Ermittlung des Lernerfolgs durch den Einsatz von Virtual Reality – Ein Feldexperiment

Masterthesis

im Studiengang Wirtschaftsinformatik

Vorgelegt von

Stefan Botchkovoi

Matr.-Nr.: 20-642-682

[redacted]

am

28.05.2022

an der ZHAW School of Management and Law

Betreut von

Prof. Dr. Thomas Keller

Elke Brucker-Kley

Danksagung

Die vorliegende Masterthesis ist an der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften im Studiengang «Master of Science in Wirtschaftsinformatik» während des vierten Semesters 2022 entstanden.

Zunächst möchte ich mich bei allen Personen bedanken, die mich im Rahmen dieser Arbeit fachlich und persönlich unterstützt haben.

Ein ausdrückliches Dankeschön gilt Prof. Dr. Thomas Keller für die Vergabe dieser spannenden Aufgabenstellung, die kontinuierliche und motivierende Unterstützung und Betreuung, sowie für das Bereitstellen der erforderlichen Hardware. Zusätzlich möchte ich mich bei Frau Elke Brucker-Kley für die Zweitbegutachtung der Thesis bedanken.

Ein weiteres Dankeschön gilt Marie Schlachter, die mich in der gesamten Zeit persönlich unterstützt und motiviert hat. Des Weiteren danke ich ihr für das Aufnehmen der Audiodateien und das Testen der VR-Lerneinheit.

Ausserdem danke ich Gerd Gimpel von der Realschule Neuhausen am Rheinfall und Benedikt Arndgen von der Primarschule Stein am Rhein für die Designanforderungen und die Unterstützung der Organisation des Feldexperiments.

Herzliches Dankeschön an alle Schüler für die kooperative Teilnahme an dem Feldexperiment. Es hat mir eine grosse Freude bereitet mit euch zu arbeiten.

Zu guter Letzt möchte ich mich bei meiner Familie bedanken, die mich stets motiviert und in allen Belangen unterstützt hat.

Gender-Erklärung

In dieser Arbeit wird aus Gründen der besseren Lesbarkeit auf die gleichzeitige Verwendung von weiblichen und männlichen Sprachformen verzichtet. Alle Personenbezeichnungen gelten sowohl für Frauen als auch für Männer.

Management Summary

Digitale Medien wie Tablets oder Smartphones sind für viele Kinder bereits Teil des Alltags. Virtuelle Welten wie Minecraft werden von Kindern auf selbstbestimmte und kreative Weise entdeckt. In diesen virtuellen Welten lösen Kinder komplexe Probleme, experimentieren mit virtuellen Objekten oder entdecken zahlreiche Phänomene. Auch virtuelle Umgebungen können nachhaltige Lernprozesse initiieren und Besuche von ausserschulischen Lernorten ermöglichen, jedoch ist deren Einsatz in der Schulbildung wenig erforscht und das vorhandene Angebot an VR-Lerneinheiten gering.

Ziel dieser Masterthesis ist die Optimierung einer bestehenden VR-Lerneinheit für das Schulfach Natur, Mensch, Gesellschaft im Rahmen des Lehrplans 21 sowie die Durchführung eines qualitativen Feldexperiments zur Untersuchung des Lernerfolgs und der Kriterien eines erfolgreichen Einsatzes von VR im Bildungskontext.

Zum Erreichen der Zielsetzung werden die folgenden drei Forschungsfragen gestellt: *«kann VR zur Wissensvermittlung von Schülern beitragen?»*, *«kann der Lernerfolg von VR-Lerneinheiten im Vergleich zu klassischen Lerneinheiten gesteigert werden?»* und *«auf welche Kriterien muss bei der Entwicklung und dem Einsatz von VR-Lerneinheiten geachtet werden, um das volle Potenzial der Technologie zu nutzen?».*

Das methodische Vorgehen der Arbeit bedient sich der Ansätze des Forschungsparadigmas Design Science Research nach Hevner. Zur Optimierung der VR-Lerneinheit wurde der Ansatz des evolutionären Prototypings genutzt. Für die Beantwortung der Forschungsfragen wurde eine Literaturrecherche sowie ein qualitatives Feldexperiment an zwei Schweizer Volksschulen durchgeführt, wobei für die Erkenntnisgewinnung Prä- und Post-Messungen und qualitative Beobachtungen getätigt wurden.

Für die Optimierung der VR-Lerneinheit wurden Designanforderungen mit Lehrpersonen erhoben, welche anschliessend umgesetzt werden konnten. Die optimierte VR-Lerneinheit diente dem qualitativen Feldexperiment. Die gewonnenen Erkenntnisse als auch die VR-Lerneinheit tragen zur bestehenden Wissensbasis bei.

Die Auswertung der Ergebnisse des qualitativen Feldexperiments zeigt, dass bei den Probanden der Probandengruppe VR ein Wissenszuwachs gemessen werden konnte. VR kann zur Wissensvermittlung von Schülern beitragen. Die Probandengruppe VR konnte

im Vergleich zur Kontrollgruppe keinen höheren Lernerfolg verzeichnen, jedoch sind die Ergebnisse des Feldexperiment aufgrund von kleinen Probandengruppen nicht genügend belastbar, um die Forschungsfrage vollständig zu beantworten. Hierfür muss das Feldexperiment mit mehr Probanden wiederholt werden. Die Kriterien für die Entwicklung und den Einsatz von VR-Lerneinheiten konnten aus den qualitativen Beobachtungen und der erarbeiteten Literatur aufgestellt werden. Für den Erfolgreichen Einsatz von VR-Lerneinheiten müssen Lernende mit dem Umgang von VR geschult werden. Die VR-Lerneinheit muss auf vorhandenes Wissen aufbauen und die Lernenden auf die wesentlichen Lerninhalte fokussieren. Dadurch kann bestehendes Wissen vertieft und verzerrten Grössenverhältnissen und Fehlinterpretationen von Zusammenhängen entgegengewirkt werden.

Eidesstattliche Erklärung

«Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig, ohne Mithilfe Dritter und nur unter Benützung der angegeben Quellen verfasst habe und dass ich ohne schriftliche Zustimmung der Studiengangsleitung keine Kopien dieser Arbeit an Dritte aushändigen werde.»

Gleichzeitig werden sämtliche Rechte am Werk an die Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW) abgetreten. Das Recht auf Nennung der Urheberschaft bleibt davon unberührt.

Stefan Botchkovoi

Inhaltsverzeichnis

Danksagung II

Gender-Erklärung II

Management Summary III

Eidesstattliche Erklärung V

Inhaltsverzeichnis VI

Tabellenverzeichnis IX

Abbildungsverzeichnis IX

Abkürzungsverzeichnis X

1 Einleitung 1

1.1 Ausgangslage 2
1.2 Problemstellung 2
1.3 Relevanz 3
1.4 Abgrenzung 3
1.5 Zielsetzung 4
1.6 Forschungsfragen 4
1.7 Forschungslücke 5

2 Related Work 6

2.1 Definition Immersion 6
2.2 Immersive VR 6
2.3 Immersive VR in der Bildung 7
2.4 Eignung von VR-Anwendungen im Sachunterricht 8
2.5 Anforderungen an eine VR-Lerneinheit 9
2.5.1 Reduktion auf das Wesentliche 9
2.5.2 Lernrelevante Interaktionen anbieten 10
2.5.3 Komplexe Aufgaben in kleinere Einheiten aufteilen 10
2.5.4 Immersives Lernen anleiten 10
2.5.5 Auf vorhandenem Wissen aufbauen 11
2.5.6 Konstruktive Lerninhalte anbieten 11
2.6 Fünf Prinzipien für den Lernerfolg 12
2.7 Einfluss von VR-Anwendungen auf den Lernerfolg 12
2.7.1 Lernen als selbstgesteuerter Prozess 13
2.7.2 Lernen als produktiver und motivierender Prozess 13
2.7.3 Lernen als situativer und praxisbezogener Prozess 14

2.7.4 Lernen als sozialer Prozess 14
2.8 Faktoren zur Erreichung von Präsenz 15
2.9 Faktoren zur Erreichung von Agency 16
2.10 Herausforderungen von VR-Anwendungen in der Bildung 16
2.11 Chancen von VR-Anwendungen in der Bildung 18
2.12 Lehrplan 21 20
2.13 Bedeutung und Zielsetzung im Fachbereich Natur, Mensch, Gesellschaft 20

3 Forschungsansatz 23
3.1 Forschungsparadigma 23
3.2 Literaturrecherche 26
3.3 Evolutionäres Prototyping 26
3.4 Qualitatives Feldexperiment 27
3.5 Konzeption des Fragebogens 29
3.6 Artefakt 30
3.7 Projektaufbau 30

4 Ergebnisse 33
4.1 Designanforderungen 33
4.2 Optimierung der Lerneinheit 40
4.2.1 Szene 1: Erde 40
4.2.2 Szene 2: Reise zum Mond 51
4.2.3 Szene 3: Mond 55
4.2.4 Szene 4: Rückreise zur Erde 58
4.3 Durchführung des Feldexperiments 59
4.3.1 Realschule Neuhausen am Rheinfall 61
4.3.2 Primarschule Stein am Rhein 61
4.4 Auswertung und Interpretation der Ergebnisse 62
4.4.1 Daten aus Neuhausen am Rheinfall 63
4.4.2 Daten aus Stein am Rhein 66
4.5 Qualitative Beobachtungen 69
4.5.1 Beobachtungen an der Schule in Neuhausen am Rheinfall 69
4.5.2 Beobachtungen an der Schule in Stein am Rhein 71

5 Schlussbetrachtung 75
5.1 Zusammenfassung 75
5.2 Beantwortung der Forschungsfragen 76
5.3 Ausblick 79

6 Literaturverzeichnis i

Anhang **xvii**
A.1 Artefakt xvii
A.2 Inhalte der Audio-Erklärungen xvii
A.3 Inhalte der (VR)-Lerneinheit xxiii
A.4 Muster Fragebogen xxv
A.5 Probe-Fragebogen xxv
A.6 Prä-Test xxv
A.6.1 Realschule Neuhausen am Rheinfall xxv
A.6.2 Primarschule Stein am Rhein xxv
A.7 Post-Test VR xxvi
A.7.1 Realschule Neuhausen am Rheinfall xxvi
A.7.2 Primarschule Stein am Rhein xxvi
A.8 Post-Test Frontalunterricht xxvi
A.8.1 Realschule Neuhausen am Rheinfall xxvi
A.8.2 Primarschule Stein am Rhein xxvi
A.9 Einwilligungserklärungen xxvii
A.10 Auswertung der Messung xxxi
A.11 Auswertung Proband 2 xxxii
A.12 Beobachtungen Neuhausen am Rheinfall xxxii
A.12.1 VR-Lerneinheit xxxii
A.12.2 Frontalunterricht xxxiv
A.13 Beobachtungen Stein am Rhein xxxiv
A.13.1 VR-Lerneinheit xxxiv
A.13.2 Beobachtung Frontalunterricht xxxviii

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Handlungsaspekte von Lernenden (D-EDK, 2016) 20
Tabelle 2: Leitlinien nach Hevner (2004) 24
Tabelle 3: Designanforderungen an die VR-Lerneinheit Sonne-Erde-Mond (eigene Darstellung) 33

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Handlungsaspekte von Lernenden in der Begegnung und Auseinandersetzung mit der Welt (D-EDK,2016) 22
Abbildung 2: Informationssystemrahmenwerk (Hevner et al., 2004) 24
Abbildung 3: Projektaufbau (eigene Darstellung) 30
Abbildung 4: Teilausschnitt des XR Input System Mappings 41
Abbildung 5: Avatar mit Lippenbewegungen und Emotionen (eigene Darstellung) 43
Abbildung 6: Vorher-Nachher-Vergleich der Sonne (eigene Darstellung) 45
Abbildung 7: Vorher-Nachher-Vergleich Mond (eigene Darstellung) 45
Abbildung 8: Vorher-Nachher-Vergleich der Wurfstation (eigene Darstellung) 46
Abbildung 9: Zusätzlicher «Box Collider» zur Fehlerkorrektur (eigene Darstellung) 46
Abbildung 10: Unity-Fehlermeldung (eigene Darstellung) 48
Abbildung 11: Neu eingefügte Raketenplattform (eigene Darstellung) 49
Abbildung 12: Chaotische Rückplatzierung von Objekten (eigene Darstellung) 50
Abbildung 13: Vorher-Nachher-Vergleich der Ansicht auf das Sonnensystem (eigene Darstellung) 53
Abbildung 14: Vorher-Nachher-Vergleich: Ansicht auf das Grössenverhältnis von Sonne, Erde und Mond (eigene Darstellung) 54
Abbildung 15: Vorher-Nachher-Vergleich der Wurfstation auf dem Mond (eigene Darstellung) 56
Abbildung 16: Vorher-Nachher-Vergleich der Lernstation auf dem Mond (eigene Darstellung) 57
Abbildung 17: Proband bei der Durchführung der VR-Lerneinheit (eigene Darstellung) 59
Abbildung 18: Proband am werfen (eigene Darstellung) 60
Abbildung 19: Proband bei der Lösung der Tafelaufgabe in der ersten Szene (eigene Darstellung) 60
Abbildung 20: Mittelwerte der erreichten Punkte pro Frage (eigene Darstellung) 63
Abbildung 21: Mittelwert der erreichten Gesamtpunktzahl (eigene Darstellung) 64
Abbildung 22: Mittelwert des Wissenszuwachses pro Frage und Probandengruppe (eigene Darstellung) 65
Abbildung 23: Gesamthafter Wissenszuwachs pro Probandengruppe (eigene Darstellung) 65
Abbildung 24: Mittelwerte der erreichten Punkte pro Frage (eigene Darstellung) 66
Abbildung 25: Mittelwert der erreichten Gesamtpunktzahl (eigene Darstellung) 67

Abbildung 26: Mittelwert des Wissenszuwachses pro Frage und Probandengruppe (eigene Darstellung) 68
Abbildung 27: Gesamthafter Wissenszuwachs pro Probandengruppe (eigene Darstellung) 68

Abkürzungsverzeichnis

AR	*Augmented Reality*
HMD	*Head-Mounted Display*
iVR	Immersive Virtual Reality
M-iVR-L	*Meaningful Immersive Virtual Reality Learning (framework)*
OSVR	*Open Source Virtual Reality*
SDK	*Software Development Kit*
VR	*Virtual Reality*
VRPN	*Virtual Reality Peripheral Network*
ZNS	*Zentrales Nervensystem*

1 Einleitung

Digitale Medien wie Tablets oder Smartphones sind für viele Kinder bereits Teil des Alltags. Sie schauen Filme, spielen Spiele oder kommunizieren mit ihren Freunden. Die Kinder beteiligen sich aktiv und selbstbestimmt mit ihren Möglichkeiten und Kompetenzen an ihrer digitalen Welt (Feierabend et al., 2019). Virtuelle Welten wie Minecraft werden von den Kindern auf selbstbestimmte und kreative Weise entdeckt (Baek et al., 2020; Callaghan, 2016). In diesen virtuellen Welten lösen Kinder komplexe Probleme, experimentieren mit virtuellen Objekten oder entdecken zahlreiche Phänomene (Cramariuc & Dan, 2021; Villena Taranilla et al., 2022). Dies sind vielversprechende Alternativen, um nachhaltige Lernprozesse zu initiieren, Kindern angemessene Erfahrungs- und Lernmöglichkeiten in digitalen Lernumgebungen zu bieten und Kompetenzen in der digitalen Umgebung zu fördern (Best et al., 2019). Doch wie können diese virtuellen Erfahrungs- und Lernmöglichkeiten im Fachunterricht gestaltet werden, um Kindern eine Orientierung in ihrer digitalen Welt zu geben? Wie können digitale Medien genutzt werden, um neue Lehr- und Lernprozesse so zu gestalten, dass Chancen zur individuellen Kompetenzentwicklung entstehen? Besonders eignen sich ausserschulische Lernorte, um Schülern die Erfahrung einer Lebenswelt zu ermöglichen, die ihnen im Alltag nicht zugänglich ist (Brade, 2015). Der Einsatz virtueller Umgebungen in der Primarschulbildung ist bisher wenig erforscht. Verschiedene Autoren schätzen das Potenzial für erfolgreiches Lernen als hoch ein (Buchner, 2022; Hellriegel & Čubela, 2018). Digitale Welten ermöglichen eine Vielzahl von Erfahrungs- und Lernmöglichkeiten, die neue und integrative Fördermöglichkeiten sowohl ausserhalb als auch innerhalb der Schule schaffen (Bakenhus et al., 2022). Im Zusammenhang mit der technologischen Entwicklung können Medien im Bereich der Virtual Reality (VR) Kompetenzen und konstruktivistisches Lernen über das Fachwissen hinaus fördern. Die VR-Technologie wird verstärkt in verschiedenen Lernumgebungen eingesetzt, um komplexe Lernumgebungen zu reduzieren und Realitäten auf strukturierte und immersive Weise darzustellen (Radianti et al., 2020).

1.1 Ausgangslage

Die virtuelle Realität (VR) kann eine wichtige Rolle im Bildungswesen spielen, indem sie das Engagement und die Motivation der Lernenden steigert (Freina & Ott, 2015). Es ist jedoch wenig über die Auswirkungen und den Nutzen von immersiver VR bekannt (Makransky & Lilleholt, 2018). Viele Wirtschaftsanalysen und Berichte kommen zum Schluss, dass Virtual Reality die grösste zukünftige Computerplattform aller Zeiten werden könnte (Bellini et al., 2016). Seit 2010 wurden mehrere Milliarden Dollar in VR-Startups investiert (Benner & Wingfield, 2016), mit der Erwartung, dass Virtual Reality die Unterhaltungs-, Spiel- und Bildungsbranche revolutionieren kann (Standen & Brown, 2006). Aufgrund des neuen Trends ist es wichtig, ein besseres Verständnis für die Vorteile und Auswirkungen von VR im Bildungskontext zu erlangen. Die emotionale Wirkung der Immersion ist ein wichtiger Faktor, der bei der Untersuchung des Nutzens von VR zu berücksichtigen ist. Dies ist insofern von Bedeutung, da VR ein höheres Mass an Immersion fördert als herkömmliche Medien, was wiederum das Lernen durch positive Emotionen wie Vergnügen erleichtern kann (Picard et al., 2004). Hellriegel & Čubela (2018) zeigen die vielfältigen Potenziale von VR auf, die auf den Prinzipien des erfolgreichen Lernens basieren. Sie weisen darauf hin, dass ein aktivierender und konstruktiver Prozess, Neugier und Motivation fördert und soziale Interaktionen zulässt. Dies kann das Lernen mit VR steigern.

1.2 Problemstellung

Die VR-Technologie wird zur heutigen Zeit nur in einem geringen Umfang in Schulen zu Unterrichtszwecken eingesetzt, auch wenn das Potenzial für erfolgreiches Lernen als hoch eingeschätzt wird (Hellriegel & Čubela, 2018). Grund hierfür sind unter anderem die kritischen Vorbehalte, dass durch VR bessere Lernerfolge erzielt werden können (Jensen & Konradsen, 2018). Fehlende Langzeitstudien und, gross angelegte Forschungsprojekte bekräftigen die kritischen Vorbehalte (Jensen & Konradsen, 2018; Radianti et al., 2020). Ein weiterer Aspekt ist der Mangel an Lerninhalten, der dem Einsatz in den Schulen entgegensteht (Jensen & Konradsen, 2018). Für einen erfolgreichen Einsatz der VR-Technologie in der Schule müssen die Inhalte im Vorfeld entwickelt werden (Thomas et al., 2018). Der Aufbau und die Entwicklung einer Lerneinheit muss einem didaktischen und pädagogischen Konzept folgen, so dass diese

mit den Grundprinzipien des Unterrichts in der Schule übereinstimmen und die Schüler den Lernprozess durch den Einsatz von VR fördern können (Zender et al., 2022).

1.3 Relevanz

VR kann für das Lernen wesentliche Vorteile bieten. Zum einen die Steigerung der Begeisterung und Motivation der Nutzer für die Lerneinheit, zum anderen die Möglichkeit, sich in einer Umgebung wiederzufinden, die in der realen Welt nur schwer oder gar nicht zugänglich ist (Brade, 2015; Freina & Ott, 2015; Zender et al., 2018). Dabei hat VR das Potenzial das Lernen durch positive Emotionen zu erleichtern (Picard et al., 2004). Um VR häufiger und umfassend im Bildungswesen einsetzen zu können, bedarf es jedoch eines grösseren Angebots an Inhalten für den schulischen Bereich (Jensen & Konradsen, 2018).

1.4 Abgrenzung

Im Zentrum dieser Arbeit steht die Untersuchung des Lernerfolgs durch den Einsatz von VR im Schulfach Natur, Mensch, Gesellschaft für schweizerische Volksschulen. Die VR-Lerneinheit "Sonne-Erde-Mond" orientiert sich an den pädagogischen und didaktischen Qualitätsmerkmalen des Lehrplans 21.

Das in der Arbeit verwendete Head-Mounted Display HTC Vive Pro hat eine Auflösung von 1234 x 567 Pixel. Dies erfüllt die technischen Rahmenbedingungen einer Immersion und ist ausreichend zur Durchführung der Lerneinheit.

Die Optimierung der Lerneinheit wird in der Entwicklungsumgebung «Unity» durchgeführt. Diese Entwicklungsumgebung wurde bereits für die Entwicklung der Lerneinheit verwendet. Die Eignung von Unity ist nicht Teil der Arbeit.

1.5 Zielsetzung

Die vorliegende Arbeit behandelt die Untersuchung des Lernerfolgs von VR-gestützten Lerninhalten sowie die Verbesserung einer bereits bestehenden VR-Lerneinheit, um eine möglichst optimale Immersion zu erreichen, woraus laut einigen Autoren wie Freina & Ott (2015); Huttner & Robra-Bissantz (2017); Jensen & Konradsen (2018); Krokos et al. (2019); Maas & Hughes (2020) ein besserer Lernerfolg resultiert. Dabei sind die Lernziele des Lehrplans 21 zu berücksichtigen, um die pädagogischen und didaktischen Qualitätsmerkmale zu erfüllen. Die Lernziele des Lehrplans 21 werden im weiteren Verlauf der Arbeit näher beschrieben. Die Weiterentwicklung der Lerneinheit findet in der Entwicklungsumgebung Unity statt. Eines der Ziele ist die plattformunabhängige Lauffähigkeit der VR-Lerneinheit zu erreichen. Mithilfe einer HTC Vive Pro, eines von HTC und Valve produzierten Head-Mounted Displays (HMD), wird ein Feldexperiment durchgeführt. Ein weiteres Ziel ist die Verbesserung der Anwenderfreundlichkeit der Lerneinheit und der Didaktik, basierend auf Rückmeldungen durch Lehrpersonal und Schüler. Ein Feldexperiment und die folgende Auswertung gibt Aufschluss, ob mit VR-gestützten Lerneinheiten ein höherer Lernerfolg erzielt werden kann und worauf bei der Entwicklung und dem Einsatz der VR-Technologie geachtet werden muss.

Die vorliegende Arbeit und die aus dem Feldexperiment resultierenden Ergebnisse tragen zur bestehenden Wissensbasis bei und liefern eine einsatzfähige VR-Lerneinheit für den schulischen Einsatz.

1.6 Forschungsfragen

Aus der vorgenannten Zielsetzung lassen sich die folgenden drei Forschungsfragen ableiten, die in der Masterthesis beantwortet werden:

1. *Kann VR zur Wissensvermittlung von Schülern beitragen?*
2. *Kann der Lernerfolg mithilfe von VR-Lerneinheiten im Vergleich zu klassischen Lerneinheiten gesteigert werden?*
3. *Auf welche Kriterien muss bei der Entwicklung und dem Einsatz von VR-Lerneinheiten geachtet werden, um das volle Potenzial der Technologie zu nutzen?*

1.7 Forschungslücke

Immersive VR-Anwendungen sind im schulischen Kontext noch nicht weit verbreitet (Pirker et al., 2020). Ein möglicher Grund dafür könnte ein Mangel an Strategien und Konzepten zur Medienentwicklung und Integration der Technologie in den Unterrichtsprozess sein (Martin-Gutierrez et al., 2017). Hellriegel & Čubela (2018) vermuten, dass die schnelle Entwicklung der Technologie der Grund für die niedrigen Nutzerraten ist. Daher gibt es nur eine begrenzte Anzahl wissenschaftlicher Veröffentlichungen, die sich mit Virtual Reality in der Bildung und ihrem didaktischen Einsatz beschäftigen (Kröner et al., 2021). Bisher wurde nur wenig darüber geforscht, wie Virtual Reality in den Lehrplan und Unterricht integriert werden kann, weshalb für künftige Studien eine Zusammenarbeit zwischen Pädagogen und Spieleentwicklern erforderlich ist (Martin-Gutierrez et al., 2017; Pirker et al., 2020).

2 Related Work

In diesem Kapitel erfolgt eine Definition der Begriffe Immersion, Immersive VR, Präsenz und Agency. Anschliessend wird die bereits vorhandene Forschung zum Thema Virtual Reality und Virtual Reality in der Bildung zusammengefasst. Zusätzlich beinhaltet das Kapitel die Vorstellung des Lehrplans 21 sowie die Bedeutung und Zielsetzung im Fachbereich Natur, Mensch, Gesellschaft.

2.1 Definition Immersion

Der Begriff «Immersion» ist erst seit wenigen Jahren in der deutschen Sprache gebräuchlich, dennoch wird der Begriff derzeit in vielen Kontexten angewendet (Curtis, 2008). Unbeachtet, ob in der Kunst, der Design- und Konsumsphäre, in Medientechnologien, in der Bildung oder der industriellen Arbeitswelt (Mühlhoff & Schütz, 2017). Hergeleitet von dem lateinischen Verb *immergere*, beschreibt das deutsche Substantiv *Immersion* den Prozess des Eintauchens. Immersion adressiert im Bereich der Virtual Reality eine kognitive, wahrnehmungsphysiologische Dimension des Eintauchens. Die erwähnte Bedeutungsdimension verweist auf einen situativen Einbettungsmodus eines Subjekts in einer spezifischen Umgebung. Die zweite Bedeutungsdimension leitet sich vom englischen Verb *immerse* ab, das sich ins Deutsche mit zusammenfügen, verbinden, verschmelzen und ineinander übergehen übersetzen lässt (Mühlhoff & Schütz, 2017).

2.2 Immersive VR

Im Bereich der VR lassen sich verschiedene Formen erkennen. Eine bereits weite Verbreitung finden nicht-immersive VR-Anwendungen. Zu dieser Rubrik werden desktop-basierte Anwendungen wie z.B. Computerspiele oder Simulationen zugeteilt, die mithilfe von klassischen Eingabegeräten bedient werden (E. A.-L. Lee & Wong, 2014). Das ist bei immersiven VR-Welten anders, die nur mit zusätzlichen Geräten wie HMDs zugänglich werden. Hauptmerkmale solcher Umgebungen sind erstens die Immersion und zweitens das Gefühl «der Präsenz» (Sanchez-Vives & Slater, 2005). Die Immersionserfahrung entsteht, wenn gewisse technische Voraussetzungen geschaffen

werden (Dörner et al., 2019). Diese Voraussetzungen betreffen sowohl die Bewegung in der virtuellen Welt, das heisst die Bewegung des Kopfes verändert auch die dargestellte digitale Szene, als auch den Realismus der Darstellung in Bezug auf Farben, Auflösung und Aktionsmöglichkeiten (Slater & Sanchez-Vives, 2016). Wenn die Immersion entsprechend stark erlebt wird, kann das Gefühl einer realen Präsenz entstehen. Präsenz ist ein multidimensionales psychologisches Konstrukt und sorgt dafür, dass Menschen in der virtuellen Realität so handeln, wie sie es in der Wirklichkeit tun würden (Slater et al., 2006). Der Begriff «Präsenz» wird hauptsächlich in der psychotherapeutischen VR-Forschungsliteratur verwendet, während «Immersion» eher in der pädagogischen Psychologieforschung behandelt wird. Im Kontext des Lehrens und Lernens wird «to be immersed» derzeit als das Gefühl verstanden, sich eines bestimmten Kontextes emotional, geistig und körperlich bewusst zu sein und förmlich in ihn einzutauchen. Dadurch wird sichergestellt, dass die Lernenden konzentriert mit dem Lerninhalt interagieren (Georgiou & Kyza, 2017).

Für die Immersion sind nach Dörner et al. (2019) vier technische Eigenschaften der Ausgabegeräte erforderlich:

- **Inclusive:** Sinneseindrücke müssen ausschliesslich durch den Computer erzeugt werden, die die Benutzer von der realen Umgebung isolieren.
- **Extensive:** Möglichst viele Sinneseindrücke werden angesprochen.
- **Surrounding:** Die computersimulierte Welt muss den Benutzer vollständig umschliessen und darf ihn nicht auf ein enges Sichtfeld begrenzen.
- **Vivid:** Anschauliche Darstellung der Realität in VR, z. B. Auflösung, Farben, auditive Elemente usw.

Sherman & Craig (2002) bezeichnen diese technischen Eigenschaften auch als physische Immersion und unterscheiden davon die mentale Immersionserfahrung.

2.3 Immersive VR in der Bildung

Die Realisierungsmöglichkeit überzeugender Darstellungen in VR führt zunächst zu der Vermutung, dass diese Visualisierungen das Lernen anregen (Gerth & Kruse, 2020). Wie bei jedem anderen Medium sind jedoch auch bei VR didaktische Überlegungen und Lernaktivitäten entscheidend (Kerres, 2013; Kerres & Witt, 2003).

