbildung 53 Modifiziertes Temperaturbild mit kartographisch geeignetem zweipoligen Farbgradient (eigene Darstellung)

Diese Darstellung trägt weitaus mehr zum schnellen Erfassen von Temperaturunterschieden bei. Für die Applikation werden bei allen zwölf Rasterbildern der Farbgradient gemäß der vorigen Beschreibung konvertiert.

10.3.2 Ablaufdiagramm

Wie in der folgenden Abbildung ersichtlich, befindet sich der Anwender zu Beginn der Applikation im Hauptmenü wieder. Hier werden zwei Menüvorschläge gemacht, wobei sich der Anwender zwischen dem „Entdeckungs-Modus“ und dem „Quiz-Modus“ entscheiden muss.

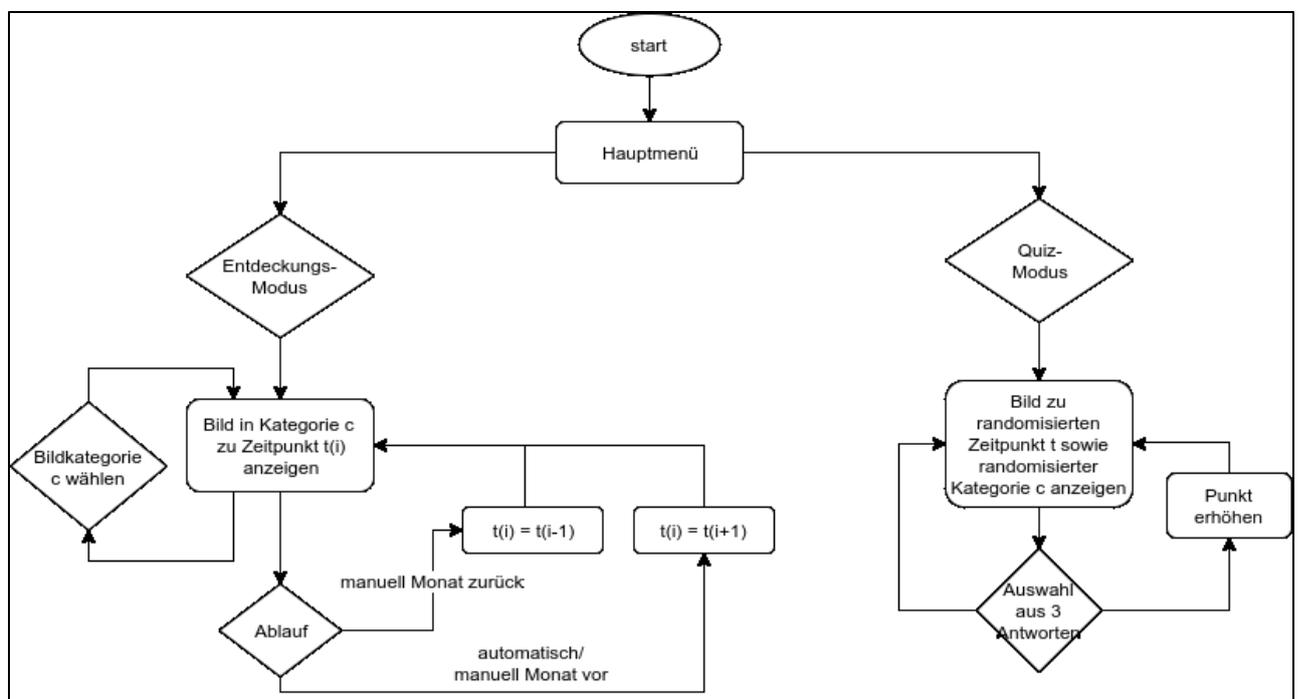


Abbildung 54 Ablaufdiagramm der NEO Globus Applikation (eigene Darstellung)

Der „Entdeckungs-Modus“ spielt die Geoanimation der Satellitenbilder ab. Diese Animation interpoliert zwischen den zwölf Satellitenbilder innerhalb eines Jahres. Der Zeitraum beläuft sich auf zwei Sekunden zwischen den Bildern, um einen eindeutigen Eindruck der Veränderungen zu gewinnen. Der jeweilige Monat wird in der Mitte des Bildschirms angezeigt. Diese Art der Animation ist der *Course of a Year* Applikation des bekannten taktilen Hyperglobus Herstellers (GLOBOACCESS 2017) nachempfunden. Auch RIEDL und WINTER beschreiben einen ähnliches Design, wo die Geoanimation das Globenbild über den Verlauf eines Jahres simuliert (RIEDL u. WINTER 2013: 8).

Geoanimationen werden anhand ihrer Komplexität in Typen differenziert (RIEDL u. WINTER 2013: 163–166). Die in dieser Applikation verwendete Geoanimation kann entsprechend der Klassifizierung in folgende Typen kategorisiert werden:

- *Single-layer*: Geoanimation interpoliert lediglich ein angezeigtes Bild und besteht daher aus einem Layer
- *Simultaneous*: Die Geoanimation verläuft linear und simultan über die Monate hinweg eines bestimmten Jahres ab.
- *Preprocessed*: Die Satellitenbilder der Geoanimation werden zur Gänze mit der Applikation ausgeliefert und können vom Anwender nicht interaktiv gesteuert werden.
- *Receptive-passiv global story*: Die Geoanimation gibt einen linearen Ablauf wieder, welche zwar über eine Abspiel- bzw. Pausierfunktion verfügt, jedoch kann der Anwender die Animationsart selbst nicht beeinflussen.

Der Quiz-Modus ist einem Fragespiel mit mehreren Runden nachempfunden und erfüllt daher das Konzept der Gamification (siehe erläuternd Kapitel 6.1.4). Ein Spiel besteht aus zehn Runden. Pro Runde ist bei richtiger Antwort ein Punkt zu ergattern, bei falscher Antwort wird kein Punkt abgezogen. Bei jeder Runde wählt das System zufällig eines aus den zwölf Satellitenbildern oder Temperaturkarten aus, wodurch der Anwender den dazugehörigen Jahresmonat ermitteln muss. Dem Anwender werden dazu drei mögliche Monate präsentiert, wobei eines die richtige Antwort beinhaltet. Um den Schwierigkeitsgrad sowie die Sinnhaftigkeit der Übung zu gewährleisten, besteht zwischen der Monatsauswahl jeweils ein Abstand von drei oder mehr Monaten. Jeder Durchlauf, wie in folgender Abbildung ersichtlich randomisiert, wodurch die Resultate immer vergleichbar sind.

```

1 ▾ function get3Answers(answer) {
2   const answers = [];
3 ▾   for (let i = 0; i < 3; i++) {
4     const next = Math.ceil(Math.random() * 2) + 2;
5
6     answers.push(answer);
7
8     answer += next;
9     answer %= 12;
10    if (answer === 0) answer += 1;
11  }
12  answers.sort((a, b) => a - b);
13
14  return answers;
15 }
16

```

Abbildung 55 JavaScript-Funktion der randomisierten Monatsauswahl beim Quiz-Modus des "NEO-Globus" (eigene Darstellung)

Diese Funktion retourniert neben dem richtigen Monat zwei weitere Monate, welche in einem Abstand von mindestens drei aber maximal vier Monaten ist. Dadurch wird auch gewährleistet, dass sich die Monate innerhalb eines Jahres nicht überlappen und der Schwierigkeitsgrad entsprechend handhabbar bleibt.

10.3.3 Darstellung

Zu Beginn der Webapplikation befindet sich der Anwender im Hauptmenü. Hier hat der Nutzer die Möglichkeit entweder in den Entdeckungsmodus zu wechseln oder das Quiz zu starten.

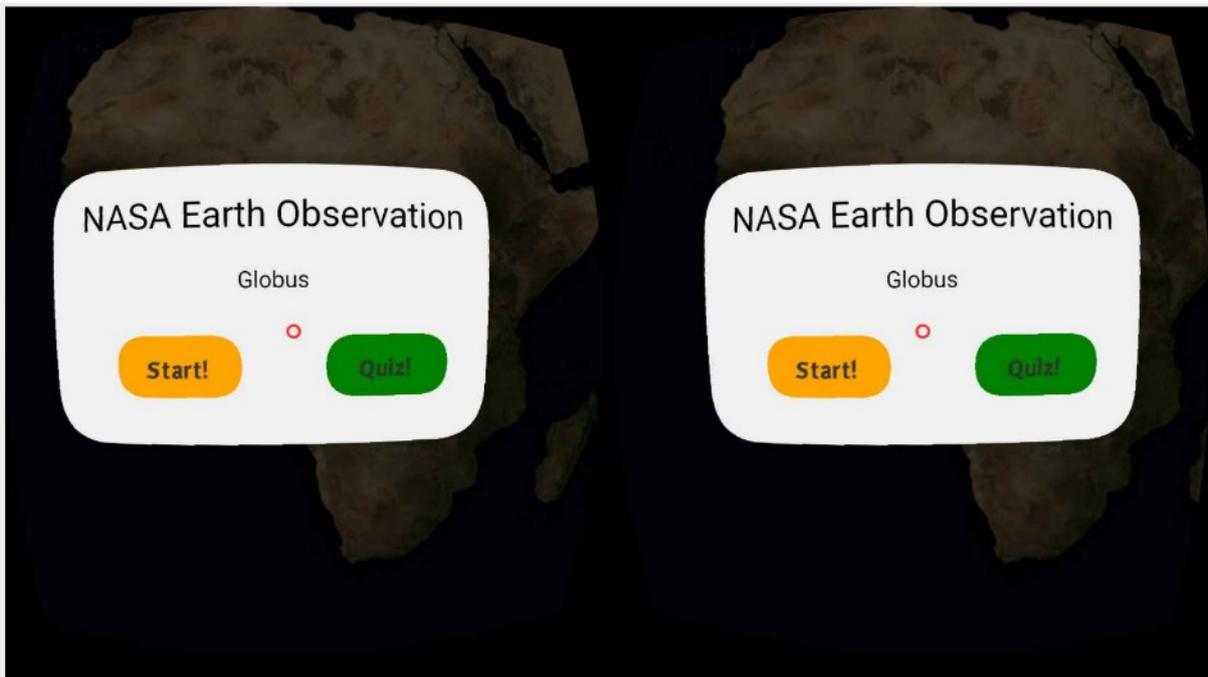


Abbildung 56 Das Hauptmenü hat zwei Möglichkeiten zur Auswahl (eigene Darstellung)

Gleich wie im Klimazonen Globus befindet sich der Anwender jeweils im Mittelpunkt eines invertierten Globus wieder. Standardmäßig wird der Monat Januar des Satellitenbildes am Globusmantel angezeigt. Durch einen Schwenk in Nähe des nördlichen und südlichen Wendekreises wird ein Menü zur Steuerung der Geoanimation angezeigt. Dieses Menü enthält jeweils die Möglichkeit den vorigen oder nächsten Monat auszuwählen, oder die Geoanimation automatisiert abspielen zu lassen. Hierbei werden in Abständen zu zwei Sekunden die Satellitenbilder sequentiell angezeigt und der Bildinhalt jeweils in den nächsten überblendet.

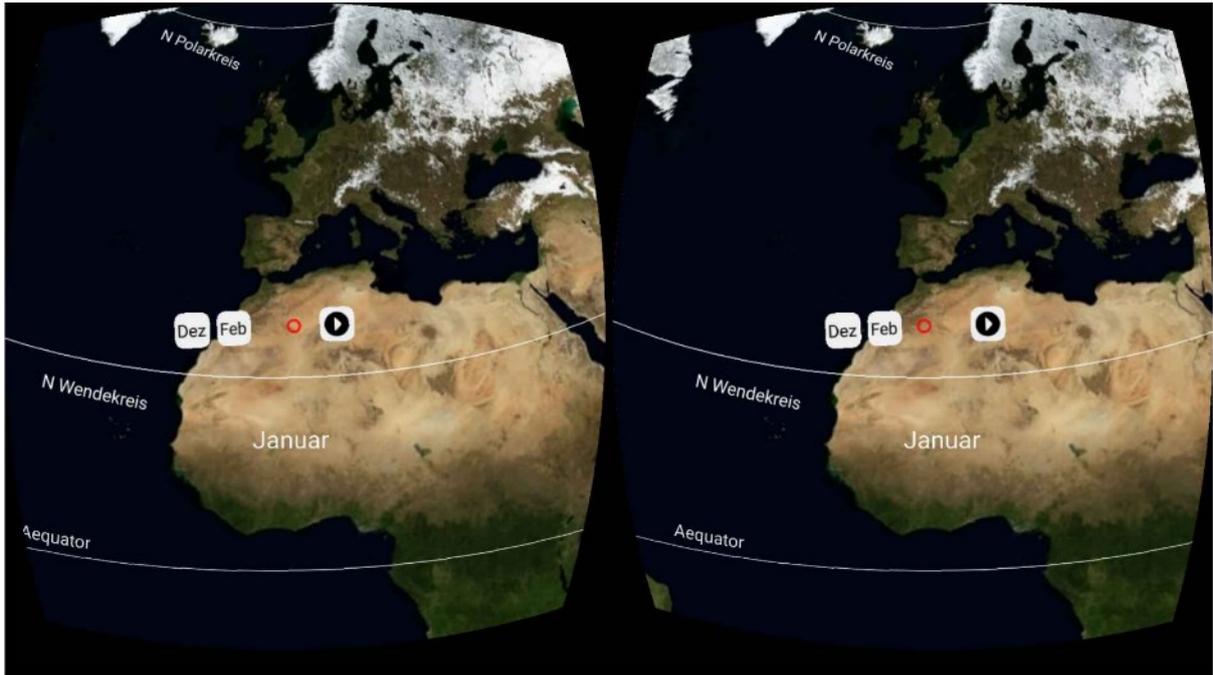


Abbildung 57 Menü zur Steuerung der Geoanimation (eigene Darstellung)

Neben den Satellitenbildern ist es auch möglich über ein Menü die Temperaturkarten anzuzeigen. Auch diese gibt es für jeden Monat innerhalb eines Jahres.

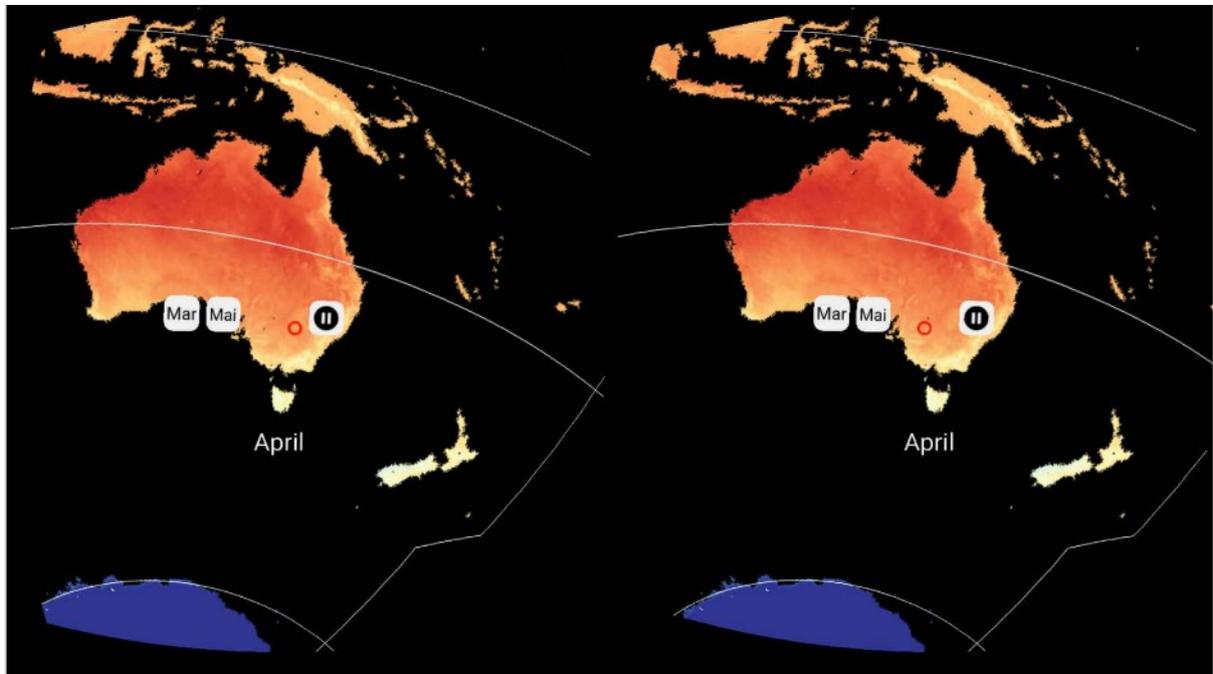


Abbildung 58 Temperaturkarte Ozeaniens und eingeblendetes Menü zur Steuerung der Geoanimation (eigene Darstellung)

Der Quiz Modus ermöglicht das Wissen zu überprüfen, indem in jeder Runde ein randomisiertes Satelliten- oder Temperaturbild angezeigt wird. Durch Öffnen des Menüs muss der Schüler dann den jeweiligen Monat aus einer Auswahl aus drei möglichen Monaten treffen.

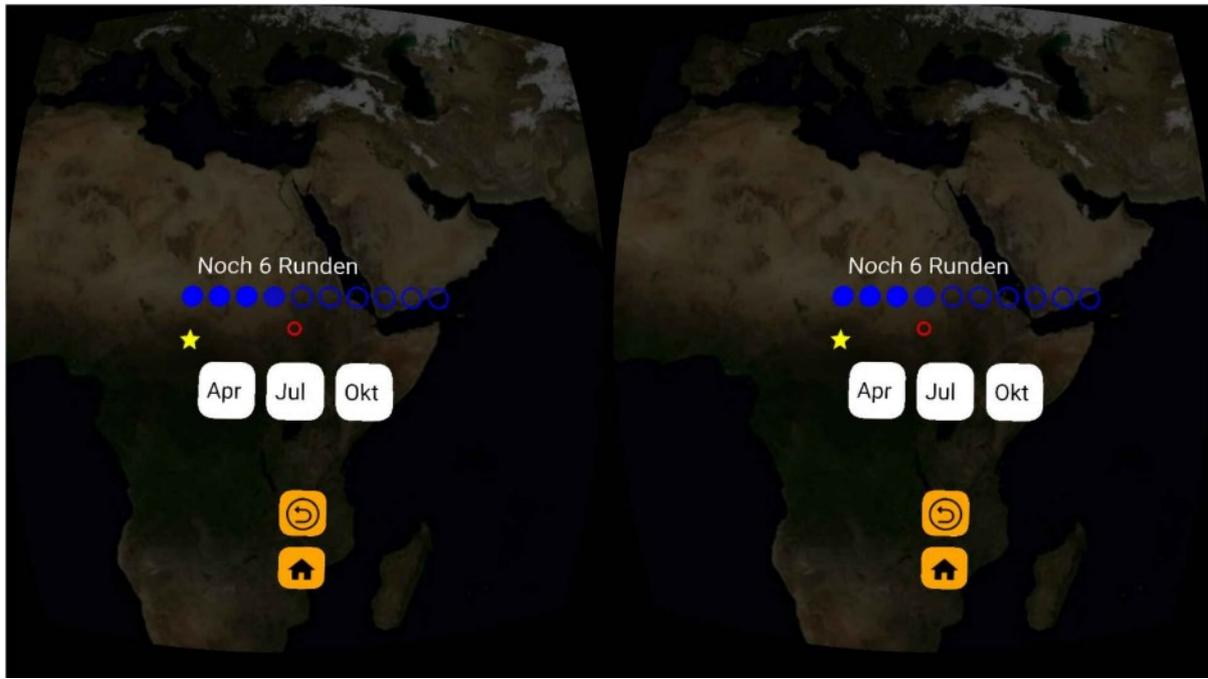


Abbildung 59 Ansicht der drei Antwortmöglichkeiten in jeder Quiz Runde (eigene Darstellung)

Färbt sich die Monatsauswahl grün, so wurde die richtige Auswahl getroffen. Damit bekommt der Lernende einen Punkt, visualisiert mit einem Sternsymbol, gutgeschrieben.

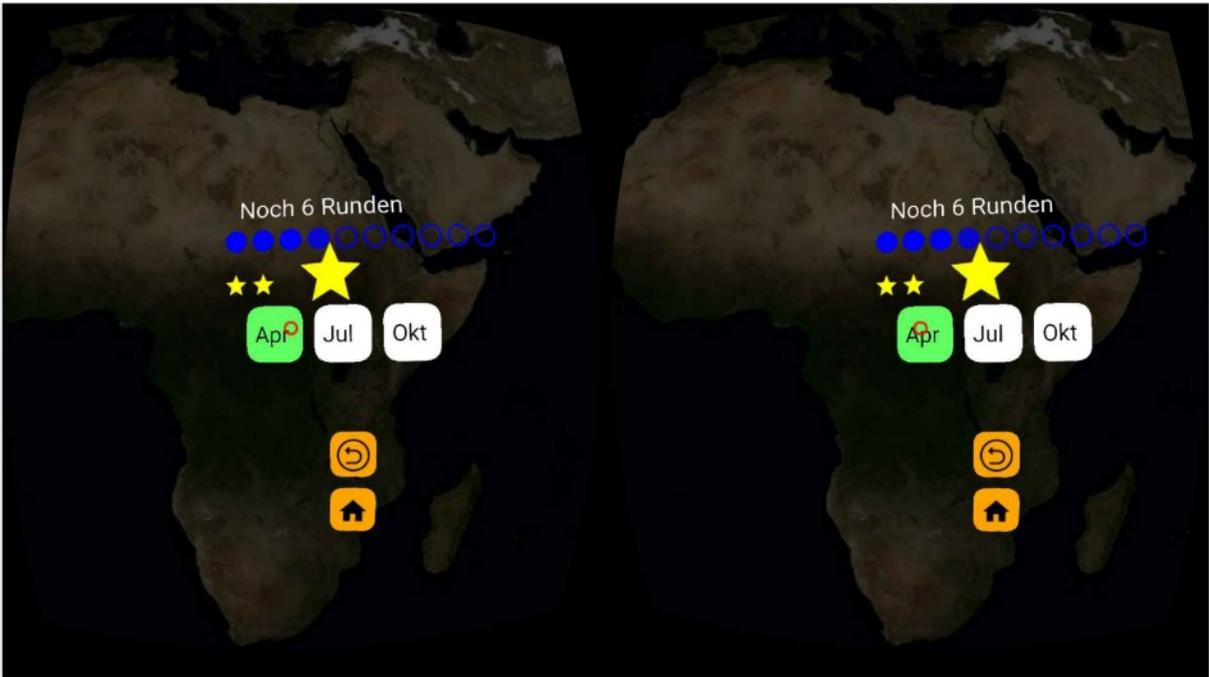


Abbildung 60 Darstellung einer richtigen Antwort im Quiz Modus (eigene Darstellung)

Wird eine falsche Antwort ausgewählt, verfärbt sich die Auswahl rot und zugleich wird die richtige Antwort grün eingefärbt. Die Punkteanzahl bleibt dadurch unverändert.

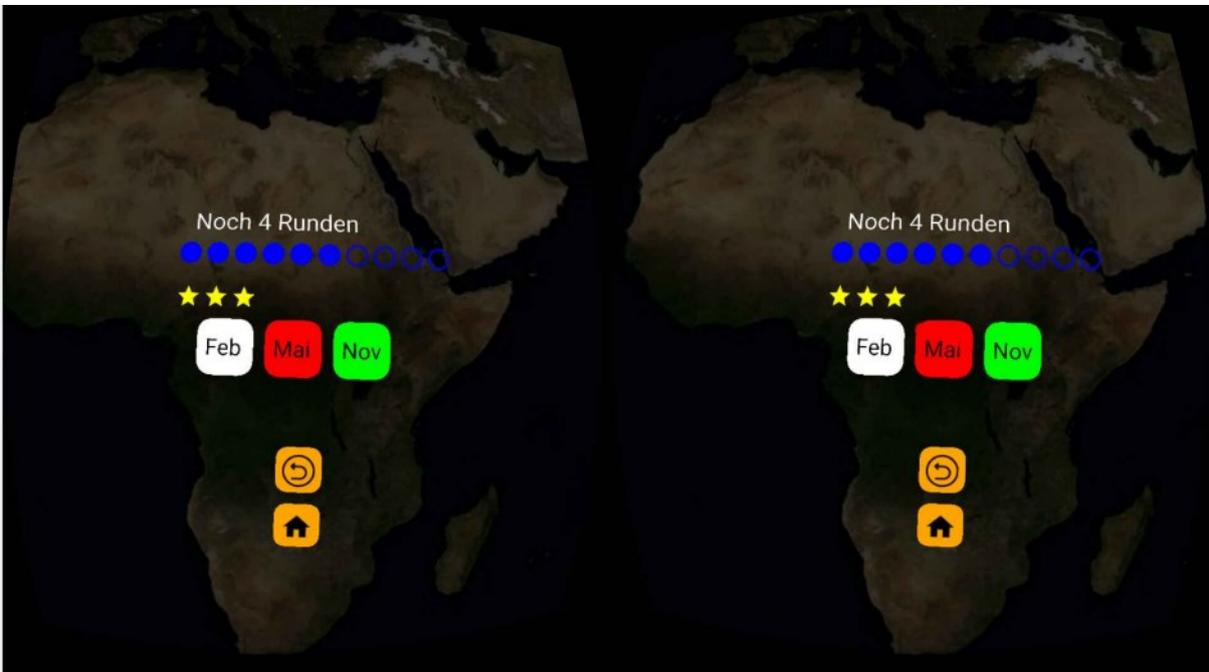


Abbildung 61 Darstellung einer falschen Antwort im Quiz Modus (eigene Darstellung)

Nach zehn Runden ist das Quiz zu Ende und es kann eine neue Runde gestartet werden. Das Punkteergebnis wird lediglich visualisiert jedoch nicht automatisiert gespeichert oder verwaltet.

10.3.4 Implementationsdetail

Im Folgenden wird ein für die Geonanimation wesentliches Implementationsschritt dieser Applikation vorgestellt.

10.3.4.1 Lineare Interpolation

Als zentraler Implementationsaspekt soll die lineare Überblendung der Satellitenbilder bzw. Temperaturbilder beschrieben wird. Das Abspielen der Geonanimation erfolgt anhand einer linearen visuellen Überblendung der Rasterbilder. Technisch kann das über einen *Shader* implementiert werden (siehe dazu auch Kapitel 9.1.1.1).

Mittels der Funktion *mix(pixelA, pixelB, ratio)* wird eine lineare Interpolation von zwei Pixeln anhand eines Faktorents ermöglicht (*KHRONOS GROUP o. J.*). Bei einem Ratiowert von 0 wird zur Gänze *pixelA* dargestellt, bei 1 zur Gänze *pixelB*.



Abbildung 62 Konzeptionelle Darstellung der zeitlichen linearen Interpolation zwischen zwei Bildern anhand eines Zoomausschnittes (eigene Darstellung)

Das Bild zum Zeitpunkt $t(0)$, gibt das Ausgangsbild wieder, der Zeitpunkt $t(0.5)$ ist ein ausgeglichene lineare Interpolation zwischen Ausgangsbild und Endbild, und Zeitpunkt $t(1)$ gibt komplett das Zielbild wieder.

Der *Shader* Code zu dieser linearen Interpolation der Textur lautet folgendermaßen:

```

1  uniform sampler2D diffuseSourceA;
2  uniform sampler2D diffuseSourceB;
3
4  uniform sampler2D mask;
5  uniform float ratio;
6  uniform float opacity;
7
8  varying vec3 vNormal;
9  varying vec2 vUv;
10 void main()
11 {
12     vec4 texelA = texture2D( diffuseSourceA, vUv );
13     vec4 texelB = texture2D( diffuseSourceB, vUv );
14     vec4 mixed = mix( texelA, texelB, ratio );
15     gl_FragColor = vec4( mixed.rgb, opacity );
16 }

```

Abbildung 63 GLSL Funktion um ein linear interpoliertes Rasterbild aus zwei Rasterbildern zu erzeugen (eigene Darstellung)

Als Eingabeparameter in Zeile 1 fungiert das aktuelle Bild (*diffuseSourceA*) sowie das nächste Bild (*diffuseSourceB*) in Zeile 2. Als weitere Parameter wird der Faktor, der den Fortschritt der Interpolation beschreibt (*ratio*) in Zeile 5 übergeben, welche die Werte zwischen 0 und 1 annimmt. Durch den Funktionsaufruf *mix* in Zeile 14 wird jeweils der Bildpunkt des aktuellen Bildes mit dem Bildpunkt des nächsten Bildes linear entsprechend der *ratio* Variable interpoliert. Der Wertebereich der *ratio* Variable verläuft dabei zwischen 0 und 1. Diese Variable wird von außen, d.h. vom JavaScript Code, gesteuert. Durch Zuweisung der Funktionsvariable *gl_FragColor* in Zeile 15 wird der linear interpolierte Bildpunkt zurückgegeben an den *Shader* zurückgegeben und entsprechend wie die veränderte Textur angezeigt.

10.3.5 Arbeitsblatt

Die folgende Tabelle zeigt die Aufgabenstellungen des Arbeitsblattes auf und listet die jeweiligen Anforderungsbereiche nach SITTE (2011):

Aufgabenstellung	Anforderungsbereich nach SITTE (2011)

Beschreibung der Satellitenbilder zu den Monaten Jänner, April, Juli und Oktober verbal oder textlich (je nach Präferenz des Lehrenden)	„Reproduktion“ (Kompetenzniveau 1)
Beschreibung der Temperaturbilder zu den Monaten Jänner, April, Juli und Oktober verbal oder textlich in Relation zu den Temperaturbildern	„Reorganisation & Transfer“ (Kompetenzniveau 2)
Begründungen und Auswirkungen auf Lebensweisen von Menschen beschreiben	„Reflexion & Problemlösung“ (Kompetenzniveau 3)
Einbindung des Quiz-Modus, indem Punkte der SuS eingetragen werden, wo die SuS einem zufälligen Bild entsprechend das jeweilige Monat zuordnen müssen. Hier können die SuS einen Bewerb untereinander beginnen, wer die meisten Punkte erreicht.	„Reproduktion“ (Kompetenzniveau 1)

Tabelle 15 Aufgabenstellungen des Arbeitsblatts für die "NEO Globus" Applikation (eigener Entwurf)

Das Arbeitsblatt soll einerseits die beiden Modi („Entdecker-Modus“ sowie den „Quiz-Modus“) beinhalten und Aufgabenstellungen dazu bereitstellen. Die folgende Abbildung zeigt die exemplarische Gestaltung des Arbeitsblatts.

Arbeitsblatt zum Virtual Reality NEO-Globus

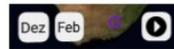


Start!

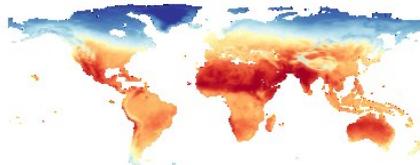
Erkunde das angezeigte Satellitenbild nach bestimmten Merkmalen und der jeweiligen Lokalität.



Entlang der Wendekreise erscheint jeweils ein Menü, indem die Satellitenbilder nach Monaten gesteuert werden können.



Durch Doppelklick oder Berühren des Touchscreens kann auf die Temperaturkarte gewechselt werden.



Diese zeigt den durchschnittlichen Temperaturverlauf innerhalb eines Monats an. Der Temperaturgradient verläuft von -25 Grad Celsius (blau) bis zu +45 Grad Celsius (rot).



Beschreibe mit Stichwörtern zu folgenden Monaten die jeweiligen Eigenheiten des Satellitenbildes sowie der Temperaturkarte:

Jänner:

April:

Juli:

Oktober:

Quiz!

In dem Quiz Modus musst du zu dem gezeigten Satelliten- oder Temperaturbild das jeweilige richtige Monat auswählen. Ein Quiz erstreckt sich über 10 Runden. Pro Runde kannst du einen Punkt erreichen. 



Markante Informationen wie die Größe der Eisdecke sowie Temperaturen oder die Vegetationsbedeckung im Süden helfen dir auf das jeweilige Monat zu schließen!

Abbildung 64 Arbeitsblatt zum „NEO Globus“ (eigene Darstellung)

Die Aufgabenstellung der Beschreibungen der einzelnen Monate, könnte dabei folgendermaßen lauten:

- Jänner:
„Die nördliche Halbkugel hat bis zum Wendekreis hin eine ausgeprägte Schneedecke. Dies resultiert aufgrund der niedrigen Temperaturen durch die verminderte Sonneneinstrahlung. Die südliche Halbkugel hat eine geringe ausgeprägte Vegetation aufgrund der erhöhten Temperaturen durch eine verstärkte Sonneneinstrahlung. Die Ausbreitung der Sahara ist in diesem Monat am geringsten.“
- April:
„Die Ausbreitung der Sahara ist hier über das Jahr gesehen am größten. Dies ist auf das wenige Grün und die steigenden Temperaturen zurückzuführen. Die Schneedecke wandert zunehmend aus den mittleren Breiten Richtung der nördlichen Polkappen ab. Die Wüstenbildung ist in vor allem in Australien, nach dem heißen südlichen Sommer, sehr ausgeprägt.“
- Juli:
„Die Schneebedeckung auf der nördlichen Hemisphäre ist am weitesten zurückgegangen, wohingegen in der südlichen Hemisphäre die Eisfelder wieder langsam wachsen. Die räumliche Ausbreitung der Sahara sowie Asiens wird durch die einsetzende Regenzeit geringer.“
- Oktober:
„Die Schneedecke ist im Süden aufgrund des südlichen Winters am größten und Australien erscheint im Jahresverlauf am grünsten. Gebiete im südlichen Afrika werden zunehmend trockener. Die nördliche Hemisphäre beginnt wieder kälter zu werden, welche durch eine verstärkte Schneebedeckung argumentiert werden kann.“

11 Zusammenfassung der Entwicklung

Die Kapitel 8, 9 und 10 haben die vollständige Umsetzung einer immersiven *Virtual Reality* Applikation für den Unterricht detailliert und argumentativ dargelegt. Dabei wurde das Medium der virtuellen Realität mit ihren inhärenten Eigenschaften, Potenzialen und Herausforderungen im Allgemeinen und im Schulumfeld dargelegt, und anschließend als Anforderung an die Entwicklung einer Anwendung, nämlich des Klimas als integraler Bestandteil des Lehrplans, angewendet (Kapitel 8.5). Als Anwendungsbasis wurde dabei der virtuelle Globus gewählt (Kapitel 8.2), nicht zuletzt aufgrund der einfach umzusetzenden

Anforderungen von „Virtuellen Welten“ (Kapitel 8.3) sowie seinem inhärenten Realismus bei der Darstellung von Inhalten und Interaktionsmöglichkeiten. Globen eignen sich dazu für globale Thematiken, wie in diesem Fall dem Klima (Kapitel 8.2.2). Klimaphänomene lassen sich aufgrund der gut erschlossenen Datenlage bestens auf digitale Globen abbilden, wie es bereits andere verwandte Anwendungen gemacht haben. Das mobile *Head Mounted Display* ermöglicht dabei in Kombination mit dem Smartphone als Bildschirm durch die stereoskopische Abbildung ein immersives Medium der virtuellen Realität, wobei dieses aufgrund seiner Einfachheit auch mit technischen Limitierungen beschränkt bleibt (Kapitel 8.4.1). Neben diesen bestehen auch konzeptionelle Limitierungen, wie die Navigation, der Realismus von Inhalten sowie die Interaktion in der immersiven virtuellen Realität (siehe Kapitel 8.4.2). Diese inhärenten Limitierungen müssen bei der Entwicklung einer Anwendung bzw. bei der Implementation als Applikation berücksichtigt werden.