Nach Schwan & Buder (2002) und Dede (2009) gibt es für VR-Lernwelten folgende lernbezogene Handlungsoptionen:

1. **Explorationswelten:** Sie zielen auf die Vermittlung von deklarativem Wissen ab und befähigen die Lernenden, sich selbstständig und explorativ mit virtuellen Umgebungen zu beschäftigen. Verbunden mit aktivierenden Lernaufgaben, wie zum Beispiel dem Erstellen von Mindmaps, können solche Welten effektiv beim Aufbau neuer Wissensstrukturen sein (Parong & Mayer, 2018).
2. **Experimentalwelten:** Auf diese Weise können die Gesetze der Physik ausser Kraft gesetzt und kausale Zusammenhänge untersucht werden (Schwan & Buder, 2002).
3. **Trainingswelten:** Hier üben und trainieren Lernende Fähigkeiten und Fertigkeiten, die in realen Umgebungen nicht durchführbar sind, zum Beispiel weil sie zu gefährlich, zu teuer oder gar nicht zu realisieren sind. Solche Welten werden bereits häufig in der Berufsausbildung eingesetzt, beispielsweise in der Automobilindustrie oder bei der Ausbildung von angehenden Lackierern (Zender et al., 2020).
4. **Konstruktionswelten:** Lernende können in diesen Welten ihre eigenen Objekte oder sogar ganze virtuelle Welten selbständig erstellen. In der Bildung werden sie noch selten eingesetzt, auch weil ihre Herstellung technisch besonders anspruchsvoll ist (Radianti et al., 2020).

Zusammengefasst lässt sich feststellen, dass das Lernen mit VR motivierend, unterhaltsam und abwechslungsreich ist. Vor allem bei einer aktiven Teilnahme und Interaktion mit der virtuellen Welt zeigen verschiedene Studien bessere kognitive Erfahrungen und verstärkte Lerneffekte mit VR (Freina & Ott, 2015; Jensen & Konradsen, 2018; Krokos et al., 2019; Maas & Hughes, 2020). Der Grund dafür ist, dass das Lernen stärker emotional und immersiv verläuft, wodurch der Inhalt zusätzliche Relevanz erhält. Kritische Vorbehalte bleiben dennoch bestehen, da insbesondere Langzeitstudien und gross angelegte Forschungsprojekte fehlen (Radianti et al., 2020).

2.4 Eignung von VR-Anwendungen im Sachunterricht

Aufgabe des Sachunterrichts ist es, die Schüler dabei zu unterstützen, ihr natürliches, kulturelles, soziales und technisches Umfeld zu begreifen, zu verstehen und sich darin

zurechtzufinden (GDSU, 2013). Die Erfahrung mit dem Lerngegenstand – der Sache – ist ein wesentliches Moment in der Umweltgestaltung und hat nicht nur eine motivierende, sondern auch eine didaktische Wirkung (Kahlert et al., 2015).

Im Gegensatz zu einer losgelösten Behandlung von Teilaspekten des Lernstoffs in der Schule bieten Besuche an ausserschulischen Lernorten die besondere Chance, Lerninhalte ausserhalb des schulischen Kontextes an originären Orten und in originären Zusammenhängen und damit in authentischen Situationen zu erleben, zu erkunden und aktiv zu werden (Brade, 2015). Die Begegnung mit den Lerngegenständen in authentischen Situationen wirkt dem Entstehen verzerrter Grössenverhältnisse und der Fehlinterpretation von Zusammenhängen entgegen. Zudem werden individuelle Verbindungen und eine differenzierte Begriffsbildung ermöglicht (Bakenhus et al., 2022). Die kindlichen Lernformen fördern nicht nur die Handlungsbereitschaft durch emotionale Erfahrungen und Erlebnisse, sondern bilden auch eine Grundlage für die Entwicklung von Handlungskompetenzen (Bakenhus et al., 2022). Der praktische Umgang mit Lernobjekten an ausserschulischen Lernorten bildet die Grundlage für den Wissenserwerb der Kinder und erzeugt damit ein intensives und pädagogisch gewinnbringendes Lernumfeld (Kahlert et al., 2015).

2.5 Anforderungen an eine VR-Lerneinheit

Mulders et al. (2020) beschreiben mit dem M-iVR-L-Modell (Meaningful Immersive Virtual Reality Learning [framework]) ein Instruktionsdesign mit sechs Teilschritten für den Einsatz der VR-Technologie als Lernmöglichkeit.

2.5.1 Reduktion auf das Wesentliche

Im Mittelpunkt der VR-Lernumgebung steht das Eintauchen in eine virtuelle Welt, in der sich die Lernenden in der virtuellen Welt umsehen und mit ihr interagieren können. Auf diese Weise können auch schwer oder nicht zugängliche Orte, wie das Forschungsschiff «Sonne», erlebt und als Lernort genutzt werden (Bakenhus et al., 2022). Das Eintauchen in VR-Umgebungen ist allerdings mit einer hohen kognitiven Belastung (Cognitive Load) durch die Verarbeitung dieser virtuellen Welt behaftet (Richards & Taylor, 2015). Beim Einsatz einer solchen VR-Umgebung zum Lernen muss deshalb darauf geachtet werden,

dass der Immersionsgrad so detailliert wie nötig ist, die Lernenden aber gleichzeitig nicht vom Wesentlichen, dem jeweiligen Lernobjekt, abgelenkt werden (Bakenhus et al., 2022).

2.5.2 Lernrelevante Interaktionen anbieten

Es hat sich bereits gezeigt, dass körperliche Aktivitäten, die für das Lernen relevant sind, einen positiven Effekt auf den Erwerb von deklarativem Wissen haben (Fiorella & Mayer, 2016). Dies wurde teilweise für das Lernen mit VR-Umgebungen bestätigt, indem man einen Controller verwendet, um Aktivitäten in der virtuellen Welt durchzuführen (Scheiter et al., 2020). Zur Gestaltung einer guten VR-Lernumgebung empfehlen Mulders et al. (2020) jedoch, sich nicht uneingeschränkt auf Interaktionen zu stützen, sondern legen fest, dass zwei Dinge berücksichtigt werden müssen: Bewegung darf nur dann möglich sein, wenn sie für das Lernen relevant ist, und die Lernenden müssen darin geschult werden, die Interaktion zu steuern, bevor sie sich selbstständig in der virtuellen Welt bewegen (Mulders et al., 2020).

2.5.3 Komplexe Aufgaben in kleinere Einheiten aufteilen

VR-Lernumgebungen können anspruchsvoll sein. Das kann zu einer Überforderung der Lernenden führen. Um dem entgegenzuwirken, muss die VR-Lerneinheit in verschiedene kleine Sequenzen (Szenen) unterteilt werden. Studien haben bereits gezeigt, dass «Scaffolding», eine Lernstrategie als Rahmen für Hilfestellungen, die kognitive Belastung reduzieren und das Lernen verbessern kann (Parong & Mayer, 2018).

2.5.4 Immersives Lernen anleiten

Die kognitive Belastung kann auch durch eine gezielte und gut angeleitete Hilfestellung verringert werden. Diese Anleitung kann auf unterschiedliche Weise erfolgen. Pädagogische Akteure können durch die Umgebung führen und eine Orientierungshilfe bieten. Alternativ können wichtige Informationen herausgehoben werden oder Just-in-Time-Informationen gezielt an den benötigten stellen eingeblendet werden. Diese Hilfsmittel müssen so gestaltet werden, dass sie zunächst automatisch erscheinen und

ausgeblendet werden, während der Lernende die VR-Lerneinheit durcharbeitet (Mulders et al., 2020).

Der Punkt der Anleitung bezieht sich losgelöst vom thematischen Inhalt, auf die Transparenz der Methode und umfasst zum Beispiel die Verwendung und Handhabung der benötigten VR-Ausstattung. Anzumerken ist in diesem Zusammenhang, dass auch auf mögliche gesundheitliche Beeinträchtigungen wie die Motion Sickness, in Form von Schwindel und Übelkeit, geachtet werden muss (Bakenhus et al., 2022).

2.5.5 Auf vorhandenem Wissen aufbauen

Nach Huang et al. (2010) müssen die Lernaktivitäten, besonders beim Lernen mit VR, an vorhandenes Wissen anknüpfen, um eine Über- oder Unterforderung zu vermeiden. Es ist anzunehmen, dass junge Lernende wenig, bis gar keine Erfahrung mit VR-basierten Lernumgebungen haben, so dass die Gefahr besteht, dass die Technologie im Mittelpunkt steht und der Wissenserwerb in den Hintergrund rückt (Buchner, 2022; Han, 2020). Zunächst muss geklärt werden, welche Vorkenntnisse die Lernenden im Umgang mit VR haben. Ebenso ist es für einen nachhaltigen Wissenserwerb entscheidend, welches Vorwissen die Lernenden über die Fachinhalte haben, die durch die VR-Umgebungen vertieft werden. Basierend auf den Erkenntnissen über das Vorwissen und die Vorkenntnisse der Lernenden, muss ein Training zur Vorbereitung erstellt und die fachlichen Inhalte aufeinander abgestimmt werden (Mulders et al., 2020).

2.5.6 Konstruktive Lerninhalte anbieten

Zur Förderung eines nachhaltigen Wissenserwerbs muss eine VR-Lernumgebung einen aktiv konstruktiven Lernprozess ermöglichen. Wenn die bereits genannten Aspekte umgesetzt sind, muss dennoch darauf geachtet werden, dass die geschaffene Lernumgebung einem problemorientierten Ansatz folgt. Dabei können sowohl in der VR-Lernumgebung als auch ausserhalb gezielte Aufgaben gestellt werden, die einem problemorientiertem Ansatz folgen und somit aktiv und gezielt einen konstruktiven Lernprozess steuern (Mulders et al., 2020).

2.6 Fünf Prinzipien für den Lernerfolg

Unabhängig vom Alter der Lernenden kann Lernen im Allgemeinen als aktiver, selbstgesteuerter, produktiver, situativer und sozialer Prozess beschrieben werden, der einer gemässigten konstruktivistischen Sichtweise entspricht (Reinmann-Rothmeier & Mandl, 1997). Nach den Forschungen von Arnold (2020) im Bereich des pädagogischen Konstruktivismus können diese fünf Prinzipien für den Lernerfolg wie folgt beschrieben werden:

1. **Selbstgesteuert:** Die Lernenden müssen die Möglichkeit erhalten, ihr Wissen und ihre Lernwege selbst zu bestimmen. Sie müssen in der Lage sein, die Ergebnisse selbst zu kontrollieren, und bei der Übernahme von Verantwortung für das Lernen unterstützt werden. Die Voraussetzung für erfolgreiches selbstgesteuertes Lernen der Lernenden liegt in der Verantwortung des Lehrers.
2. **Produktiv:** Die Lernenden müssen in der Lage sein, verschiedene Perspektiven übernehmen zu können. Darüber hinaus muss das vorhandene Wissen der Lernenden in den Lernprozess einfliessen. Den Lernenden müssen Möglichkeiten zur Entdeckung und Stimulierung der Neugier geboten werden.
3. **Aktivierend:** Die Lernenden müssen verständliche Arbeitsaufgaben erhalten. Sie müssen in der Lage sein, Lösungen zu finden und diese zu beeinflussen.
4. **Situativ:** Die Unterrichtsmethode und das Unterrichtsthema müssen an die Situation der Lerngruppe und der Lernenden angepasst sein und an die Vorerfahrungen und Kenntnisse der Lernenden anknüpfen. Die Lösungen müssen anhand von Praxisbeispielen erarbeitet werden, die sich auf die Lernenden beziehen. Die Lernenden müssen Lösungsbeispiele in ihre eigene Praxis übertragen können und auch Empfehlungen für einen Praxistransfer erhalten.
5. **Sozial:** Lernen ist ein sozialer Prozess. Der Lernprozess kann durch die Förderung der gemeinsamen Erarbeitung von Lösungen verbessert werden. Auf diese Weise erhalten die Lernenden Wertschätzung und praktizieren zugleich wirksame Formen der Kommunikation (Arnold, 2020).

2.7 Einfluss von VR-Anwendungen auf den Lernerfolg

VR-Anwendungen haben das Potenzial, den Lernerfolg zu steigern und konstruktives Lernen zu fördern (Chavez & Bayona, 2018; Hellriegel & Čubela, 2018; Parong &

Mayer, 2018). Des Weiteren können mithilfe von VR schwierige und riskante Trainingserfahrungen (z.B. in der medizinischen und militärischen Praxis) virtuell erlernt werden. Das führt dazu, dass die Kosten der Ausbildung und das potenzielle Risiko der tatsächlichen Situation verringert werden können. Ausserdem können Schüler Orte und Situationen in der Welt erleben, die sie sonst nicht erfahren könnten, und so ihre Lernerfahrung bereichern (Reynard, 2017; Zender et al., 2020).

2.7.1 Lernen als selbstgesteuerter Prozess

Nach Arnold (2020), Reinmann-Rothmeier & Mandl (1997) und Shuell (1986) ist eine aktive Teilnahme des Lernenden erforderlich. Ohne einen selbstgesteuerten Anteil ist ein nachhaltiger Lernzuwachs nicht zu erreichen. Viele Unterrichtsmedien und -materialien können diesem Anspruch nur bedingt gerecht werden. VR-Anwendungen erlauben grundsätzlich mehr Interaktion oder Konstruktion als klassische Medien (Freina & Ott, 2015; Martin-Gutierrez et al., 2017; Schwan & Buder, 2002). Aus konstruktivistisch-didaktischer Sicht werden virtuelle Welten erst dann bedeutsam, wenn sich die Lernenden frei in den virtuellen Welten bewegen können, um die Lernobjekte in ihrem eigenen Tempo zu erkunden und Standpunkte frei zu gestalten. Dies hat den Vorteil, dass verschiedene Lerntypen gleichermassen angesprochen werden können (Hellriegel & Čubela, 2018; Schwan & Buder, 2002). Des Weiteren kann VR die Art und Weise verändern, wie ein Lernender mit dem Lernstoff interagiert. VR setzt Interaktion voraus. Sie ermutigt zur aktiven Teilnahme statt zur Passivität. Der Teilnehmer, der mit der virtuellen Umgebung interagiert, wird ermutigt, die Interaktion fortzusetzen, indem er die Ergebnisse sofort sieht (Pantelidis, 2009). Somit lässt sich ein hoher Lernerfolg insbesondere dann erzielen, wenn die Lernenden aufgrund der Ergebnisse ihres eigenen Handelns eigene Entscheidungen treffen können, um die von ihnen selbst gesetzten Ziele zu erreichen (Hellriegel & Čubela, 2018; Zender et al., 2018).

2.7.2 Lernen als produktiver und motivierender Prozess

Begeisterung, Motivation und Emotionen können als wichtige Faktoren für den Lernerfolg angesehen werden (Gieseke, 2003). Um die intrinsische Motivation der Lernenden zu fördern, ist es jedoch notwendig, an die Lebenswelt, die Interessen und die individuellen Ausgangssituationen der Lernenden anzuknüpfen (Siebert, 1991). Der

Vorteil von VR-Anwendungen liegt insbesondere darin, dass sie mehrere Sinneskanäle ansprechen (Schwan & Buder, 2005), komplexe Sachverhalte greifbar machen (Koehler et al., 2013) und den Lernenden frei wählbare Handlungsoptionen zur Verfügung stellen können, um idealerweise selbstgesteuerte Entscheidungen zu treffen und virtuelle Welten zu erkunden (Martin-Gutierrez et al., 2017). In einer Metastudie weisen Freina & Ott (2015) darauf hin, dass ein klarer Zusammenhang zwischen virtuellen Technologien und der Förderung der Motivation der Lernenden hergestellt werden kann. Auch Martin-Gutierrez et al. (2017), Pantelidis (2009) und Vogel et al. (2006) weisen auf einen Zusammenhang zwischen VR und der Motivation der Lernenden hin (Hellriegel & Čubela, 2018).

2.7.3 Lernen als situativer und praxisbezogener Prozess

Schüßler & Thurnes (2005) beschreiben Lernen als einen systematischen, situationsbezogenen und weitgehend «selbstorganisierten Aneignungsprozess». Bailenson et al. (2008) heben das Potenzial der VR hervor, Themen im Unterricht zu behandeln, die in einer realen, physischen Umgebung entweder zu teuer oder zu gefährlich wären. Damit erweitert sich das Spektrum der Erfahrungen, die gesammelt werden können. Selbst komplexe und abstrakte Zusammenhänge sowie Konzepte und Sachverhalte, die im Normalfall schwer zu vermitteln sind, können durch VR anschaulich gemacht werden. Schwan & Buder (2005) sprechen in diesem Kontext auch von «metaphorischen Veranschaulichungen». Der Vorteil dieser Visualisierung liegt darin, dass der Lerngegenstand einen konkreten Kontext, d.h. ein konkretes Szenario, erhält und authentisch gestaltete Lernumgebungen geschaffen werden (Koehler et al., 2013). Die Lernenden können komplexe Sachverhalte aus der Ego-Perspektive betrachten und in physischer Präsenz konkrete Bezüge herstellen (Martin-Gutierrez et al., 2017). Desgleichen können sie sich in einem virtuellen Körper präsent fühlen, der nicht ihr eigener Körper ist, aber als solcher wahrgenommen werden kann (Bailenson et al., 2008).

2.7.4 Lernen als sozialer Prozess

An Schulen wird häufig kooperatives Lernen eingesetzt, um Wissen zu vermitteln. Bei dieser interaktiven und strukturierten Form des Lernens wird davon ausgegangen, dass die Schüler durch Interaktion mehr lernen als durch individuelle Arbeit (Fürstenau &

Gomolla, 2009). Reinmann-Rothmeier & Mandl (1997) bezeichnen u.a. Lernen als sozialen Prozess, da es einen interaktiven Austausch darstellt und auch soziokulturellen Einflüssen ausgesetzt ist.

Virtuelle Umgebungen bieten das Potenzial für Interaktion und Zusammenarbeit zwischen den Lernenden und fördern Diskussions- und Feedbackprozesse (Martin-Gutierrez et al., 2017; Youngblut, 1998). Eine virtuelle Umgebung kann auch für mehrere reale Personen eingerichtet werden. Ein Beispiel hierfür können Lehrer als Tutoren sein, die das Verhalten und den Lernfortschritt überwachen und sofortige Rückmeldungen geben können (Schwan & Buder, 2005). Wie stark VR-Angebote für soziale Interaktion und Kommunikation genutzt werden können, hängt jedoch stark von der didaktischen Zielsetzung des jeweiligen Angebots ab. Eine Diskussion in der Gruppe nach der Anwendung oder sogar während der Anwendung sind weitere Möglichkeiten der Interaktion und Zusammenarbeit zwischen den Lernenden. Ob eine gemeinsame VR-Einheit sinnvoll ist, hängt jedoch von der didaktischen Zielsetzung ab (Hellriegel & Čubela, 2018).

2.8 Faktoren zur Erreichung von Präsenz

Präsenz kann grob mit einem Gefühl des "Da-Seins" übersetzt werden (Frank, 2014). Ijsselsteijn & Riva (2003) unterteilen die Determinanten von Präsenz in mediengestützten Umgebungen in Benutzereigenschaften und Medienmerkmale. Da Präsenz mit der Wahrnehmung zusammenhängt, gibt es eine individuelle Komponente (d.h. verschiedene Personen können als Reaktion auf dieselbe Erfahrung ein unterschiedliches Mass an Präsenz erleben). Dies könnte zum Beispiel mit den Aufmerksamkeitskapazitäten einer Person zusammenhängen. In Bezug auf die Medienmerkmale beziehen sich Ijsselsteijn & Riva (2003) auf Sheridan (1992), der drei Arten von Determinanten der Präsenz vorschlägt.

1. Umfang der dargebotenen sensorischen Informationen
2. Ausmass der Kontrolle, die man über die Sensoren in der Umgebung hat
3. Ausmass, in dem man die Umwelt und ihre Objekte verändern kann (Sheridan, 1992)

Die erste Determinante bezieht sich auf den Grad der Immersion, den das betreffende System bietet. Die zweite und die dritte Determinante hängen mit dem Grad der Kontrolle zusammen, die die Umgebung bietet, wobei die Unmittelbarkeit, mit der sie ausgeführt wird, eine zentrale Rolle spielt (Witmer & Singer, 1998). Die Darstellungsgenauigkeit umfasst Variablen wie die Realitätsnähe der Darstellung, die Sanftheit der Wiedergabe und die Konsistenz des Objektverhaltens (Dalgarno & Lee, 2010).

2.9 Faktoren zur Erreichung von Agency

Nach (Moore & Fletcher, 2012) kann «sense of agency» (hier als «Agency» bezeichnet) als ein Gefühl beschrieben werden, Handlungen zu erzeugen und zu kontrollieren. Der wichtigste Einflussfaktor für die Handlungsfähigkeit in virtuellen Umgebungen ist, dass die Nutzer die Kontrolle über ihre Handlungen haben und in der Lage sind, diese Kontrolle über die Parameter der Umgebung auszuüben (Johnson-Glenberg, 2019). Daraus folgt, dass immersive virtuelle Umgebungen, in denen keine Interaktion möglich ist und in denen der Benutzer einer festen Erzählung folgt, eine geringe Handlungsfähigkeit (Agency) aufweisen (Kilteni et al., 2012). Darüber hinaus verweisen Kilteni et al. (2012) auf Studien, die auf eine besondere Rolle der Übereinstimmung zwischen einer tatsächlichen Bewegung und dem entsprechenden visuellen Feedback bei der Erzeugung von Agency hinweisen. Dieses Phänomen hängt mit der Vorwärtsmodellierung des zentralen Nervensystems (ZNS) zusammen (Farrer et al., 2008). In diesem Sinne stellt das ZNS die vorhergesagten sensorischen Folgen einer bestimmten Bewegung dar, die dann mit den tatsächlichen sensorischen Rückmeldungen verglichen werden, die als Folge der Bewegung auftreten (Farrer et al., 2008). Wenn diese miteinander korrelieren, führt dies zu einer Agency (Farrer et al., 2008). Daraus folgt, dass eine (anatomisch korrekte oder nicht korrekte) Körperrepräsentation und die Fähigkeit, diese Repräsentation zu kontrollieren, wichtig sind, um in immersiven Umgebungen Agency zu erleben (Makransky & Petersen, 2021).

2.10 Herausforderungen von VR-Anwendungen in der Bildung

VR weist eine Reihe von Schwächen aus technologischer, organisatorischer und psychologischer Sicht auf (Velev & Zlateva, 2017). Deshalb werden VR-Anwendungen

derzeit von Lehrenden nur zögerlich eingesetzt (Zender et al., 2018). Beispielsweise sind leistungsstärkere VR-Systeme, die zugleich einen performanten Rechner benötigen, kostspielig (Zender et al., 2018).

Eine weitere Herausforderung stellt der Implementierungsaufwand dar. Die Umsetzung von VR-Anwendungen ist anspruchsvoll. Immer komplexer werdende Programmlogiken und die Unterstützung verschiedener Endgeräte erschweren die Anwendungsentwicklung (Velev & Zlateva, 2017). Die Umsetzung kann nicht allein von Lehrern oder Informatikern geleistet werden, da Kenntnisse in Programmierung, Grafikdesign, Pädagogik und pädagogischer Psychologie erforderlich sind (Liu et al., 2017; Pantelić & Plantak Vukovac, 2017).

Die heutige VR-Generation bietet noch viel Entwicklungspotenzial (Zender et al., 2018). In der VR sticht vor allem die Erzeugung von haptischem Feedback durch die vollständige und realistische Simulation von Widerstand, Elastizität, Struktur und Temperatur hervor, die derzeit fehlt (LaValle, 2016).

VR-Eingabe- und Ausgabegeräte erscheinen in der Regel mit eigenen SDKs, die stark an die entsprechende Hardware gebunden sind. Diese herstellerspezifischen Lösungen erschweren die Integration in existierende Systeme und den Wechsel zu anderen Endgeräten (Velev & Zlateva, 2017). Offene Standards wie VRPN oder OSVR konnten sich bisher nicht durchsetzen. Oft werden aber zumindest die gängigsten Entwicklungsumgebungen wie Unity oder Unreal unterstützt, die sich bereits als führende Entwicklungsumgebungen für VR und AR (Augmented Reality) bewährt haben (Anthes et al., 2016).

Neben den zuvor genannten technischen und organisatorischen Herausforderungen gilt es die bildungsspezifischen Herausforderungen zu beachten. Die Begeisterung für VR-Lernanwendungen wird derzeit durch einen grossen Neuigkeitseffekt verstärkt. Dieser vergeht jedoch rapide und ist anschliessend für die tatsächliche Wirksamkeit von Lernwerkzeugen unbedeutend (Kerres, 2003).

Eine der wesentlichen Herausforderungen von VR-Lernanwendungen ist die derzeit kaum vorhandene konzeptionelle didaktische Grundlage (Zender et al., 2018). In vielen Standardwerken zur Mediendidaktik fehlt die explizite Behandlung der VR-Technologie (Kerres, 2018; Rey, 2010). Ausserdem weisen Akçayır & Akçayır (2017) auf folgende weitere Herausforderungen hin, die die Lernerfahrungen mittels VR einschränken: Hoher

Zeitbedarf, ungeeignet für grosse Gruppen und mögliche kognitive Überlastung der Lernenden und fehlgeleiteter Aufmerksamkeitsfokus (Akçayır & Akçayır, 2017).

Der Einsatz von VR erfordert von Lehrenden und Lernenden Medienkompetenz (Zender et al., 2018). Die Lernenden müssen zuerst den Umgang mit dem Medium beherrschen. Der Erwerb dieser Kompetenzen wird derzeit noch stark durch die Gerätevielfalt, sperrige Head-Mounted Displays sowie kontraintuitive Benutzeroberflächen und unzureichende Hilfestellungen im Zusammenhang mit kaum verbindlichen Standards erschwert (Akçayır & Akçayır, 2017). Lehrende müssen die Lernmedien ebenfalls bedienen und des Weiteren mit Fehlermeldungen umgehen können (Castellanos & Pérez Sancho, 2017).

Weitere Faktoren, die den Einsatz von VR-Anwendungen in der Bildung erschweren, sind gesundheitliche Bedenken wie Übelkeit, Schwindel und Augenschmerzen, die besonders bei der Verwendung von VR auftreten können (LaViola et al., 2017). Zurückzuführen ist dies auf widersprechende Sinneseindrücke (Keshavarz et al., 2014). Darüber hinaus kann immersive VR intensive Illusionen erzeugen, deren physiologische und psychologische Auswirkungen schwer zu beurteilen sind (Zender et al., 2018).

2.11 Chancen von VR-Anwendungen in der Bildung

Bouvier (2008) weist auf die Wichtigkeit einer überzeugenden und glaubwürdigen Erfahrung in der virtuellen Realität für den Nutzer hin. Die Nutzer müssen sich mit dem Spiel identifizieren können und ein Gefühl der Präsenz und des Eintauchens verspüren (Bouvier, 2008).

Die VR-Technologie bietet eine volle Beeinflussung der Lernumgebung. Die potenziell vollständige Einflussnahme auf die simulierte Umwelt durch die Technologie ist ein wesentliches Merkmal von VR. Die Technologie kann dazu genutzt werden, die Einschränkungen der physischen Realität zu verringern (Freina & Ott, 2015). Diese betreffen hauptsächlich die Zeit, den Ort (z. B. die Betrachtung des Sonnensystems von aussen), die Gefährlichkeit und die Ethik (Zender et al., 2018).

Ausserdem ermöglicht VR die Erlebbarkeit von Lerninhalten. Die Mehrzahl der bisher in virtuellen Umgebungen realisierten Lerninhalte präsentiert die Wissensinhalte durch ein

propagiertes intensiveres Mass an Anschaulichkeit und Greifbarkeit der Simulation (Zender et al., 2018).

Wie bereits erwähnt fördert VR das Lernen als situativen Prozess. Nach der Theorie des situierten Konstruktivismus entstehen die Wissensstrukturen bei den Lernenden durch ihre Handlungen in bestimmten Situationen (Brown et al., 1989). Daher wird die Simulation von authentischen, realen Situationen oft als eine Stärke von VR-Lernanwendungen erachtet (Zender et al., 2018).

VR ermöglicht die Übertragung der psychomotorischen Fähigkeiten auf das reale Leben. Auf der Grundlage des VR-Lernens als situativen Prozess besteht die Hoffnung, dass die Lernenden das Gelernte auf andere Kontexte und später auf die Anwendung übertragen können. Diese Hoffnung hat sich bereits in mehreren VR-Lernszenarien bestätigt, z.B. für Handlungskompetenzen, die auf psychomotorischer Ebene erworben werden (Rose et al., 2000).

Präsenz kann das Lernerlebnis verstärken. Die Annahme, dass die Präsenz in einer VR-Lernumgebung insbesondere Gedächtnisprozesse fördert, ist bisher nicht zweifelsfrei belegt (Zender et al., 2018). So gibt es widersprüchliche Ergebnisse bei der Untersuchung der Wirkung von Immersion (als Voraussetzung für Präsenz) auf die Gedächtnisleistung (Mania & Chalmers, 2001; Moreno & Mayer, 2002).

VR-Lernumgebungen können verschiedene Lerntypen gleichermassen ansprechen. E. A. Lee et al. (2010) führten 2010 eine breit angelegte Studie durch, um die These zu untersuchen, dass VR-gestütztes Erfahrungslernen gut geeignet ist, um verschiedene Arten von Lernenden anzusprechen. Für die Lerntypen Accommodator und Assimilator konnte diese These im Hinblick auf eine konkrete VR-Lernanwendung bestätigt werden (Zender et al., 2018).

VR fördert das technikbezogene Interesse und die dahinterstehende Motivation des Lernenden. Darüber hinaus gibt es Erwartungen hinsichtlich des motivierenden Aspekts von VR. Neue Technologien sind aufgrund ihrer Neuartigkeit in der Lage, auch bei weniger technikaffinen Personen ein kurzfristiges, technikbezogenes Interesse zu wecken (Zender et al., 2018).

2.12 Lehrplan 21

Der Lehrplan 21 ist ein gemeinsamer Lehrplan für die deutschsprachigen Kantone der Schweiz. Mit einem gemeinsamen Lehrplan werden die verschiedenen Ziele der Volksschulen in der Deutschschweiz harmonisiert und somit an jeder Volksschule in den verschiedenen Kantonen die gleichen Themenbereiche unterrichtet (D-EDK, 2016).