Unter Rücksichtnahme der Anwendung sowie der im oberen Teil der Arbeit erstellten Entwicklungsgrundlagen (siehe Kapitel 5) wurde als Softwaretechnologie die Webtechnologie argumentativ ausgewählt. Die Webtechnologie gilt heutzutage als moderne Plattform für mobile Applikationen, welche sich auch für *Virtual Reality* Anwendungen mit immersiven dreidimensionalen Inhalten eignet (Kapitel 9). Obgleich die Softwaretechnologie aufgrund der Neuheit des Mediums schon weit vorangeschritten ist, ist die Implementierung der Applikationen aufgrund der mangelnden Verfügbarkeit von Hilfsanwendungen jedoch noch ressourcenaufwendig. Die Vorteile der Webtechnologie, vor allem durch die inhärente Plattformunabhängigkeit der Technologie, erleichtert den Einsatz des Mediums im Unterricht jedoch ungemein (Kapitel 9.2). Denn die Nutzung des eigenen Smartphones/Tablets als *Bring Your Own Device* wird seitens der Literatur als sehr positiv wahrgenommen (siehe Kapitel 9.2). Aufgrund der fortschreitenden technischen Verbesserung der Smartphones, stellt das eigene Smartphone für künftige digitale Medien einen gangbaren Weg dar.

Die Anwendungsmöglichkeiten (Kapitel 8.5.2) der entwickelten Applikation zeigen jedoch auch, dass das Medium *Virtual Reality* mitsamt der Immersion nicht per se eine kognitivistische oder konstruktivistische Lerntheorie impliziert. Denn die Konzeption der Applikation selbst entscheidet über die Lerntheorie des Unterrichtsmaterials und nicht die Technologie bzw. das Medium. Es zeigte sich im Verlauf der Entwicklung der Lernanwendung, dass es konzeptionell und technisch aufwendig ist, über ein behavioristisches Lernmodell sich hinauszubewegen (Kapitel 8.5). Um dem gegenzusteuern ist die Kontextualisierung der Applikationen wichtig, welche neben der Lehrkraft auch weitere Medien, wie Arbeitsblätter

oder Diskussionsrunden, etc., miteinbinden kann und auch muss (siehe dazu Kapitel 10.2.5 und Kapitel 10.3.5). Durch diese Kombination an Medien mit unterschiedlichen Graden an Kompetenzniveaus, können weitere Lerntheorien erschlossen werden. Abschließend dazu entspringt nach DETLEF der Mehrwert von Applikationen im Unterricht nicht automatisch aus der Technologie, „sondern kann nur im Abgleich zwischen den verschiedenen Bedürfnissen der Beteiligten in einer Lernsituation und den Möglichkeiten der Technologie identifiziert und didaktisch umgesetzt werden“ (DETLEF 2013: 83). Dieses Plädoyer soll in der nun folgenden abschließenden Diskussion weiter bekräftigt werden.

12 Diskussion

Ein Hauptfokus der vorliegenden Arbeit liegt auf einer theoretischen Auseinandersetzung mit dem Thema *Virtual Reality* im Bildungskontext, die aus unserer Sicht notwendig war, um Licht ins Dunkel eines unübersichtlichen und noch relativ unstrukturierten Forschungsfeldes zu bringen. Einen weiteren integralen Baustein der Arbeit stellt die Entwicklung einer *Virtual Reality*-Anwendung für den Geographie- und Wirtschaftskundeunterricht dar, welche auf dem zuvor erarbeiteten theoretischen Fundament aufbaut.

Zu Beginn haben wir versucht einige der zentralen Begriffe, die im Zusammenhang mit *Virtual Reality* verwendet werden, zu definieren. Dabei zeigte sich, dass gleiche Begriffe in der Literatur oft unterschiedlich verwendet werden. Dies deutet darauf hin, dass vieles innerhalb des Forschungsfeldes noch nicht ausdiskutiert und festgeschrieben ist bzw. durch stetige technische Neuentwicklungen im Umschwung begriffen ist. Auch der historische Rückblick lässt Ähnliches vermuten. Über die Jahrzehnte schien die Entwicklung oftmals zwischen Hype und „VR-Winter“ zu schwanken. Auch wenn sich in den letzten Jahren, speziell seit 2014 viel in der VR-Forschung und Entwicklung getan hat, scheint die Zukunft noch ungewiss. Zu wenig ist die Technologie bis jetzt bei den Massen angekommen, um fundierte Aussagen zur weiteren Entwicklung treffen zu können.

Anschließend wurde ein Entwicklungsleitfaden erarbeitet, welcher als Grundlage zur Entwicklung von Lernanwendungen im Medium der virtuellen Realität verwendet werden kann. Der Leitfaden ergibt sich aus der Diskussion einiger wesentlich erscheinender Aspekte, die Auswirkungen auf den Erfolg einer Anwendung im Sinne von Lernerfolgen haben könnten. Es zeigt sich, dass einige Punkte in der Literatur mittlerweile wenig kontrovers diskutiert werden. So scheint zum Beispiel Einigkeit darüber zu herrschen, dass sich konstruktivistische

Ansätze als lerntheoretische Grundlage besonders eignen. Andere Fragen wie zum Beispiel, welchen Einfluss die relativ hohe Motivation, die in Kombination mit dem Einsatz von immersiven VR Medien im Unterricht oftmals auftritt, auf den Lernerfolg haben, werden im Gegensatz dazu noch immer kontrovers diskutiert. Die Annahme einer direkten Korrelation scheidet dabei am scheinbaren Paradox „liking is not learning“. Die empirischen Ergebnisse fallen dabei durchwachsen aus, wobei Untersuchungen oftmals aufgrund einer fehlenden Repräsentativität oder dem gewählten Forschungsdesign nur wenig aussagekräftige Ergebnisse liefern. Entwickelte Anwendungen sind darüber hinaus oftmals von mangelnder pädagogischer Qualität, nicht zuletzt aufgrund fehlender Schnittstellen zwischen pädagogischem Personal und Entwicklerinnen und Entwicklern. Ein kurzer Blick auf die Rahmenbedingungen im österreichischen Bildungskontext didaktischer, fachlicher, infrastruktureller und personeller Natur, zeigt keine ideale Voraussetzungen. Eine nicht vorhandene flächendeckende Ausstattung von drahtlosem Internet in Schulen könnte dabei ebenso hemmend auf den erfolgreichen Einsatz von VR Medien im Unterricht wirken, wie eine mangelnde Verankerung des Unterrichtens mit neuen Medien in der Lehramtsausbildung.

Abschließend wurde im Zuge der Arbeit eine Lernanwendung für den Geographie- und Wirtschaftskundeunterricht für die Sekundarstufe entwickelt. Dabei wurde versucht zu demonstrieren wie pädagogische und didaktische Überlegungen in den Entwicklungsprozess einfließen können und zu zeigen, dass sie ein integraler Bestandteil einer fundierten Planung sind. Das Ergebnis ist eine Lernanwendung bestehend aus zwei Webapplikationen, welche mit immersiven dreidimensionalen Inhalten das Potenzial von Medium der virtuellen Realität ausschöpfen, und ebenso mit analogen Arbeitsblättern. Ausgehend vom Lehrplan, den technologischen Eigenschaften der Technologie und der Verfügbarkeit von Daten werden innerhalb des Themas Klimas verschiedene Aspekte in einem immersiven Lernraum im Format eines umschließenden Globusses dargestellt. Die Entwicklung zeigt, dass es sich schwierig gestaltet den Anspruch einer konstruktivistischen Lernumgebung umzusetzen. Dies unterstreicht die Wichtigkeit der Einbettung im Unterricht bzw. der Kontextualisierung in Lernszenarien. Um dies zu erreichen wurde auch begleitendes Unterrichtsmaterial erstellt, deren Aufgabenstellungen weitere Lerntheorie miteinschließt. Resümierend kann gesagt werden, dass zum einen ein einsetzbares Beispiel einer aus pädagogisch und didaktischer Sicht fundierten Unterrichts-anwendung entstanden ist. Zum anderen kann die Planung auch als Template für den Entwicklungsprozess gesehen werden.

Die Ergebnisse zeigen, dass die *Virtual Reality*-Forschung im Vergleich zu anderen Technologien noch am Anfang steht. Eine aus unserer Sicht konstruktive Herangehensweise an das Thema ist VR weder als Allheilmittel zu preisen, noch die Technologie als sinnlose Spielerei abzutun, die keine Mehrwerte im Bildungskontext anzubieten hat. Allgemein gilt, dass technische Entwicklungen wie diese nicht das Potential haben schlechte Lehre in gute zu verwandeln. Allerdings bietet das Medium der virtuellen Realität spezifische Möglichkeiten der Darstellung von Lerninhalten, vor allem durch die Immersion eines virtuellen Raumes, die mit anderen nicht erreichbar wären. Die Technologie kann daher das Repertoire der Möglichkeiten von Lehrenden erweitern und somit unter bestimmten Voraussetzungen zu besseren Lernergebnissen führen bzw. in jedem Fall Lernräume mit spezifischen Qualitäten kreieren. Allgemein sprechen wir uns dafür aus, auch in der Schule nicht die Augen vor technischen Entwicklungen zu verschließen und zu versuchen Potentiale für den Unterricht nutzbar zu machen. Nicht zuletzt kann der Einsatz neuer Medien im Unterricht als ein integraler Bestandteil gesehen werden, einen verantwortungsvollen Umgang mit diesen zu üben und zu lernen, auch im Hinblick einer allgemein geforderten Medienkompetenz.

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigen, dass die Potentiale der Technologie bzw. des Mediums derzeit noch nicht ausgeschöpft werden. Drei wesentliche Maßnahmen, die zu einer besseren Nutzung der Potentiale führen können, sind aus unserer Sicht eine Änderung des derzeitigen Forschungsschwerpunkts, die Stärkung der Zusammenarbeit zwischen Pädagogen und Pädagoginnen und Entwicklerinnen und Entwicklern von Applikationen, sowie die Rahmenbedingungen zu schaffen, die einen Einsatz von VR im Unterricht ermöglichen und fördern.

Derzeit scheint ein Hauptschwerpunkt der *Virtual Reality*-Forschung darauf zu liegen die Überlegenheit des Mediums gegenüber zum Beispiel nicht-immersiver Darstellungen zu beweisen. Dabei wird oftmals vergessen, dass die technologischen Vorteile von VR nicht darin liegen, dass sich diese universal zur Abbildung aller Inhalte besser eignet als andere Medien. Dem entgegen, weist die Technologie Eigenschaften auf, die sich in spezifischen Potentialen ausdrücken. Mehrwerte können daher nur generiert werden, wenn Inhalte gewählt werden die von einer immersiven Darstellung in einer *Virtual Reality*-Lernumgebung profitieren. Zusätzlich stellen Lernanwendungen allgemein andere Ansprüche als zum Beispiel Anwendungen, die zum Zweck der Unterhaltung konzipiert sind. Designrelevante Fragen müssen daher vor dem Hintergrund einer Förderung des Lernprozesses getroffen werden. Bestrebungen in der Forschung sollten aus unserer Sicht daher statt auf den Versuch zu

beweisen, dass die virtuelle Realität ein überlegenes Medium ist, stärker darauf konzentriert sein zu untersuchen unter welchen Umständen und Voraussetzungen erfolgreiche VR-Einsätze erreicht werden können sowie den Fokus darauf zu richten für welche Inhalte sich das Medium besonders eignet.

Darüber hinaus bedarf es weitere Anstrengungen Pädagoginnen und Pädagogen in den Entwicklungsprozess miteinzubeziehen. Die Analyse der österreichischen didaktischen und fachdidaktischen Rahmenbedingungen unterstreicht dabei die seit vielen Jahren gestellten und sich quer durch die Literatur ziehende Forderung. Eine nötige lerntheoretische, fachliche und didaktische Grundlage ist schwieriger zu konzipieren als oftmals angenommen. Am Beispiel Österreich wurde gezeigt, dass sich die Interpretation der fachlichen und fachdidaktischen Grundlagenpapiere die zur curricularen Einbettung notwendig sind komplex und für Laien vermutlich schwierig gestalten.

Weiters stellt der Einsatz des Mediums der virtuellen Realität auch spezifische Ansprüche an die infrastrukturellen und personellen Rahmenbedingungen. Zu den ausschlaggebenden Aspekten zählen insbesondere die infrastrukturelle Ausstattung der Schulen aber auch die Akzeptanz unter Lehrenden sowie die schulspezifische Kultur. Die Voraussetzungen in Europa werden aufgrund der allgemein guten Internetausstattung und der mittlerweile beinahe flächendeckend vorhandenen Smartphones als gut eingeschätzt. Die Analyse am Beispiel Österreich stellt dies allerdings in Frage. Internetanbindungen sind zwar auch hierzulande weitverbreitet, allerdings sind unserem Wissen nach keine aussagekräftigen Statistiken zur Verfügbarkeit kabelloser Internetverbindungen in österreichischen Schulen verfügbar. Unter Verwendung von *Low Cost*-Systemen in Kombination mit einem *Bring Your Own Device*-Ansatz, ist der Internetzugang eine wesentliche Voraussetzung für einen möglichst reibungslosen Einsatz von dem Medium im Unterricht. Darüber hinaus ist auch die Akzeptanz und Fachwissen unter Lehrenden zum Einsatz neuer Medien im Unterricht eine wesentliche Voraussetzung. Das Beispiel der Lehramtsausbildung für das Fach Geographie- und Wirtschaftskunde zeigt aber, dass die Integration neuer Medien im Unterricht noch kein integraler Bestandteil jeder Lehramtsausbildung ist. Für Österreich ergibt sich daher die Empfehlung der weiteren Förderung des mobilen Lernens, eine stärkere Verankerung des Unterrichtens mit neuen Medien in der Lehramtsausbildung und Weiterbildung sowie eine dringend flächendeckende Ausstattung der Schulen inklusive der Klassenräume mit kabellosem Internetzugang. Anstatt einer flächendeckenden Ausstattung mit Tablets, wie oftmals angekündigt, wäre im Sinne der Förderung des mobilen Lernens ein Konzept, welches

auch für den Einsatz von *Virtual Reality* gute Voraussetzungen bietet, wie die Zuverfügungstellung weniger zusätzlicher Smartphones bzw. *Head Mounted Displays* pro Klasse empfehlenswert.

Die Inhalte der Arbeit hätten sich für eine empirische Überprüfung angeboten, auf Grund der notwendigen umfangreichen theoretischen und kontextualisierenden Vorarbeiten und dem Entwicklungsaufwand der Applikationen, ist dies in einem repräsentativen Umfang im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht möglich. Die erarbeiteten Grundlagen könnten daher zur empirischen Überprüfung und Verfeinerung verschiedener Aspekte in weiterführenden Arbeiten herangezogen werden. Exemplarisch ergeben sich aus unserer Sicht, aus den Ergebnissen dieser Arbeit, folgende Fragestellungen solch einer Untersuchung:

- **Überprüfung verschiedener Kriterien des Leitfadens**
 - Schnittstellen virtuelle Realität/physikalische Welt
 - Welche Formen der Zusammenarbeit zwischen Schüler und Schülerinnen unterstützen einen reibungslosen Ablauf in der Schule?
 - Welche Formen der Zusammenarbeit zwischen Schüler und Schülerinnen begünstigen gute Lernerfolge?
 - Welche Unterstützung benötigen Lehrende, um immersive Medien der virtuellen Realität erfolgreich einsetzen zu können?
 - Zwischen *Cognitive Overload* und ansprechenden Designs der immersiven Inhalte – Wie gelingt die Gradwanderung bei der Gestaltung von *Virtual Reality*-Lernanwendungen?
- **Beispiel Österreich**
 - Welche Maßnahmen müssen getroffen werden, um den Einsatz von Medien der virtuellen Realität im Unterricht zu fördern?
 - Globales Lernen – Wie können die technologischen Eigenschaften von *Virtual Reality* für den Themenbereich Globales Lernen nutzbar gemacht werden?
 - Mehrperspektivität - Wie können die technologischen Eigenschaften von *Virtual Reality* für das didaktische Prinzip der Mehrperspektivität nutzbar gemacht werden?
- **Lernanwendungen**
 - Inwieweit erfüllen sich die dargelegten Konzepte der Navigation, Interaktion und des Realismus in einem immersiven Raum als invertierter Globusmantel?

- Welche weiteren Inhalte bzw. Lehrplanthemen lassen sich an einem Globus darstellen?
- Wie unterstützt der immersive Raum die Orientierung im Raum bzw auf der Weltkarte oder das Lernen von geographischen Linien.
- Wie kann Zusammenarbeit zwischen PädagogInnen und EntwicklerInnen von Lernapplikationen verbessert werden?

Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse der Arbeit, dass für die Entwicklung von VR-Lernanwendungen ein didaktisches und lerntheoretisches Fundament essentiell ist. Genau dies wurde in der vorliegenden Arbeit auf Basis einer theoretischen Auseinandersetzung mit dem Thema versucht. Es wurden dazu diverse Aspekte von technologischen Eigenschaften bis zum Einsatz in der Schule untersucht und festgehalten, was sich aus der Literatur herauslesen lässt. Zusätzlich wurden eigene Überlegungen zur Illustration und zum Aufzeigen möglicher Anwendungsbereiche und Einsatzszenarien angestellt. Darüber hinaus sind auch spezifisch auf der Geographie- und Wirtschaftskunde Aspekte eingegangen worden und die entsprechenden Rahmenbedingungen im österreichischen Bildungskontext untersucht worden. Am Beispiel einer Globusanwendung zum Thema Klima wurde darüber hinaus veranschaulicht, wie dieses theoretische Fundament in die Praxis überführt werden kann. Wir hoffen, dass damit ein konstruktiver Beitrag zur Weiterentwicklung des noch jungen Forschungsfeldes und der Entwicklung der Nutzung von entsprechenden Lernanwendungen geleistet werden konnte.

Um dieser Arbeit einen humorvollen sowie anekdotischen Abschluss zu geben, möchten wir das bekannte Zitat vom deutschen Kabarettisten und Autor Dietrich HILDEBRANDT wiedergeben, das wie folgt lautet: „Bildung kommt von Bildschirm und nicht von Buch, sonst hieße es ja Buchung!“. Mit diesem sarkastischen „Bildungsbegriff“ können wir hoffentlich alle Leserinnen und Leser dieser Arbeit anregen, technologisch moderne Medien vermehrt unter den eigenen Radar zu halten.

13 Literaturverzeichnis

3DATA: Waltzing Atoms. Abrufbar unter: <http://waltzingatoms.at>.

ALHALABI, W. S. (2016): Virtual reality systems enhance students' achievements in engineering education. In: Behaviour & Information Technology 35 H. 11. S. 919–925. Abrufbar unter: [10.1080/0144929X.2016.1212931](https://doi.org/10.1080/0144929X.2016.1212931).

AVANTIS SYSTEMS LTD.: ClassVR. Virtual Reality for the classroom. Abrufbar unter: <https://classvr.com>.

BAKRI, H., ALLISON, C., MILLER, A. u. I. Oliver (2016): Virtual Worlds and the 3D Web - Time for Convergence? In: ALLISON, C., MORGADO, L., PIRKER, J., BECK, D., RICHTER, J. u. C. Gütl. Immersive Learning Research Network. Communications in Computer and Information Science. (Springer International Publishing) Cham. 29–42.

BECK, D., ALLISON, C., MORGADO, L., PIRKER, J., KHOSMOOD, F., RICHTER, J. u. C. Gütl (2017): Fieldscapes - Creating and Evaluating a 3D Virtual Field Trip System. In: BECK, D., ALLISON, C., MORGADO, L., PIRKER, J., KHOSMOOD, F., RICHTER, J. u. C. Gütl. iLRN 2017 Coimbra: Workshop, Long and Short Paper, and Poster Proceedings from the Third Immersive Learning Research Network Conference. (Immersive Learning Research Network) 18–29.

BLADE, R. u. M. L. Padgett (2015): Virtual environments. Standards and terminology. In: HALE, K. u. K. Stanney. Handbook of Virtual Environments: Design, Implementation, and Applications, Second Edition. (Taylor & Francis Group,) Boca Raton, Fla. 23–35.

BMB (2016): eEducation Fachtagung Linz. Abrufbar unter: <http://edidaktik.at/>.

BMB (2017): IKT. Infrastrukturerhebung 2016 (letzter Abruf: 24.10.2017).

BMBF (2015): Unterrichtsprinzip Politische Bildung Grundsatzterlass 2015.

BMBWF (2000): Unterstufenlehrplan der AHS Geographie und Wirtschaftskunde. BMBWF.

BMBWF (2016): Oberstufenlehrplan der AHS Geographie und Wirtschaftskunde. BMBWF.

BMBWF (2017a): Schule 4.0. Jetzt wird's digital. Abrufbar unter: <https://www.bmb.gv.at/schulen/schule40/index.html>.

- BMBWF (2017b): Entwicklungsverbände. Abrufbar unter: <https://bildung.bmbwf.gv.at/schulen/pbneu/ev/verbuende.html> (letzter Abruf: 01.03.2018).
- BMBWF (2017c): Ausbildungslandkarte. Abrufbar unter: <https://bildung.bmbwf.gv.at/schulen/pbneu/al/index.html> (letzter Abruf: 01.03.2018).
- BOSTOCK, M. (2018): D3.js - Data-Driven Documents. Abrufbar unter: <https://d3js.org>.
- BRODERICK, D. (2009): The Judas mandala. (Fantastic Books) Blacksburg, VA.
- BROWN, A. u. T. Green (2016): Virtual Reality. Low-Cost Tools and Resources for the Classroom. In: TechTrends 60 H. 5. S. 517–519.
- BUCHER, J. (2017): Storytelling for Virtual Reality. Methods and Principles for Crafting Immersive Narratives. (Taylor & Francis).
- BUCHROITHNER, M. F. u. C. Knust (2013): True-3D in Cartography--Current Hard- and Softcopy Developments. In: Geospatial Visualisation. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography. (Springer, Berlin, Heidelberg) 41–65.
- BUTCHER, P. u. P. D. Ritsos (2017): Building Immersive Data Visualizations for the Web. In: on Cyberworlds (CW'17), Chester, UK.
- CHAMPNEY, R., SALCEDO, J., LACKEY, S., SERGE, S. u. M. Singara (2016): Mixed reality training of military tasks. Comparison of two approaches of reactions from subject matter experts. In: LACKEY, S. u. R. Shumaker. Virtual, augmented and mixed reality: 8th international conference, VAMR 2016, held as part of HCI International 2016, Toronto, Canada, July 17-22, 2016 proceedings. Lecture notes in computer science Information systems and applications, incl. Internet/Web and HCI. 9740. (Springer) Cham, Heidelberg. 363-374.
- CHEN, H. (2014): Köppen climate classification.
- CHIN, N., GUPTE, A., NGUYEN, J., SUKHIN, S., WANG, G. u. OTHERS (2017): Using Virtual Reality for an Immersive Experience in the Water Cycle.
- CHITTARO, L. u. R. Ranon (2007): Web3D technologies in learning, education and training. Motivations, issues, opportunities. In: Computers & Education 49 H. 1. S. 3–18. Abrufbar unter: 10.1016/j.compedu.2005.06.002.

- CORTIZ, D. u. J. O. Silva (2017): Web and virtual reality as platforms to improve online education experiences. In: 2017 10th International Conference on Human System Interactions (HSI). (ieeexplore.ieee.org) 83–87.
- COZZI, P. (2015): WebGL Insights. (CRC Press).
- DALGARNO, B. u. M. J. W. Lee (2010): What are the learning affordances of 3-D virtual environments? In: British Journal of Educational Technology 41 H. 1. S. 10–32. Abrufbar unter: [10.1111/j.1467-8535.2009.01038.x](https://doi.org/10.1111/j.1467-8535.2009.01038.x).
- DAVID R. BADCOCK, U. O. W. A., STEPHEN PALMISANO, U. O. W., JAMES G. MAY, U. O. N. O. u. AUTHORS (2015): Vision and virtual environments. S. 39.
- DETLEF, K. (2013): Informations- und Kommunikationstechnologien im Geographieunterricht. In: ROLFES, M. u. A. Uhlenwinkel. Metzler Handbuch 2.0 Geographieunterricht. Ein Lateifaden für Praxis und Ausbildung. (westermann) 79–87.
- DEVERIA, A. (2014): Can I use... Support tables for HTML5, CSS3, etc. In: Feature: WebGL-3D Canvas Graphics.
- DIGITAL:EARTH:AT: [digitalearth.at](http://www.digitalearth.at). Abrufbar unter: <http://www.digitalearth.at>.
- DIMITROPOULOS, K., MANITSARIS, A. u. I. Mavridis (2008): Building virtual reality environments for distance education on the web. A case study in medical education. In: International Journal of Social.
- DREDGE, S. (2014): Facebook closes its \$2bn Oculus Rift acquisition. What next? In: The Guardian. 22.07.2014. Abrufbar unter: <https://www.theguardian.com/technology/2014/jul/22/facebook-oculus-rift-acquisition-virtual-reality> (letzter Abruf: 21.01.2018).
- DREDGE, S. (2015): Mysterious startup Magic Leap shows off augmented reality action game. In: The Guardian. 20.03.2015. Abrufbar unter: <https://www.theguardian.com/technology/2015/mar/20/magic-leap-augmented-reality-action-game> (letzter Abruf: 21.01.2018).
- EMAMDJOMEH, A. (2015): Discovering Gale Crater. A VR experience from the L.A. Times. Abrufbar unter: <http://graphics.latimes.com/mars-gale-crater-vr/>.

ESTES, J. S., DAILEY-HEBERT, A. u. D. H. Choi (2016): Integrating Technological Innovations to Enhance the Teaching-Learning Process. In: (IGI Global) 277–304.

EUROSTAT PRESS OFFICE: Internet use by individuals.

FACEBOOK: Facebook 360 Video. Abrufbar unter: <https://facebook360.fb.com/>.

FACEBOOK: Oculus Rift. Abrufbar unter: <https://www.oculus.com/>.

FACEBOOK: React VR | A framework for building VR apps using React. Abrufbar unter: <https://facebook.github.io/react-vr/>.

FISHER, P. u. D. Unwin (2002a): Virtual reality in geography. An introduction. In: FISHER, P. u. D. Unwin. Virtual Reality in Geography. (Taylor & Francis) Abingdon, UK. 1–4.

FISHER, P. u. D. Unwin (Hrsg.) (2002b): Virtual Reality in Geography. (Taylor & Francis) Abingdon, UK.

FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT: x3dom. Abrufbar unter: <https://www.x3dom.org/>.

FUCHS, H. (2015): Virtual Reality and UNC. Sutherland, Brooks and Beyond. 50th Anniversary Symposium. Abrufbar unter: <https://www.youtube.com/watch?v=xyCjz58Y4TY> (letzter Abruf: 21.01.2018).

FUCHS, P. (2017): Virtual Reality Headsets - A Theoretical and Pragmatic Approach. (CRC Press).

FUCHS, P., GUILLAUME MOREAU u. PASCAL GUITTON (Hrsg.) (2011): Virtual reality. Concepts and technologies. (CRC Press) Boca Raton, Fla. Abrufbar unter: <http://gbv.ebib.com/patron/FullRecord.aspx?p=870698>.

FUCHS, P. u. P. Guitton (2011): Introduction to virtual reality. In: FUCHS, P., MOREAU, G. u. P. Guitton. Virtual reality: Concepts and technologies. (CRC Press) Boca Raton, Fla.

GLOBOCCCESS (2017): Globoccess - Digital Globes - Spherical Displays - Animated Earth.

GOOGLE: Daydream VR. Abrufbar unter: <https://vr.google.com/daydream/>.

GOOGLE: Google Earth. Abrufbar unter: <https://google.com/earth>.

GOOGLE: Google Expeditions. Abrufbar unter: <https://edu.google.com/expeditions/>.

GOOGLE: Google Street View - Explore natural wonders and world landmarks. Abrufbar unter: <https://www.google.com/streetview/>.

GOOGLE: Jump. Abrufbar unter: <https://vr.google.com/jump/>.

GOOGLE (2013): Nexus 5. Abrufbar unter: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Nexus_5.

GOWASES, T., BEDNARIK, R. u. M. Tukiainen (2008): Gaze vs. Mouse in Games. The Effects on User Experience.

GREENBERG, S. u. B. Buxton (2008): Usability evaluation considered harmful (some of the time). In: CZERWINSKI, M. Usability evaluation considered harmful: some of the time. (ACM) New York, NY. 111–120.

GW-UNTERRICHT: GW-Unterricht - Home. Abrufbar unter: <http://www.gw-unterricht.at>.

HANDKE, J. (2015): Handbuch Hochschullehre digital. Leitfaden für eine moderne und mediengerechte Lehre. Tectum Sachbuch. (Tectum) Marburg. Abrufbar unter: <http://gbv.ebib.com/patron/FullRecord.aspx?p=2058616>.

HINSCH, S., PICHLER, H., JEKEL, T., KELLER, L. u. F. Baier (2014): Semestrierter Lehrplan AHS, Sekundarstufe 2. Ergebnis der minstrellen Arbeitsgruppe. In: GW-Unterricht 136, (4/2014), 51–61 H. 136(4). S. 51–61.

HITZ, H. u. A. Koller (2010): GW und Informatik. In: GW-Unterricht H. 120. S. 60–68.

HOFMANN-SCHNELLER, M., DERFLINGER, M., MENSCHIK, G. u. P. Rak (2017): Durchblick 5 kompetent. Geographie und Wirtschaftskunde für die 9. Schulstufe. (westermann wien).

HOFMANN-SCHNELLER, M., GRAF, F., SCHEIDL, W. u. K. Steiner (2014): Durchblick 1 kompetent. Geographie und Wirtschaftskunde für die 5. Schulstufe. (westermann wien).

HRUBY, F., KRISTEN, J. u. A. Riedl (2008): Global Stories on Tactile Hyperglobes-visualizing Global Change Research for Global Change Actors. In: Proceedings, Digital Earth Summit on Geoinformatics: Tools for Global Change Research, Potsdam, Germany.

HRUBY, F. u. A. G. Torres (2009): Potenziale kontrastiver Kartographie. In: meta-carto-semiotics 2 H. 1. S. 1–16.

- HUANG, H.-M., RAUCH, U. u. S.-S. Liaw (2010): Investigating learners' attitudes toward virtual reality learning environments. Based on a constructivist approach. In: Computers & Education 55 H. 3. S. 1171–1182. Abrufbar unter: 10.1016/j.compedu.2010.05.014.
- HÜTTERMANN, A. (2004): Kartographische Kompetenzen im Geographieunterricht allgemeinbildender Schulen. In: Online: www. intergeo. de/archiv/2004/Huettermann. pdf-ders. auch in PG 11 H. 2005. S. 4–8.
- JANßEN, D., TUMMEL, C., RICHERT, A. u. I. Insenhardt (2016): Towards Measuring User Experience, Activation and Task Performance in Immersive Virtual Learning Environments for Students. In: ALLISON, C., MORGADO, L., PIRKER, J., BECK, D., RICHTER, J. u. C. Gütl. Immersive Learning Research Network: Second International Conference. (Springer) Santa Barbara. 45–58.
- JING, L. (2014): Digital natives as preservice teachers. What Technology Preparation Is Needed? In: Journal of Computing in Teacher Education H. 25:3. S. 87–97.
- JOHNSON, E. (2016): What are the differences among virtual, augmented and mixed reality?
- JONASSEN, D. H. (1994): Thinking technology: toward a constructivist design model. In: Educational Technology H. 34(4). S. 34–37.
- KAMEL BOULOS, M. N., LU, Z., GUERRERO, P., JENNETT, C. u. A. Steed (2017): From urban planning and emergency training to Pokémon Go. Applications of virtual reality GIS (VRGIS) and augmented reality GIS (ARGIS) in personal, public and environmental health. In: Int. J. Health Geogr. 16 H. 1. S. 7.
- KERRES, M. (2005): Gestaltungsorientierte Mediendidaktik und ihr Verhältnis zur allgemeinen Didaktik. (na).
- KESHAVARZ, B. u. H. Hecht (2014): Pleasant music as a countermeasure against visually induced motion sickness. In: Appl. Ergon. 45 H. 3. S. 521–527.
- KOLLER, A. (2001): Computereinsatz und Online-Medien im GW-Unterricht. In: SITTE, W. Beiträge zur Didaktik des „Geographie und Wirtschaftskunde“ - Unterrichts. (na) 59–75.
- KOLLER, A. u. H. Hitz (2011): GW und Informatik. In: GW-Unterricht H. 122. S. 81–87.
- LEE, S. H., SERGUEEVA, K., CATANGUI, M. u. M. Kandaurova (2017): Assessing Google Cardboard virtual reality as a content delivery system in business classrooms. In: Journal

of Education for Business 92 H. 4. S. 153–160. Abrufbar unter: 10.1080/08832323.2017.1308308.

LINDEN LAB: Create Virtual Experiences. Abrufbar unter: <https://secondlife.com/>.

LINDNER-FALLY, M. (2012): Lehren und Lernen neu. Digitale Geo- Medien im Schulunterricht. In: Bildungsforschung 9. S. 47–67.