2.13 Bedeutung und Zielsetzung im Fachbereich Natur, Mensch, Gesellschaft

Für den Fachbereich Natur, Mensch, Gesellschaft (NMG) steht im Zentrum die Auseinandersetzung der Schüler mit der Welt. Die Schüller müssen lernen, sich mit Naturphänomenen, unterschiedlichen Lebensformen, vielfältigen sozialen und kulturellen Errungenschaften aus verschiedenen Perspektiven auseinanderzusetzen (D-EDK, 2016).

Wenn Kinder und Jugendliche der Welt begegnen und sich mit ihr beschäftigen, nehmen sie neue Phänomene, Dinge und Situationen wahr, machen sie sich zu eigen und integrieren diese in ihr Weltbild. Dabei gewinnen sie zunehmend an Orientierung in der Welt und erwerben Handlungsfähigkeit. All dies erfordert Wissen und Können, Erfahrungen und Interessen und geschieht in einem Prozess, in dem die vier Handlungsaspekte miteinander verknüpft sind und sich ständig abwechseln. Hierfür sind folgende vier Handlungsaspekte von zentraler Bedeutung (D-EDK, 2016).

Tabelle 1: Handlungsaspekte von Lernenden (D-EDK, 2016)

Die Welt wahrnehmen	Die Schüler nehmen wahr, was sie umgibt und wie die Dinge sie beeinflussen. Sie drücken ihre eigenen Wahrnehmungen, Ideen und Erfahrungen aus und entwickeln Neugier und Interesse an der Welt.
Sich die Welt erschliessen	Die Schüler erkunden soziale, kulturelle und natürliche Situationen und Phänomene. Sie stellen Fragen, forschen und erkunden die Welt aus verschiedenen

	Perspektiven. Auf diese Weise erweitern sie schrittweise ihr Wissen und ihre Einsichten.
Sich in der Welt orientieren	Die Schüler teilen Phänomene, Dinge und Situationen sowie Eindrücke und Erkenntnisse in Kontexte ein. Sie analysieren und bewerten aktuelle und vergangene Situationen und reflektieren sie. Dabei strukturieren und vertiefen sie ihre Einsichten und entwickeln Sachkonzepte. Sie gewinnen zunehmend an Orientierung in der Welt, ausgerichtet auf aktuelle und zukünftige Herausforderungen.
In der Welt handeln	Die Schüler treffen Entscheidungen und handeln überlegt. Sie wenden Wissen kreativ und konstruktiv an, beteiligen sich an der Gestaltung ihrer Umwelt und übernehmen Mitverantwortung für sich, für die Gemeinschaft und für die Gesellschaft. Dabei werden Selbstständigkeit, Dialog- und Kooperationsfähigkeit im Hinblick auf ein kompetentes und zukunftsorientiertes Handeln in der Welt gefördert.

Die vier beschriebenen Handlungsaspekte stehen in einer wechselseitigen Beziehung zueinander (D-EDK, 2016). Folgende Abbildung illustriert diese wechselseitige Beziehung.

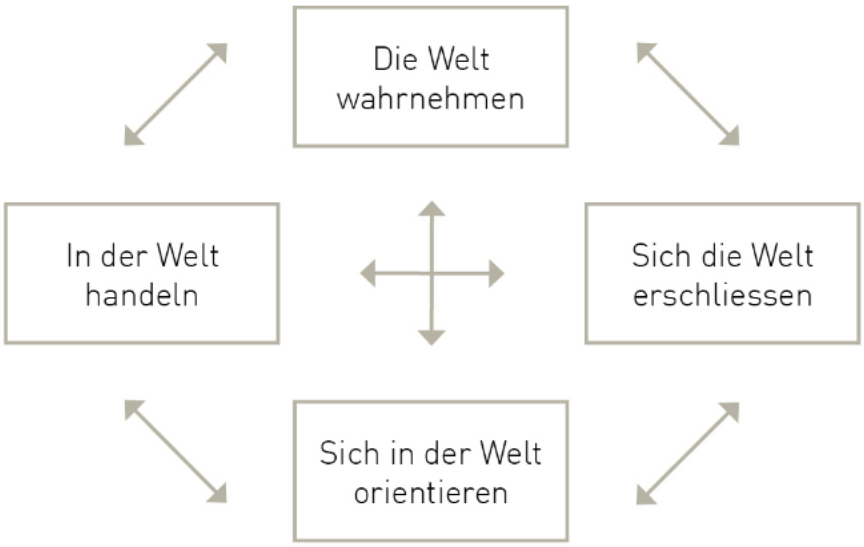


Abbildung 1: Handlungsaspekte von Lernenden in der Begegnung und Auseinandersetzung mit der Welt (D-EDK,2016)

3 Forschungsansatz

In diesem Kapitel wird die der Arbeit zugrunde liegende Forschungsmethodik genauer erläutert. Die verwendete Forschungsmethode wird detailliert beschrieben sowie die einzelnen Methoden erläutert. Des Weiteren wird auf das zentrale Artefakt dieser Arbeit sowie auf die Projektstruktur eingegangen.

3.1 Forschungsparadigma

Die vorliegende wissenschaftliche Arbeit bedient sich an dem Design Science Ansatz nach Hevner et al. (2004). Design Science Research ist ein Forschungsparadigma, bei dem ein Designer durch die Schaffung innovativer Artefakte Antworten auf Fragen gibt, die für menschliche Probleme relevant sind, und so neues Wissen zum wissenschaftlichen Kenntnisstand beiträgt. Die entworfenen Artefakte sind sowohl nützlich als auch grundlegend für das Verständnis des jeweiligen Problems (Hevner & Chatterjee, 2010). Das Modell vereint die Paradigmen der Verhaltenswissenschaft und der Designwissenschaft und wird während der Forschung an den jeweiligen Kontext angepasst. Die Umgebung enthält die Ziele, Aufgaben, Probleme und Möglichkeiten, die den Bedarf definieren. Gemeinsam bilden sie den Geschäftsbedarf. Der Geschäftsbedarf wird als Referenzmodell oder zugehöriges IT-Artefakt verstanden. Die Forschungsaktivitäten sind auf diesen Geschäftsbedarf ausgerichtet, wodurch die Relevanz der Forschung gewährleistet wird. Rigorosität wird durch die entsprechende Anwendung vorhandener Prinzipien und Methoden aus der Wissenschaft erzielt. Die Designwissenschaft konzentriert sich auf die Forschung anhand der Erstellung und Bewertung von Artefakten zur Erfüllung von festgestellten/vordefinierten Anforderungen. Die Verhaltenswissenschaft konzentriert sich auf die Entwicklung und Überprüfung von Theorien zur Erklärung oder Vorhersage von Phänomenen im Zusammenhang mit festgestellten Geschäftsanforderungen (Hevner et al., 2004). Die folgende Abbildung 2 beschreibt den genannten Design Science Research Ansatz nochmals grafisch.

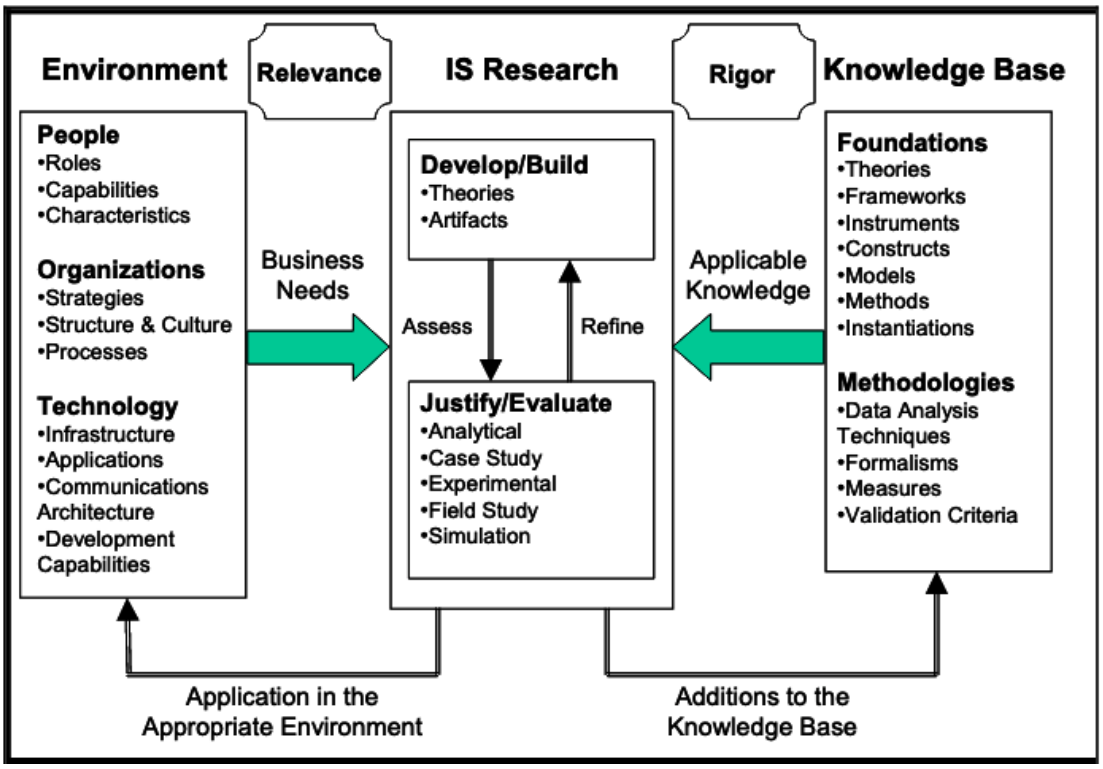


Abbildung 2: Informationssystemrahmenwerk (Hevner et al., 2004)

Das Grundprinzip des Design Science Research ist, dass Wissen und Verständnis für ein Designproblem und seine Lösung durch die Schaffung und Anwendung eines Artefakts erworben werden. Aus dem Grundprinzip lassen sich sieben Leitlinien ableiten, welche in der folgenden Tabelle dargestellt sind (Hevner et al., 2004). In diesem Zusammenhang stellt ein Artefakt eine technische Lösung für ein Forschungsproblem dar. Die zu optimierende Lerneinheit ist das Artefakt für die vorliegende Arbeit. Folgende Tabelle 2 listet die Leitlinien nach Hevner auf.

Tabelle 2: Leitlinien nach Hevner (2004)

Leitlinie	**Beschreibung**
1 Design als Artefakt	Design Science Research erfordert ein tragfähiges Artefakt in Form eines Konstrukts, eines Modells, einer Methode oder einer Instanziierung.
2 Relevanz des Problems	Ziel ist es, technologiebasierte Lösungen für wichtige und relevante Probleme der Wirtschaft zu entwickeln.

3 Design-Bewertung	Der Nutzen, die Qualität und die Wirksamkeit eines Artefakts müssen durch gut durchgeführte Evaluierungsmethoden rigoros nachgewiesen werden.
4 Beitrag zur Forschung	Effektives Design Science Research muss klare und überprüfbare Beiträge in den Bereichen Design-Artefakt, Design-Grundlagen und/oder Design-Methoden liefern.
5 Rigorosität	Design Science Research stützt sich auf die Anwendung rigoroser Methoden sowohl bei der Konstruktion als auch bei der Bewertung des Artefakts.
6 Design als Suchprozess	Mithilfe von Design Science Research wird das Ergebnis schrittweise weiterentwickelt, um eine optimale Lösung zu erreichen, die allen Anforderungen gerecht wird.
7 Kommunikation der Forschung	Die Ergebnisse der Forschung müssen dem Fachpublikum verständlich präsentiert und zugänglich gemacht werden.

Hevner et al. (2004) raten von einer obligatorischen oder auswendigen Anwendung der Leitlinien ab. Vielmehr helfen diese sieben Leitlinien Forscher, Gutachter, Herausgeber und Leser die Anforderungen an eine effektive Design Science Research zu verstehen.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Optimierung eines bestehenden Artefakts (1. Leitlinie), für den Einsatz eines qualitativen Feldexperiments (2. Leitlinie). Mit der Hilfe des Artefakts wird die Wirksamkeit der optimierten VR-Lerneinheit im schulischen Kontext ermittelt. Die Lerninhalte werden auf die Ziele des Lehrplans 21 im Fachbereich Natur, Mensch, Gesellschaft abgestimmt (3. Leitlinie). Die VR-Lerneinheit trägt einen Beitrag zur Evaluation der Lerneffektivität von VR im schulischen Kontext bei (4. Leitlinie). Die Optimierung der VR-Lerneinheit und die Durchführung des Feldexperiments greifen auf rigorosen Forschungsmethoden aus der Literatur zu (5. Leitlinie). Die VR-Lerneinheit wird basierend auf dem Prototyping-Ansatz inkrementell verbessert, um eine optimale Lösung zu erzielen (6. Leitlinie). Die Ergebnisse aus der Forschung werden innerhalb der Arbeit präsentiert und veröffentlicht. Die Forschungsergebnisse werden in der Masterthesis vorgestellt und veröffentlicht. Das Artefakt könnte des Weiteren im realen Schulalltag unterrichtet werden (7. Leitlinie).

3.2 Literaturrecherche

Im Rahmen einer systematischen Literaturrecherche wird das Thema Virtual Reality sowie der Bezug zur Pädagogik und Didaktik untersucht. Es werden gezielt Inhalte aus der Literatur ausgewählt, die sich mit immersiver VR im Bildungskontext befassen. Nach einer ersten Einarbeitung in das Thema VR, immersive VR und Pädagogik wurde eine Suchstrategie definiert, die von Cooper (1988) beschrieben wurde. Einschlägige Literatur wurde in den folgenden Forschungsdatenbanken recherchiert: SpringerLink, ACM Digital Library, IEEE Xplore Digital und Web of Science. In den Forschungsdatenbanken wurden die folgenden Suchbegriffe verwendet:

- Virtual Reality
- «Immersive» Virtual Reality
- «Immersive» Virtual Reality in «Education»
- Lehrplan 21
- Potential of VR in education
- Learning effects of Virtual Reality
- Allgemeine Didaktik
- Didaktik Naturwissenschaft
- Design Science Hevner
- Qualitatives Feldexperiment

Ausserdem werden weitere pädagogische und didaktische Anforderungen und Inhalte gemeinsam mit den Lehrpersonen erarbeitet, um diese in die Optimierung der VR-Lerneinheit einfliessen zu lassen.

3.3 Evolutionäres Prototyping

Das Ziel des evolutionären Prototypings ist die inkrementelle Produktentwicklung, d.h. eine sukzessive Entwicklungsstrategie mit folgendem Ansatz: Ein Prototyp wird für diejenigen Nutzeranforderungen entwickelt, die von Anfang an offensichtlich sind. Das Ergebnis dient als Basis für den späteren Nutzer und für den nachfolgenden iterativen Prozess, in dem neue Nutzeranforderungen integriert werden. Bei diesem Ansatz wird

nicht mehr zwischen Prototyp und Produkt unterschieden, dennoch ist die Bezeichnung Prototyp angemessen, da die ersten Versionen sicherlich nicht als Endprodukt angesehen werden können (Bischofberger & Pomberger, 1992; Steinweg, 1995).

Die Optimierung der VR-Lerneinheit erfolgt nach dem Ansatz des evolutionären Prototypings. Bis auf die Erstellung der VR-Lerneinheit, wurden bisher keine sukzessiven Optimierungen und Weiterentwicklungen durchgeführt. Die Optimierung erfolgt aufgrund von Designanforderungen, die gemeinsam mit Lehrpersonen erhoben werden. Nutzer, die der Zielgruppe entsprechen, testen nach Umsetzung der Designanforderungen die VR-Lerneinheit. Dabei müssen sie während der Durchführung der Lerneinheit «laut denken». Basierend auf den Beobachtungen und Rückmeldungen der Nutzer, werden weitere Detailarbeiten durchgeführt und die VR-Lerneinheit anschliessend erneut getestet.

3.4 Qualitatives Feldexperiment

Der qualitative Forschungsansatz hat sich aus den Geisteswissenschaften entwickelt und ist primär hermeneutisch ausgerichtet (Döring & Bortz, 2016). Typisch für den qualitativen Ansatz ist eine bewusst unstrukturierte oder wenig strukturierte Vorgehensweise, die unerwartete Erkenntnisse zulässt (Blatter et al., 2018). Der Fokus liegt auf einer sehr detaillierten und umfassenden Analyse einiger weniger Fälle, die in der natürlichen Umgebung untersucht werden (Bendig, 2018). Der qualitative Forschungsansatz beantwortet offene Forschungsfragen, passt sich flexibel an den Untersuchungsgegenstand an und dient der Theoriebildung (Döring & Bortz, 2016; Flick et al., 2019). Qualitative Forschung basiert auf den folgenden Qualitätskriterien: Vertrauenswürdigkeit und Authentizität (Döring & Bortz, 2016).

Ziel eines Experiments ist die theoriegestützte Prüfung des kausalen Zusammenhangs zwischen einer oder mehreren **unabhängigen Variablen (UV)** auf die Ausprägung einer oder mehrerer **abhängiger Variablen (AV)**. Die untersuchten kausalen Faktoren sind die unabhängigen Variablen. Die Auswirkungen werden anhand der abhängigen Variablen gemessen. Die einfachste Form des Versuchsplans arbeitet mit einer zweistufigen unabhängigen Variablen, was zu einem **Zwei-Gruppen-Plan** führt (Versuchsgruppe vs. Kontrollgruppe). Die Auswirkungen des ursächlichen Faktors werden an mindestens einer kardinalskalierten abhängigen Variablen gemessen. Im Experiment wird die

unabhängige Variable als Versuchsvariable grundsätzlich von den Forschern manipuliert. Dies bedeutet eine aktive Schaffung von Kausalbedingungen (Döring & Bortz, 2016).

Zur Ermittlung des Lernerfolgs von VR-Lerneinheiten wird ein qualitatives Feldexperiment durchgeführt. Als Erstes werden Schulklassen inklusive Lehrpersonen ausfindig gemacht, die bereit sind an dem Feldexperiment teilzunehmen und diese Arbeit zu unterstützen. Der Aufbau und die Planung des Zeitraums erfolgen in enger Abstimmung.

Die Zielgruppe der VR-Lerneinheit und des Feldexperiments sind Schüler der Mittelstufe von Volksschulen. Diese sind zwischen neun und fünfzehn Jahre alt.

Das qualitative Feldexperiment wird mit Schülern der Realschule in Neuhausen am Rheinfall und der Primarschule in Stein am Rhein durchgeführt. Die unabhängige Variable stellt das Lernmedium (VR-Lerneinheit vs. Frontalunterricht) dar. Der Wissenszuwachs ist die abhängige Variable. Mögliche Störgeräusche und Ablenkungen durch die Umwelt sowie die unterschiedliche Motivation und Einstellung zum Lernen der Probanden sind der Kontrollvariablen zuzuordnen. Die unterschiedliche Motivation und Einstellung zum Lernen können mit einer randomisierten Zuteilung der Probanden in die jeweiligen Probandengruppen kontrolliert werden. Störvariablen, auf die kein Einfluss genommen werden kann, sind Schwierigkeiten innerhalb der VR-Lerneinheit, sowie Schwindel und Übelkeit, die durch die Sinnestäuschung auftreten können. Die Probandengruppe VR ist die Versuchsgruppe und die Probandengruppe Frontalunterricht ist die Kontrollgruppe des qualitativen Feldexperiments. Das Experiment ist ein realistischer Feldversuch, so dass eine externe Validität gegeben ist. Die Messung des Wissenszuwachses wird mithilfe einer Prä- und Post-Messung umgesetzt. Hierfür wird ein Fragebogen entworfen, der vor der Durchführung der Lerneinheit ausgefüllt wird. Die Prä-Messung dient der Ermittlung des vorhandenen Wissensstandes. Nach Durchführung der Lerneinheit, mit dem entsprechenden Medium, wird die Post-Messung durchgeführt. Die Differenz zwischen den beiden Messungen stellt den Wissenszuwachs der Probanden dar. Die Ergebnisse der Messung der Experimentalgruppe (Probandengruppe VR) werden mit den Ergebnissen der unbehandelten Kontrollgruppe (Probandengruppe Frontalunterricht) verglichen. In dem Post-Fragebogen für die Probandengruppe VR werden die Probanden zusätzlich nach ihrer subjektiven Bewertung zur durchgeführten VR-Lerneinheit befragt. Diese Frage hat keinen Einfluss auf die Messergebnisse. Für weitere qualitative Erkenntnisse werden bei der Durchführung der Lerneinheit die

Probandengruppen jeweils beobachtet und das Verhalten der Probanden protokolliert und anschliessend ausgewertet.

Die zu vermittelnden Lerninhalte für den Frontalunterricht werden aus der VR-Lerneinheit extrahiert (siehe Anhang A.3). Die Lerninhalte des Fontalunterrichts aber auch der VR-Lerneinheit entsprechen den Zielen des Lehrplans 21 im Fachbereich Natur, Mensch, Gesellschaft.

Für eine erfolgreiche Durchführung des Feldexperiments wird frühzeitig ein regelmässiger Austausch mit den betreuenden Lehrpersonen gepflegt. Die Lehrpersonen unterstützen mit Verbesserungsvorschlägen die Aufbereitung der Lehrinhalte sowie die Erstellung des Fragebogens.

3.5 Konzeption des Fragebogens

Der Fragebogen für die Prä- und Post-Messung enthält zwölf Fragen. Bei der Konzeption des Fragebogens, wird auf die Lerninhalte der VR-Lerneinheit zurückgegriffen, welche die Lernziele, Lernkompetenzen und didaktischen Qualitätsmerkmale des Lernplans 21 im Fachbereich Natur, Mensch, Gesellschaft, sowie die Prinzipien für den Erfolg des Lernens erfüllen. Ein weiterer wichtiger Faktor ist die altersgemässe Gestaltung des Fragebogens. Die Schüler in den Probandengruppen sind zwischen neun und fünfzehn Jahre alt. Daher müssen die Fragen mit einer einfachen Wortwahl und in kurzen Sätzen gestellt werden. Ausserdem werden Hinweise zur Beantwortungsart der Fragen benötigt. Die Schrift muss deutlich grösser als üblich ausfallen und es werden Hilfslinien zum Schreiben benötigt. Die Gestaltung des Fragebogens erfolgt iterativ. Für den Gestaltungsprozess werden regelmässig Anpassungsvorschläge von den unterstützenden Lehrpersonen der Schulen berücksichtigt. Für die Messbarkeit des Wissenszuwachs werden den einzelnen Fragen unterschiedliche Punktzahlen vergeben. Insgesamt sind 34 Punkte zu erreichen. Der fertige Fragebogen (siehe Anhang A.4) wird mit einem Schüler getestet, der zwar der Zielgruppe entspricht, jedoch nicht am Feldexperiment teilnimmt, um eventuelle Schwierigkeiten und Fehler aufzudecken (siehe Anhang A.5).

Im Einzelnen lauten die Fragen wie folgt:

F1) Um welchen Faktor ist die Erde grösser als der Mond? Kreuze an. (1 Punkt)
F2) Wer umkreist wen (zwei richtige Antworten)? Kreuze an. (2 Punkte)

F3) Wer ist grösser? Kreuze an. (1 Punkt)

F4) Verbinde die jeweiligen Grössen. (3 Punkte)

F5) Wer hat welche Entfernung zur Erde? Verbinde. (1 Punkt)

F6) Wie lange benötigt die Erde, um die Sonne zu umkreisen? Kreuze an. (1 Punkt)

F7) Nenne alle 8 Planeten unseres Sonnensystems. (8 Punkte)

F8) Wie entstehen Mondkrater? Erkläre in kurzen Sätzen. (5 Punkte)

F9) Wer hat weniger Anziehungskraft? Kreuze an. (1 Punkt)

F10) Wer war der erste Mensch auf dem Mond? Nenne seinen Namen. (2 Punkte)

F11) Wie viele Menschen waren bisher auf dem Mond? Kreuze an. (1 Punkt)

F12) Benenne die 8 Mondphasen. (8 Punkte)

Zusatzfrage des Post-Fragebogens für die Probandengruppe VR:

- Wie gut hat dir die VR-Lerneinheit gefallen? Kreuze die Punktzahl an.

Der fertige Fragebogen mit den korrekten Lösungen ist in Anhang A.4 zu finden.

3.6 Artefakt

Die zu optimierende Lerneinheit ist das zentrale Artefakt dieser Arbeit. Dieses fördert zum einen den Einsatz der VR-Technologie im Bereich der Bildung und zum anderen unterstützt das Feldexperiment neue Erkenntnisse hinsichtlich des Lernerfolgs zu gewinnen.

3.7 Projektaufbau

Die Projektstruktur dieser Arbeit kann in fünf Teilbereiche unterteilt werden.

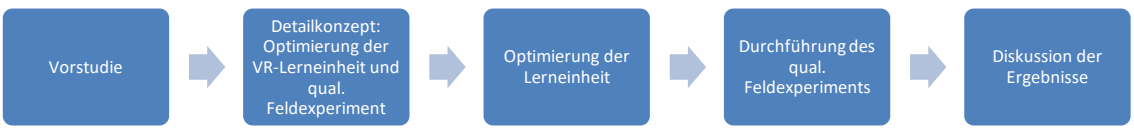


Abbildung 3: Projektaufbau (eigene Darstellung)

Vorstudie

Im Rahmen der Vorstudie wurde eine Literaturanalyse durchgeführt, um den aktuellen Stand des Einsatzes der Virtuellen Realität im Bildungskontext festzustellen. Des Weiteren wurden die Aspekte Immersion, Präsenz und Agency aufgearbeitet, sowie mit dem Lehrplan 21 vertraut gemacht. Ein wesentlicher Punkt dieser Arbeit ist das qualitative Feldexperiment, weshalb eine genaue Einarbeitung in diese Methodik stattfand. Die Anforderungserhebung für die Optimierungen wurde mithilfe von Lehrpersonen der Realschule in Neuhausen am Rheinfall und der Primarschule in Stein am Rhein durchgeführt sowie ein Zeitfenster für das qualitative Feldexperiment vereinbart. Parallel dazu fand eine Einarbeitung in die Entwicklungsplattform «Unity» statt, um sich mit der Entwicklungsumgebung vertraut zu machen und die Möglichkeiten kennenzulernen.

Detailkonzept zur Optimierung der Lerneinheit

Die Anforderungserhebung für die Optimierung erfolgte während der Vorstudie. Dabei haben die Lehrpersonen die VR-Lerneinheit durchlaufen und «laut gedacht». Die Kommentare und Anforderungen wurden aufgenommen und anschliessend in einer Tabelle kategorisiert (siehe Kapitel 4.1).

Detailkonzept qualitatives Feldexperiment

Für die Ermittlung, ob mithilfe einer VR-Lerneinheit ein besserer Lernerfolg erzielt werden kann, wurde ein qualitatives Feldexperiment durchgeführt. Dabei wurden die Probanden randomisiert in eine Versuchs- und Kontrollgruppe eingeteilt. Für die Erfolgsmessung wurde, basierend auf den Inhalten der VR-Lerneinheit, ein Fragebogen erstellt, der der Prä- und Post-Messung diente.

Optimierung der Lerneinheit

Nach der Erhebung und Kategorisierung der Verbesserungsanforderungen, erfolgte die Optimierung der Lerneinheit. Dabei kam die Methode des evolutionären Prototypings zum Einsatz, die im Methodenkapitel ausführlich beschrieben wurde (siehe Kapitel 3.3). Nach jedem Optimierungsschritt wurden Feedbackschleifen durchgeführt, um weitere

Erkenntnisse und Anforderungen zu gewinnen und diese in die weitere Entwicklung einfliessen zu lassen.

Durchführung des qualitativen Feldexperiments

Die Durchführung des qualitativen Feldexperiments erfolgte Anfang Mai 2022. Gesamthaft wurden drei Schultage aufgewendet. 31 Schüler nahmen an dem Experiment teil. Die Probanden der Gruppe VR durchliefen die VR-Lerneinheit nacheinander, damit das individuelle Verhalten beobachtet werden konnte.

Diskussion der Ergebnisse

Am Ende der Arbeit werden die Ergebnisse diskutiert und die eingangs gestellten Forschungsfragen beantwortet. Schliesslich wird ein Ausblick auf zukünftige Arbeiten gegeben.

4 Ergebnisse

In diesem Kapitel der Arbeit werden die Ergebnisse beschrieben. Zu Beginn werden die erhobenen Anforderungen sowie die Optimierung der VR-Lerneinheit beschrieben. Nachfolgend werden die Durchführung und Auswertung des qualitativen Feldexperiments dargestellt.

4.1 Designanforderungen

Die bereits bestehende VR-Lerneinheit wurde mit einem Realschullehrer in Neuhausen am Rheinfall und einem weiteren Lehrer einer Primarschule in Stein am Rhein durchgeführt. Während der Durchführung haben die Lehrpersonen «laut gedacht». Dabei wurden einige Designanforderungen zur Verbesserung der VR-Lerneinheit gemeinsam ermittelt. Der Fokus lag auf der Immersion und den didaktischen Lehrinhalten.

Die folgende Tabelle fasst die ermittelten Designanforderungen zusammen. Dabei wird zwischen Didaktik, Immersion und Steuerung unterschieden.