LIU, D., BHAGAT KAUSHAL, GAO, Y., CHANG, T.-W. u. R. Huang (2017): The Potentials and Trends of Virtual Reality in Education. In: LIU, D., DEDE, C., HUANG, R. u. J. Richards. Virtual, Augmented, and Mixed Realities in Education. Smart Computing and Intelligence. (Springer Singapore) Singapore. 105–132.

LV, Z., LI, X., ZHANG, B., WANG, W., ZHU, Y., HU, J. u. S. Feng (2016): Managing Big City Information Based on WebVRGIS. In: IEEE Access 4. S. 407–415.

MAK: Klimt`s magic garden. A virtual reality experience. Abrufbar unter: https://www.mak.at/klimt_magicgarden.

MAKRANSKY, G., TERKILDSEN, T. S. u. R. E. Mayer (2017): Adding immersive virtual reality to a science lab simulation causes more presence but less learning. In: Learning and Instruction. Abrufbar unter: 10.1016/j.learninstruc.2017.12.007.

MARTÍN-GUTIÉRREZ, J. (2017): Virtual Technologies Trends in Education. In: EURASIA Journal of Mathematics Science and Technology Education H. 13(2). S. 469–486. Abrufbar unter: 10.12973/eurasia.2017.00626a.

MASKE, P. (2012): Mobile Applikationen 1. Interdisziplinäre Entwicklung am Beispiel des Mobile Learning. (Springer-Verlag).

MCINERNEY, D. u. P. Kempeneers (2015): Indexed Color Images. In: Open Source Geospatial Tools. Earth Systems Data and Models. (Springer, Cham) 81–84.

MELDRUM, D., HERDMAN, S., VANCE, R., MURRAY, D., MALONE, K., DUFFY, D., GLENNON, A. u. R. McConn-Walsh (2015): Effectiveness of conventional versus virtual reality-based balance exercises in vestibular rehabilitation for unilateral peripheral vestibular loss. Results of a randomized controlled trial. In: Archives of physical medicine and rehabilitation 96 H. 7. 1319-1328. Abrufbar unter: 10.1016/j.apmr.2015.02.032.

- MIHELJ, M.\V. S. S. (2014): Virtual Reality Technology and Applications. Intelligent Systems, Control and Automation: Science and Engineering. (Springer Netherlands).
- MIKROPOULOS, T. A. u. A. Natsis (2011a): Educational virtual environments. A ten-year review of empirical research (1999-2009). In: Comput. Educ. 56 H. 3. S. 769–780.
- MIKROPOULOS, T. A. u. A. Natsis (2011b): Educational virtual environments. A ten-year review of empirical research (1999–2009) 56 H. 3. S. 769–780. Abrufbar unter: 10.1016/j.compedu.2010.10.020.
- MILLS, S. u. M. Madalena (1999): Learning through virtual reality: a preliminary investigation. In: Interacting with Computers H. 11. S. 453–462.
- MINUSHU S.L.: NUSHU. Earthling News in 3D. Abrufbar unter: nushuadventures.com.
- MOZILLA FOUNDATION: A-Frame - Make WebVR. Abrufbar unter: <https://www.aframe.io>.
- MÜLLER, M., GÜNTHER, T., KAMMER, D., WOJDZIAK, J., LORENZ, S. u. R. Groh (2016): Smart Prototyping - Improving the Evaluation of Design Concepts Using Virtual Reality. In: LACKEY, S. u. R. Shumaker. Virtual, Augmented and Mixed Reality. Lecture Notes in Computer Science. (Springer International Publishing) Cham. 47–58.
- NASA EARTH OBSERVATIONS (2017): NASA Earth Observations (NEO). Abrufbar unter: <https://neo.sci.gsfc.nasa.gov/>.
- NASA WORLDWIND: NASA WorldWind. Abrufbar unter: <https://worldwind.arc.nasa.gov/>.
- NATURAL EARTH: Natural Earth. Abrufbar unter: <http://www.naturalearthdata.com/>.
- NIENHÜSER, D.: Marble - find your way and explore the world. Abrufbar unter: <https://marble.kde.org/>.
- ORLITA, T.: Street View Panorama Download. Abrufbar unter: <https://streetviewdownload.eu/>.
- PAN, Z., CHEOK, A. D., YANG, H., ZHU, J. u. J. Shi (2006): Virtual reality and mixed reality for virtual learning environments. In: Computers & Graphics 30 H. 1. S. 20–28. Abrufbar unter: 10.1016/j.cag.2005.10.004.

- PASSIG, D., TZURIEL, D. u. G. Eshel-Kedmi (2016): Improving children's cognitive modifiability by dynamic assessment in 3D Immersive Virtual Reality environments. In: Computers & Education 95. S. 296–308. Abrufbar unter: 10.1016/j.compedu.2016.01.009.
- PAUL MILGRAM u. FUMIO KISHINO (1994): A taxonomy of mixed reality visual displays. In: Transaction on information systems H. 77-D(12). S. 282–291. Abrufbar unter: http://vered.rose.utoronto.ca/people/paul_dir/IEICE94/ieice.html.
- POWELL, W., POWELL, V., BROWN, P., COOK, M. u. J. Uddin (2016): Getting around in google cardboard – exploring navigation preferences with low-cost mobile VR. In: WEVR. 2016 IEEE 2nd Workshop on Everyday Virtual Reality (WEVR): 20-20 March 2016. (IEEE) [Piscataway, NJ]. 5–8.
- RICHARDS, J. (2017): Infrastructures for Immersive Media in the Classroom. In: LIU, D., DEDE, C., HUANG, R. u. J. Richards. Virtual, Augmented, and Mixed Realities in Education. Smart Computing and Intelligence. (Springer Singapore) Singapore. 89–104.
- RIEDL, A. (2000): Virtuelle Globen in der Geovisualisierung. Untersuchungen zum Einsatz von Multimediatechniken in der Geopräsentation. (Institut für Geographie und Regionalforschung der Universität Wien).
- RIEDL, A. (2011): Entwicklungsgeschichte digitaler Globen. In: Der Globusfreund H. 57/58. S. 153–166.
- RIEDL, A. (2012): Digitale Kugelbücher. Die Welt der sphärischen Displays. Zur Entwicklung von taktilen Hypergloben. In: Reder, Christian (Hg.): Kartographisches Denken, Wien/New York: Edition Transfer bei Springer. S. 132–137.
- RIEDL, A. u. A. Schratt (2011): Learning to know the World with Digital Global Stories on Spherical Displays. In: Learning with GI. S. 158–167.
- RIEDL, A. u. S. Winter (2013): Telling Geo-Stories on Spherical Display. In: meta-carto-semiotics 6 H. 1.
- RIS (2018): Rechtsvorschrift für Lehrpläne - AHS. Abrufbar unter: <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10008568> (letzter Abruf: 12.03.2018).

- ROGER KENNY, A. B.: Is the NASDAQ in Another Bubble? A virtual reality tour of the NASDAQ. Abruflbar unter: <http://graphics.wsj.com/3d-nasdaq/>.
- SALA, N. M. (2016): Virtual reality and education. Overview across different disciplines. In: DAILEY-HEBERT, A., CHOI, D. H. u. J. S. Estes. Emerging tools and applications of virtual reality in education. (IGI Global) Hershey, Pennsylvania (701 E. Chocolate Avenue, Hershey, PA 17033, USA).
- SAM, F., LIEBAU, T. u. V. Sam: VREI. VR Café. Abruflbar unter: <https://vrei.at/>.
- SCHEIDL, W. (2009a): Virtuelle Globen im Unterricht-Multiperspektivische Untersuchung des didaktischen Potenzials von Google Earth und NASA World Wind im Geographieunterricht Allgemeinbildender Höherer Schulen. In: Master Dipl. Arbeit, Donau Universität (Krems 2009).
- SCHEIDL, W. (2009b): Was ist Google Earth wirklich wert? Zehn provokante Thesen zu Virtuellen Globen im Geographieunterricht. In: GW-Unterricht 115. S. 70–80.
- SCHEIDL, W. (2015): Smartphones und Apps im GW-Unterricht. Ein Test, viele Erfahrungen. In: GW-Unterricht H. 137. S. 61–68.
- SCORESBY, J. u. B. E. Shelton (2011): Visual perspectives within educational computer games. Effects on presence and flow within virtual immersive learning environments. In: Instructional Science 39 H. 3. S. 227–254. Abruflbar unter: [10.1007/s11251-010-9126-5](https://doi.org/10.1007/s11251-010-9126-5).
- SEIPOLD, J. (2013): Mobiles Lernen. Systematik, Theorien und Praxis eines noch jungen Forschungsfeldes. In: DE WITT, C. u. A. Sieber. Mobile Learning. (Springer VS) Wiesbaden. 27–54.
- SHERMAN, W. R. u. A. B. Craig (2002): Understanding Virtual Reality. Interface, Application, and Design. (Elsevier).
- SINHA, G. (2016): Virtual and Augmented Reality. Technologies and Global Markets. Wellesley, MA.
- SITTE, C. (2011): Maturafragen neu (!?)-eine schrittweise Annäherung an eine kompetenzorientierte Form im Fach Geographie und Wirtschaftskunde. In: GW-Unterricht 123. S. 24–41.

- SITTE, W. (2006): Geographie und Wirtschaftskunde (GW). Entwicklung und Konzept des Unterrichtsfachs. In: SITTE, W. u. H. Wohlschlägl. Beiträge zur Didaktik des „Geographie und Wirtschaftskunde“-Unterrichts. 16. (Materialien zur Didaktik der Geographie und Wirtschaftskunde) 157–169.
- SKETCHFAB: Sketchfab - Your 3D content online and in VR. Abrufbar unter: <https://sketchfab.com/>.
- SPÖ (2017): Plan A. Das Programm für Wohlstand, Sicherheit & gute Laune. Wien.
- STERNIG, C., SPITZER, M. u. M. Ebner (2017): Learning in a Virtual Environment. Implementation and Evaluation of a VR Math-Game. In: Mobile Technologies and.
- STOJŠIĆ, I., IVKOV DŽIGURSKI, A., MARIČIĆ, O., BIBIĆ, L. I. u. S. Đukičin Vučkovi (2016): Possible Application Of Virtual Reality In Geography Teaching. In: Journal of Subject Didactics H. 1(2). S. 83–96. Abrufbar unter: 10.5281/zenodo.438169.
- STUART, K. (2015): Microsoft's Hololens. What do virtual reality developers think? 26.01.2015. Abrufbar unter: <https://www.theguardian.com/technology/2015/jan/26/microsoft-hololens-augmented-virtual-reality-developers-kinect> (letzter Abruf: 21.01.2018).
- SUTHERLAND, I. E. (1965): The Ultimate Display. In: Proceedings of IFIP Congress. 506-508.
- SUTHERLAND, I. E. (1968): A head-mounted three dimensional display. In: Unknown. Proceedings of the December 9-11, 1968, fall joint computer conference, part I on - AFIPS '68 (Fall, part I). (ACM Press) New York, New York, USA. 757–964.
- THOME, K.: Terra | The EOS Flagship. Abrufbar unter: <https://terra.nasa.gov/>.
- THREE.JS: three.js - Javascript 3D library. Abrufbar unter: <http://threejs.org>.
- TREITLER, M. (2018a): VR Klimazonen Globus. Abrufbar unter: <https://mattrei.github.io/diplomarbeit.klima-vr-globen/klimazonen/public/>.
- TREITLER, M. (2018b): VR NEO Satellitenbilder Globus. Abrufbar unter: <https://mattrei.github.io/diplomarbeit.klima-vr-globen/neo/public/>.
- VELICHKOVSKY, B. B., RUMYANTSEV, M. A. u. M. A. Morozov (2014): New Solution to the Midas Touch Problem. Identification of Visual Commands Via Extraction of Focal Fixations. In: Procedia Comput. Sci. 39 H. Supplement C. S. 75–82.

- VIELHABER, C. u. H. Pichler (2012): Der fachdidaktische Grundkonsens am Institut für Geographie und Regionalforschung. eine zukunftsfähige Orientierung. In: GW-Unterricht H. 128. S. 45–46.
- VIRVOU, M. u. G. Katsionis (2008): On the usability and likeability of virtual reality games for education. The case of VR-ENGAGE. In: Computers & Education 50 H. 1. S. 154–178. Abrufbar unter: [10.1016/j.compedu.2006.04.004](https://doi.org/10.1016/j.compedu.2006.04.004).
- VISHWANATH, A., KAM, M. u. N. Kumar (2017): Examining Low-Cost Virtual Reality for Learning in Low-Resource Environments. In: Proceedings of the 2017 Conference on Designing Interactive Systems. DIS '17. (ACM) New York, NY, USA. 1277–1281.
- WARDENGA, U. (2002): Räume der Geographie. zu den Raumbegriffen im Geographieunterricht. Abrufbar unter: http://www.eduhi.at/dl/Wardenga_Ute_Raeume_der_Geographie_und_zu_Raumbegriffen_im_Unt (letzter Abruf: 27.02.2018).
- WEBSTER, R. (2016): Declarative knowledge acquisition in immersive virtual learning environments. In: Interactive Learning Environments 24 H. 6. S. 1319–1333. Abrufbar unter: [10.1080/10494820.2014.994533](https://doi.org/10.1080/10494820.2014.994533).
- WHITELOCK, D., ROMANO, D., JELFS, A. u. P. Brna (2000): Perfect presence: What does this mean for the design of virtual learning environments? In: Education and Information Technologies H. 5:4. S. 277–289.
- WIENER ZEITUNG (2017): 360 exodus. Abrufbar unter: https://www.wienerzeitung.at/_wzo_daten/media/Storytelling/vr/index.html.
- WINN, W., WINDSCHITL, M., FRULAND, R. u. Y. Lee (Hrsg.) (2002): When Does Immersion in a Virtual Environment help students construct understanding? (Erlbaum).
- WINTNER, S. (2012): Digital Storytelling angewandt auf einen taktilen Hyperglobus. (na).
- WORLD WIDE WEB CONSORTIUM: Standards - W3C. Abrufbar unter: <https://www.w3.org/standards>.
- WORLD WIDE WEB CONSORTIUM: WebVR Spec Version List. Abrufbar unter: <https://w3c.github.io/webvr/>.

WORLD WIDE WEB CONSORTIUM (2011): WebGL specification. Abrufbar unter:
<https://www.khronos.org/registry/webgl/specs/latest/1.0/>.

YOUNGBLUT, C. (1998): Educational Uses of Virtual Reality.

Anhang

Quellcode „Klimazonen Globus“

Installation

Der Quellcode des Projekts befindet sich auf <https://github.com/mattrei/diplomarbeit.klima-vr-globen> und kann dort als gezipptes Paket heruntergeladen werden.

Um eine Entwicklungsumgebung zu starten muss „Node.JS“ (downloadbar über <https://nodejs.org>) auf dem System installiert sein. Folgende Kommandos müssen im Projektverzeichnis in einer Eingabeaufforderungskonsolle eingegeben werden, um das Projekt lokal auf dem Computer zu starten.

- *npm install*
Dieses Kommando installiert die notwendigen Abhängigkeiten der Applikation.
- *npm start*
Dieses Kommando startet die Webapplikation lokal auf dem Rechner und diese kann anschließend in einem Browser unter der Adresse <http://localhost:8080> aufgerufen werden.

JavaScript Module

extract-color-code

```
import {scaleLinear} from 'd3-scale'  
const EVENT = "color-code-selected"  
  
const COLOR_TO_CLIMATEZONE = {  
  254: 'subtropical',  
  238: 'tropical',  
  30: 'warm',  
  227: 'boreal',  
  108: 'tundra',  
  232: 'ice',  
  0: ''  
}  
  
AFRAME.registerComponent('interpret-color-code', {  
  dependencies: ['extract-color-code'],  
  schema: {  
    layer: {  
    }  
  },  
  init: function () {  
    const interpolate = scaleLinear()  
      .domain([0, 64, 128, 192, 256])  
      .range([1, 10, 100, 1000, 10000])  
  }  
})
```

```

this.el.addEventListener(EVENT, evt => {
  const data = this.data;

  const result = evt.detail;
  if (data.layer === 'population') {
    //console.log(256 - result)
    let code = 0;
    if (result > 0) {
      code = interpolate(256-result)
    }
    this.el.sceneEl.emit('setCode', { code })
  } else if (data.layer === 'climatezones') {
    const code = COLOR_TO_CLIMATEZONE[result]
    this.el.sceneEl.emit('setCode', { code })
  }
})
})

AFRAME.registerComponent('extract-color-code', {
  dependencies: ['material', 'geometry'],
  schema: {
    src: {
      type: 'string'
    },
    texture: {
      type: 'string'
    },
    listener: {
      oneOf: ['click', 'raycaster-intersected'],
      default: 'raycaster-intersected'
    },
    latency: {
      default: 800
    }
  },
  init: function () {

    const data = this.data;

    this.lastResult = 0

    this.loader = new THREE.TextureLoader()

    this.isSelecting = false

    this.hitScene = new THREE.Scene();
    this.hitCamera = new THREE.PerspectiveCamera(0.001, 1, 0.01, 3000);
    this.hitTexture = new THREE.WebGLRenderTarget(1, 1, {
      format: THREE.RGBAFormat,
      type: THREE.UnsignedByteType
    });
    this.hitTexture.texture.minFilter = THREE.NearestFilter;
    this.hitTexture.texture.magFilter = THREE.NearestFilter;
    this.hitTexture.generateMipMaps = false;
    this.hitTexture.setSize(100, 100);
  }
});

```

```

const geomComponent = this.el.components.geometry;
const matComponent = this.el.components.material;
this.material = new THREE.MeshBasicMaterial({
  side: THREE.DoubleSide,
  transparent: true,
  opacity: 1
})

const mesh = new THREE.Mesh(
  geomComponent.geometry.clone(),
  this.material
);

mesh.scale.copy(this.el.object3D.getWorldScale())
mesh.rotation.copy(this.el.object3D.getWorldRotation())

this.hitScene.add(mesh)

this.select = AFRAME.utils.bind(this.select, this);
this.el.addEventListener(data.listener, this.select);

this.tick = AFRAME.utils.throttleTick(this.tick, data.latency,
this)
},
update: function (oldData) {

  const data = this.data;
  if (!data.texture) return;

  data.texture = document.querySelector(data.texture)
  data.src = document.querySelector(data.src)

  this.loader.load(data.texture.src, (texture) => {
    this.material.map = texture
    this.material.needsUpdate = true;
  })

  // hack of state component
  this.el.setAttribute('material', 'src', data.src);
},
tick: function(time) {
  if (this.data.listener === 'raycaster-intersected') {

    const raycasterEl = document.querySelector('[raycaster]');
    const intersectedEls =
raycasterEl.components.raycaster.intersectedEls
    if (intersectedEls.length > 0 &&
intersectedEls[intersectedEls.length-1] == this.el) {
      this.select();
    }
  }
},
select: (function () {

  const pixelBuffer = new Uint8Array(4)
  const dummy = new THREE.Object3D();
  return function () {

```

```

    let self = this;
    if (this.isSelecting) return;

    var entity = document.querySelector('[raycaster]');
    var raycaster = entity.components.raycaster.raycaster;

    var intersections =
raycaster.intersectObject(this.el.getObject3D('mesh'));
    if (intersections.length > 0) {

        this.isSelecting = true;
        var p = intersections[0].point;
        dummy.lookAt(p);
        dummy.rotation.y += Math.PI;

        this.hitTest(dummy, pixelBuffer).then((result) => {

            if (result !== this.lastResult) {

                this.el.emit(EVENT, result)

                this.lastResult = result;
            }

            this.isSelecting = false;
        });
    }
};
}(),
hitTest: function (obj, pixelBuffer) {

    const renderer = this.el.sceneEl.renderer;

    this.hitCamera.position.copy(obj.position);
    this.hitCamera.rotation.copy(obj.rotation);
    renderer.render(this.hitScene, this.hitCamera, this.hitTexture);

    return new Promise((resolve, reject) => {
        var res = null;

        renderer.readRenderTargetPixels(this.hitTexture, 0, 0, 1, 1,
pixelBuffer);
        resolve(pixelBuffer[0]);
    });
},
});

```

points-as-icons

```

AFRAME.registerComponent('points-as-icons', {
  dependencies: ["geojson"],
  multiple: true,
  schema: {
    icon: {
      type: 'asset'
    }
  }
});

```

```

    }
  },
  init: function() {
    const data = this.data;

    this.el.addEventListener('geojson-loaded', event => {
      const map = event.detail.data
      map.forEach((entry, key) => {
        const {image, name, copyright, type} =
entry.properties;

        const pos = new THREE.Vector3().copy(entry.position)
        pos.setLength(4)

        const img = document.createElement('a-circle')

        img.setAttribute('src', data.icon.src)
        img.setAttribute('opacity', 0.6);
        img.setAttribute('side', 'double');
        img.setAttribute('alpha-test', 0.5);
        img.setAttribute('transparent', true);
        img.setAttribute('radius', 0.15);

        img.setAttribute('position', pos);
        img.setAttribute('look-at', '0 0 0')

        img.setAttribute('mixin', 'clickable')
        img.setAttribute('class', 'clickable')
        img.setAttribute('showphoto-action', `image: ${image};
name: ${name}; copyright: ${copyright}`)
        this.el.appendChild(img)
      })
    })
  }
});

```

actions

```

AFRAME.registerComponent('show', {
  schema: {
    default: 'mainmenu',
    oneOf: ['mainmenu', 'explore', 'quiz']
  },
  init: function () {
    const data = this.data;
    if (data === 'mainmenu') {
      this.el.emit('showMainmenu', {});
    } else if (data === 'explore') {
      this.el.emit('startExplore', {});
    }
  }
});

AFRAME.registerComponent('showmainmenu-action', {
  init: function () {
    this.el.addEventListener('click', evt => {
      this.el.sceneEl.emit('showMainmenu', {});
    });
  }
});

```

```

    });
  }
});

AFRAME.registerComponent('explore-action', {
  init: function () {
    this.el.addEventListener('click', evt => {
      this.el.sceneEl.emit('startExplore', {});
    });
  }
});

AFRAME.registerComponent('layer-action', {
  schema: {
    default: ''
  },
  init: function () {
    this.el.addEventListener('click', evt => {
      this.el.sceneEl.emit('setLayer', {
        layer: this.data
      });
      this.el.sceneEl.emit('hideMenu');
    });
  }
});

AFRAME.registerComponent('hidemenu-action', {
  init: function () {
    this.el.addEventListener('click', evt => {
      this.el.sceneEl.emit('hideMenu');
    });
  }
});

AFRAME.registerComponent('home-action', {
  init: function () {

    this.el.addEventListener('click', evt => {

      const rotation = new
THREE.Euler().setFromQuaternion(this.el.sceneEl.camera.getWorldQuaternion()
, 'YXZ');
      this.el.sceneEl.emit('showMainmenu', {
        rotation: {
          x: 0,
          y: THREE.Math.radToDeg(rotation.y),
          z: 0
        }
      });
    });
  }
});

AFRAME.registerComponent('showphoto-action', {
  schema: {
    name: {

    },

```

```

    image: {
      },
    copyright: {
      }
  },
  init: function () {
    const data = this.data;
    this.el.addEventListener('click', evt => {
      const src = `/assets/photos/${data.image}`
      this.el.sceneEl.emit('showPhoto', {src: src, copyright:
data.copyright});
    });
  }
});

```

```

AFRAME.registerComponent('hidephoto-action', {
  schema: {
  },
  init: function () {
    this.el.addEventListener('click', evt => {
      this.el.sceneEl.emit('hidePhoto');
    });
  }
});

```

render

```

AFRAME.registerComponent('choose-layer', {
  schema: {
    type: 'string'
  },
  update: function (oldData) {
    const data = this.data;
    if (this.el.getAttribute('src').includes(data)) {
      this.el.setAttribute('material', 'visible', false)
      this.el.setAttribute('class', '')
    } else {
      this.el.setAttribute('material', 'visible', true)
      this.el.setAttribute('class', 'clickable')
    }
  }
});

```

```

AFRAME.registerComponent('photos-visible', {
  schema: {
    layer: {
    }
  },
  update: function (oldData) {
    const visible = this.data.layer === 'climatezones';
    this.el.setAttribute('visible', visible);
  }
});

```

```
});
```

HTML Dokument

```
<!DOCTYPE html>
<html lang="en">
<head>
  <meta charset="UTF-8">
  <title>Klimazonen VR Globe</title>
  <meta name="apple-mobile-web-app-capable" content="yes">
  <meta name="description" content="Klimazonen VR Globe">
<script type="text/javascript" src="assets/build.js"></script></head>
<body>
  <a-scene
    show="mainmenu"
    show-menu-controls
    bind__show-menu-controls="menuOpen: menuVisible; enabled: menuEnabled"
    vroodles-masterslave="
      app: climatezones-globe;
      mastergaze: #mastergaze;
      gazeTemplate: #gazeTemplate;
      gazeRadius: 5;
      debug: true;
    ">
    <a-assets>

    <a-mixin id="gaze-eye"
      material="shader: standard; emissive: #333; transparent: true;
alphaTest: 0.5"
      geometry="primitive: plane; width: 0.5; height: 0.5;" >
    </a-mixin>

    <script id="gazeTemplate" type="html">
      <a-entity id="{id}" mixin="gaze-eye" material="src: #icon-eye">
        <a-entity mixin="gaze-eye" material="src: #icon-eye-glow"
animation="property: material.opacity; dir: alternate; dur: 2000; loop:
true; from: 0.5; to: 1">
        </a-entity>
      </a-entity>
    </script>

    <a-mixin id="clickable" event-set__down="_event: mousedown; scale:
1.1 1.1 1.1;" event-set__up="_event: mouseup; scale: 1 1 1"
      event-set__enter="_event: mouseenter; scale: 1.2 1.2 1.2;" event-
set__leave="_event: mouseleave; scale: 1 1 1">
    </a-mixin>

    <a-mixin id="button" geometry="primitive: circle; radius: 0.1"
material="shader:flat; color:#fff; opacity:0.6;" mixin="clickable">
    </a-mixin>

    <a-mixin id="button-icon"
      event-set__1="_event: mouseenter; color:      #FF4500"
```

```

        event-set__2="_event: mouseleave; color: #FF8C00"
        event-set__3="_event: mousedown; color: #FFCC00"
    >
</a-mixin>
<a-mixin id="button-text" scale="1 1 1">
</a-mixin>

    <a-mixin id="shaded-sphere" geometry="primitive: sphere;
radius: 5;" material="color: #000; transparent: true; opacity: 0.7; side:
back;">
    </a-mixin>>

    <script id="menuBackHome" type="html">
    <a-entity position="-0.1 -0.5 0" scale="0.5 0.5 0.5">
        <a-entity position="0 0 -4">
            <a-rounded mixin="button-icon" hidemenu-action position="0 0
0" scale="0.4 0.4 0.4" color="orange"
            class="clickable">
                <a-image src="#icon-back" scale="0.7 0.7 0.7" position="0.5
0.5 0.1" >
                    </a-image>
                </a-rounded>
            </a-entity>
            <a-entity position="0 -0.5 -4">
                <a-rounded mixin="button-icon" home-action position="0 0 0"
scale="0.4 0.4 0.4" color="orange"
                class="clickable">
                    <a-image src="#icon-home" scale="0.7 0.7 0.7" position="0.5 0.5
0.1" >
                        </a-image>
                    </a-rounded>
                </a-entity>
            </a-entity>
        </script>

    <a-asset-item id="json-photos" src="assets/geojson/photos.geojson" />
    <a-asset-item id="json-geographiclines"
src="assets/geojson/ne_110m_geographic_lines.geojson" />

    <a-mixin id="gaze-arrow" position="0 0 -4"
material="src: #icon-arrow; shader:standard; emissive: #aaa;
transparent: true; opacity: 0.6;"
geometry="primitive: plane; width: 0.5; height: 0.5;"></a-mixin>

</a-assets>

<a-sky radius="10" src="#img-earth" side="back" rotation="0 -90 0"></a-sky>
<a-entity light="type: ambient; color: #fff"></a-entity>

```

```

<a-entity id="mastergaze" template="src: #gazeTemplate" data-id="master"
position="1 0 -5" visible="false" lerp></a-entity>

    <a-entity id="mainmenu" class="mainmenuObjects"
bind__visible="mainmenu" bind__rotation="menuRotation">

    <a-entity mixin="shaded-sphere"></a-entity>

    <a-rounded opacity="1" width="4" height="4" radius="0.5" position="-2
-2 -4">
    <a-entity position="2 2 0.5">
    <a-text position="0 1 0" color="#333" font="exo2bold"
value="Klimazonen" wrap-count="25" width="4" align="center"></a-text>
    <a-text position="0 0.5 0" color="#555" font="exo2semibold"
value="VR Globus" width="5" align="center"></a-text>

    <a-rounded mixin="button-icon" explore-action position="-0.6 -0.8
0.1" color="orange"
class="clickable" width="1.2" height="0.6">
    <a-text id="exploreText" font="mozillavr" value="Start!"
position="0.3 0.4 0.1" width="5" color="#333"></a-text>
    </a-rounded>
    </a-entity>

</a-rounded>

    <a-entity rotation="0 180 0">
    <a-rounded opacity="1" width="4" height="2" radius="0.5"
position="-2 -1 -4">
    <a-entity position="2 0.5 0.5">
    <a-text position="0 0.9 0" color="#000" font="exo2semibold"
value="Credits" wrap-count="30" width="4" align="center"></a-text>
    <a-text position="0 0.5 0" color="#000" value="Matthias
Treitler" width="4" align="center"></a-text>
    <a-text position="0 0.2 0" color="#000" value="v1.0.0 (Jan
2018)" width="4" align="center"></a-text>
    </a-entity>

    </a-rounded>
    </a-entity>

</a-entity>
</a-entity>

    <a-entity id="shadedSphere" mixin="shaded-sphere"
bind__visible="menuVisible" animation__darken="property: material.opacity;
from: 0; to: 1; dir: alternate; delay: 0; dur: 1500; startEvents: darken;">
    </a-entity>

    <a-entity rotation="0 -90 0">
    <a-entity bind__visible="geographiclinesVisible" geometry="primitive:
sphere; radius: 6;" material="color: #fff; transparent: true; opacity: 0.5;
side: back;"
    geojson="src: #json-geographiclines; featureKey: name;
    lineWidth: 2;" scale="-1 1 1">

    </a-entity>

```

```

    <a-entity rotation="0 120 0" bind__visible="geographiclinesVisible">
      <a-entity position="-0.5 0 0">
        <a-text color="#ddd" value="Aequator" position="0 0.2 -6"></a-
text>
        <a-text color="#ddd" value="Wendekreis" position="0 2 -5.5"
rotation="18 0 0"></a-text>
        <a-text color="#ddd" value="Polarkreis" position="0 6 -3"
rotation="45 0 0"></a-text>
        <a-text color="#ddd" value="Wendekreis" position="0 -2 -5.5"
rotation="-18 0 0"></a-text>
        <a-text color="#ddd" value="Polarkreis" position="0 -6 -3"
rotation="-45 0 0"></a-text>
      </a-entity>
    </a-entity>
    <a-entity rotation="0 -101 0" bind__visible="geographiclinesVisible">
      <a-text color="#ddd" value="Datumslinie" position="0 -1 -6"></a-
text>
    </a-entity>
  </a-entity>

  <a-entity id="explore" class="exploreObjects" bind__visible="explore">

    <a-entity class="clickable" scale="-1 1 1" rotation="0 -90 0"
geometry="primitive: sphere; radius: 5;"
    material=" transparent: true; opacity: 0; side: back;"
    geojson="src: #json-photos; featureKey: id;
    pointScale: 0; pointAs: point;"
    points-as-icons="icon: #icon-photo"
    photos-visible bind__photos-visible="layer: layer">
    </a-entity>

    <a-entity class="selectable" rotation="0 -90 0" geometry="primitive:
sphere; radius: 8;" material="transparent: true; opacity: 0.6; side:
double;"
    scale="-1 1 1" extract-color-code bind__extract-color-code="src:
coloredTextureId; texture: dataTextureId"
    interpret-color-code bind__interpret-color-code="layer: layer"></a-
entity>

    <a-entity bind__visible="showPhoto" class="photoObjects">
      <a-sky bind__src="photoSrc" radius="4" side="back">
        <a-text copyright-text bind__copyright-text="copyright:
photoCopyright" position="1.5 -3 -1.5" rotation="60 180 0" side="double">
</a-text>
        <a-circle class="clickable" mixin="clickable" color="orange"
hidephoto-action radius="1" position="0 -3.5 0" side="double"
rotation="-90 180 0">
          <a-image src="#icon-back" scale="1 1 1" position="0 0 0.1" >
            </a-image>
          </a-circle>
        </a-sky>
      </a-entity>
    </a-entity>
  </a-entity>

```

```

    <a-entity id="exploreMenu" class="exploreMenuObjects"
    bind__visible="menuVisible" bind__rotation="menuRotation">

        <a-entity position="0 0.5 -4">

            <a-image height="0.8" width="1.3" mixin="clickable"
            transparent="true" layer-action="climatezones" src="#img-climatezones"
            event-set__mouseenter="_target: #climatezonesText; visible: true"
            event-set__mouseleave="_target: #climatezonesText; visible:
            false" choose-layer bind__choose-layer="layer">
                </a-image>
                <a-text id="climatezonesText" visible="false" value="Klimazonen
            anzeigen" position="-1 -0.7 0" color="#fff"></a-text>
                <a-image height="0.8" width="1.3" mixin="clickable"
            transparent="true" layer-action="population"
            src="#img-population-colored" event-set__mouseenter="_target:
            #populationText; visible: true"
            event-set__mouseleave="_target: #populationText; visible: false"
            choose-layer bind__choose-layer="layer">
                </a-image>
                <a-text id="populationText" visible="false"
            value="Bevoelkerungsverteilung" position="-1 -0.7 0" color="#fff"></a-text>

            </a-entity>

            <a-entity template="src: #menuBackHome"></a-entity>

        </a-entity>

        <a-entity position="0 0 0">
            <a-entity camera position="0 0 0" look-controls="userHeight: 0;
            pointerLockEnabled: false;">

                <a-entity mixin="gaze-arrow" gaze-indicator="target:
            #mastergaze"></a-entity>

                <a-entity id="cursor" position="0 0 -1"
            geometry="primitive: ring; radiusOuter: 0.016;
            radiusInner: 0.01; segmentsTheta: 32"
            material="color: #760CE8; shader: flat; opacity: 0.8"
            cursor="rayOrigin: entity"
            raycaster="autoRefresh: false;"
            bind__raycaster="objects: cursorObjects; interval:
            raycasterInterval"

            bind__visible="cursorVisible"
            bind__cursor="fuseTimeout: fuseTimeout"
            >

                <a-animation begin="click" easing="ease-in"
            attribute="scale"
            fill="forwards" from="0.2 0.2 0.2" to="1 1 1"
            dur="150"></a-animation>
                <a-animation begin="fusing" easing="ease-in"
            attribute="scale"
            fill="backwards" from="1 1 1" to="0.2 0.2 0.2"
            dur="1500"></a-animation>

            </a-entity>

```

```
    <a-text color="#555"
      font="mozillavr"
      cursor-text bind__cursor-text="code: selectedCode;
      layer: layer;
      menuVisible: menuVisible; exploreEnabled: explore"
width="4"></a-text>

    </a-entity>
  </a-entity>

</a-scene>
</body>
</html>
```

Quellcode „NEO Globus“

Installation

Der Quellcode des Projekts befindet sich auf <https://github.com/mattrei/diplomarbeit.klima-vr-globen> und kann dort als gezipptes Paket heruntergeladen werden.