Tabelle 3: Designanforderungen an die VR-Lerneinheit Sonne-Erde-Mond (eigene Darstellung)

Designanforderung	**Beschreibung**	**Kategorie**
Szene: Erde		
DA1	Lauffähigkeit der VR-Lerneinheit auf allen gängigen VR-Geräten für die Durchführung von zukünftigen Projekten.	Steuerung
DA2	Abgestimmte Bedienung der Touchpads des linken und rechten Controllers zur einfacheren Handhabung.	Steuerung
DA3	Implementation weiterer Umgebungsgeräusche wie Wind- und Waldgeräusche. Dies begünstigt die Immersion.	Immersion

DA4	Anhebung der Lautstärke der Umgebungsgeräusche. Diese sind derzeit kaum wahrnehmbar.	Immersion
DA5	Schüler müssen in der Lerneinheit viel von Informationsschildern ablesen, um sich die Bedienungsgrundlagen der VR-Lerneinheit anzueignen. Dasselbe gilt auch für die Lerninhalte. Implementation einer Tonausgabe mit einem Avatar. Schüler brauchen für das Lernen eine Bezugsperson (begleitetes Lernen) (Jansen & Streit, 2006).	Didaktik
DA6	Implementation einer Schaltfläche, um bei Bedarf Erklärungen erneut zu hören.	Steuerung
DA7	An den einzelnen Lernstationen sieht man in der VR-Lerneinheit Erde, Sonne und Mond und eine dazugehörige Beschreibung. Es sind keine Interaktionen mit den Objekten möglich, wie beispielsweise das Drehen des Erdballs. Implementation von Interaktionsmöglichkeiten für Erde, Sonne und Mond, um Schüler zum Lernen anzuregen.	Didaktik
DA8	Verbreiterung der Laufwege. Stellenweise fühlt man sich als Nutzer eingeengt.	Immersion
DA9	Die Relation der Grössen von Erde, Sonne und Mond ist nicht gegeben. Derzeit haben Erde, Sonne und Mond ähnliche Dimensionen. Anpassung der Relationen zwischen Erde, Sonne und Mond. Die Sonne um ein Vielfaches	Immersion / Didaktik

	grösser gestalten, um beim Nutzer einen bleibenden Eindruck zu hinterlassen.	
DA10	Die Texturen von Sonne und Mond wirken unnatürlich. Die Sonne ist als diese nicht zu erkennen. Implementation qualitativ hochwertiger Texturen für Sonne und Mond.	Immersion
DA11	An der Wurfstation steht auf dem Informationsschild geschrieben, dass die Bälle mit dem «Trigger» Knopf des Controllers aufgenommen werden können. Schüler könnten dieses Wort nicht verstehen. Intuitiver ist es, die einzelnen Knöpfe des Controllers mit dem jeweiligen Finger, der aufliegt zu assoziieren. Beispielsweise: «Drücke mit deinem Zeigefinger, um den Ball aufzunehmen». Anpassung der Informationsschild-Beschreibung, um Unklarheiten zu vermeiden	Steuerung
DA12	Implementation eines Basketballkorbs für die Wurfstation, um die Motorik der Schüler zu fordern, und für die bessere Einschätzung der Schwerkraft.	Didaktik
DA13	Bälle verschwinden/fallen durch den Boden der Landschaft. Korrektur des Fehlverhaltens der Bälle.	Immersion
DA14	Es besteht die Gefahr, dass die Schüler den richtigen Weg verlassen. Verkürzung der Distanz zwischen der Wurfstation und dem Haus.	Didaktik

DA15	Die Umgebung im Klassenraum wirkt unübersichtlich und Schüler müssen viel lesen. Implementation eines Avatars zur Erläuterung der Aufgabe im Klassenzimmer sowie einer Schaltfläche für das Neustarten der Erklärung.	Steuerung
DA16	Gegenstände können nur mit der rechten Hand aufgenommen werden. Linkshänder sind dadurch benachteiligt. Implementation der Greiffunktion für den linken Controller.	Steuerung
DA17	Wenn eine Antwort an der Tafel falsch zugeordnet wird, ertönt die Tonausgabe «falsch!». Für Kinder ist das demotivierend. Anpassung der Tonausgabe. Implementation der Tonausgabe: «Leider falsch».	Didaktik
DA18	Wenn bei der Aufgabe in der Schule ein Antwortobjekt versehentlich fallen gelassen wird, ertönt die Tonausgabe «falsch». Beseitigung der Tonausgabe für versehentlich fallengelassene Antwortobjekte, um Irritationen zu vermeiden.	Immersion
DA19	Die Rakete in der VR-Lerneinheit ist beeindruckend. Implementation einer Startrampe, die die Schüler hinauflaufen können.	Immersion
Szene: Reise zum Mond		

DA20	Die Dimensionen des Spielers innerhalb der Rakete sind fehlerhaft: Schaut man nach unten, ist der Boden zu nah und die Gegenstände zu gross. Korrektur der Spieler- und Objektdimensionen.	Immersion
DA21	Die von der Rakete aus zu beobachteten Planeten sind statisch und bewegen sich somit nicht. In dieser Situation wird das Sonnensystem aus der Vogelperspektive betrachtet und entspricht somit nicht dem Flug zum Mond. Entweder muss der Blickwinkel richtig gesetzt oder der Kontext gegeben werden. Dynamisierung des Sonnensystems und Perspektivenwechsel des Spielers.	Didaktik / Immersion
DA22	Implementation einer Planetenbeschriftung.	Didaktik
DA23	Das Sonnensystem ist von der Rakete zu weit entfernt. Die Planeten sind kaum zu erkennen. Umplatzierung des Sonnensystems für eine bessere Erkennbarkeit.	Immersion
DA24	Die Umgebungsgeräusche innerhalb der Rakete sind zu laut und die Tonausgabe kann nur schwer verstanden werden. Reduktion der Umgebungsgeräusche innerhalb der Rakete.	Immersion / Didaktik
DA25	Implementation eines dynamischen Verhaltens von Sonne, Erde und Mond in der Ansicht	Immersion / Didaktik

	«Grössenverhältnis» und die Ergänzung von Sonneneruptionen.	
Szene: Mond		
DA26	Die Umgebung auf dem Mond ist zu statisch. Implementation von dynamischen Inhalten wie ein Meteoriteneinschlag, um die Entstehung von Mondkratern nochmals zu verdeutlichen.	Immersion / Didaktik
DA27	Die Bälle an der Wurfstation mit dem jeweiligen Gewicht beschriften. Das kann den Denkprozess nachhaltig anregen. Schüler machen sich Gedanken, welche Gewichte auf dem Mond hochgehoben werden können, die auf der Erde für sie persönlich zu schwer sind. Ausserdem dient die Beschriftung Schülern mit einer Sehbeeinträchtigung die Bälle besser zu unterscheiden. Beschriftung der Bälle mit einem entsprechendem Wurfgewicht, um den Denkprozess nachhaltig anzuregen.	Didaktik
DA28	Als Nutzer kann man sich nicht nah genug an die Bälle bewegen. Es macht den Anschein, dass eine «unsichtbare Wand» im Weg steht. Das hat zur Folge, dass die Bälle nur mühsam erreicht werden können. Ermöglichung einer besseren Erreichbarkeit der Bälle.	Steuerung
DA29	Wiedergabe eines Soundeffekts beim Öffnen der Raumstationstüren	Immersion

DA30	Implementation einer individuellen Auswahlmöglichkeit der einzelnen Mondphasen.	Steuerung
DA31	Die Sonne, die zur Erklärung der Mondphasen verwendet wird, ist dunkel und wirft einen Schatten. Das entspricht nicht der Realität. Korrektur der fehlerhaften Eigenschaften der Sonne.	Immersion
DA32	Durchmischung der Antwortmöglichkeiten nach Eingabe einer falschen Antwort bei der Mondphasen-Aufgabe. Dadurch wird das Erraten der richtigen Antwort durch «wildes Probieren» erschwert und die Komplexität der Aufgabenstellung gesteigert.	Didaktik
DA33	Die Bilder bei der Aufgabe zur Beantwortung der Mondphasen sind zu dunkel. Aufhellung der Mondphasenbilder für eine bessere Erkennbarkeit.	ENTFÄLLT
Szene: Rückreise zur Erde		
DA34	Die Lerneinheit mit einem Sprung aus der Rakete beenden. Das ist als kleine Mutprobe angedacht und sorgt für einen prägnanten Eindruck. Ermöglichung eines Sprungs aus der Rakete zur Beendigung der VR-Lerneinheit.	Didaktik

4.2 Optimierung der Lerneinheit

Für die Optimierung der gegebenen VR-Lerneinheit wurde das Prinzip des evolutionären Prototypings angewendet. Diese Methode wurde gegenüber anderen Softwareentwicklungsmethoden bevorzugt, da eine bestehende VR-Lerneinheit («Prototyp») zur Verfügung stand und Anforderungen für die Optimierung gesammelt werden konnten. Die Anforderungen wurden gemeinsam mit den betreuenden Lehrpersonen im Rahmen der Vorstudie aufgenommen. Nutzer, die der Zielgruppe entsprachen, haben die VR-Lerneinheit getestet, wobei sie während der Durchführung «laut denken» mussten. Basierend auf den gesammelten Feedbacks wurden weitere Feinoptimierungen vorgenommen. Ziel der Optimierungen war die Verbesserung der Immersion sowie die Verbesserung der didaktischen Inhalte. Die VR-Lerneinheit diente als Artefakt für das qualitative Feldexperiment.

4.2.1 Szene 1: Erde

Im ersten Optimierungsschritt wurde die Szene «Erde» verbessert. Hauptziel der Verbesserung war hier das Erreichen einer abgestimmten Steuerung sowie eine geräteunabhängige Lauffähigkeit der VR-Lerneinheit.

Anforderungen:

DA1. Geräteunabhängige Lauffähigkeit der VR-Lerneinheit
DA2. Abgestimmte Bedienung der Controller
DA3. Ergänzung von Umgebungsgeräuschen
DA4. Optimale Lautstärke der Umgebungsgeräusche
DA5. Implementation eines Avatars für die Tonausgabe
DA6. Neustartmöglichkeit der Tonausgabe
DA7. Interaktionsmöglichkeiten mit Erde, Sonne und Mond
DA8. Verbreiterung der Laufwege
DA9. Anpassung der jeweiligen Grössenverhältnisse von Erde, Sonne und Mond
DA10. Verbesserung der Texturen von Sonne und Mond
DA11. Anpassung der Controller-Beschreibung
DA12. Ergänzung eines Wurfziels für die Wurfstation
DA13. Korrektur der Landschaftseigenschaft

DA14. Verkürzung des Laufwegs zum Klassenzimmer

DA15. Implementation eines Avatars und einer Replay-Schaltfläche

DA16. Ergänzung der Greiffunktion für den linken Controller

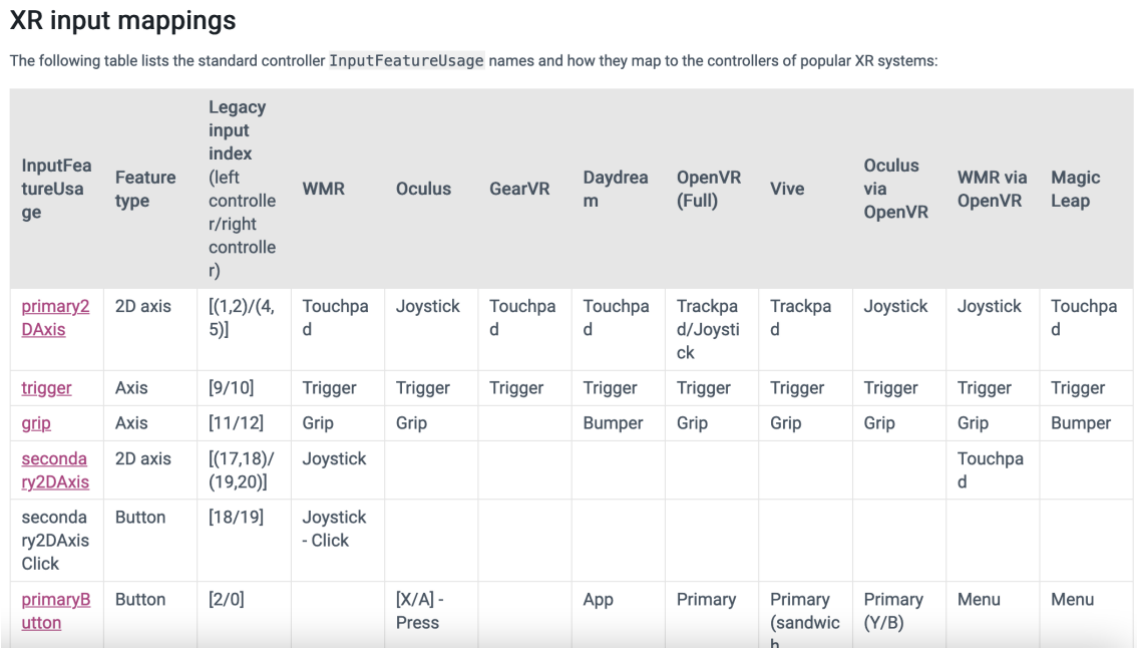
DA17. Anpassung der Tonausgabe für fehlerhafte Antworten

DA18. Beseitigung der Tonausgabe für fallengelassene Objekte

DA19. Ergänzung einer Startrampe für die Rakete

Ergebnis:

Die VR-Lerneinheit sowie das dazugehörige Unity-Entwicklungsprojekt waren zu Beginn nur auf der HTC Vive Pro lauffähig. Durch die Umstellung der einzelnen Komponenten des «XR Interaction Toolkits» von «Deviced Based» zu «Action Based» wird eine geräteunabhängige Lauffähigkeit erreicht. Mit den «Action Based» XR-Komponenten wird ein Mapping für das «Input System» von vielen gängigen VR-Set Herstellern unterstützt. Abbildung 4 zeigt einen Teilausschnitt der unterstützten Plattformen und deren Mapping.



XR input mappings

The following table lists the standard controller `InputFeatureUsage` names and how they map to the controllers of popular XR systems:

InputFeatureUsage	Feature type	Legacy input index (left controller/right controller)	WMR	Oculus	GearVR	Daydream	OpenVR (Full)	Vive	Oculus via OpenVR	WMR via OpenVR	Magic Leap
primary2DAxis	2D axis	[(1,2)/(4,5)]	Touchpad	Joystick	Touchpad	Touchpad	Trackpad/Joystick	Trackpad	Joystick	Joystick	Touchpad
trigger	Axis	[9/10]	Trigger	Trigger	Trigger	Trigger	Trigger	Trigger	Trigger	Trigger	Trigger
grip	Axis	[11/12]	Grip	Grip		Bumper	Grip	Grip	Grip	Grip	Bumper
secondary2DAxis	2D axis	[(17,18)/(19,20)]	Joystick							Touchpad	
secondary2DAxisClick	Button	[18/19]	Joystick - Click								
primaryButton	Button	[2/0]		[X/A] - Press		App	Primary	Primary (sandwich	Primary (Y/B)	Menu	Menu

Abbildung 4: Teilausschnitt des XR Input System Mappings[1]

Im Laufe des Projekts wurde die Umstellung erfolgreich mit einer Oculus Quest 2 des Technologie-Konzerns Meta getestet. Für das erfolgreiche Starten des Projekts mussten

[1] https://docs.unity3d.com/2020.2/Documentation/Manual/xr_input.html

die «Project build settings» für die entsprechende Plattform umgestellt werden, bevor der «Build» für das Entwicklungsprojekt ausgeführt werden konnte. Das Umstellen auf die Plattform Android führte dazu, dass Unity die Texturen im Projekt herunterskalierte, da Android-basierte VR-Sets über eine geringere Leistungsfähigkeit verfügen. Beim Testen der VR-Lerneinheit mittels einer Oculus Quest 2 wurde festgestellt, dass die Hardware-Komponenten des VR-Sets über eine unzureichende Leistung verfügen. Somit kann die erste Szene (Erde) der VR-Lerneinheit während der Laufzeit nicht berechnet werden. Bemerkbar wird das durch eine stark ruckelnde VR-Umgebung. Für die restlichen Szenen wurden keine Leistungsprobleme festgestellt. Um das Problem zu lösen, können laut der Unity-Community verschiedene Parameter in den «Quality Settings» des Projekts angepasst werden. In diesem Projekt hat das Anpassen der Parameter zu keiner Leistungsverbesserung geführt. Auch das Verkleinern der Spiellandschaft, für eine Minimierung des Berechnungsaufwands, führte zu keinem Erfolg. Mit der HTC Vive Pro konnten derartige Probleme nicht festgestellt werden. Nichtsdestotrotz kann die Designanforderung DA1 als umgesetzt erachtet werden.

Die Bedienung der Touchpads der beiden Controller, die für das Bewegen und Umschauen des Spielers benötigt werden, war jeweils unterschiedlich. Während der linke Controller eine kontinuierliche Bewegung des Spielers ermöglichte, konnte mit dem rechten Controller, nur durchs Tippen, die Sicht um jeweils 90°, in die entsprechende Richtung, geändert werden. Mit dem Austausch der «XR Snap Turn Provider (Device-based)» Komponente durch die «XR Continuous Turn Provider (Action-based)» Komponente konnte die Anforderung DA2 erfüllt und somit eine abgestimmte Bedienung des Spielers erreicht werden. Nun können Nutzer, mittels dem rechten Controller, sich in der VR-Umgebung umschauen, solange diese den Knopf in die entsprechende Richtung gedrückt halten.

Mit der Anforderung DA3 wurden typische Windgeräusche gewünscht, die die Umgebung realistischer wirken lassen und so die Immersion begünstigen. Realisiert wurde diese Anforderung mit einer Audiodatei, auf der Windgeräusche und das Rauschen von Blättern enthalten sind. Diese Datei wurde zur bestehenden Audiodatei, bei der das Zwitschern von Vögeln enthalten ist, hinzugefügt. Beide Audiodateien werden in einer Dauerschleife abgespielt, solange sich der Nutzer in der Szene aufhält.

Die ursprüngliche Lautstärke der Umgebungsgeräusche war niedrig, sodass diese kaum wahrgenommen wurden. Mit der Erhöhung der Lautstärke der entsprechenden «Audio Source» konnte die Anforderung DA4 umgesetzt werden.

Schüler brauchen für eine optimale Beantwortung von Aufgaben eine Bezugsperson (Jansen & Streit, 2006). Anforderung DA5 steigert die didaktische Qualität der VR-Lerneinheit. Der eingefügte Avatar verkörpert eine Lehrerin. Sobald eine Tonausgabe mittels eines «Box Colliders», der als «Trigger» konfiguriert ist, ausgelöst wird, beginnt die Lehrerin ihre Lippen passend zu den Wörtern zu bewegen und je nach Stimmlage verschiedenste Emotionen auszudrücken. Für die passende Animation der Lippenbewegungen und Emotionen, wurde das «Animation Tool» SALSA LipSync in das Projekt importiert und für jeden Avatar angewandt, wodurch die Anforderung erfüllt werden konnte. Abbildung 5 zeigt die Einstellungen eines Avatars.

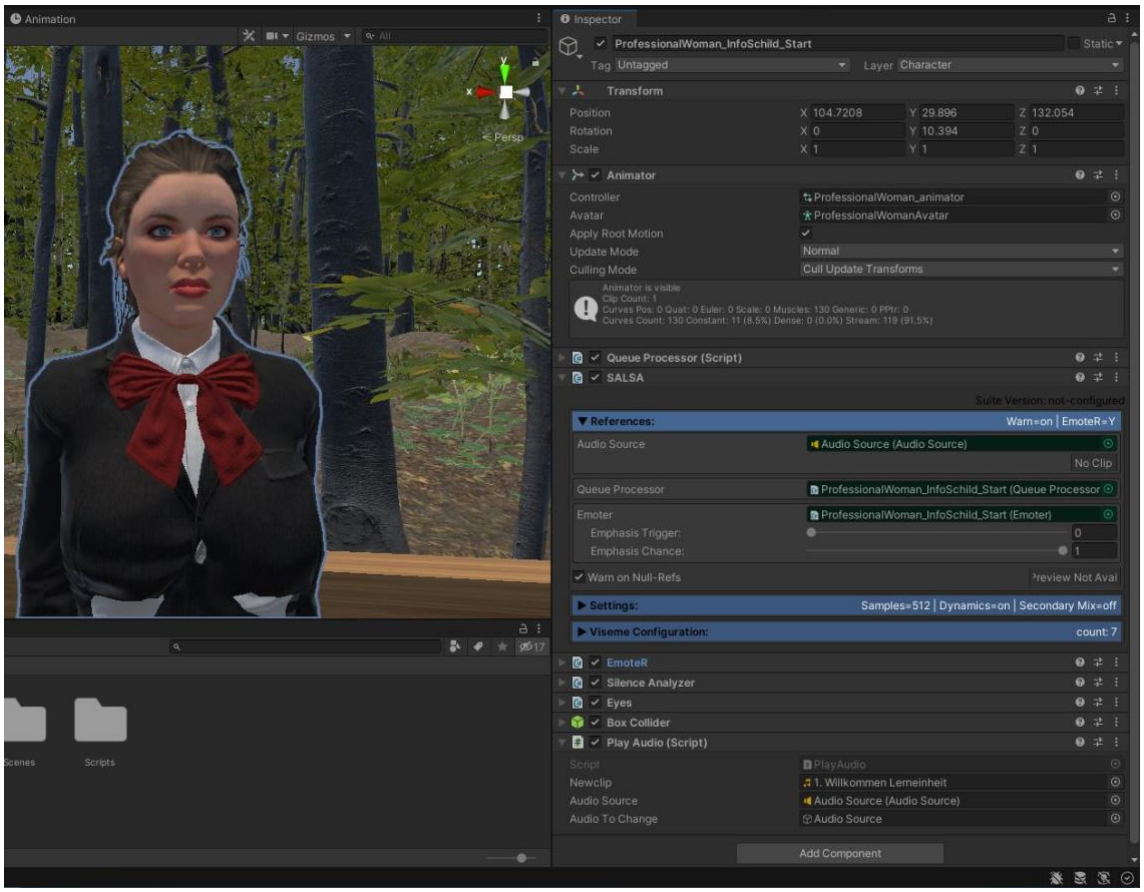


Abbildung 5: Avatar mit Lippenbewegungen und Emotionen (eigene Darstellung)

Mit der Designanforderung DA6 sind Schaltflächen gefordert, mit denen die Tonausgaben erneut gestartet werden können. Umgesetzt wurde die Anforderung jedoch auf eine andere Weise, um die Komplexität der VR-Lerneinheit nicht zu erhöhen. Solange

sich der Nutzer an der entsprechenden Lernstation (in dem entsprechenden «Box Collider») aufhält, wiederholt sich die Tonausgabe nach einer definierten Zeit automatisch. Das iterative Testing mit potenziellen Nutzern ergab, dass 30 Sekunden eine optimale Zeitspanne ist, um die Tonausgabe zu wiederholen.

Die Laufwege der ursprünglichen Version waren schmal. Die Lehrpersonen, mit denen die Anforderungen aufgenommen wurden, haben sich in der Bewegungsfreiheit eingeschränkt gefühlt. Aufgrund der Anforderung DA8 wurden die Laufwege an den entsprechenden Stellen verbreitert.

Die Objekte Erde, Sonne und Mond haben sich in ihrer Grösse nicht signifikant unterschieden. Damit die Schüler nach Durchführung der VR-Lerneinheit die Grössenverhältnisse von Erde, Sonne und Mond richtig einordnen können, muss die Relation entsprechend übereinstimmen. Um der Anforderung DA9 nachzukommen, wurde die Grösse des Objekts Sonne deutlich vergrössert. So wird beim Lernenden ein bleibender Eindruck bezüglich der Grösse der Sonne entstehen. Die Grösse des Mondes hingegen wurde signifikant verkleinert, damit dieser im Vergleich zur Sonne und Erde auch klein erscheint.

Die Texturen für die Objekte Sonne und Mond hatten einen Bedarf für Verbesserung. Anforderung DA10 beschreibt die mangelhafte Qualität der Texturen und den Wunsch nach einer Optimierung. Für die Erfüllung der Anforderung wurden neue «Assets» aus dem Unity Asset Store heruntergeladen. Speziell für das Objekt Sonne wird ein Asset verwendet, bei welchem die Sonnenoberfläche dynamisch erscheint. Des Weiteren ist in diesem Asset eine «Light» Komponente enthalten, welche inmitten des Objektes eingebaut ist, um das Sonnenlicht zu realisieren. Die folgenden Abbildungen 6 und 7 zeigen einen Vorher-Nachher-Vergleich, nach Umsetzung der Anforderung DA10.

Abbildung 6: Vorher-Nachher-Vergleich der Sonne (eigene Darstellung)

Abbildung 7: Vorher-Nachher-Vergleich Mond (eigene Darstellung)

Lernende im Alter zwischen neun und fünfzehn Jahren kennen den Begriff «Trigger» nicht. Selbst Lernende, die in ihrer Freizeit Computerspiele spielen, kennen den in der Gamingwelt gängigen Begriff nicht zwangsläufig, weshalb mit der Anforderung DA11 die Beschreibung an der Ballwurfstation angepasst wird. So stand ursprünglich an der Station geschrieben, dass Bälle mit dem rechten Trigger aufgenommen werden können. Eine intuitivere Beschreibung kann mit dem Verweis auf die Hand des Spielers erzielt werden. VR-Controller sind so konzipiert, dass der Zeigefinger immer auf dem Trigger aufliegt. In der Beschreibung steht nun geschrieben, dass der Nutzer seinen rechten Zeigefinger nutzen muss, um einen Ball zu greifen.

Mit DA12 wurde ein Wurfziel in Form von einem Basketballkorb gefordert, um die Bälle durch den Korb werfen zu können. Zu Beginn konnten die Bälle nur nach vorne, auf die

Fläche des Terrains, geworfen werden. Mit einem Wurfziel wird die Motorik der Lernenden gefördert und ein besseres Gefühl für die Schwerkraft auf der Erde vermittelt. Zur Erfüllung der Anforderung wurde ein Basketballkorb-Asset aus dem Unity Asset Store heruntergeladen und in die Szene eingefügt. Abbildung 8 zeigt einen Vorher-Nachher-Vergleich der Wurfstation.

Abbildung 8: Vorher-Nachher-Vergleich der Wurfstation (eigene Darstellung)

Bälle, die nach dem Wurf auf den Boden aufkamen, sind durch das Terrain verschwunden. DA13 fordert die Behebung dieses Verhaltens. Das Fehlverhalten wurde durch das Einfügen eines «Box Colliders», der flach auf den Boden gelegt wurde, behoben. Landschaften, die aus dem Unity Asset Store heruntergeladen werden können, enthalten stellenweise Mängel im «Terrain Collider», die mit dem Einfügen eines darüberliegenden Colliders behoben werden können.

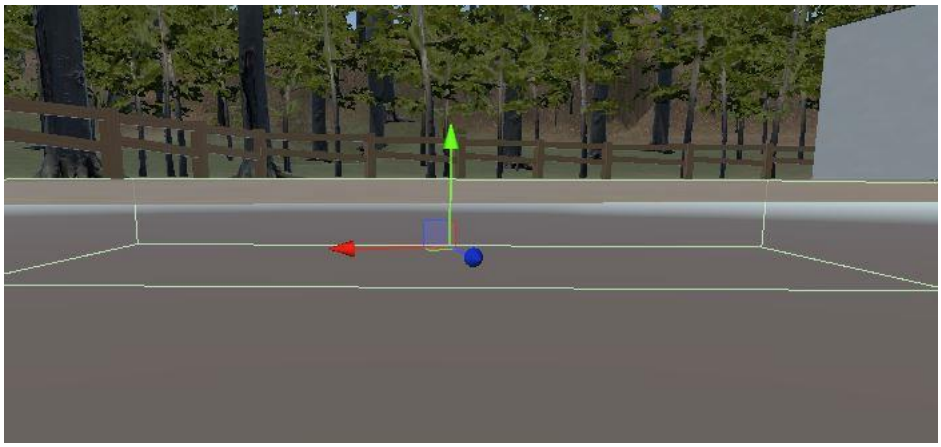


Abbildung 9: Zusätzlicher «Box Collider» zur Fehlerkorrektur (eigene Darstellung)

Mit DA14 wurde ein verkürzter Laufweg von der Wurfstation in Richtung Klassenzimmer gewünscht. Nach einer gründlichen Abwägung ist ein Entscheid gegen diese Anforderung getroffen worden. Für grössere Distanzen besteht die Möglichkeit der Teleportation. Des Weiteren wird der Platz zwischen der Wurfstation und dem Klassenzimmer für die Anforderung DA19 benötigt.

Das Klassenzimmer innerhalb der Szene wurde als unübersichtlich empfunden. Als Hilfestellung für die Lernenden wird ein Avatar (siehe DA5) und eine Schaltfläche für das Neustarten der Tonausgabe implementiert. Für die Umsetzung von DA15 wurde zum einen ein Avatar neben dem Informationsschild, eine Schaltfläche zum Neustarten der Tonausgabe und eine angepasste Tonausgabe, die die Aufgabe im Klassenzimmer präziser beschreibt, implementiert. Bei der Implementation der Schaltfläche ist eine Schwierigkeit aufgetreten. Sobald der Schalter mit der Hand betätigt wird, interpretiert die VR-Lerneinheit ein mehrmaliges Betätigen, wodurch die Tonausgabe mehrfach parallel gestartet wurde. Zur Lösung dieser Herausforderung wurde ein sogenannter «Cooldown» dem Skript hinzugefügt, welcher die Funktionen des Schalters nach dem erstmaligen Betätigen für die nächsten drei Sekunden deaktiviert. Auf eine automatische Wiederholung der Tonausgabe wurde an dieser Stelle verzichtet. Das iterative Testing zeigte, dass die Lernenden sich länger an der Aufgabenstation aufhalten und die Ständige Erklärung die Konzentration stört.

Linkshändige Lernende können die Bälle an der Wurfstation und die Antwortobjekte im Klassenzimmer mit dem linken Controller nicht aufnehmen und werfen. Mit DA16 wird das Greifen von Objekten ermöglicht. Für das Greifen von Objekten unter Verwendung des «XR Interaction Toolkits» muss dem zu greifenden Objekt, in diesem Beispiel der Ball, die Komponente «XR Grab Interactable» zugewiesen werden. Des Weiteren benötigt der Controller, mit dem das Objekt aufgenommen wird, die Komponente «XR Direct Interactor». Beim Hinzufügen dieser Komponente wird die Fehlermeldung aus Abbildung 10 angezeigt.

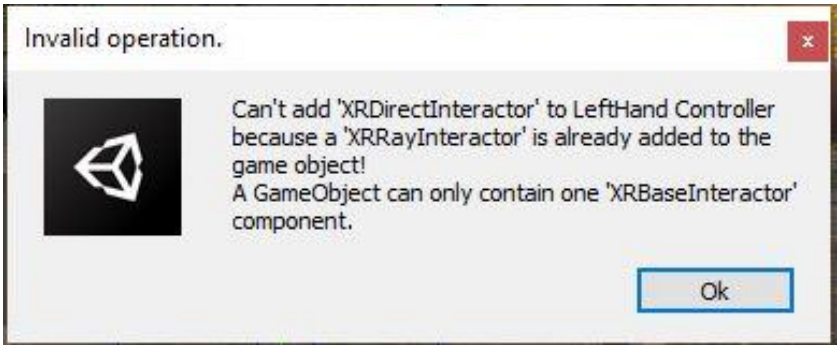


Abbildung 10: Unity-Fehlermeldung (eigene Darstellung)

Es ist unzulässig die Komponenten «XR Direct Interactor» und «XR Ray Interactor» dem gleichen Objekt hinzuzufügen. Die «XR Ray Interactor» Komponente ist für die Teleportation zuständig. Zur Erfüllung der Anforderung wurde deswegen die «XR Ray Interactor» Komponente entfernt und die «XR Direct Interactor» Komponente hinzugefügt. Ausserdem mussten die einzelnen Teleportationspunkte deaktiviert, die anfängliche Beschreibung an dem Infoschild sowie der Inhalt der Tonausgabe angepasst werden. Die Änderungen wurden auf alle Szenen der VR-Lerneinheit angewandt.

Bei einer falschen Zuordnung der Antwortobjekte an der Tafel ertönte die Tonausgabe «falsch!». Für junge Lernende ist das demotivierend, weshalb eine andere Tonausgabe implementiert werden muss (DA17). Die Tonausgabe wurde neu eingesprochen und in der entsprechenden «Audio Source» Komponente ausgetauscht. Nun ertönt bei einer falschen Zuordnung die Tonausgabe «leider falsch» mit einer freundlicheren Betonung.

Nach erfolgreicher Beendigung der Aufgabe im Klassenzimmer erscheint ausserhalb des Gebäudes eine Rakete. Die Rakete wurde als sehr beeindruckend empfunden. Zusätzlich muss eine Startrampe eingefügt werden, um die Motivation der Lernenden zu erhalten (DA19). Die «Bauteile» der Rampe wurden aus dem Unity Asset Store heruntergeladen. Daraufhin mussten die einzelnen Objekte wie Treppen, Platten, Stützen und Handläufe zu einer Plattform mit Zugang zusammengebaut werden. Abbildung 11 zeigt das Ergebnis.

Abbildung 11: Neu eingefügte Raketenplattform (eigene Darstellung)

Weitere Anpassungen:

Bei Tests mit potenziellen Nutzern wurde festgestellt, dass die Anforderung DA16 nicht zufriedenstellend gelöst wurde. Das Entfernen der Teleportationsfunktion führte dazu, dass Nutzer die Distanzen in der VR-Umgebung mittels Laufen überwinden mussten. Hierfür nutzten sie die Bewegungsfunktion des linken Controllers. Vor allem in der ersten Szene der VR-Lerneinheit sind die Distanzen gross. Das ständige Laufen beanspruchte die Sinne der Benutzer zu stark, was zu Übelkeit und Schwindel führte. Um dem entgegenzuwirken, wurden die Teleportationspunkte in der ersten Szene wieder aktiviert und dem linken Controller die «XR Ray Interactor» Komponente wieder hinzugefügt. Darüber hinaus wurde ein Skript geschrieben, das zwischen den Komponenten «XR Ray Interactor» und «XR Direct Interactor» umschaltet. Dazu musste die «Grip» Taste des Controllers gedrückt werden. In einer weiteren Testiteration wurde beobachtet, dass die Nutzer mit dem Umschalten der Funktion überfordert waren und deshalb erneut auf das Laufen setzten. Deshalb wurde die Teleportationsfunktion für den linken Controller in der ersten Szene wieder eingebaut. Die folgende Testiteration zeigte, dass Nutzer nach einer genauen Einweisung hinsichtlich der Teleportation und etwas Übung, in der ersten Szene besser zurechtfanden. Für die erste Szene konnte die Anforderung DA16 schlussendlich nicht vollständig umgesetzt werden, da die Distanzen zu gross sind. Für

die folgenden Szenen hingegen, wurde die Teleportationsfunktion deaktiviert und dem linken Controller die Komponente «XR Direct Interactor» zugewiesen, um Objekte greifen zu können.

Bei der Aufgabe im Klassenzimmer konnte ein fehlerhaftes Verhalten beim Zurücksetzten der Antwortobjekte beobachtet werden. Sobald eine Antwort fallen gelassen oder an der Tafel falsch platziert wurde, erschienen die Objekte wieder im Regal, jedoch mit einer zufälligen Rotation (siehe Abbildung 12). Das führte dazu, dass der Text auf dem Antwortobjekt nicht immer ersichtlich war. Das Skript enthielt bereits die Funktion für das Zurücksetzen der Position, jedoch hat das Zurücksetzen der Rotation gefehlt. Die Ausgangsrotation der einzelnen Antwortobjekten wird in einer Variablen gespeichert. Falls das Antwortobjekt versehentlich fallen gelassen oder an der Tafel falsch zugeordnet wird, setzt das Skript nun die Position und Rotation des Objekts zurück.

Abbildung 12: Chaotische Rückplatzierung von Objekten (eigene Darstellung)

Die ursprüngliche Version der VR-Lerneinheit verfügte bereits über eingesprochene Tonaufnahmen für die Erklärung der Lerninhalte, jedoch wurden einige Anforderungen erhoben, in denen die wiedergegebenen Textinhalte der Tonausgabe nochmals überarbeitet werden mussten. Das hinterliess bei den Lernenden den Eindruck, dass sie von zwei verschiedenen Personen durch die VR-Lerneinheit geführt werden. Aufgrund

dieser Beobachtung erfolgte eine Neuaufnahme der Audio-Erklärungen. Anhang A.2 enthält den vorbereiteten Text, welcher für die VR-Lerneinheit eingesprochen wurde.

Offene Anforderungen:

Mit DA7 wurden Interaktionsmöglichkeiten mit der Erde und dem Mond gefordert. Diese Anforderung konnte aus Zeitgründen nicht umgesetzt werden. Das Ziel der Anforderung ist, das Interesse und somit die Motivation zum Lernen zu steigern.

DA18 fordert ein verbessertes Verhalten der Tonausgabe. Für versehentlich fallengelassene Antwortobjekte darf die Tonausgabe «leider falsch» nicht wiedergegeben werden. Ein möglicher Lösungsansatz wäre die Implementation eines «Box Colliders», der als «Trigger» agiert. Dieser Trigger fügt die Audio-Datei «leider falsch» ein, sobald sich der Nutzer mit dem Antwortobjekt der Tafel nähert. Lässt der Nutzer das Antwortobjekt ausserhalb des Colliders fallen, erfolgt keine Tonausgabe.

4.2.2 Szene 2: Reise zum Mond

Die Optimierungen in der Szene «Reise zum Mond» fokussierten sich hauptsächlich auf die Verbesserung immersiver Eigenschaften der Szene, wie beispielsweise die Grösse des Spielers und die Texturen der bestehenden Objekte.

Anforderungen:

DA20. Korrektur der Spielergrösse
DA21. Darstellung eines dynamischen Sonnensystems
DA22. Beschriftung aller Planeten und der Sonne
DA23. Umplatzierung des Sonnensystems
DA24. Anpassung der Umgebungslautstärke
DA25. Rotation von Erde und Mond und Anpassung der Sonnentextur

Ergebnis:

Der Spieler in der Szene war zu klein, was dazu führte, dass die Distanz vom Blinkwinkel zum Boden zu gering war. Ausserdem war die Schaltfläche in der Rakete zu gross dargestellt (DA20). Als Verbesserung wurde die Höhe des Spielers in allen Szenen auf das gleiche Niveau angepasst. Des Weiteren musste der Ausgangspunkt der Spielerkamera angepasst werden. Zusätzlich wurde die Schaltfläche innerhalb der Rakete verkleinert, wodurch sich diese nun für den Lernenden auf einer angenehmen Höhe befindet.

Zur Umsetzung der Designanforderung DA21 wurde den Planeten des Sonnensystems ein Rotations-Skript angefügt, wodurch die Planeten um die Sonne kreisten. Zusätzlich wurden für die Planeten qualitativ hochwertigere Texturen eingefügt, um die Immersion zu begünstigen. Eine weitere Anforderung war die Perspektive auf das Sonnensystem zu ändern. Die Szene stellt den Flug zum Mond dar, jedoch wird eine Sicht auf das Sonnensystem aus der Vogelperspektive vermittelt. Didaktisch stimmt das nicht überein. Nach einer gründlichen Abwägung ist ein Entscheid gegen die Anpassung der Ansicht getroffen worden. Aus der Vogelperspektive kann die Anordnung der Planeten im Sonnensystem mittels eines Merkspruchs besser vermittelt werden.

Die Designanforderung DA22 fordert die Beschriftung der einzelnen Planeten, die den Lernenden beim Einprägen der Namen der einzelnen Planeten unterstützt. Die Planeten wurden daraufhin beschriftet und die Anforderung somit erfüllt (siehe Abbildung 13).

Das Sonnensystem war von der Rakete zu weit entfernt. Eine nähere Platzierung zur Rakete wurde gewünscht (DA23). Aufgrund der Anforderung wurde das Sonnensystem näher zur Rakete positioniert. Folgende Abbildung 13 zeigt die Aussicht aus der Rakete in einem Vorher-Nachher-Vergleich nach Umsetzung der Anforderungen DA22 und DA23.

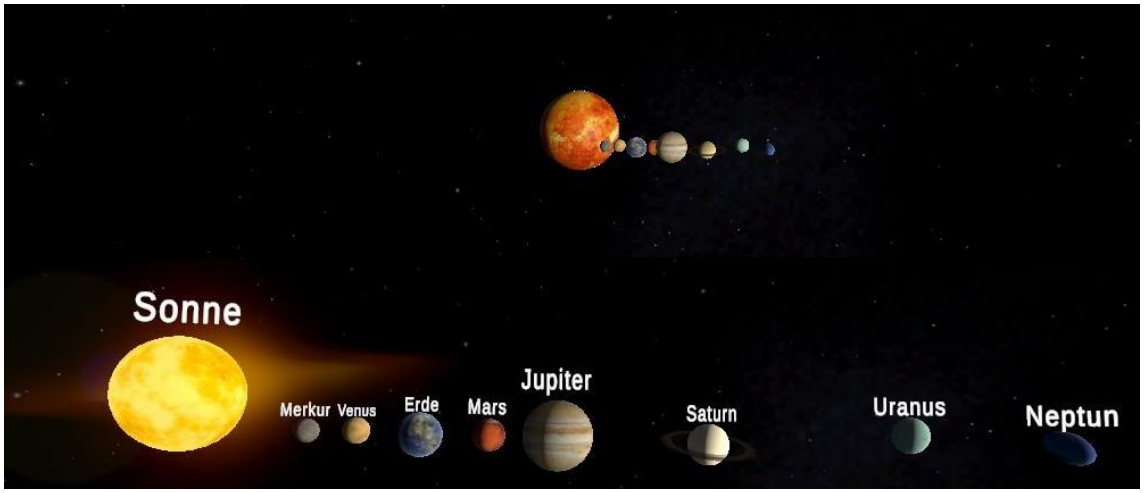


Abbildung 13: Vorher-Nachher-Vergleich der Ansicht auf das Sonnensystem (eigene Darstellung)

Die Umgebungsgeräusche in der Rakete waren zu laut (DA24). Lernende konnten die Tonausgabe kaum hören und die Konzentration wurde gestört. Durch das Herabsetzen der Umgebungslautstärke konnte eine angenehme Umgebung geschaffen werden.

Die Ansicht, in der das Grössenverhältnis von Sonne, Erde und Mond vermittelt wird, ist statisch und dunkel. Unter den genannten Gegebenheiten waren die Erde und der Mond kaum erkennbar. Deswegen muss die Sonne die Umgebung erhellen, eine Oberfläche mit Eruptionen erhalten, die Erde um die Sonne kreisen und der Mond um die Erde (DA25). Die Sonne wurde durch ein neues «Asset» aus dem Unity Asset Store ausgetauscht, in dem die Sonne über eine dynamische Oberfläche mit Eruptionen verfügt und die Umgebung mit einer «Light» Komponente erhellt. Der Erde wurde ein Rotations-Skript hinzugefügt, damit der Erdball um die Sonne kreist. Dem Mond wurde ebenfalls ein Rotations-Skript hinzugefügt, jedoch umkreist dieser die Erde. Abbildung 14 zeigt einen Vorher-Nachher-Vergleich, nach Umsetzung von DA25.

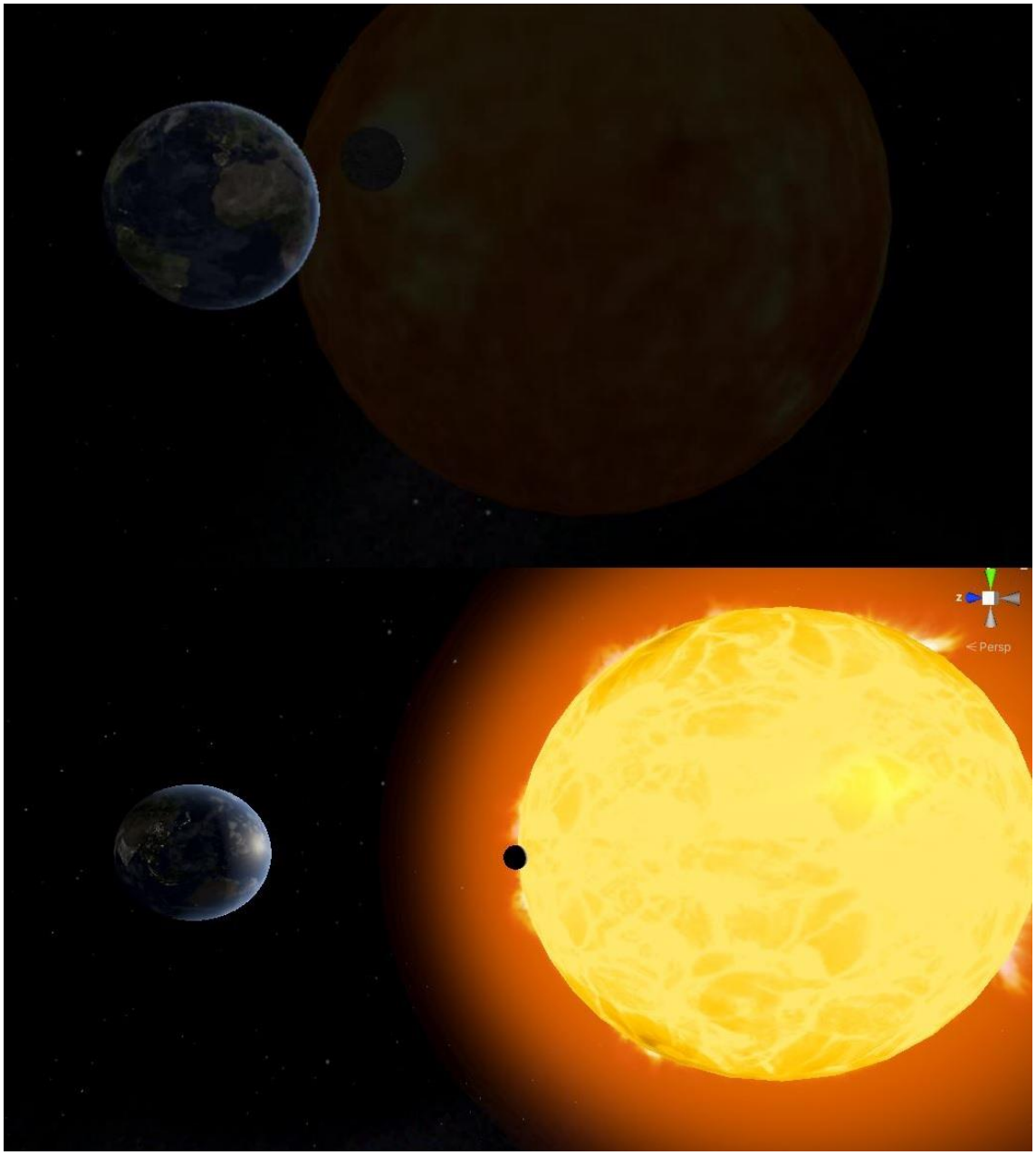


Abbildung 14: Vorher-Nachher-Vergleich: Ansicht auf das Grössenverhältnis von Sonne, Erde und Mond (eigene Darstellung)

Weitere Anpassungen:

Designanforderung DA21 forderte rotierende Planeten, welche daraufhin implementiert wurden. Anschliessende Tests zeigten jedoch, dass Lernende Schwierigkeiten hatten sich die Namen der einzelnen Planeten durchzulesen und einzuprägen, da diese sich zu schnell bewegten. Der Merkspruch zur einfacheren Einprägung der Planeten konnte nicht nachvollzogen werden, da sich die Planeten zu keinem Zeitpunkt in einer Reihe befanden. Aus den genannten Gründen wurden die Rotations-Skripte von den einzelnen Planeten

wieder entfernt. Eine weitere Testiteration zeigte, dass sich Lernende die Namen und Reihenfolge der Planeten bei einem statischen Sonnensystem besser einprägen konnten.

4.2.3 Szene 3: Mond

In der Szene «Mond» wurden Verbesserung hinsichtlich der Immersion und Didaktik durchgeführt, um den Lernerfolg der Nutzer zu begünstigen.

Anforderungen:

DA26. Dynamische Mondlandschaft
DA27. Beschriftung der Bälle an der Wurfstation
DA28. Bessere Erreichbarkeit der Bälle
DA29. Ergänzung von Soundeffekten für das Öffnen der Türen
DA30. Individuelle Auswahl der Mondphasen
DA31. Korrektur der Sonneneigenschaften
DA32. Steigerung der Aufgabenkomplexität
DA33. Aufhellung der Mondbilder

Ergebnis:

Wie in der Szene «Erde», werden auch in der Szene «Mond» die Bälle an der Wurfstation beschriftet, um den Denkprozess der Lernenden anzuregen und gleichzeitig Schülern mit einer Sehbeeinträchtigung die Erkennung der Bälle zu vereinfachen (DA27). Zusätzlich ist ein Objekt gefordert, welches mit etwas Schwerem zu assoziieren ist und aufgrund der geringeren Anziehungskraft auf dem Mond geworfen werden kann. Die Bälle wurden für eine direkte Vergleichbarkeit mit demselben Wurfgewicht, wie in der ersten Szene, beschriftet. Ausserdem wurde eine Hantel hinzugefügt, die ein schweres Wurfobjekt darstellt, und ein Basketballkorb, um die Motorik der Lernenden zu fördern (siehe Abbildung 15).

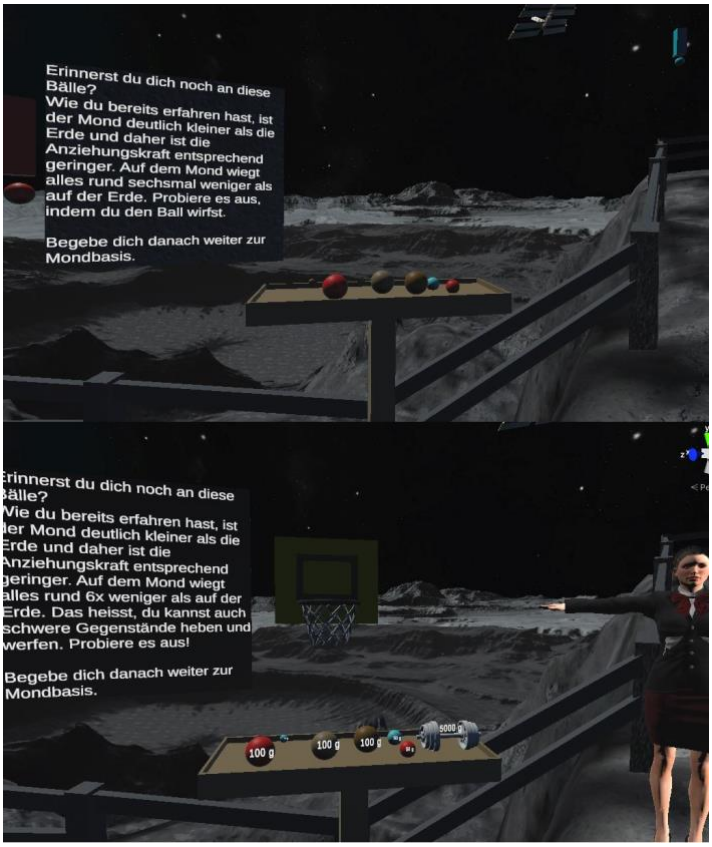


Abbildung 15: Vorher-Nachher-Vergleich der Wurfstation auf dem Mond (eigene Darstellung)

Spieler der VR-Lerneinheit können sich nicht nah genug zum Tisch mit den Wurfobjekten positionieren und müssen sich weit strecken, um die Bälle zu erreichen. Hier wird eine Korrektur gefordert (DA28). Um ein einfacheres Erreichen der Bälle zu ermöglichen, wurde der Umfang des «Capsule Colliders» verringert. Anschliessend konnte sich der Spieler näher an die Wurfobjekte positionieren.

Die Türen der Mondbasis öffneten ohne einen Soundeffekt. Für eine bessere Immersion wird für das Öffnen der Türen ein Soundeffekt gewünscht (DA29). Allen zu öffnenden Türen wurde eine «Audio Source» Komponente zugewiesen. Der Soundeffekt, bei dem das Öffnen grosser Schleusentüren simuliert wird, konnte aus dem «Unity Asset Store» heruntergeladen werden. Die Sounddatei wurde jeweils der «Audio Source» zugewiesen. Da die Türen in der VR-Lerneinheit nur langsam öffnen, musste zusätzlich eine Verzögerung mittels eines Skripts eingebaut werden, wodurch die Tonausgabe 1.5 Sekunden verzögert startet.

Die Sonne an der Lernstation, an der die Mondphasen erklärt werden, war dunkel und warf einen Schatten. Die Sonne hat keinen Schatten, weshalb hier mit der Anforderung DA31 eine Verbesserung gewünscht wurde. Zur Erfüllung der genannten Anforderung wurde eine realistischere Sonne eingefügt, welche aus dem «Unity Asset Store» heruntergeladen wurde. Dieses «Asset» enthält eine «Light» Komponente, mit der der Schattenwurf verhindert wird. Ein weiterer Vorteil ist, dass die Sonne den Mond anstrahlt und so die Erläuterung der Mondphasen begünstigt.

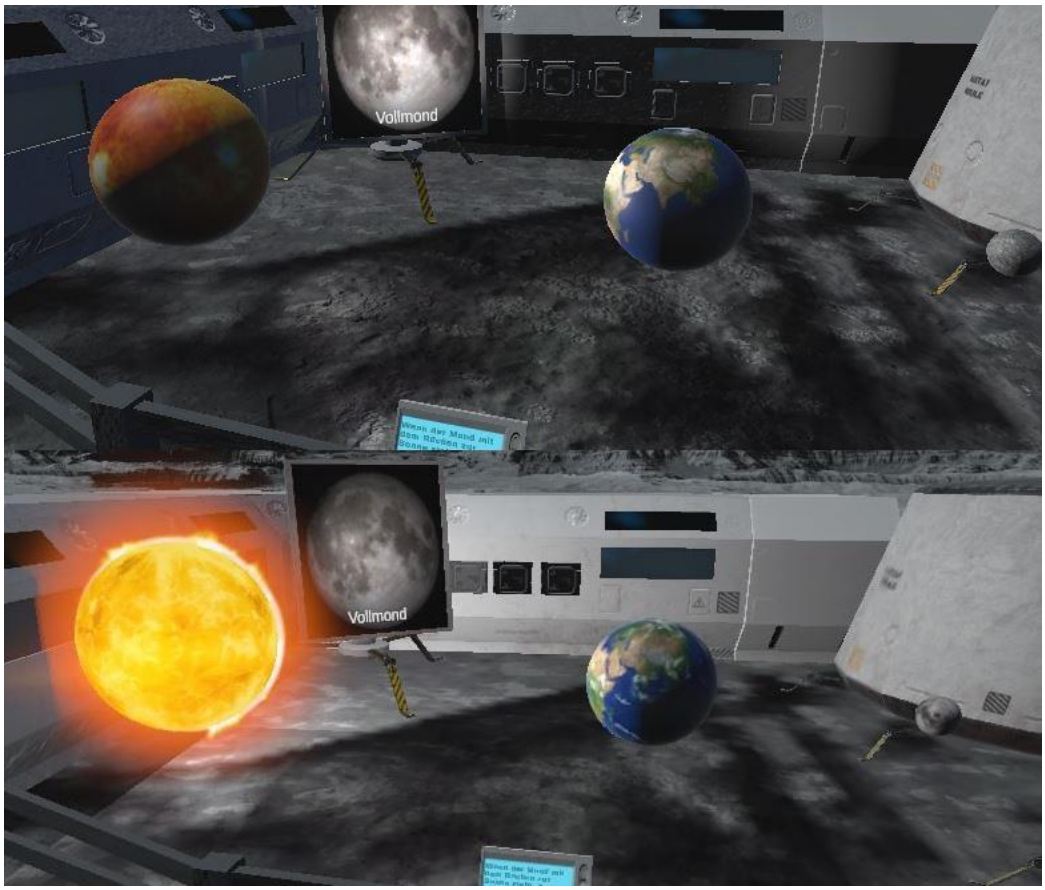


Abbildung 16: Vorher-Nachher-Vergleich der Lernstation auf dem Mond (eigene Darstellung)

Bei der Abfrage der Mondphasen kann die Schaltfläche für das Öffnen der korrekten Tür durch die Monte Carlo Methode (zufälliges Betätigen aller Schaltflächen) zu einfach gefunden werden. Um die Komplexität der Aufgabe zu steigern, müssen die Schaltflächen nach Betätigen einer falschen Antwort neu gemischt werden (DA32). Für die Umsetzung der Anforderung musste ein bestehendes Skript umfassend angepasst werden. Hierfür werden die Ausgangskoordinaten der vier Schaltflächen in einem «Array» abgespeichert. Eine Funktion der Programmiersprache C# weist die Reihenfolge

der Array-Indizes zufällig neu zu. Zusätzlich musste ein «Cooldown» für die Schaltflächen geschrieben werden, um die Funktionen der Schaltflächen für wenige Sekunden zu deaktivieren, da ansonsten ein mehrfaches Betätigen interpretiert wurde.

Die Bilder der Mondphasen waren schwer erkennbar, weshalb eine Aufhellung der Bilder für die Aufgabenstation gefordert wurde (DA33). Die Bilder wurden mittels eines Bildbearbeitungsprogramms aufgehellt und in dem Projekt neu eingefügt.

Offene Anforderungen:

Die Mondlandschaft ist statisch. Mithilfe von Meteoriteneinschlägen in die Mondlandschaft kann den Lernenden ein bleibender Eindruck für die Entstehung der Mondkrater vermittelt werden (DA26). Die Anforderung konnte aus Zeitgründen nicht vollständig umgesetzt werden, weshalb für die finale Version der VR-Lerneinheit Meteoriteneinschläge wieder ausgebaut wurden. In einem Unity-Forum konnte ein entsprechendes Asset gefunden werden. Bei der Implementation des Assets konnten die enthaltenen Grafikkomponenten vom Projekt nicht korrekt dargestellt werden. Die Ursache für das Problem sind fehlende «Render-Pipeline-Packages», welche in das Projekt importiert werden müssen.

An der Lernstation mit den Mondphasen wird eine Auswahl der einzelnen Mondphasen gefordert, um den Lernenden eine Möglichkeit zur Repetition zu ermöglichen (DA30). Die Umsetzung dieser Anforderung bedingt eine tiefgreifende Überarbeitung der Lernstation. Aus zeitlichen Gründen wurde diese Anforderung nicht umgesetzt.

4.2.4 Szene 4: Rückreise zur Erde

In der letzten Szene der VR-Lerneinheit wird mithilfe eines Videos die Entstehung einer Mondfinsternis vermittelt. In der einzigen Anforderung dieser Szene wird die Möglichkeit, die VR-Lerneinheit mit einem Sprung aus der Rakete abzuschliessen, gefordert (DA34). Während der Entwicklung wurde versucht die genannte Anforderung zu erfüllen. Hierfür wurde der «Box Collider», der ein Herausfallen aus der Rakete verhindert, entfernt. Diese Anpassung brachte jedoch nicht den gewünschten Erfolg, weshalb die Anforderung DA34 nicht erfüllt werden konnte.

4.3 Durchführung des Feldexperiments

Die Durchführung des qualitativen Feldexperiments beanspruchte drei Schultage. Das qualitative Feldexperiment wurde mit jeweils einer Schulklasse an einer Realschule in Neuhausen am Rheinfall und einer Primarschule in Stein am Rhein durchgeführt. Die teilnehmenden Probanden wurden hierfür jeweils randomisiert in zwei Probandengruppen eingeteilt. Eine Probandengruppe hat die Lehrinhalte mittels der VR-Lerneinheit vermittelt bekommen und die andere Probandengruppe mittels eines klassischen Frontalunterrichts, bei dem die Lehrpersonen die Unterrichtsform und -techniken frei wählen durften. Zur Datenerhebung und Messung des Wissenszuwachses führen die Probandengruppen jeweils einen Prä-Test und nach Durchführung der Lerneinheit einen Post-Test durch.

Folgende Abbildungen zeigen die Probanden während der Durchführung der VR-Lerneinheit. Eine Einwilligungserklärung seitens der Erziehungsberechtigten für die getätigten Foto- und Videoaufnahmen liegt vor (siehe Anhang A.9).

Abbildung 17: Proband bei der Durchführung der VR-Lerneinheit (eigene Darstellung)

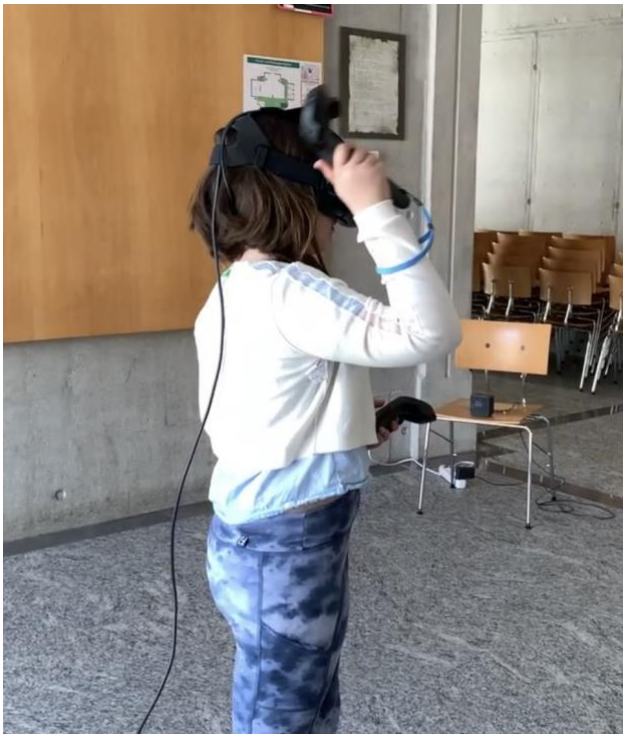


Abbildung 18: Proband am werfen (eigene Darstellung)

Abbildung 19: Proband bei der Lösung der Tafelaufgabe in der ersten Szene (eigene Darstellung)

4.3.1 Realschule Neuhausen am Rheinfall

Der erste Tag des Experiments erfolgte am 06. Mai 2022 mit einer Schulklasse an einer Realschule in Neuhausen am Rheinfall. Insgesamt haben zehn Schüler teilgenommen. Die Probanden wurden randomisiert in zwei Probandengruppen eingeteilt. Somit ergab sich eine Gruppenstärke von jeweils fünf Probanden. Vor Beginn des ersten Durchgangs der VR-Lerneinheit, füllten alle Probanden zeitgleich den Fragebogen des Prä-Tests aus. Die ausgefüllten Fragebögen sowie die Auswertung können im Anhang A.6.1 eingesehen werden. Anschliessend wurde mit dem ersten Probanden der Probandengruppe VR mit der Durchführung gestartet. Für die Durchführung der VR-Lerneinheit stand ein Raum zur Verfügung, um Störfaktoren aus der Umwelt zu minimieren. Die Probanden der Probandengruppe VR wurden nacheinander aus dem Unterricht geholt und führten die Lerneinheit durch. Bevor mit der VR-Lerneinheit gestartet werden konnte, erhielt jeder Proband eine Einweisung zur Steuerung der VR-Lerneinheit. Ausserdem wurde auf das zu bevorzugende Verhalten in virtuellen Welten hingewiesen, um Übelkeit und Schwindel zu vermeiden. Es wird empfohlen schnelle Kopfbewegungen zu vermeiden, sowie das gleichzeitige Umschauen und Laufen, da ansonsten die Sinnestäuschung am stärksten ist. Zusätzlich wurden die Probanden nach ihren Gefühlen und ersten Erfahrungen mit dem Umgang von VR-Sets befragt. Eine weitere Frage richtete sich hinsichtlich des Gamings im privaten Umfeld, bzw. ob die Probanden in ihrer Freizeit Konsolen- oder Computerspiele spielen. Während dem «Spielen» wurden die Probanden beobachtet und deren Verhalten protokolliert (siehe Anhang A.12.1). Nach Beendigung der VR-Lerneinheit, füllten die Probanden den Post-Test Fragebogen (siehe Anhang A.7.1) aus und kehrten anschliessend in den Unterricht zurück. Nach Durchführung der VR-Lerneinheit mit allen zugeteilten Probanden, führte die Lehrperson den Frontalunterricht mit der anderen Probandengruppe durch. Dabei wurde der Unterrichtsablauf beobachtet und protokolliert (siehe Anhang A.12.2). Die Probandengruppe VR durfte an diesem Unterricht nicht teilnehmen. Der Unterricht dauerte 35 Minuten. Anschliessend füllte die Probandengruppe Frontalunterricht den Post-Test Fragebogen aus (siehe Anhang A.8.1).

4.3.2 Primarschule Stein am Rhein

Die Durchführung des Experiments an der Primarschule in Stein am Rhein fand vom 09. Mai 2022 bis zum 10. Mai 2022 statt. Teilgenommen haben 21 Schüler. Die Probanden

wurden randomisiert in zwei Probandengruppen eingeteilt. Die Probandengruppe VR hatte eine Gruppenstärke von elf Teilnehmern und die Probandengruppe Frontalunterricht eine Gruppenstärke von zehn Teilnehmern. Der Prä-Test wurde bereits am 06. Mai 2022 von allen teilnehmenden Probanden durchgeführt (siehe Anhang A.6.2). Am folgenden Schultag (09. Mai 2022), wurde mit dem ersten Probanden mit der VR-Lerneinheit gestartet. Die Schule in Stein am Rhein stellte für die Durchführung der VR-Lerneinheit das Foyer zur Verfügung. Der gesamte erste Schultag wurde für die Durchführung der VR-Lerneinheit genutzt sowie der Vormittag des folgenden Tages. Den Probanden wurden ebenfalls Fragen zu ihren Gefühlen, Einstellung und Vorkenntnisse hinsichtlich VR und Gaming gestellt. Auch eine Einweisung erfolgte bei jedem Probanden. Während der Durchführung wurden die Probanden beobachtet und deren Verhalten protokolliert (siehe Anhang A.13.1). Nach Beendigung der VR-Lerneinheit füllten die Probanden den Post-Test-Fragebogen (siehe Anhang A.7.2) aus und kehrten anschliessend in den regulären Unterricht zurück. Der Frontalunterricht wurde am Nachmittag des zweiten Schultages durchgeführt. Der Unterrichtsablauf wurde hierbei beobachtet und protokolliert (siehe Anhang A.13.2). Der Unterricht dauerte 35 Minuten. Anschliessend erfolgte der Post-Test (siehe Anhang A.8.2). Die Probandengruppe VR wurde in dieser Zeit vom Unterricht ausgeschlossen und beschäftigte sich mit anderen Schulaufgaben.

4.4 Auswertung und Interpretation der Ergebnisse

Die erhobenen Daten aus der Prä- und Post-Messung werden aufgrund des unterschiedlichen Leistungsniveaus der Schulklassen gesondert ausgewertet und betrachtet. Ausserdem werden die Ergebnisse der Prä- und Post-Messung der jeweiligen Probandengruppe untersucht und gegenübergestellt (siehe Anhang A.10). Gesamthaft haben 31 Probanden an dem Feldexperiment teilgenommen. Die Daten von zwei Probanden mussten aus der Datenauswertung ausgeschlossen werden, da jeweils kein Prä-Test-Fragebogen abgegeben wurde. Die Rohdaten (Ergebnisse Prä- und Post-Test) können in den Anhängen A.6, A.7 und A.8 eingesehen werden. Eine bessere Vorwissensbasis führt dazu, dass der Wissenszuwachs statistisch kleiner ausfällt. Die Daten und Ergebnisse können verzerrt sein, da bei kleinen Probandengruppen die persönliche Einstellung jedes Probanden das Ergebnis verzerrt und mit einer Randomisierung dem nur schwer entgegengewirkt werden kann. Während der Durchführung des Feldexperiments, konnte eine abnehmende Motivation der Teilnehmer

an der Realschule in Neuhausen am Rheinfall beobachtet werden. Dies konnte vor allem beim Post-Test beider Probandengruppen beobachtet werden, da die Probanden den Post-Test Fragebogen unvollständig abgegeben hatten. Eine höhere Anzahl an Probanden pro Probandengruppe führt zu einer solideren Datenbasis mit einer geringeren Anzahl von Ausreissern, die durch die persönliche Motivation verursacht werden können. Die in den folgenden Abschnitten angegebenen Zahlen sind auf eine Nachkommastelle gerundet, jedoch wurden für weitere Auswertungen und Berechnungen immer die exakten Zahlen herangezogen.

4.4.1 Daten aus Neuhausen am Rheinfall

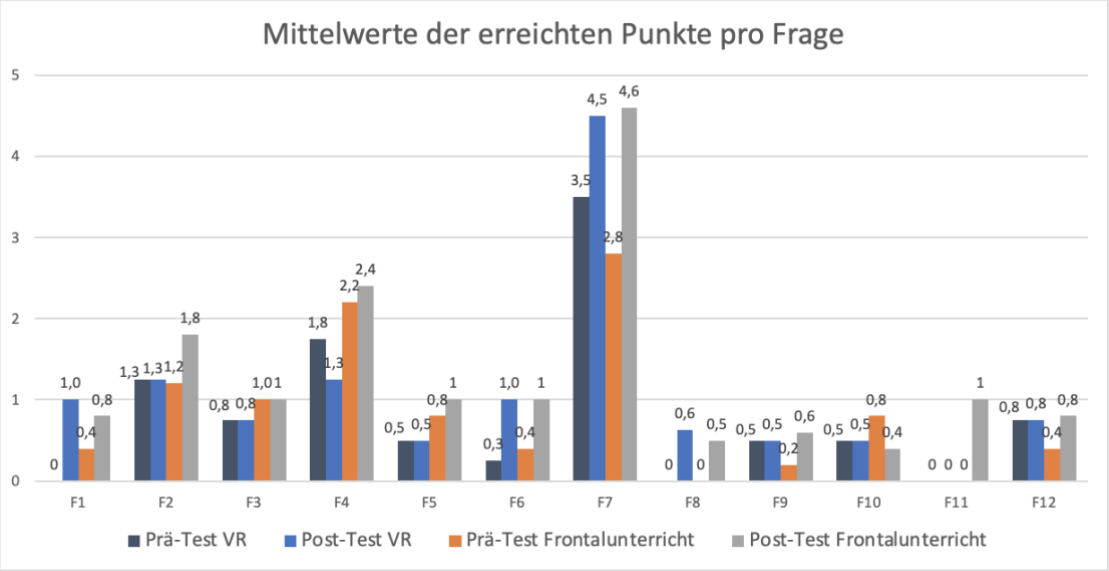


Abbildung 20: Mittelwerte der erreichten Punkte pro Frage (eigene Darstellung)

In Abbildung 20 ist zu sehen, dass die Probanden die Fragen im Post-Test-Durchlauf besser beantworten konnten. Die Probandengruppe VR beantwortete Frage 4 (F4) nach Abschluss der Lerneinheit tendenziell schlechter als noch vor der Durchführung. In dieser Frage mussten die jeweiligen Grössen von Sonne, Erde und Mond zugewiesen werden. Die Probandengruppe Frontalunterricht beantwortete die Frage 10 (F10) nach Durchführung der Lerneinheit tendenziell schlechter als noch vor der Durchführung. In dieser Frage wurde nach dem Namen des ersten Menschen auf dem Mond gefragt. Fast alle Probanden in der Probandengruppe Frontalunterricht waren in der Lage Frage 2 richtig zu beantworten. Trotz der immersiven Erfahrung und das Gefühl des Da-Seins (Präsenz), konnten Probanden der Gruppe VR die Fragen 1-5 nicht besser beantworten.

Speziell diese Fragen zielen auf abstrakte Themeninhalte ab, die in der klassischen Unterrichtsform nur schwierig vermittelt werden können.

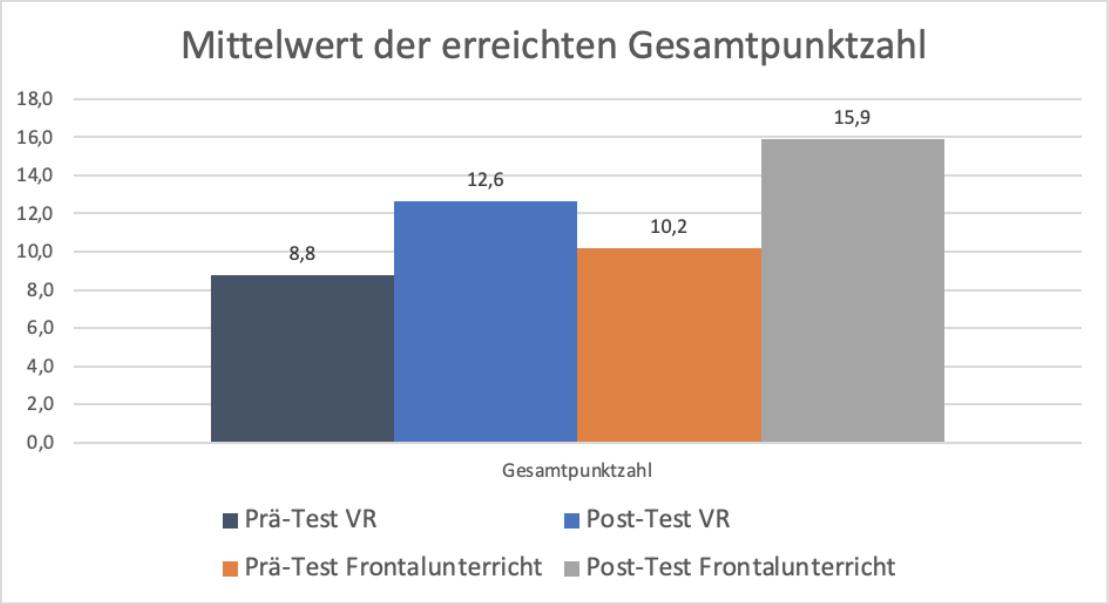


Abbildung 21: Mittelwert der erreichten Gesamtpunktzahl (eigene Darstellung)

Beide Probandengruppen konnten ihr Wissen steigern (siehe Abbildung 21). Das zeigt auch die erreichte Gesamtpunktzahl nach Durchführung der Lerneinheit. Die Probandengruppe VR konnte nach Durchführung der VR-Lerneinheit insgesamt 3.8 Punkte mehr erreichen. Bei der Probandengruppe Frontalunterricht konnten 5.7 Punkte mehr erreicht werden.

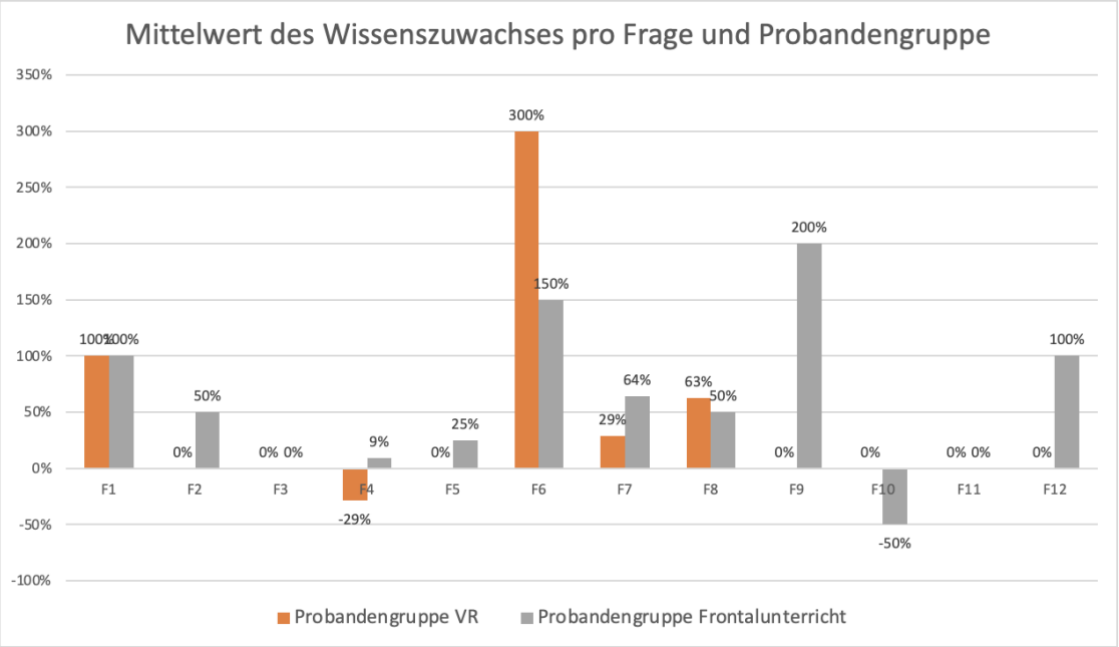


Abbildung 22: Mittelwert des Wissenszuwachses pro Frage und Probandengruppe (eigene Darstellung)

Das Vorwissen der Probanden hat einen starken Einfluss auf die Ergebnisse von Abbildung 22. Beispielsweise hat die Probandengruppe VR im Mittel bei der Frage 6 im Prä-Test 0.3 Punkte erzielt. Im Post-Test einen Punkt im Mittel. Das ist entspricht einer Steigerung von 300%.

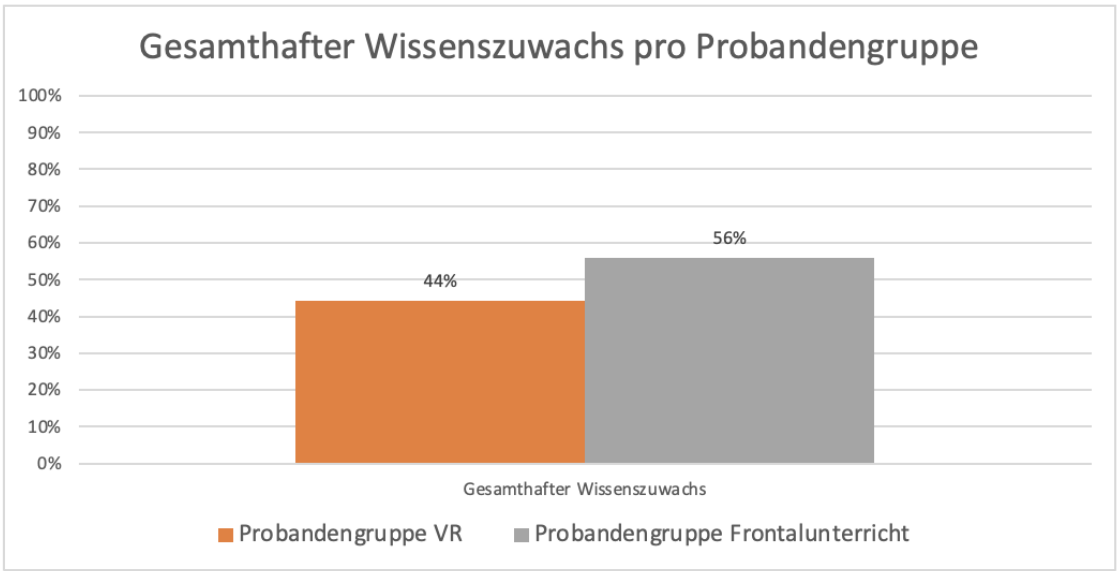


Abbildung 23: Gesamthafter Wissenszuwachs pro Probandengruppe (eigene Darstellung)

Die Probandengruppe VR konnte im Mittel nach Durchführung der VR-Lerneinheit 44% mehr an Punkten im Post-Test erzielen. Die Probandengruppe Frontalunterricht konnte im Mittel nach Durchführung der Lerneinheit die Gesamtpunktzahl um 56% steigern (siehe Abbildung 23).

Die Probandengruppe VR bewertete die VR-Lerneinheit mit acht von zehn Punkten und kann sich laut den Aussagen der Probanden einen Unterricht in dieser Form zukünftig vorstellen.

4.4.2 Daten aus Stein am Rhein

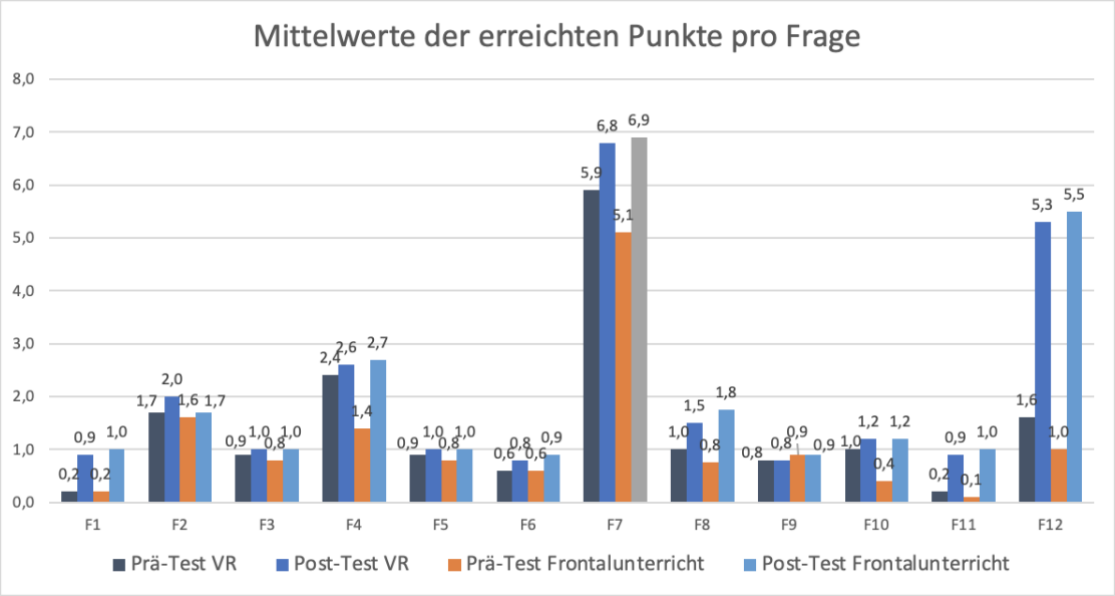


Abbildung 24: Mittelwerte der erreichten Punkte pro Frage (eigene Darstellung)

Die Probanden der Primarschule Stein am Rhein konnten unabhängig vom Lernmedium einen Wissenszuwachs zu jeder Frage aufweisen. Das zeigt sich am höheren Mittelwert der erreichten Punkte pro Frage (siehe Abbildung 24). Grundsätzlich hatten die Probanden mehr Vorwissen zu den Lerninhalten im Vergleich zu den Probanden der Realschule Neuhausen am Rheinfall. So konnten die Probanden aus Stein am Rhein im Post-Test deutlich mehr Punkte erzielen. Signifikante Ausreisser sind nicht zu erkennen. Bei Frage 12 konnten die Probanden eine signifikant höhere Anzahl an Punkten erreichen. In dieser Frage wurden die acht Mondphasen abgefragt. Die abstrakten Themeninhalte aus den Fragen 1-5 konnten beide Probandengruppen nach Durchführung der Lerneinheit gleich gut beantworten. Die Probanden der Probandengruppe VR konnten Frage 2 sogar besser beantworten. In dieser Frage wurden die Probanden gefragt, «wer wen umkreist»

in Bezug auf Sonne, Erde und Mond. Daraus kann geschlossen werden, dass mit einer immersiven Erfahrung und dem Gefühl des Da-Seins (Präsenz), der komplexe Sachverhalt besser verstanden werden konnte. Ein Grund kann sein, dass die Probanden der Probandengruppe VR sehen konnten, wie die Erde die Sonne umkreist und der Mond die Erde. Die Probandengruppe VR hatte ein deutlich fundierteres Vorwissen zu den Themeninhalten im Vergleich zur Probandengruppe Frontalunterricht. Ersichtlich ist dies in der folgenden Abbildung 25.

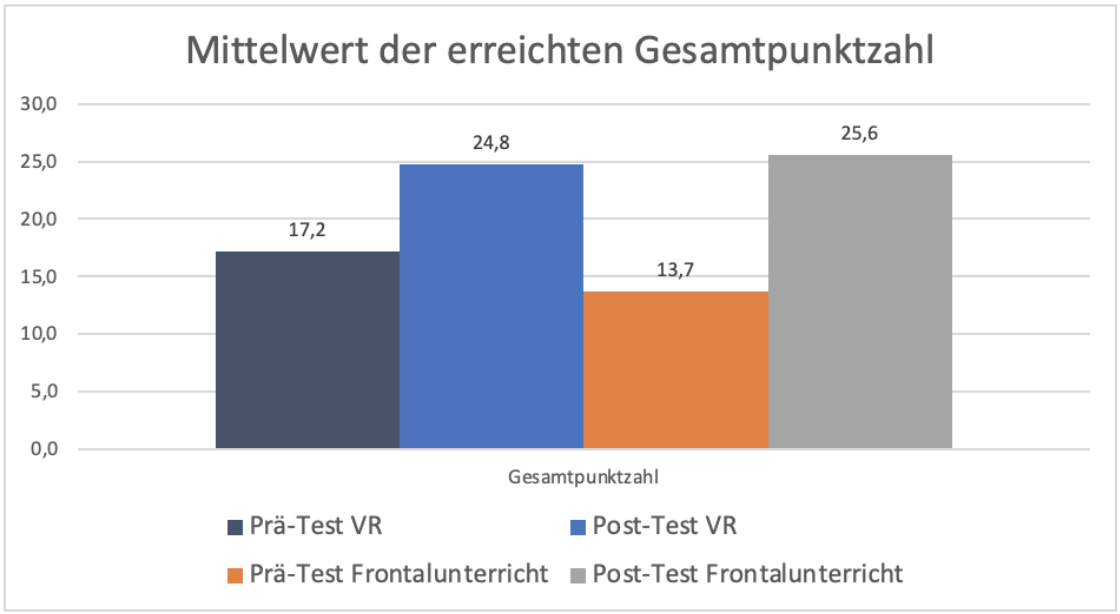


Abbildung 25: Mittelwert der erreichten Gesamtpunktzahl (eigene Darstellung)

Das fundiertere Vorwissen der Probandengruppe VR zeigt sich in der Betrachtung der erreichten Gesamtpunktzahl. Die Probanden konnten im Prä-Test deutlich mehr Punkte erreichen, wohingegen nach Durchführung der Lerneinheit sich der Lernerfolg auf einem ähnlichen Niveau befindet. Die Probandengruppe Frontalunterricht schnitt leicht besser ab.

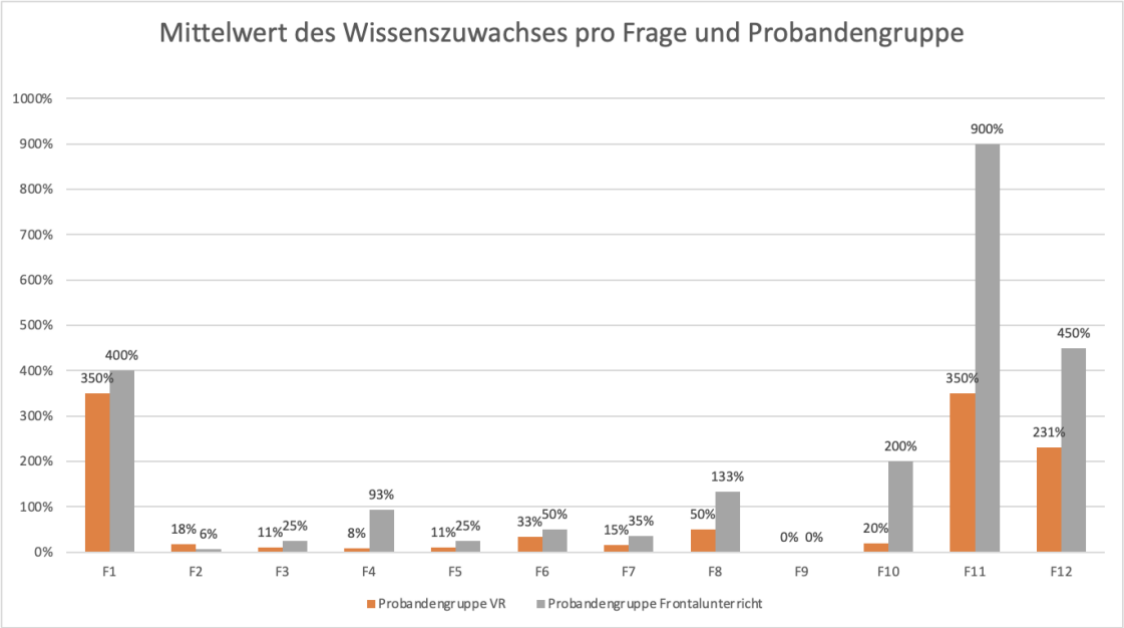


Abbildung 26: Mittelwert des Wissenszuwachses pro Frage und Probandengruppe (eigene Darstellung)

Abbildung 26 zeigt, dass Wissenslücken nach Durchführung der Lerneinheit geschlossen werden konnten. Das gilt für beide Probandengruppen. Da Probandengruppe VR im Prä-Test deutlich besser abgeschnitten hat, ist der mögliche Wissenszuwachs hier beschränkter.

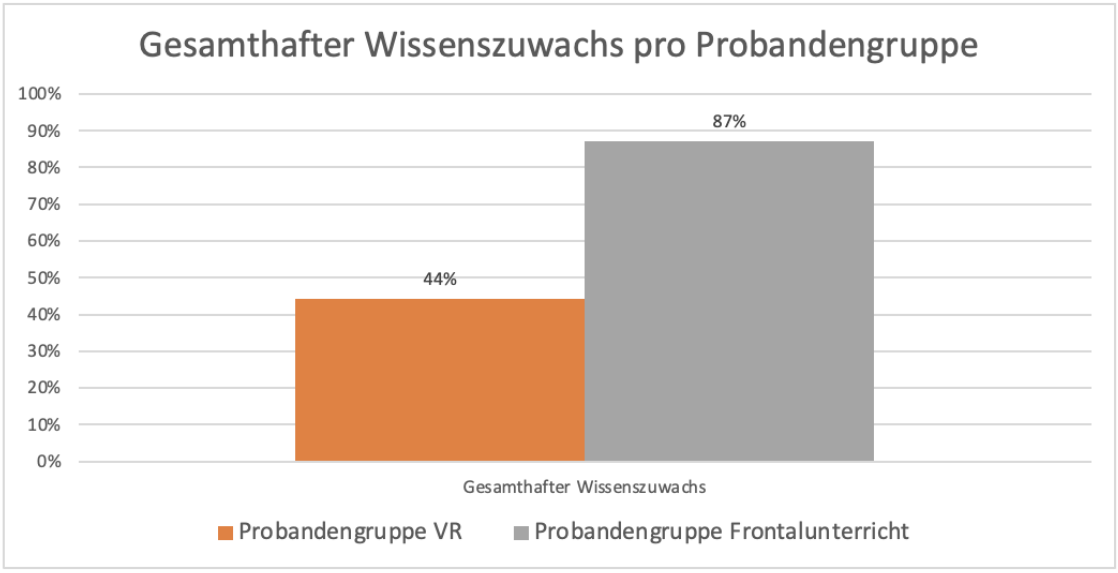


Abbildung 27: Gesamthafter Wissenszuwachs pro Probandengruppe (eigene Darstellung)

Aufgrund der eben beschriebenen Tatsache, dass die Probandengruppe VR ein fundierteres Vorwissen hatte, ist der Wissenszuwachs für diese Gruppe begrenzt. Das zeigt sich in Abbildung 27 und erschwert den Erkenntnisgewinn dieser Arbeit. Grössere Probandengruppen können dieser Verzerrung entgegenwirken. Alternativ kann die Auswertung der Prä-Tests zu einer Gruppe zusammenfasst und dieses Ergebnis als Basis betrachtet werden. Abbildung 27 zeigt, dass die Probandengruppe Frontalunterricht einen höheren Wissenszuwachs erreicht hat. Jedoch konnte diese Probandengruppe gesamthaft nach Durchführung der Lerneinheit ähnlich viele Punkte im Post-Test erzielen.

Die Probandengruppe VR bewertete die VR-Lerneinheit mit 7.8 von zehn Punkten und kann sich laut Aussagen der Probanden einen Unterricht in dieser Form zukünftig vorstellen.

4.5 Qualitative Beobachtungen

Die Durchführung der VR-Lerneinheit sowie des Frontalunterrichts wurden beobachtet und protokolliert, um weitere Erkenntnisse zum Einsatz von VR im Bildungskontext zu gewinnen. Folgend werden die getätigten Beobachtungen zusammenfassend wiedergegeben. Die geführten Protokolle sind im Anhang A.12 und A.13 der vorliegenden Arbeit wiederzufinden.

4.5.1 Beobachtungen an der Schule in Neuhausen am Rheinfall

Beobachtungen zur VR-Lerneinheit:

Die VR-Lerneinheit wurde von fünf Probanden durchgeführt. Dabei war das Verhalten individuell. Vor Beginn der VR-Lerneinheit und Beobachtung dieser, wurden den Probanden Fragen zu ihren Gefühlen und Vorkenntnissen hinsichtlich VR und Gaming gestellt. Mit nur einer Ausnahme hatten alle Probanden zuvor mindestens einmal mit einem VR-Set gespielt. Drei der fünf Probanden waren vor Beginn der VR-Lerneinheit aufgeregt und verspürten eine Vorfreude. Männliche Probanden spielen regelmässig Computerspiele, weibliche Probanden hingegen eher selten bis gar nicht. Alle Probanden zeigten anfänglich Schwierigkeiten bei der Steuerung. Um auftretende Übelkeit und Schwindel, die durch die Sinnestäuschung hervorgerufen werden können zu vermeiden,

wurden alle Probanden auf das korrekte Verhalten innerhalb der VR-Umgebung hingewiesen. Schnelle Kopfbewegungen und gleichzeitige Aktionen wie Laufen und Umschauen wurden unterbunden. Nach anfänglichen Schwierigkeiten konnten sich alle Probanden mit der Steuerung vertraut machen. In der Anfangsphase stellten die Probanden Fragen zu den Interaktionsmöglichkeiten, die kurz zuvor erläutert wurden. Jeder Proband hatte eine eigene Präferenz zur Fortbewegung entwickelt. Manche bevorzugten für grosse Distanzen die Teleportation und manche das Laufen. Speziell bei der Teleportation hatten alle Probanden zu Beginn Schwierigkeiten die Interaktion auszuführen. Die Probanden fokussierten sich stark auf die Steuerung der VR-Lerneinheit sowie auf die Umgebungsdetails. Die Lerninhalte wurden nur geringfügig beachtet. Aufgabenstellungen, die in der VR-Lerneinheit erklärt wurden, mussten durch die Probanden entweder ein zweites Mal angehört oder erfragt werden. Einige Probanden zeigten deutlich das Gefühl der Präsenz. Bemerkbar wurde dies durch das genaue Erkunden der Landschaft, staunende Geräusche, Kommentare und kurze Schreckmomente. Auf Nachfrage nach der Durchführung der VR-Lerneinheit, bestätigten alle Probanden, dass sie sich in der virtuellen Welt präsent gefühlt haben. Die Aufgaben wurden unterschiedlich gut gelöst. Bei Schwierigkeiten wandten die Probanden unterschiedliche Ansätze zur Lösung der Aufgabe an. Das Niveau der Aufgabenstellungen erwies sich als angemessen. Nach den anfänglichen Herausforderungen mit der Steuerung in der ersten Szene (Erde), wurden die nächsten Szenen problemlos durchlaufen. Zwei von fünf Probanden mussten die VR-Lerneinheit aufgrund von Übelkeit und Schwindel abbrechen. Die betroffenen Probanden haben laut eigenen Angaben in der Vergangenheit bereits mit VR-Brillen gespielt. Ein betroffener Proband spielt regelmässig Konsolenspiele. Die restlichen drei Probanden durchliefen die gesamte VR-Lerneinheit. Ein Proband verspürte nach Beendigung der VR-Lerneinheit leichte Übelkeit und Schwindel, was sich aber nach kurzer Zeit wieder legte. Die anderen zwei Probanden hatten keinerlei Beschwerden. Die Gesamtdurchlaufzeit für die komplette VR-Lerneinheit betrug ungefähr 35 Minuten. Ein Proband war besonders auffallend. Dem Probanden waren die Steuerung und der Umgang mit VR-Sets bereits aus dem privaten Umfeld bekannt. Auffallend war, dass der Proband seine volle Aufmerksamkeit der VR-Umgebung und den Lern- und Aufgabenstationen widmen konnte, ohne sich weiter auf die Steuerung zu fokussieren. Hierbei handelt es sich um Proband Nr. 2. Dieser erreichte einen gesamthaften Wissenszuwachs von 73% (siehe Anhang A.11).

Das Protokoll zu den Beobachtungen der VR-Lerneinheit kann in Anhang A.12.1 eingesehen werden.

Beobachtungen zum Frontalunterricht:

Die Probanden zeigten ein hohes Interesse an der Teilnahme am Feldexperiment und am Unterrichtsthema. Während des Unterrichts stellten die Probanden bei Unklarheiten Fragen oder Fragen aus eigener Motivation wie «welche Planeten von Menschen besucht wurden», «was auf der Sonnenoberfläche genau zu sehen ist» oder «ob gewisse Planeten schon einmal miteinander kollidiert sind». Die Probanden machten den Anschein, dass kaum Vorwissen vorhanden war. Die Lehrperson stellte Schätzfragen zu den Grössen von Sonne, Erde und Mond, sowie zu deren Distanzen. Die Antworten zu den Grössen lagen zwischen wenigen hundert Kilometern bis zu mehreren tausend Kilometern. Die Entfernung der Sonne wurde von einem Probanden auf vier Kilometer geschätzt und von einem anderen auf mehrere Millionen Kilometer. Hier zeigte sich die fehlende Nachvollziehbarkeit von grossen Dimensionen und komplexen Themeninhalten. Die Lehrperson setzte für den Unterricht verschiede Lernmedien wie die Tafel, Globus, Bälle, Bilder und das Internet ein, um abstrakte Themeninhalte wie die Grösse der Planeten, die Distanzen von der Erde zur Sonne und Mond, sowie die Anordnung der Planeten im Sonnensystem zu vermitteln. Trotzdem fiel es den Probanden schwer grosse Zahlen, Distanzen, die räumliche Einordnung und die Gravitation nachzuvollziehen. Der Merkspruch zur Einprägung aller Planeten des Sonnensystems wurde wiederholt geübt und jeder Proband anschliessend erfolgreich danach abgefragt. Anschliessend wurde die gesamte Probandengruppe aufgefordert alle Planeten mit gemeinsamer Unterstützung aufzuzählen. Die Erläuterung der Mondphasen gestaltete sich für die Lehrperson als grosse Herausforderung, da dies für die Probanden zu anspruchsvoll schien.

Das Protokoll zu den Beobachtungen des Frontalunterrichts kann in Anhang A.12.2 eingesehen werden.

4.5.2 Beobachtungen an der Schule in Stein am Rhein

Beobachtungen zur VR-Lerneinheit:

An der Primarschule in Stein am Rhein wurden elf Probanden für die Durchführung der VR-Lerneinheit randomisiert zugeteilt. Vor Beginn der VR-Lerneinheit und Beobachtung

dieser, wurden den Probanden vorab Fragen zu ihren Gefühlen und Vorkenntnissen hinsichtlich VR und Gaming gestellt. Interessant war, dass fünf der elf Probanden schon mehr als einmal mit VR-Sets gespielt haben. Ein Proband spielt sogar regelmässig mit VR-Sets. Alle teilnehmenden Probanden erhielten eine Einweisung. Probanden, die bereits regelmässigen Kontakt mit VR-Sets haben, waren mit der Steuerung schnell vertraut und benötigten keine Hilfestellungen. Sie nutzten die Teleportation und bewegten sich zusätzlich mittels der Bewegungstasten fort. Dem Erkunden der VR-Umgebung und dem Bearbeiten der Lern- sowie Aufgabenstationen konnte die volle Aufmerksamkeit gewidmet werden. Probanden, die keine Vorkenntnisse mit VR hatten, nutzten in der ersten Szene entweder nur die Teleportation oder nur das Laufen. Beides zu kombinieren forderte die Probanden zu stark heraus. Während der gesamten Durchführung der VR-Lerneinheit waren VR-unerfahrene Probanden stark auf die Steuerung fokussiert und etwas geringfügiger auf die Inhalte. Die didaktischen Inhalte der VR-Lerneinheit schienen angemessen zu sein. Alle Probanden waren in der Lage die Lernstation und Aufgaben selbstständig zu lösen. Besonders gut hat den Probanden die Wurfstationen auf der Szene Erde und Mond gefallen. Die Lerninhalte der Szene «Reise zum Mond» sorgten für Staunen, vor allem als die Probanden die Grössenverhältnisse von Sonne, Erde und Mond sahen. Ein Proband hat die VR-Lerneinheit mehr als ein Spiel wahrgenommen und hat sich stärker auf den spielerischen Aspekt konzertiert. Die Lern- und Aufgabenstationen wurden nur geringfügig beachtet. Alle Probanden konnten in die VR-Lerneinheit eintauchen. Das Gefühl der Präsenz wurde verspürt, was auf die immersive Eigenschaft der VR-Lerneinheit zurückzuführen ist. Stellenweise war es nicht möglich sich während der Durchführung mit den Probanden zu unterhalten, da sie zu stark von der realen Welt abgeschirmt waren. Die zwei jüngsten Probanden hatten starke Probleme mit ihrer Koordination. Das führte zu wackligen Beinen und Beinahe-Stürze. Glücklicherweise konnten die Probanden rechtzeitig aufgefangen werden. Um die VR-Lerneinheit weiter fortzuführen, erhielten die Probanden einen Stuhl, auf den sie sich hinsetzen konnten. Mit dieser Massnahme konnten die Koordinationsstörungen minimiert und nach einer gewissen Zeit sogar komplett verhindert werden. Einer der betroffenen Probanden hat die VR-Lerneinheit aufgrund von auftretendem Schwindel und Übelkeit abgebrochen. Gesamthaft hatten zwei Probanden die VR-Lerneinheit abgebrochen. Der Proband, der regelmässig mit VR-Sets spielt, widmete seine volle Aufmerksamkeit der VR-Lerneinheit. Hierbei handelte es sich um Proband Nr. 13. Im Prä-Test wurden bereits 25.5 Punkte erreicht. Im Post-Test erreichte der Proband 31.5 von 34 Punkten. Der Proband konnte lediglich Frage 8 (F8) nicht vollständig beantworten.

Nach Abschluss des Feldexperiments, durften die Schüler aus der Probandengruppe Frontalunterricht ebenfalls die VR-Lerneinheit spielen, um deren Einsatz zu belohnen. Dabei wurde beobachtet, dass die Schüler einen «Aha-Effekt» erlebten. Das heisst, die Probanden verstanden im Anschluss das zuvor Erlernte aus dem Frontalunterricht. Auf Nachfrage konnten die Schüler dies bestätigen, dass sie vor allem das Grössenverhältnis von Sonne, Erde und Mond besser nachvollziehen konnten und eine Vorstellung der Dimensionen bekamen. In einer weiterführenden Forschungsarbeit zu diesem Thema muss deshalb eine dritte Probandengruppe hinzugenommen werden, die an einer klassischen Lerneinheit teilnehmen und anschliessend die VR-Lerneinheit durchführen.

Das Protokoll zu den Beobachtungen der VR-Lerneinheit kann in Anhang A.13.1 eingesehen werden.

Beobachtungen zum Frontalunterricht:

Die Probanden zeigten ein hohes Interesse an der Teilnahme am Feldexperiment und am Unterrichtsthema. Zur visuellen Verdeutlichung nahm die Lehrperson einen kleinen Gummiball («Flummi») und seine eigenen Körperdimensionen, um das Grössenverhältnis zwischen Erde und Sonne zu demonstrieren. Für die Vermittlung der Grössenverhältnisse zwischen Erde und Mond wurde mit Bällen gearbeitet. Trotzdem konnten nur einzelne Probanden die Grössenverhältnisse nachvollziehen. Den Probanden gelang es nicht, trotz vorhergehender Erklärung, die Grössenverhältnisse auf Rückfrage wiederzugeben. Einige Probanden wiesen fundamentale Vorkenntnisse zu den Lerninhalten auf. Die Vorkenntnisse wurden durch Wissenssendungen des Fernsehkanals Kika erlangt. Die im Unterricht vermittelten Distanzen von der Erde zur Sonne und zum Mond, konnten logisch zugeordnet werden. Ein Proband sagte, dass er sich die Zuordnung aufgrund folgender Logik erklären kann: «Die Sonne ist am weitesten weg, da wir sonst verbrennen würden». Das zuvor erlangte Wissen wurde in Zweiergruppen repetiert. Ein Grossteil der Probanden kannte den Namen des ersten Menschen auf dem Mond, wusste jedoch nicht wie viele Menschen auf den Mond bisher gereist sind. Einige Probanden konnten schon vorhergehend Sterne, Monde und Planeten auseinanderhalten. Des Weiteren war vielen der Merkspruch zur Einprägung der Planeten bereits bekannt, sodass alle Planeten mit gemeinsamer Unterstützung aufgezählt werden konnten. Die Probanden wurden zu den Lerninhalten vorhergehend nicht unterrichtet. Die Entstehung

der Mondphasen wurden mittels des Einsatzes eines Beamers und eines Laptops erläutert. Der Vollmond und Halbmond war allen Probanden bekannt. Den Sichelmond kannten nur wenige Probanden und die Phase des Dreiviertelmondes war gar nicht bekannt. Die zu- bzw. abnehmenden Mondphasen waren für die Probanden neu. Nach der Erklärung wurden alle Probanden nochmals nach den Mondphasen abgefragt. Am Ende der Lerneinheit wurde wiederholt nach der Entstehung von Mondkratern gefragt. Die Frage konnte nicht zufriedenstellend beantwortet werden, weshalb die Lehrperson dies erneut erklärte. Während des Unterrichts wurden, im Vergleich zu den Beobachtungen an der Schule in Neuhausen am Rheinfall, nur wenige Fragen durch die Probanden gestellt.

Das Protokoll zu den Beobachtungen des Frontalunterrichts kann in Anhang A.13.2 eingesehen werden.

5 Schlussbetrachtung

In diesem Kapitel werden die wichtigsten Ergebnisse dieser Arbeit reflektiert und Rückschlüsse daraus gezogen. Ausserdem erfolgt die Beantwortung der drei zu Beginn aufgestellten Forschungsfragen. Abschliessend wird auf Grundlage der Ergebnisse dieser Arbeit ein Ausblick auf mögliche weitere Forschungsarbeiten gegeben.

5.1 Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit befasste sich mit der Optimierung einer VR-Lerneinheit und der Durchführung eines qualitativen Feldexperiments an Schweizer Volksschulen zur Ermittlung des Lernerfolgs von VR im Bildungskontext. Die VR-Lerneinheit stellte das zentrale Artefakt dieser Arbeit dar.

Die Literaturrecherche hat ergeben, dass ausserschulische Lernorte eine aktivierende Wirkung auf Lernende haben (Brade, 2015). Der Umgang mit den Objekten an ausserschulischen Lernorten bietet Lernenden ein intensives und pädagogisch gewinnbringendes Lernumfeld, welches durch VR erzeugt werden kann (Kahlert et al., 2015). Für den Einsatz und die Entwicklung von VR-Umgebungen als Lernmöglichkeit, haben Mulders et al. (2020) ein Instruktionsdesign mit sechs Teilschritten beschrieben. Dabei ist das Befolgen der Prinzipien für den Lernerfolg nach Arnold (2020) ratsam und die Befolgung des Lehrplans 21 mit den enthaltenen Lernzielen und Qualitätsmerkmalen der jeweiligen Schulfächer. Immersive VR und die daraus resultierende Präsenz kann das Lernerlebnis und Gedächtnisprozesse fördern (Zender et al., 2018). Dem Einsatz von VR stehen einige Herausforderungen wie eine kostspielige Infrastruktur, ein hoher Implementierungsaufwand und fehlende Standards im Wege. Auf der anderen Seite bietet VR Chancen wie eine Beeinflussung der Lernumgebung, gleichmässiges Ansprechen verschiedener Lerntypen und eine Förderung des technikbezogenen Interesses und der dahinterstehenden Motivation.

Als Forschungsmethode diente der designwissenschaftliche Forschungsansatz von Hevner. Auf diese Weise konnte die VR-Lerneinheit schrittweise als Artefakt optimiert werden, welches für das qualitative Feldexperiment in Schweizer Volksschulen eingesetzt wurde. Zur Optimierung der Lerneinheit wurde der Ansatz des evolutionären Prototypings genutzt, bei dem während der Entwicklung Feedbackschleifen durchlaufen

werden, um das Feedback der Nutzer in die Entwicklung mit einzubeziehen. Anhand der Feedbacks konnten verschiedene weitere Optimierungsbedarfe identifiziert und umgesetzt werden. Zur Ermittlung des Lernerfolgs von VR im Bildungskontext, wurde auf das qualitative Feldexperiment gesetzt, da dieses Vorgehen unerwartete Erkenntnisse zulässt. Dabei liegt der Fokus auf einer sehr detaillierten und umfassenden Analyse einiger weniger Fälle, die in der natürlichen Umgebung untersucht werden.

Die erhobenen Designanforderungen für die Optimierung der immersiven Eigenschaften und didaktischen Inhalte der VR-Lerneinheit wurden fast vollständig umgesetzt. Die durchlaufenen Feedbackschleifen zeigten zuvor unentdeckte Schwierigkeiten und Einschränkungen auf, welche anschliessend beseitigt werden konnten. Das verbesserte Artefakt diente zur Durchführung des qualitativen Feldexperiments. Im Rahmen der Prä- und Post-Messung und der Beobachtungen wurden Erkenntnisse gesammelt, die einen Beitrag zur Forschung im Bereich VR im Bildungskontext leisten. Vor Durchführung der VR-Lerneinheit, erhielten die Probanden eine Einweisung zur Steuerung und dem empfohlenen Verhalten in virtuellen Welten, um eine mögliche Motion Sickness zu vermeiden. Dabei wurden die in den Theoriekapiteln empfohlenen Vorgaben zur Durchführung und Betreuung von VR-Lerneinheiten befolgt.

5.2 Beantwortung der Forschungsfragen

Anhand der gesammelten Daten und Erkenntnissen aus der Prä- und Post Messung kann die Forschungsfrage, «*kann VR zur Wissensvermittlung von Schülern beitragen?»,* wie folgt beantwortet werden. Die Auswertung und Interpretation der Daten in Kapitel 4.4 ergeben, dass bei allen Probanden der Probandengruppe VR ein Wissenszuwachs erreicht werden konnte. Das zeigen die Kennzahlen der erreichten Punktzahl pro Frage, die erreichte Gesamtpunktzahl und der prozentuale Wissenszuwachs pro Frage. Diese Rückschlüsse können auf alle Probanden der Probandengruppe VR, bei der Gegenüberstellung der Einzelleistungen, gezogen werden (siehe Anhang A.10).

Folgend wird die Forschungsfrage, «*kann der Lernerfolg mithilfe von VR-Lerneinheiten im Vergleich zu klassischen Lerneinheiten gesteigert werden?»,* beantwortet. Die Ergebnisse in Kapitel 4.4 weisen auf, dass bei einer direkten Gegenüberstellung der Probandengruppen, die Probandengruppe Frontalunterricht in der Post-Messung erfolgreicher abgeschnitten hat. Das zeigt die Auswertung der erreichten

Gesamtpunktzahl der Probandengruppen der Realschule Neuhausen am Rheinfall (siehe Abbildung 21). Die Probandengruppen der Primarschule Stein am Rhein hingegen erzielten ein ähnliches Ergebnis in Bezug auf die erreichte Gesamtpunktzahl (siehe Abbildung 25). Der Wissenszuwachs der Probandengruppen aus Neuhausen am Rheinfall befindet sich auf einem ähnlichen Niveau (siehe Abbildung 23). Die Probandengruppe Frontalunterricht aus Stein am Rhein hingegen erzielte einen signifikant höheren Wissenszuwachs im Vergleich zur Probandengruppe VR (siehe Abbildung 27). Abstrakte Fragen zu schwer nachvollziehbaren Inhalten (Fragen 1-5), die mittels VR anschaulich dargestellt werden konnten, haben die Probanden der Probandengruppe VR beider Schulen nicht erfolgreicher als die Kontrollgruppen beantworten können. Anzumerken ist, dass durch kleine Probandengruppen, wie an der Realschule in Neuhausen am Rheinfall, Verzerrungen entstehen können, beispielsweise durch die persönliche Einstellung und Motivation einzelner Probanden zum Lernen und dem Feldexperiment. Bei derart kleinen Probandengruppen kann diese Störvariable durch eine Randomisierung nicht reduziert oder eliminiert werden. Aus den gesammelten Daten und Erkenntnissen der Primarschule Stein am Rhein allein können keine belastbaren Rückschlüsse auf den Lernerfolg durch VR gezogen werden. Hierfür müssten weitere Feldexperimente an mehreren Schulen und mit grösseren Probandengruppen durchgeführt werden, weshalb die zweite Forschungsfrage nicht abschliessend beantwortet werden kann. Dennoch zeigen die Ergebnisse aus Kapitel 4.4 die Tendenz, dass der Lernerfolg mithilfe von VR-Lerneinheiten im Vergleich zu klassischen Lerneinheiten nicht gesteigert werden kann.

Die dritte Forschungsfrage, *«auf welche Kriterien muss bei der Entwicklung und dem Einsatz von VR-Lerneinheiten geachtet werden, um das volle Potenzial der Technologie zu nutzen?»,* lässt sich mit den Erkenntnissen aus der Literaturrecherche und den gesammelten Erkenntnissen aus den Beobachtungen des qualitativen Feldexperiments beantworten. Überzeugende Darstellungen in VR in Zusammenhang mit Immersion und Präsenz regen Schüler zum Lernen an und steigern die Motivation. Die Annahme, dass Präsenz in einer VR-Lernumgebung die Gedächtnisprozesse fördert, kann mittels der erhobenen Daten nicht eindeutig bestätigt werden. Das Eintauchen in VR-Umgebungen ist mit einer hohen kognitiven Belastung (Cognitive Load) verbunden. Das wurde bei den zwei jüngsten teilnehmen Probanden (neun Jahre alt) beobachtet. Das Durchlaufen der VR-Lerneinheit führte zu starken Koordinationsproblemen der Probanden. Bemerkbar wurde dies durch zitternde Beine, die zu Beinahe-Stürzen führten. Die kognitive Belastung kann durch eine Einweisung in den richtigen Umgang mit VR und weiteren

Hilfsmöglichkeiten, wie einer Sitzgelegenheit und Orientierungshilfen durch die Lehrperson, verringert werden. Die hohe kognitive Belastung führt des Weiteren dazu, dass Lernende sich zu stark auf die Steuerung konzentrieren und die didaktischen Lerninhalte in den Hintergrund rücken. Um dem entgegenzuwirken, müssen die Lernenden im Umgang mit den Interaktionsmöglichkeiten vorgängig geschult werden. Den Beobachtungen ist zu entnehmen, dass Lernende, die in ihrer Freizeit häufig Computerspiele spielen, im Umgang mit VR keine Vorteile haben. Für Lernende ohne oder nur mit wenig VR-Erfahrung besteht die Gefahr der Motion Sickness, in Form von Übelkeit und Schwindel. Auch hier kann die Gefahr von Motion Sickness durch das Anleiten bei der Nutzung von VR-Brillen und das regelmässige Anwenden gemindert werden. Das mögliche Auftreten von Augenschmerzen wurde nicht festgestellt, was auf die hohe Auflösung des HMDs zurückzuführen ist. Lernende mit einer fundamentalen VR-Erfahrung können ihre Konzentration den zu vermittelnden Lerninhalten widmen. Dennoch muss bei erfahrenen Lernenden darauf geachtet werden, dass ihre Aufmerksamkeit auf das Wesentliche, den Lerninhalt, geleitet wird, da diese dazu neigen, den spielerischen Aspekt der Technologie in den Mittelpunkt zu stellen. Aus den Beobachtungen ist zu entnehmen, dass VR-erfahrene Lernende nicht anfällig für gesundheitliche Beeinträchtigungen wie Motion Sickness sind. VR-Lerninhalte müssen auf vorhandenes Wissen aufbauen. Weitere Beobachtungen zeigten, dass Lernende mit einem bestehenden Vorwissen nach Durchführung der VR-Lerneinheit die Grössenverhältnisse und Zusammenhänge des Sonnensystems besser nachvollziehen konnten. Durch die VR-Lerneinheit wurde das Vorwissen vertieft. Um die dritte Forschungsfrage nun abschliessend zu beantworten, folgen nun die Kriterien an die Entwicklung und den Einsatz von VR-Lerneinheiten, damit das volle Potenzial der Technologie genutzt werden kann. Die VR-Technologie kann als ergänzendes Medium im Schulalltag eingesetzt werden. Die Lernenden müssen vor der Durchführung von VR-Lerneinheiten mit der Technologie vertraut gemacht werden und den Umgang regelmässig praktizieren, um gesundheitliche Beeinträchtigungen und eine zu hohe kognitive Belastung zu vermeiden. Die VR-Lerneinheit muss auf vorhandenes Wissen anknüpfen und die Aufmerksamkeit der Lernenden muss auf das Wesentliche geleitet werden. Den Lernenden müssen, sowohl in als auch ausserhalb der VR-Umgebung, Orientierungshilfen geboten werden. Ausserhalb der Lerneinheit kann die Hilfestellung durch Lehrpersonen oder das Ein- und Ausblenden von Informationen innerhalb der VR-Lerneinheit erfolgen. Basierend auf den Ergebnissen dieser Arbeit wird empfohlen das

Instruktionsdesign nach Mulders et al. (2020) für den Einsatz der VR-Technologie als Lernmöglichkeit zu befolgen.

5.3 Ausblick

Die optimierte VR-Lerneinheit dieser Masterthesis kann für die weitere Forschung im Bereich des Lernens mit VR genutzt werden. In dieser Arbeit kann ein höherer Lernerfolg durch VR im Vergleich zur klassischen Unterrichtsform nicht nachgewiesen werden. Hierfür bietet die geleistete Arbeit, mit den erarbeiteten Inhalten aus der Literatur, der optimierten VR-Lerneinheit und dem Versuchsaufbau, eine Grundlage für ein weiteres Feldexperiment. Für die weitere Forschung wird der Einbezug einer dritten Probandengruppe empfohlen, die zuerst in Form von einem klassischen Unterricht die Lerninhalte vermittelt bekommt und anschliessend das Wissen mittels der VR-Lerneinheit vertieft. Diese Erkenntnis geht aus Beobachtungen des qualitativen Feldexperiments hervor.

In dieser Arbeit konnten noch nicht alle Anforderungen umgesetzt werden. Anforderungen DA7, DA18, DA26, DA30 und DA43 können in zukünftige Forschungsprojekte mit aufgenommen werden.

6 Literaturverzeichnis

Für die Verwaltung der Literatur und das Erstellen des Literaturverzeichnisses wurde das Literaturverwaltungsprogramm «Zotero» mit Zitierstil «APA 7» verwendet.

Akçayır, M., & Akçayır, G. (2017). Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review of the literature. Educational Research Review, 20, 1–11. https://doi.org/10.1016/j.edurev.2016.11.002

Anthes, C., García-Hernández, R. J., Wiedemann, M., & Kranzlmüller, D. (2016). State of the art of virtual reality technology. 2016 IEEE Aerospace Conference, 1–19. https://doi.org/10.1109/AERO.2016.7500674

Arnold, R. (2020). Wie man lehrt, ohne zu belehren. Carl-Auer Verlag. https://www.perlego.com/

Baek, Y., Min, E., & Yun, S. (2020). Mining Educational Implications of Minecraft. Computers in the Schools, 37(1), 1–16. https://doi.org/10.1080/07380569.2020.1719802

Bailenson, J. N., Yee, N., Blascovich, J., Beall, A. C., Lundblad, N., & Jin, M. (2008). The Use of Immersive Virtual Reality in the Learning Sciences: Digital Transformations of Teachers, Students, and Social Context. Journal of the Learning Sciences, 17(1), 102–141. https://doi.org/10.1080/10508400701793141

Bakenhus, S., Holzapfel, M. A., Arndt, N., & Brückmann, M. (2022). Die Erstellung einer Lernumgebung mit immersiver Virtual Reality für das Fach Sachunterricht nach dem M-iVR-L Modell. MedienPädagogik: Zeitschrift für Theorie und

Praxis der Medienbildung, 47, 76–93. https://doi.org/10.21240/mpaed/47/2022.04.04.X

Bellini, H., Chen, W., Sugiyama, M., Shin, M., Alam, S., & Takayama, D. (2016, Februar 9). Goldman Sachs | Insights - Virtual & Augmented Reality: The Next Big Computing Platform? Goldman Sachs. https://www.goldmansachs.com/insights/pages/virtual-and-augmented-reality-report.html

Bendig, R. (2018). Untersuchung der Lernprozesse – Vorgehensweise und Methoden der Untersuchung. In R. Bendig (Hrsg.), Handlungskompetenzen entwickeln am Lerngegenstand Kinderrechte: Globales Lernen in Kooperation von Schule, Zivilgesellschaft und Jugendarbeit (S. 139–171). Springer Fachmedien. https://doi.org/10.1007/978-3-658-22842-2_6

Benner, K., & Wingfield, N. (2016, Januar 29). Apple Sets Its Sights on Virtual Reality. The New York Times. https://www.nytimes.com/2016/01/30/technology/apple-sets-its-sights-on-virtual-reality.html

Best, A., Borowski, C., Büttner, K., Freudenberg, R., Fricke, M., Haselmeier, K., Herper, H., Hinz, V., Humbert, L. (federführend), Müller, D., Schwill, A., & Thomas, M. (2019). Kompetenzen für informatische Bildung im Primarbereich. http://dl.gi.de/handle/20.500.12116/20121

Bischofberger, W. R., & Pomberger, G. (1992). Paradigms for Software Development. In W. R. Bischofberger & G. Pomberger (Hrsg.), Prototyping-Oriented Software Development: Concepts and Tools (S. 8–32). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-84760-8_2

Blatter, J., Langer, P. C., & Wagemann, C. (2018). Interpretative Ansätze und Methoden. In J. Blatter, P. C. Langer, & C. Wagemann (Hrsg.), Qualitative Methoden in der Politikwissenschaft: Eine Einführung (S. 31–166). Springer Fachmedien. https://doi.org/10.1007/978-3-658-14955-0_2

Bouvier, P. (2008, Oktober 1). The Five Pillars of Presence: Guidelines to Reach Presence.

Brade, J. (2015). 73| Lehren und Lernen in außerschulischen Lernorten Janine Brade und Bernd Dühlmeier. Handbuch Didaktik des Sachunterrichts, 8621, 434.

Brown, J. S., Collins, A., & Duguid, P. (1989). Situated Cognition and the Culture of Learning. Educational Researcher, 18(1), 32–42. https://doi.org/10.3102/0013189X018001032

Buchner, J. (2022). Generative learning strategies do not diminish primary students' attitudes towards augmented reality. Education and Information Technologies, 27(1), 701–717. https://doi.org/10.1007/s10639-021-10445-y

Callaghan, N. (2016). Investigating the role of Minecraft in educational learning environments. Educational Media International, 53(4), 244–260. https://doi.org/10.1080/09523987.2016.1254877

Castellanos, A., & Pérez Sancho, C. (2017). New Challenge in Education: Enhancing Student's Knowledge through Augmented Reality: Reflections on Its Contribution to Knowledge Formation. In Augmented Reality. https://doi.org/10.1515/9783110497656-015

Chavez, B., & Bayona, S. (2018). Virtual Reality in the Learning Process. In Á. Rocha, H. Adeli, L. P. Reis, & S. Costanzo (Hrsg.), Trends and Advances in

Information Systems and Technologies (S. 1345–1356). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-77712-2_129

Cooper, H. M. (1988). Organizing knowledge syntheses: A taxonomy of literature reviews. Knowledge in Society, 1(1), 104. https://doi.org/10.1007/BF03177550

Cramariuc, G., & Dan, M.-A. (2021). Integration of Virtual Reality in the Instructive-Educational Process in Primary Education. Revista Romaneasca Pentru Educatie Multidimensionala, 13(1Sup1), 38–61. https://doi.org/10.18662/rrem/13.1Sup1/384

Curtis, R. (2008). Immersion und Einfühlung. Zwischen Repräsentationalität und Materialität bewegter Bilder. 20.

Dalgarno, B., & Lee, M. J. W. (2010). What are the learning affordances of 3-D virtual environments? British Journal of Educational Technology, 41(1), 10–32. https://doi.org/10.1111/j.1467-8535.2009.01038.x

Dede, C. (2009). Immersive Interfaces for Engagement and Learning. Science. https://doi.org/10.1126/science.1167311

D-EDK. (2016). Lehplan 21—Natur, Mensch, Gesellschaft. www.lehrplan.ch

Döring, N., & Bortz, J. (2016). Untersuchungsdesign. In N. Döring & J. Bortz (Hrsg.), Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften (S. 181–220). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-41089-5_7

Dörner, R., Broll, W., Grimm, P., & Jung, B. (2019). Virtual und Augmented Reality (VR/AR) (2. Aufl.). Springer Vieweg Berlin. https://doi.org/10.1007/978-3-662-58861-1

Farrer, C., Bouchereau, M., Jeannerod, M., & Franck, N. (2008). Effect of Distorted Visual Feedback on the Sense of Agency. Behavioural Neurology, 19(1–2), 53–57. https://doi.org/10.1155/2008/425267

Feierabend, S., Rathgeb, T., & Reutter, T. (2019). KIM-Studie 2018. Kindheit, Internet, Medien. Basisuntersuchung zum Medienumgang 6- bis 13-Jähriger. Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest.

Fiorella, L., & Mayer, R. E. (2016). Eight Ways to Promote Generative Learning. Educational Psychology Review, 28(4), 717–741. https://doi.org/10.1007/s10648-015-9348-9

Flick, U., Kardorff, E. von, & Steinke, I. (Hrsg.). (2019). Qualitative Forschung: Ein Handbuch (13. Auflage, Originalausgabe). rowohlts enzyklopädie im Rowohlt Taschenbuch Verlag.

Frank, B. (2014). Presence messen in laborbasierter Forschung mit Mikrowelten: Entwicklung und erste Validierung eines Fragebogens zur Messung von Presence. Springer-Verlag.

Freina, L., & Ott, M. (2015, April 1). A Literature Review on Immersive Virtual Reality in Education: State Of The Art and Perspectives.

Fürstenau, S., & Gomolla, M. (2009). Migration und schulischer Wandel: Unterricht. VS Verlag für Sozialwissenschaften Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-531-91724-5

GDSU. (2013). Perspektivrahmen Sachunterricht. Verlag Julius Klinkhardt.

Georgiou, Y., & Kyza, E. A. (2017). The development and validation of the ARI questionnaire: An instrument for measuring immersion in location-based

augmented reality settings. International Journal of Human-Computer Studies, 98, 24–37. https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2016.09.014

Gerth, S., & Kruse, R. (2020). VR/AR-Technologien im Schulungseinsatz für Industrieanwendungen. In H. Orsolits & M. Lackner (Hrsg.), Virtual Reality und Augmented Reality in der Digitalen Produktion (S. 143–179). Springer Fachmedien. https://doi.org/10.1007/978-3-658-29009-2_8

Gieseke, W. (2003). Individuelle Bildungsgeschichte und das Interesse an lebenslangem Lernen. https://www.ams-forschungsnetzwerk.at/deutsch/publikationen/BibShow.asp?id=7721&sid=587681005&look=0&stw=Gieseke&gs=1&lng=0&vt=0&or=0&woher=0&aktt=0&zz=30&mHlId=0&mMlId=0&sort=jahrab&Page=1

Han, I. (2020). Immersive virtual field trips in education: A mixed-methods study on elementary students' presence and perceived learning. British Journal of Educational Technology, 51(2), 420–435. https://doi.org/10.1111/bjet.12842

Hellriegel, J., & Čubela, D. (2018). Das Potenzial von Virtual Reality für den schulischen Unterricht—Eine konstruktivistische Sicht. MedienPädagogik: Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung, 58–80. https://doi.org/10.21240/mpaed/00/2018.12.11.X

Hevner, A., & Chatterjee, S. (2010). Introduction to Design Science Research. In A. Hevner & S. Chatterjee (Hrsg.), Design Research in Information Systems: Theory and Practice (S. 1–8). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-5653-8_1

Hevner, A., R, A., March, S., T, S., Park, Park, J., Ram, & Sudha. (2004). Design Science in Information Systems Research. Management Information Systems Quarterly, 28, 75.

Huang, H.-M., Rauch, U., & Liaw, S.-S. (2010). Investigating learners' attitudes toward virtual reality learning environments: Based on a constructivist approach. Computers & Education, 55(3), 1171–1182. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2010.05.014

Huttner, J.-P., & Robra-Bissantz, S. (2017, August 12). An Immersive Memory Palace: Supporting the Method of Loci with Virtual Reality.

Ijsselsteijn, W., & Riva, G. (2003). Being There: The Experience of Presence in Mediated Environments. EMERGING COMMUNICATION, 5, 3.

Jansen, F., & Streit, U. (2006). Positiv lernen (2. Aufl.). Springer Berlin. https://doi.org/10.1007/3-540-34623-6

Jensen, L., & Konradsen, F. (2018). A review of the use of virtual reality head-mounted displays in education and training. Education and Information Technologies, 23(4), 1515–1529. https://doi.org/10.1007/s10639-017-9676-0

Johnson-Glenberg, M. C. (2019). The Necessary Nine: Design Principles for Embodied VR and Active Stem Education. In P. Díaz, A. Ioannou, K. K. Bhagat, & J. M. Spector (Hrsg.), Learning in a Digital World: Perspective on Interactive Technologies for Formal and Informal Education (S. 83–112). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-13-8265-9_5

Kahlert, J., Fölling-Albers, M., Götz, M., Hartinger, A., Miller, S., & Wittkowske, S. (2015). Handbuch Didaktik des Sachunterrichts (aktual u erw A. 2, Hrsg.).

Verlag Julius Klinkhardt.
https://elibrary.utb.de/doi/book/10.36198/9783838586212

Kerres, M. (2003). Wirkungen und Wirksamkeit neuer Medien in der Bildung.

Kerres, M. (2013). Mediendidaktik: Konzeption und Entwicklung mediengestützter Lernangebote. In Mediendidaktik. Oldenbourg Wissenschaftsverlag. https://doi.org/10.1524/9783486736038

Kerres, M. (2018). Mediendidaktik: Konzeption und Entwicklung digitaler Lernangebote. In Mediendidaktik. De Gruyter Oldenbourg. https://doi.org/10.1515/9783110456837

Kerres, M., & Witt, C. D. (2003). A Didactical Framework for the Design of Blended Learning Arrangements. Journal of Educational Media, 28(2–3), 101–113. https://doi.org/10.1080/1358165032000165653

Keshavarz, B., Hecht, H., & Lawson, B. (2014). Visually induced motion sickness: Characteristics, causes, and countermeasures. In Handbook of Virtual Environments: Design, Implementation, and Applications (S. 648–697). https://doi.org/10.1201/b17360-32

Kilteni, K., Groten, R., & Slater, M. (2012). The Sense of Embodiment in Virtual Reality. Presence: Teleoperators and Virtual Environments, 21(4), 373–387. https://doi.org/10.1162/PRES_a_00124

Koehler, T., Münster, S., & Schlenker, L. (2013). Didaktik virtueller Realität: Ansätze für eine zielgruppengerechte Gestaltung im Kontext akademischer Bildung (S. S.99-112).

Krokos, E., Plaisant, C., & Varshney, A. (2019). Virtual memory palaces: Immersion aids recall. Virtual Reality, 23(1), 1–15. https://doi.org/10.1007/s10055-018-0346-3

Kröner, S., Christ, A., & Penthin, M. (2021). Stichwort: Digitalisierung in der kulturell-ästhetischen Bildung – eine konfigurierende Forschungssynthese. Zeitschrift für Erziehungswissenschaft, 24(1), 9–39. https://doi.org/10.1007/s11618-021-00989-7

LaValle, S. M. (2016). VIRTUAL REALITY. Cambridge University Press.

LaViola, J. J., Kruijff, E., McMahan, R. P., Bowman, D., & Poupyrev, I. P. (2017). 3D User Interfaces: Theory and Practice. Addison-Wesley. https://pub.h-brs.de/frontdoor/index/index/docId/3009

Lee, E. A., Wong, K., & Fung, L. (2010). Learning with Virtual Reality: Its Effects on Students with Different Learning Styles. Trans. Edutainment. https://doi.org/10.1007/978-3-642-14484-4_8

Lee, E. A.-L., & Wong, K. W. (2014). Learning with desktop virtual reality: Low spatial ability learners are more positively affected. Computers & Education, 79, 49–58. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2014.07.010

Liu, D., Bhagat, K. K., Gao, Y., Chang, T.-W., & Huang, R. (2017). The Potentials and Trends of Virtual Reality in Education. In D. Liu, C. Dede, R. Huang, & J. Richards (Hrsg.), Virtual, Augmented, and Mixed Realities in Education (S. 105–130). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-10-5490-7_7

Maas, M. J., & Hughes, J. M. (2020). Virtual, augmented and mixed reality in K–12 education: A review of the literature. Technology, Pedagogy and Education, 29(2), 231–249. https://doi.org/10.1080/1475939X.2020.1737210

Makransky, G., & Lilleholt, L. (2018). A structural equation modeling investigation of the emotional value of immersive virtual reality in education. Educational Technology Research and Development, 66(5), 1141–1164. https://doi.org/10.1007/s11423-018-9581-2

Makransky, G., & Petersen, G. B. (2021). The Cognitive Affective Model of Immersive Learning (CAMIL): A Theoretical Research-Based Model of Learning in Immersive Virtual Reality. Educational Psychology Review, 33(3), 937–958. https://doi.org/10.1007/s10648-020-09586-2

Mania, K., & Chalmers, A. (2001). The Effects of Levels of Immersion on Memory and Presence in Virtual Environments: A Reality Centered Approach. CyberPsychology & Behavior, 4(2), 247–264. https://doi.org/10.1089/109493101300117938

Martin-Gutierrez, J., Mora, C., Añorbe, B., & González-Marrero, A. (2017). Virtual Technologies Trends in Education. Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education, 13, 469–486.

Moore, J. W., & Fletcher, P. C. (2012). Sense of agency in health and disease: A review of cue integration approaches. Consciousness and Cognition, 21(1), 59–68. https://doi.org/10.1016/j.concog.2011.08.010

Moreno, R., & Mayer, R. (2002). Learning science in virtual reality multimedia environments: Role of methods and media. Journal of Educational Psychology, 94, 598–610. https://doi.org/10.1037/0022-0663.94.3.598

Mühlhoff, R., & Schütz, T. (2017). Verunsichern, Vereinnahmen, Verschmelzen: Eine affekttheoretische Perspektive auf Immersion. https://doi.org/10.17169/refubium-25187

Mulders, M., Buchner, J., & Kerres, M. (2020). A Framework for the Use of Immersive Virtual Reality in Learning Environments. International Journal of Emerging Technologies in Learning (IJET), 15(24), 208–224. https://doi.org/10.3991/ijet.v15i24.16615

Pantelić, A., & Plantak Vukovac, D. (2017). THE DEVELOPMENT OF EDUCATIONAL AUGMENTED REALITY APPLICATION: A PRACTICAL APPROACH. 8745–8752. https://doi.org/10.21125/iceri.2017.2399

Pantelidis, V. (2009). Reasons to Use Virtual Reality in Education and Training Courses and a Model to Determine When to Use Virtual Reality. Themes in Science and Technology Education, 2.

Parong, J., & Mayer, R. (2018). Learning Science in Immersive Virtual Reality. Journal of Educational Psychology, 110. https://doi.org/10.1037/edu0000241

Picard, R., Papert, S., Bender, W., Blumberg, B., Breazeal, C., Cavallo, D., Machover, T., Resnick, M., Roy, D., & Strohecker, C. (2004). Affective Learning—A Manifesto. Bt Technology Journal - BT TECHNOL J, 22, 253–269. https://doi.org/10.1023/B:BTTJ.0000047603.37042.33

Pirker, J., Dengel, A., Holly, M., & Safikhani, S. (2020). Virtual Reality in Computer Science Education: A Systematic Review. 26th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology, 1–8. https://doi.org/10.1145/3385956.3418947

Radianti, J., Majchrzak, T. A., Fromm, J., & Wohlgenannt, I. (2020). A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda. Computers & Education, 147, 103778. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103778

Reinmann-Rothmeier, G., & Mandl, H. (1997). Lehren im Erwachsenenalter. Auffassungen vom Lehren und Lernen, Prinzipien und Methoden. (S. 355–403).

Rey, G. D. (2010). E-Learning: Theorien, Gestaltungsempfehlungen und Forschung. Eleed, 6(1). https://eleed.campussource.de/archive/6/2228/index_html

Reynard, B. R. (2017, April 26). The Impact of Virtual Reality on Learning -. Campus Technology. https://campustechnology.com/articles/2017/04/26/the-impact-of-virtual-reality-on-learning.aspx

Richards, D., & Taylor, M. (2015). A Comparison of learning gains when using a 2D simulation tool versus a 3D virtual world: An experiment to find the right representation involving the Marginal Value Theorem. Computers & Education, 86, 157–171. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2015.03.009

Rose, F., Attree, E., Brooks, B., Parslow, D., Penn, P., & Ambihaipahan, N. (2000). Training in virtual environments: Transfer to real world tasks and equivalence to real task training. Ergonomics, 43, 494–511. https://doi.org/10.1080/001401300184378

Sanchez-Vives, M., & Slater, M. (2005). From presence to consciousness through virtual reality. Nature reviews. Neuroscience, 6, 332–339. https://doi.org/10.1038/nrn1651

Scheiter, K., Brucker, B., & Ainsworth, S. (2020). “Now move like that fish”: Can enactment help learners come to understand dynamic motion presented in photographs and videos? Computers & Education, 155, 103934. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.103934

Schüßler, I., & Thurnes, C. (2005). Lernkulturen in der Weiterbildung (Bd. 2). https://www.wbv.de/artikel/42---0009w

Schwan, S., & Buder, J. (2002). Virtuelle Realitäten (G. Bente, N. C. Krämer, & A. Petersen, Hrsg.). Hogrefe Verlag.

Schwan, S., & Buder, J. (2005). Virtuelle Realität und E-Learning. https://www.e-teaching.org/materialien/literatur/schwan-buder-2005

Sheridan, T. B. (1992). Musings on Telepresence and Virtual Presence. Presence: Teleoperators and Virtual Environments, 1(1), 120–126. https://doi.org/10.1162/pres.1992.1.1.120

Sherman, W., & Craig, A. (2002). Understanding Virtual Reality—Interface, Application, and Design.

Shuell, T. J. (1986). Cognitive Conceptions of Learning. Review of Educational Research, 56(4), 411–436. https://doi.org/10.3102/00346543056004411

Siebert, H. (1991). Lernwiderstände lerntheoretisch gesehen. Die kognitionswissenschaftliche Wende. REPORT Literatur- und Forschungsreport Weiterbildung, 28, 75–81.

Slater, M., Antley, A., Davison, A., Swapp, D., Guger, C., Barker, C., Pistrang, N., & Sanchez-Vives, M. V. (2006). A Virtual Reprise of the Stanley Milgram Obedience Experiments. PLOS ONE, 1(1), e39. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0000039

Slater, M., & Sanchez-Vives, M. V. (2016). Enhancing Our Lives with Immersive Virtual Reality. Frontiers in Robotics and AI, 3. https://www.frontiersin.org/article/10.3389/frobt.2016.00074

Standen, P. J., & Brown, D. J. (2006). Virtual reality and its role in removing the barriers that turn cognitive impairments into intellectual disability. Virtual Reality, 10(3), 241–252. https://doi.org/10.1007/s10055-006-0042-6

Steinweg, C. (1995). Einsatz von Prototyping. In C. Steinweg & S. Fedtke (Hrsg.), Praxis der Anwendungsentwicklung: Wegweiser erfolgreicher Gestaltung von IV-Projekten (S. 238–242). Vieweg+Teubner Verlag. https://doi.org/10.1007/978-3-322-89478-6_67

Thomas, O., Metzger, D., & Niegemann, H. (2018). Digitalisierung in der Aus- und Weiterbildung (1. Aufl.). Springer Gabler Berlin. https://doi.org/10.1007/978-3-662-56551-3

Velev, D., & Zlateva, P. (2017). Virtual Reality Challenges in Education and Training. International Journal of Learning and Teaching. https://doi.org/10.18178/ijlt.3.1.33-37

Villena Taranilla, R., Cózar-Gutiérrez, R., González-Calero, J. A., & López Cirugeda, I. (2022). Strolling through a city of the Roman Empire: An analysis of the potential of virtual reality to teach history in Primary Education. Interactive

Learning Environments, 30(4), 608–618. https://doi.org/10.1080/10494820.2019.1674886

Vogel, Greenwood-Ericksen, Cannon-Bowers, & Bowers, C. (2006). Using Virtual Reality with and without Gaming Attributes for Academic Achievement. Journal of research on technology in education, 39, 105–119. https://doi.org/10.1080/15391523.2006.10782475

Witmer, B. G., & Singer, M. J. (1998). Measuring Presence in Virtual Environments: A Presence Questionnaire. Presence: Teleoperators and Virtual Environments, 7(3), 225–240. https://doi.org/10.1162/105474698565686

Youngblut, C. (1998). Educational Uses of Virtual Reality Technology. INSTITUTE FOR DEFENSE ANALYSES ALEXANDRIA VA. https://apps.dtic.mil/sti/citations/ADA339438

Zender, R., Buchner, J., Schäfer, C., Wiesche, D., Kelly, K., & Tüshaus, L. (2022). Virtual Reality für Schüler:innen: Ein «Beipackzettel» für die Durchführung immersiver Lernszenarien im schulischen Kontext. MedienPädagogik: Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung, 47, 26–52. https://doi.org/10.21240/mpaed/47/2022.04.02.X

Zender, R., Sander, P., Weise, M., Mulders, M., Lucke, U., & Kerres, M. (2020). HandLeVR: Action-Oriented Learning in a VR Painting Simulator. In E. Popescu, T. Hao, T.-C. Hsu, H. Xie, M. Temperini, & W. Chen (Hrsg.), Emerging Technologies for Education (S. 46–51). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-38778-5_6

Zender, R., Weise, M., von der Heyde, M., & Söbke, H. (2018, September 9). Lehren und Lernen mit VR und AR-Was wird erwartet? Was funktioniert?

Anhang

A.1 Artefakt

Die VR-Lerneinheit wird als Unity-Projekt zur Verfügung gestellt.

A.2 Inhalte der Audio-Erklärungen

1. Willkommen Lerneinheit

Willkommen in der Lerneinheit.

Mit deinem linken Daumen kannst du dich nach vorne, hinten, links und rechts bewegen. Mit deinem rechten Daumen kannst du dich umsehen.

Um dich fortzubewegen, kannst du auch die Funktion der Teleportation nutzen. Die blauen Ausrufezeichen sind Teleportations-Stationen.

Zeige mit deinem linken Controller auf diese, bis ein blauer Punkt erscheint, anschliessend drücke den Knopf an deinem linken Zeigefinger, um dich dorthin zu teleportieren.

Wenn du eine Erklärung erneut hören möchtest, halte dich einfach eine Weile an der entsprechenden Station auf. Die Erklärung startet automatisch erneut.

Mache dich erstmal etwas mit der Steuerung vertraut und folge anschliessend dem Pfad.

2. Infoschild

Das rote Ausrufezeichen wirst du immer wieder in der Lerneinheit finden. Sobald du dich diesem näherst, wirst du weitere Informationen erhalten.

3. Erde

Unsere Erde hat einen Durchmesser von 12'742 km und ist damit fast viermal grösser als der Mond.

Sie benötigt ungefähr ein Jahr, um die Sonne zu umkreisen.

4. Sonne

Unsere Sonne hat einen Durchmesser von 1'392'700 km und ist damit 110-mal grösser als die Erde.

Die Entfernung zur Erde beträgt 149'000'000 km.

Die Sonne ist ein Stern und kein Planet.

5. Mond

Unser Mond hat einen Durchmesser von 3'474.2 km und ist damit nur circa 1/4 so gross wie unsere Erde.

Der Mond umkreist die Erde in ungefähr 27 Tagen und 8 Stunden.

Die Entfernung zur Erde beträgt 384'400 km.

6. Werfen

Auf dem Tisch rechts, siehst du verschiedene Bälle. Greife mit deinem Zeigefinger nach den Bällen und halte den Knopf gedrückt, um diese aufzunehmen. Schaffst du es die Bälle in den Basketball-Korb zu werfen?

Wenn du alle Bälle geworfen hast, kannst du dich auf den Weg zum Haus machen.

7. Haus-Aufgabe

In den Regalen befinden sich verschiedene Objekte mit unterschiedlichen Angaben. Ordne diesen Objekten den richtigen Platz an der Tafel zu, indem du diese Objekte in die Hand nimmst und anschliessend an der richtigen Stelle an der Tafel positionierst.

Falls du die Erklärung nochmals anhören möchtest, kannst du den Knopf rechts neben der Tafel betätigen.

Wenn du alle Objekte an der Tafel angeordnet hast, präge dir die Lösungen nochmals ein.

Sobald du fertig bist, drücke die rote Schaltfläche bei der Eingangstür und begebe dich nach draussen.

8. Rakete

Schau mal! Dort ist eine Rakete! Begebe dich zur ihr, um deine Reise zu beginnen. Die Rakete hebt in kürze ab!

9. Info in der Rakete

Willkommen auf der Apollo Suisse 1. Du befindest dich auf der Reise zum Mond. Wusstest du, dass bisher erst 12 Menschen auf dem Mond waren? Der erste Mensch auf dem Mond war Neil Armstrong. Er war 1969 auf dem Mond.

Eine Fahrt zum Mond dauert ungefähr 3 Tage.

Aus dem Fenster vor dir kannst du dir unser Sonnensystem mit seinen 8 Planeten anschauen

10. Planeten

Alle Planeten sind ständig in Bewegung und umkreisen die Sonne. Sicherlich erkennst du direkt die Sonne. Sie ist am grössten und ein Stern, also kein Planet!

Die Planeten unseres Sonnensystems sind von links: Merkur, Venus, Erde, Mars, Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun. Um dir die Reihenfolge zu merken, gibt es einen Merkspruch:

Mein **V**ater **e**rklärt **m**ir **j**eden **S**amstag **u**nseren **N**achthimmel. Der Anfangsbuchstabe jedes Wortes steht für einen Planeten.

Wenn du mit dem Anschauen fertig bist, gehe weiter und betätige den blauen Knopf auf der rechten Seite. Kehre anschliessend wieder hier her zurück.

11. Grössenverhältnis

Schau mal! Die Sonne, die Erde und der Mond sind jetzt im richtigen Grössenverhältnis dargestellt. Siehst du wie riesig die Sonne ist? Sie ist 110x grösser als die Erde! Der Mond ist nur ein 1/4 so gross wie die Erde.

Die Erde dreht sich um die Sonne und benötigt ungefähr 1 Jahr, um die Sonne zu umkreisen.

Der Mond umkreist die Erde in ungefähr 27 Tagen und 8 Stunden.

Wenn du fertig bist, kannst du dich wieder zur Tür auf der linken Seite begeben. Wir landen nämlich gleich.

12. Mond-Anfang

Willkommen auf dem Mond! Schaue dich ein wenig um. Der Mond weist eine Vielzahl an Oberflächenmerkmalen auf. Schon mit blossem Auge können wir die auffälligsten davon sehen. Die Meere. Sie nehmen viel Raum ein, haben eine rundliche Form und sind gegenüber der Umgebung dunkel gefärbt. Sie sehen aus wie schwarze Flecken.

Eine weitere Auffälligkeit sind die Krater. Diese sind durch Einschläge von Himmelskörpern wie Meteoriten und Asteroiden entstanden.

Auf der linken Seite befindet sich eine Mondbasis mit einer Lernstation. Begebe dich dorthin.

13. Werfen

Erinnerst du dich noch an diese Bälle?

Wie du bereits erfahren hast, ist der Mond deutlich kleiner als die Erde und daher ist die Anziehungskraft entsprechend geringer. Auf dem Mond wiegt alles rund sechsmal weniger als auf der Erde. Das heisst, du kannst auch schwere Gegenstände heben und werfen. Probiere es aus.

Begebe dich danach weiter zur Mondbasis.

14. Mondphase-Basis

Vor dir befindet sich ein Modell mit den 8 Mondphasen. Solange du dich auf die grüne Fläche stellst, bewegt sich der Mond in seiner Laufbahn um die Erde. Der Mond hat kein

eigenes Licht. Er wird von der Sonne beleuchtet und umkreist dabei die Erde. Um die Erde einmal komplett zu umkreisen, benötigt er ca. 27 Tage. Da er immer in Bewegung ist, wird er unterschiedlich durch die Sonne angeleuchtet. So entstehen die verschiedenen Mondphasen.

Auf dem Bildschirm im Hintergrund erscheint die jeweilige Mondphase, wie sie von der Erde aus zu sehen ist.

16. Trigger-Tür

Wenn du dir die verschiedenen Mondphasen eingeprägt hast, drehe dich um und bewege dich zur nächsten Tür.

17. Türaufgabe

Auf der Tür befindet sich das Bild einer Mondphase. Rechts und links von der Tür sind Schaltflächen mit den Namen von verschiedenen