Um eine Entwicklungsumgebung zu starten muss „Node.JS“ (downloadbar über <https://nodejs.org>) auf dem System installiert sein. Folgende Kommandos müssen im Projektverzeichnis in einer Eingabeaufforderungskonsole eingegeben werden, um das Projekt lokalen auf dem Computer zu starten.

- *npm install*
Dieses Kommando installiert die notwendige Abhängigkeiten der Applikation.
- *npm start*
Dieses Kommando startet die Webapplikation lokal auf dem Rechner und diese kann anschließend in einem Browser unter der Adresse <http://localhost:8080> aufgerufen werden.

JavaScript Module

Aufgrund des Umfangs des Quellcodes können sollen hier nur zwei Module vorgestellt werden.

blending-texture

```
const EVENT = 'textures-loaded';
```

```
AFRAME.registerComponent('blending-texture', {  
  schema: {  
    texturesPath: {  
      default: 'marble'  
    },  
    months: {  
      default: [...Array(12)].map((_, i) => i + 1)  
    },  
    month: {  
      default: 1  
    },  
    autoplay: {  
      default: false  
    },  
    transitionDur: {  
      default: 1000  
    }, // transition between two textures in milliseconds  
    opacity: {
```

```

    default: 1
  },
  enabled: {
    default: false
  }
},

init: function () {
  this.actualMonth = 0;
  this.ready = false;
  this.elapsed = 0;
  this.loader = new THREE.TextureLoader();
},

update: function (oldData) {
  const data = this.data;

  if (AFRAME.utils.deepEqual(data, oldData)) return;

  if (!data.autoplay) {
    this.actualMonth = this.data.month - 1;
  }
  const promises = [];

  const extension = data.texturesPath === 'marble' ? 'jpg' : 'png';

  if (data.texturesPath !== oldData.texturesPath) {
    data.months.forEach(month => {
      promises.push(new Promise((resolve, reject) => {
        this.loader
          .load(
            `assets/${data.texturesPath}/${month}.${extension}`,
            texture => resolve(texture),
            xhr => {},
            err => reject(err)
          );
      }));
    });

    Promise.all(promises)
      .then(textures => this.generate(textures));
  }
},

generate: function (textures) {
  const data = this.data;
  const el = this.el;
  this.textures = textures;

  this.uniforms = {
    ratio: {
      value: 0
    },
    diffuseSourceA: {
      value: textures[this.actualMonth]
    },
    diffuseSourceB: {
      value: textures[(this.actualMonth + 1) % data.months.length]
    },
    opacity: {

```

```

        value: data.opacity
    }
};

this.material = new THREE.ShaderMaterial({
    uniforms: this.uniforms,
    vertexShader: VS,
    fragmentShader: FS,
    side: THREE.BackSide,
    transparent: true
});

this.applyToMesh();
this.el.addEventListener('model-loaded', () => this.applyToMesh());

this.el.emit(EVENT);
},
applyToMesh: function () {
    const mesh = this.el.getObject3D('mesh');
    if (mesh) {
        mesh.material = this.material;
    }
    this.ready = true;
},
tick: function (time, timeDelta) {
    const data = this.data;

    if (!data.enabled) return;
    if (!this.ready) return;

    const zn = data.months.length;

    this.elapsed += timeDelta;

    if (data.autoplay) {
        if (this.elapsed >= data.transitionDur) {
            this.actualMonth = (this.actualMonth + 1) % zn;
            this.elapsed = 0;

            this.el.sceneEl.emit('setMonth', {
                month: this.actualMonth + 1
            });
        }
    } else {
        this.actualMonth = data.month;
    }

    this.uniforms['ratio'].value = THREE.Math.clamp(this.elapsed /
data.transitionDur, 0.0, 1.0);

    this.uniforms['diffuseSourceA'].value =
this.textures[this.actualMonth];
    this.uniforms['diffuseSourceB'].value = this.textures[(this.actualMonth
+ 1) % zn];
}
});

const VS = `
varying vec3 vNormal;

```

```

varying vec2 vUv;
varying vec2 vfUv;
void main()
{
    gl_Position = projectionMatrix * modelViewMatrix * vec4( position,
1.0);
    vNormal = normalize( normalMatrix * normal );
    vUv = vec2(1.-uv.s, uv.t);
    //vUv = uv;
}
`;

const FS = `
uniform sampler2D diffuseSourceA;
uniform sampler2D diffuseSourceB;
uniform sampler2D mask;

uniform float ratio;
uniform float opacity;

varying vec3 vNormal;
varying vec2 vUv;
void main()
{

    vec4 texelA = texture2D( diffuseSourceA, vUv );
    vec4 texelB = texture2D( diffuseSourceB, vUv );
    //vec4 texelM = texture2D( mask, vUv );

    vec4 mixed = mix( texelA, texelB, ratio );
    //if (mixed.rgb < vec3(0.1)) discard;
    gl_FragColor = vec4( mixed.rgb, opacity );
}
`;

```

static-texture

```

const setComponentProperty = AFRAME.utils.entity.setComponentProperty;

AFRAME.registerComponent('static-texture', {
  schema: {
    texturesPath: {
      default: 'marble'
    },
    month: {
      default: 1
    }
  },

  init: function () {
    this.loader = new THREE.TextureLoader();
  },

  update: function (oldData) {
    const data = this.data;

    if (AFRAME.utils.deepEqual(data, oldData)) return;

```

```

    this.actualMonth = this.data.month - 1;

    const extension = data.texturesPath === 'marble' ? 'jpg' : 'png';

    const url = `/assets/${data.texturesPath}/${data.month}.${extension}`;
    console.log(url)
    if (data.texturesPath !== oldData.texturesPath) {
        setComponentProperty(this.el, 'material.src', url);
    }
    if (data.month !== oldData.month) {
        setComponentProperty(this.el, 'material.src', url);
    }
}
});

```

actions

```

AFRAME.registerComponent('show', {
  schema: {
    default: 'mainmenu',
    oneOf: ['mainmenu', 'explore', 'quiz']
  },
  init: function () {
    const data = this.data;
    if (data === 'mainmenu') {
      this.el.emit('showMainmenu', {});
    } else if (data === 'explore') {
      this.el.emit('startExplore', {});
    } else if (data === 'quiz') {
      this.el.emit('startQuiz', {});
    }
  }
});

AFRAME.registerComponent('showmainmenu-action', {
  init: function () {
    this.el.addEventListener('click', evt => {
      this.el.sceneEl.emit('showMainmenu', {});
    });
  }
});

AFRAME.registerComponent('explore-action', {
  init: function () {
    this.el.addEventListener('click', evt => {
      this.el.sceneEl.emit('startExplore', {});
    });
  }
});

AFRAME.registerComponent('quiz-action', {
  init: function () {
    this.el.addEventListener('click', evt => {
      this.el.sceneEl.emit('startQuiz', {});
    });
  }
});

```

```

AFRAME.registerComponent('layer-action', {
  schema: {
    default: 'marble'
  },
  init: function () {
    this.el.addEventListener('click', evt => {
      this.el.sceneEl.emit('setLayer', {
        layer: this.data
      });
      this.el.sceneEl.emit('hideMenu');
    });
  }
});

AFRAME.registerComponent('toolbar-action', {
  init: function () {
    this.thetaStart = 0;
    this.thetaLength = 0;

    this.isIntersected = false;
    this.el.addEventListener('raycaster-intersected', evt => {
      if (!this.isIntersected) {
        this.isIntersected = true;

        this.thetaStart = this.el.getAttribute('geometry').thetaStart;
        this.thetaLength = this.el.getAttribute('geometry').thetaLength;

        this.el.setAttribute('geometry', 'thetaStart', this.thetaStart -
3);
        this.el.setAttribute('geometry', 'thetaLength', this.thetaLength +
3 * 2);

        const position = evt.detail.intersection.point.clone();
        position.setLength(1);

        this.el.sceneEl.emit('showToolbar', {
          position: position
        });
      }
    });

    this.el.addEventListener('raycaster-intersected-cleared', evt => {
      //if (evt.currentTarget.id === evt.detail.target.id) {
        this.el.setAttribute('geometry', 'thetaStart', this.thetaStart);
        this.el.setAttribute('geometry', 'thetaLength', this.thetaLength);
        this.el.sceneEl.emit('hideToolbar');
        this.isIntersected = false;
      //}
    });
  }
});

AFRAME.registerComponent('hidemenu-action', {
  init: function () {
    this.el.addEventListener('click', evt => {
      this.el.sceneEl.emit('hideMenu');
    });
  }
});

```

```

    }
  });

AFRAME.registerComponent('home-action', {
  init: function () {
    this.el.sceneEl.addEventListener('camera-set-active', (evt) => {
      this.camera = evt.detail.cameraEl.object3D.children[0];
    });

    this.el.addEventListener('click', evt => {
      const rotation = new
THREE.Euler().setFromQuaternion(this.el.sceneEl.camera.getWorldQuaternion()
, 'XYZ');
      this.el.sceneEl.emit('showMainmenu', {
        rotation: {
          x: 0,
          y: THREE.Math.radToDeg(rotation.y),
          z: 0
        }
      });
    });
  }
});

AFRAME.registerComponent('next-action', {
  init: function () {
    this.el.addEventListener('click', evt => {
      this.el.sceneEl.emit('nextMonth');
      this.el.sceneEl.emit('setAutoplay', {autoplay: false});
    });
  }
});

AFRAME.registerComponent('prev-action', {
  init: function () {
    this.el.addEventListener('click', evt => {
      this.el.sceneEl.emit('prevMonth');
      this.el.sceneEl.emit('setAutoplay', {autoplay: false});
    });
  }
});

AFRAME.registerComponent('playpause-action', {
  schema: {
    default: false
  },
  init: function () {
    this.el.addEventListener('click', evt => {
      this.el.sceneEl.emit('setAutoplay', {
        autoplay: !this.data
      });
    });
  }
});

AFRAME.registerComponent('next-round-action', {
  schema: {
    type: 'selector'
  },
  init: function () {

```

```

this.el.addEventListener('click', evt => {
  console.log('Next round!');
  this.el.sceneEl.emit('nextRound');
  this.el.sceneEl.emit('hideToolbar');

  if (this.data) {
    console.log(this.data);
    this.data.emit('darken');
    this.data.emit('lighten');
  }
});
}
});

```

render

```
const setComponentProperty = AFRAME.utils.entity.setComponentProperty;
```

```

AFRAME.registerComponent('answer-buttons', {
  schema: {
    answer: {
      default: 1
    },
    finished: {
      type: 'boolean',
      default: false
    },
    round: {
      default: 1
    },
    maxRounds: {
      default: 1
    },
    answerA: {
      type: 'selector',
      default: '#answerA'
    },
    answerB: {
      type: 'selector',
      default: '#answerB'
    },
    answerC: {
      type: 'selector',
      default: '#answerC'
    },
    star: {
      type: 'selector',
      default: '#star'
    },
    fader: {
      type: 'selector',
      default: '#fadeBackground'
    }
  },
  init: function () {
    const data = this.data;
    data.answerA.addEventListener('click', evt => {

```

```

    this._checkAnswer(data.answerA);
  });
  data.answerB.addEventListener('click', evt => {
    this._checkAnswer(data.answerB);
  });
  data.answerC.addEventListener('click', evt => {
    this._checkAnswer(data.answerC);
  });

  data.fader.addEventListener('animation-complete', evt => {
    data.fader.setAttribute('visible', false);
  });
},
update: function (oldData) {
  const data = this.data;

  if (AFRAME.utils.deepEqual(data, oldData)) return;

  // TODO hack
  if (typeof data.star === 'string') {
    data.star = document.querySelector(data.star);
    data.answerA = document.querySelector(data.answerA);
    data.answerB = document.querySelector(data.answerB);
    data.answerC = document.querySelector(data.answerC);
    data.fader = document.querySelector(data.fader);
  }

  if (data.finished) {
    this._finished();
  } else {
    if (data.round > data.maxRounds) {
      this.el.sceneEl.emit('finishQuiz');
    } else {
      this._next();
    }
  }

  console.log('Answer = ' + data.answer);
},
_next: function () {
  const data = this.data;
  data.answerA.setAttribute('class', 'clickable');
  data.answerB.setAttribute('class', 'clickable');
  data.answerC.setAttribute('class', 'clickable');
  data.answerA.setAttribute('color', '#fff');
  data.answerB.setAttribute('color', '#fff');
  data.answerC.setAttribute('color', '#fff');
  data.answerA.setAttribute('visible', true);
  data.answerB.setAttribute('visible', true);
  data.answerC.setAttribute('visible', true);
  data.star.setAttribute('visible', false);
},
_finished: function () {
  const data = this.data;
  data.answerA.setAttribute('class', '');
  data.answerB.setAttribute('class', '');
  data.answerC.setAttribute('class', '');
  data.answerA.setAttribute('visible', false);
  data.answerB.setAttribute('visible', false);
  data.answerC.setAttribute('visible', false);
}

```

```

    this.el.sceneEl.emit('showMenu');
  },
  _checkAnswer: function (entity) {
    const data = this.data;
    const answer = entity.getAttribute('data-month');

    if (answer === data.answer.toString()) {
      entity.emit('green');

      this.el.sceneEl.emit('correctAnswer');

      data.star.emit('show');
      data.star.setAttribute('scale', '0.1 0.1 0.1');
      data.star.setAttribute('visible', true);

      this._nextRound();
    } else {
      entity.emit('red');
      this.el.sceneEl.emit('wrongAnswer');
      const answerA = data.answerA.getAttribute('data-month');
      const answerB = data.answerB.getAttribute('data-month');
      const answerC = data.answerC.getAttribute('data-month');

      switch (this.data.answer.toString()) {
        case answerA:
          data.answerA.emit('green');
          break;
        case answerB:
          data.answerB.emit('green');
          break;
        case answerC:
          data.answerC.emit('green');
          break;
      }

      this._nextRound();
    }
    entity.setAttribute('class', '');
  },
  _nextRound: function () {
    const data = this.data;
    setTimeout(_ => {
      data.fader.setAttribute('visible', true);
      data.fader.emit('fade');
      this.el.sceneEl.emit('hideToolbar');
      this.el.sceneEl.emit('hideMenu');
      data.star.setAttribute('visible', false);
      setTimeout(_ => {
        this.el.sceneEl.emit('nextRound');
      }, 1000);
    }, 2500);
  }
});

AFRAME.registerComponent('playpause-icon', {
  schema: {
    default: false
  },
  init: function () {

```

```

    /*
    this.xfactor = 1;
    // eliminate golden gaze
    this.el.addEventListener('click', evt => {
      const pos = this.el.parentNode.getAttribute('position')
      this.el.parentNode.setAttribute('position', `${pos.x + this.xfactor}
0 0`);
      this.xfactor *= -1;
    });
    */
  },
  update: function (oldData) {
    const icon = this.data ? 'pause' : 'play';

    this.el.setAttribute('src', `#icon-${icon}`);
  }
});

AFRAME.registerComponent('score-stars', {
  schema: {
    score: {
      default: 0
    },
    maxRounds: {
      default: 10
    }
  },
  init: function () {
    this.stars = [];

    for (let i = 0; i < this.data.maxRounds; i++) {
      const star = document.createElement('a-image');
      star.setAttribute('src', '#icon-star');
      star.setAttribute('alpha-test', '0.5');
      star.setAttribute('shader', 'standard');
      // TODO shader!
      star.setAttribute('position', `${i * 0.25} 0 0`);
      star.setAttribute('scale', '0.2 0.2 0.2');
      star.setAttribute('visible', false);
      this.el.appendChild(star);

      this.stars.push(star);
    }
  },
  update: function (oldData) {
    const data = this.data;

    for (let i = 0; i < this.data.score; i++) {
      this.stars[i].setAttribute('visible', true);
      this.stars[i].setAttribute('emissive', '#ff0');
    }
  }
});

AFRAME.registerComponent('round-circles', {
  schema: {
    round: {

```

```

    default: 1
  },
  maxRounds: {
    default: 10
  },
  finished: {
    type: 'boolean',
    default: false
  }
},

init: function () {
  this.circles = [];

  for (let i = 0; i < this.data.maxRounds; i++) {
    const circle = document.createElement('a-image');
    circle.setAttribute('src', '#icon-openround');
    circle.setAttribute('alpha-test', '0.5');
    circle.setAttribute('shader', 'standard');
    circle.setAttribute('position', `${i * 0.25} 0 0`);
    circle.setAttribute('scale', '0.2 0.2 0.2');
    circle.setAttribute('visible', true);
    circle.setAttribute('emissive', '#00f');
    this.el.appendChild(circle);

    this.circles.push(circle);
  }
},

update: function (oldData) {
  const data = this.data;

  if (data.finished) return;

  for (let i = 0; i < this.data.round - 1; i++) {
    this.circles[i].setAttribute('src', '#icon-fullround');
    this.circles[i].setAttribute('visible', true);
    this.circles[i].setAttribute('opacity', 1);
    this.circles[i].removeAttribute('animation');
  }
  const actual = this.circles[this.data.round - 1];
  if (actual) {
    actual.setAttribute('src', '#icon-fullround');
    actual.setAttribute('animation', `property: opacity; dir: alternate;
dur: 1000;
  loop: true; from: 1; to: 0.5;`);
  }
}

});

AFRAME.registerComponent('choose-layer', {
  schema: {
    default: 'marble'
  },
  update: function (oldData) {
    const data = this.data;

    if (this.el.getAttribute('src').includes(data)) {
      this.el.setAttribute('material', 'visible', false);
    }
  }
});

```

```

        this.el.setAttribute('class', '');
    } else {
        this.el.setAttribute('material', 'visible', true);
        this.el.setAttribute('class', 'clickable');
    }
}
});

```

HTML Dokument

```

<!DOCTYPE html>
<html lang="en">
<head>
  <meta charset="UTF-8">
  <title>NEO VR Globe</title>
  <meta name="apple-mobile-web-app-capable" content="yes">
  <meta name="description" content="NASA Earth Observation VR Globe">
</script type="text/javascript" src="assets/build.js"></script></head>
<body>
  <a-scene
    show="mainmenu"
    show-menu-controls
    bind__show-menu-controls="menuOpen: menuVisible; enabled: menuEnabled"
    vrodles-masterslave="
      app: neo-globe;
      mastergaze: #mastergaze;
      gazeTemplate: #gazeTemplate;
      gazeRadius: 5;
      debug: true;
    ">
    <a-assets>

    <a-mixin id="gaze-eye"
      material="shader: standard; emissive: #999; transparent: true;
alphaTest: 0.5"
      geometry="primitive: plane; width: 0.5; height: 0.5;" >

    <script id="gazeTemplate" type="html">
      <a-entity id="{id}" mixin="gaze-eye" material="src: #icon-eye">
        <a-entity mixin="gaze-eye" material="src: #icon-eye-glow"
animation="property: material.opacity; dir: alternate; dur: 2000; loop:
true; from: 0.5; to: 1">
        </a-entity>
      </a-entity>
    </script>

    <a-mixin id="clickable" event-set__down="_event: mousedown; scale:
1.1 1.1 1.1;" event-set__up="_event: mouseup; scale: 1 1 1"
      event-set__enter="_event: mouseenter; scale: 1.1 1.1 1.1;" event-
set__leave="_event: mouseleave; scale: 1 1 1"></a-mixin>
    <a-mixin id="button" geometry="primitive: circle; radius: 0.1"
material="shader:flat; color:#fff; opacity:0.6;" mixin="clickable">
    </a-mixin>

```

```

<a-mixin id="button-icon"
  event-set__1="_event: mouseenter; color: #FF4500"
  event-set__2="_event: mouseleave; color: #FF8C00"
  event-set__3="_event: mousedown; color: #FFCC00"
  >
</a-mixin>
<a-mixin id="button-text" scale="1 1 1">
</a-mixin>

  <a-mixin id="shaded-sphere" geometry="primitive: sphere;
radius: 5;" material="color: #000; transparent: true; opacity: 0.7; side:
back;">
  </a-mixin>>

  <script id="menuBackHome" type="html">
    <a-entity position="-0.1 -0.5 0" scale="0.5 0.5 0.5">
      <a-entity position="0 0 -4">
        <a-rounded mixin="button-icon" hidemenu-action position="0 0
0" scale="0.4 0.4 0.4" color="orange"
        class="clickable">
          <a-image src="#icon-back" scale="0.7 0.7 0.7" position="0.5
0.5 0.1" >
            </a-image>
          </a-rounded>
        </a-entity>
        <a-entity position="0 -0.5 -4">
          <a-rounded mixin="button-icon" home-action position="0 0 0"
scale="0.4 0.4 0.4" color="orange"
          class="clickable">
            <a-image src="#icon-home" scale="0.7 0.7 0.7" position="0.5 0.5
0.1" >
              </a-image>
            </a-rounded>
          </a-entity>
        </a-entity>
      </script>

    <a-asset-item id="json-world-110m" src="assets/geojson/world-
110m.v1.json" />
    <a-asset-item id="json-geographiclines"
src="assets/geojson/ne_110m_geographic_lines.geojson" />

<a-mixin id="toolbar-sphere" toolbar-action geometry="primitive: sphere;
  radius: 6.1; segments-height: 8; segments-width: 16;"
material="color: #f00; transparent: true; opacity: 0; side: double;">
  </a-mixin>>

  <a-mixin id="texture-sphere" geometry="primitive: sphere; radius: 10;
segments-height: 16; segments-width: 32;" material="side: back;
transparent: true;">
  </a-mixin>

  <script id="toolbarActivator" type="html">
    <a-entity id="toolbar-sphere-top" class="selectable"
mixin="toolbar-sphere"
    geometry="thetaStart: 40; thetaLength: 25;">
  </a-entity>

```

```

        <a-entity id="toolbar-sphere-bottom" class="selectable"
mixin="toolbar-sphere"
        geometry="thetaStart: 120; thetaLength: 25;">
    </a-entity>
</script>

        <a-mixin id="answer-button" animation__green="property: color;
from: #fff; to: #0f0; easing: easeInExpo; dur: 1500; startEvents: green;"
        animation__red="property: color; from: #fff; to:#f00; easing:
easeInExpo; dur: 1500; startEvents: red;">
    </a-mixin>

        <a-mixin id="gaze-arrow" position="0 0 -4"
        material="src: #icon-arrow; shader:standard; color: #000;
emissive:#ccc; transparent: true; opacity: 0.6;"
        geometry="primitive: plane; width: 0.5; height: 0.5;"></a-mixin>

</a-assets>

<a-sky radius="10" src="#img-marble" side="back" rotation="0 -90 0"></a-
sky>

<a-entity light="type: ambient; color: #fff"></a-entity>

<a-entity id="mastergaze" template="src: #gazeTemplate" data-id="master"
position="1 0 -5" visible="false" lerp></a-entity>

    <a-entity id="mainmenu" class="mainmenuObjects" bind="visible:
mainmenu" bind__rotation="menuRotation">

        <a-entity mixin="shaded-sphere"></a-entity>

        <a-rounded opacity="1" width="4" height="2.5" radius="0.5"
position="-2 -1.5 -4">
            <a-entity position="2 1 0.5">
                <a-text position="0 1 0" color="#000" value="NASA Earth
Observation" wrap-count="25" width="4" align="center"></a-text>
                <a-text position="0 0.5 0" color="#000" value="Globus" width="4"
align="center"></a-text>

                <a-entity class="clickable" scale="0.8 0.8 0.8">

                    <a-rounded mixin="button-icon" explore-action position="-1.5 -0.5
0.1" color="orange"
                    class="clickable" width="1.2" height="0.6">
                        <a-text id="exploreText" font="mozillavr" value="Start!"
position="0.3 0.4 0.1" width="5" color="#333"></a-text>
                    </a-rounded>

                    <a-rounded mixin="button-icon" quiz-action position="0.5 -0.5
0.1" color="green"
                    class="clickable" width="1.2" height="0.6">
                        <a-text id="quizText" font="mozillavr" value="Quiz!"
position="0.3 0.4 0.1" width="5" color="#333"></a-text>
                    </a-rounded>

```

```

    </a-entity>
  </a-entity>

</a-rounded>

  <a-entity rotation="0 180 0">
    <a-rounded opacity="1" width="4" height="4" radius="0.5"
position="-2 -2 -4" >
      <a-entity position="2 2 0.5">
        <a-text position="0 0.9 0" color="#000" value="Autor" wrap-
count="30" width="4" align="center"></a-text>
        <a-text position="0 0.5 0" color="#000" value="Matthias
Treitler" width="4" align="center"></a-text>
        <a-text position="0 0.2 0" color="#000" value="Version:
0.9.0" width="4" align="center"></a-text>

        <a-text position="0 -0.4 0" color="#000" value="Datenquellen"
wrap-count="30" width="4" align="center"></a-text>
        <a-text position="0 -0.8 0" color="#000" value="Nasa Earth
Observatory (NEO)" width="4" align="center"></a-text>
        <a-text position="0 -1.1 0" color="#00f"
value="https://neo.sci.gsfc.nasa.gov" width="4" align="center"></a-text>
      </a-entity>

    </a-rounded>
  </a-entity>

</a-entity>

  <a-entity id="shadedSphere" mixin="shaded-sphere"
bind__visible="menuVisible" animation__darken="property: material.opacity;
from: 0; to: 1; dir: alternate; delay: 0; dur: 1500; startEvents: darken;">
  </a-entity>

  <a-entity rotation="0 -90 0">
    <a-entity bind__visible="geographiclinesVisible" geometry="primitive:
sphere; radius: 6;" material="color: #fff; transparent: true; opacity: 0.8;
side: back;"
    geojson="src: #json-geographiclines; featureKey: name;
    lineWidth: 2;" scale="-1 1 1">

    </a-entity>

    <a-entity rotation="0 125 0" bind__visible="geographiclinesVisible">
      <a-text value="Aequator" position="0 0.2 -6"></a-text>
      <a-text value="N Wendekreis" position="0 2 -5.5" rotation="18 0
0"></a-text>
      <a-text value="N Polarkreis" position="0 6 -3" rotation="45 0
0"></a-text>
      <a-text value="S Wendekreis" position="0 -2 -5.5" rotation="-18 0
0"></a-text>
      <a-text value="S Polarkreis" position="0 -6 -3" rotation="-45 0
0"></a-text>
    </a-entity>

    <a-entity rotation="0 -101 0" bind__visible="geographiclinesVisible">
      <a-text value="Datumslinie" position="0 -1 -6"></a-text>

```

```

    </a-entity>

    <a-entity bind__visible="landbordersVisible" geometry="primitive:
sphere; radius: 6;" material="color: #fff; transparent: true; opacity: 0.8;
side: back;"
      geojson="src: #json-world-110m; topologyObject: land;
      lineWidth: 2;" scale="-1 1 1">
    </a-entity>
  </a-entity>

  <a-entity id="explore" bind__visible="explore">

    <a-entity class="selectable" mixin="texture-sphere" rotation="0 90 0"
      switch-texture bind__switch-texture="enabled: explore; month:
month; texturesPath: layer; autoplay: autoplay; transitionDur:
transitionMs; extension: extension">
    </a-entity>

    <a-entity class="exploreObjects" template="src:
#toolbarActivator"></a-entity>

    <a-entity id="exploreToolbar" class="exploreToolbarObjects">

      <a-entity bind__visible="toolbarVisible"
bind__rotation="toolbarRotation">
        <a-entity class="clickable">
          <a-entity position="-0.3 -0.25 -4" rotation="0 20 0" scale="0.3
0.3 0.3">
            <a-rounded prev-action position="-2.2 0 0" >
              <a-text prev-text mixin="button-text" color="#000" wrap-
count="18" position="0 0.5 0.1" bind__prev-text="month: month"></a-text>
            </a-rounded>
            <a-rounded next-action position="-1 0 0" >
              <a-text next-text value="" mixin="button-text" color="#000"
wrap-count="18" position="0 0.5 0.1" bind__next-text="month: month"></a-
text>
            </a-rounded>
          </a-entity>
          <a-entity position="0.3 -0.25 -4" rotation="0 -10 0" scale="0.3
0.3 0.3">

            <a-rounded playpause-action bind__playpause-action="autoplay"
mixin="clickable">
              <a-image playpause-icon scale="0.7 0.7 0.7" position="0.5
0.5 0.1" bind__playpause-icon="autoplay"></a-image>
            </a-rounded>
          </a-entity>
        </a-entity>
      </a-entity>

    <a-entity id="exploreMenu" class="exploreMenuObjects"
bind__visible="menuVisible" bind__rotation="menuRotation">

      <a-entity position="0 0.5 -4">
        <a-image height="0.8" width="1" mixin="clickable" layer-
action="temperature" src="#img-temperature" event-set__mouseenter="_target:
#temperatureText; visible: true"

```

```

        event-set__mouseleave="_target: #temperatureText; visible:
false" choose-layer bind__choose-layer="layer">
        </a-image>
        <a-text id="temperatureText" visible="false" value="Temperatur"
position="-0.5 -0.7 0" color="#fff"></a-text>
        <a-image height="0.8" width="1" mixin="clickable" layer-
action="marble" src="#img-marble" event-set__mouseenter="_target:
#marbleText; visible: true"
        event-set__mouseleave="_target: #marbleText; visible: false"
choose-layer bind__choose-layer="layer">
        </a-image>
        <a-text id="marbleText" visible="false" value="Vegetation"
position="-0.5 -0.7 0" color="#fff"></a-text>
        </a-entity>

        <a-entity template="src: #menuBackHome"></a-entity>

    </a-entity>

</a-entity>

<a-entity id="quiz" class="quizObjects" bind="visible: quiz">

    <a-entity mixin="texture-sphere" rotation="0 -90 0" set-texture
scale="-1 1 1" bind__set-texture="texturesPath: quizLayer; month:
quizMonth">
    </a-entity>

    <a-entity id="quizMenu" class="quizMenuObjects"
bind__visible="menuVisible" bind__rotation="menuRotation">

        <a-entity position="-1 0.7 -4">

            <a-text position="0 0.7 0" quiztitle-text="maxRounds: 10"
bind__quiztitle-text="finished: finished; round: round" width="3"
color="#fff"></a-text>

            <a-entity position="0 0.4 0" round-circles="maxRounds: 10"
bind__round-circles="round: round; finished: finished"></a-entity>

            <a-entity position="0 0 0" score-stars="maxRounds: 10"
bind__score-stars="score: score">

                <a-text position="0 -0.6 0" quizfinished-text bind__quizfinished-
text="finished: finished; score: score" width="3" color="#fff"></a-text>
                </a-entity>

            </a-entity>

            <a-entity position="-0.3 0 -4" rotation="0 0 0" scale="0.5 0.5
0.5">
                <a-entity answer-buttons="maxRounds: 10" bind__answer-
buttons="answer: quizMonth; finished: finished; round: round">
                    <a-rounded id="answerA" position="-1.2 0 0" color="#fff"
class="clickable" mixin="answer-button" bind__data-month="monthA">
                        <a-text width="9" position="0.1 0.5 0" color="#000" month-
text bind__month-text="month: monthA"></a-text>
                    </a-rounded>
                </a-entity>
            </a-entity>
        </a-entity>
    </a-entity>

```

```

        <a-rounded id="answerB" position="0 0 0" color="#fff"
class="clickable" mixin="answer-button" bind__data-month="monthB">
        <a-text width="9" position="0.1 0.5 0" color="#000" month-
text bind__month-text="month: monthB"></a-text>
        </a-rounded>
        <a-rounded id="answerC" position="1.2 0 0" color="#fff"
class="clickable" mixin="answer-button" bind__data-month="monthC">
        <a-text width="9" position="0.1 0.5 0" color="#000" month-
text bind__month-text="month: monthC"></a-text>
        </a-rounded>

        <a-image id="star" src="#icon-star" material="shader: standard;
opacity: 1; alphaTest: 0.5; emissive: #ff0;" position="0.3 1.6 0"
        transparent="true" visible="false"
        animation="property: scale; easing: easeOutBack;
        from: 0.1 0.1 0.1; to: 1 1 1; dur: 2000; restartEvents:
show;">
        </a-image>
        </a-entity>
        </a-entity>
        <a-entity template="src: #menuBackHome"></a-entity>
        </a-entity>
        </a-entity>

        <a-entity id="fadeBackground" mixin="shaded-sphere" visible="false"
animation="property: material.opacity; dir: alternate; dur: 1000;
        easing: easeInSine; from: 0; to: 1; startEvents: fade;
restartEvents: fade">
        </a-entity>
        </a-entity>

        <a-entity id="player" position="0 0 0">
        <a-entity id="camera" camera position="0 0 0" look-
controls="userHeight: 0; pointerLockEnabled: true">

        <a-entity mixin="gaze-arrow" gaze-indicator="target:
#mastergaze"></a-entity>

        <a-entity id="cursor" position="0 0 -1" geometry="primitive: ring;
radiusOuter: 0.016; radiusInner: 0.01; segmentsTheta: 32"
        material="color: #760CE8; shader: flat; opacity: 0.8"
        cursor="rayOrigin: entity"
        raycaster=""
        bind__raycaster="objects: cursorObjects; interval:
raycasterInterval"
        bind__visible="cursorVisible" bind__cursor "fuseTimeout:
fuseTimeout">
        </a-entity>

        <a-text month-cursor-text bind__month-cursor-text="month: month;
cursorVisible: cursorVisible; toolbarVisible: toolbarVisible;
exploreEnabled: explore"
        width="5"
        position="-0.3 -1 -4"></a-text>
        </a-entity>
        </a-entity>

</a-scene>
</body>
</html>

```

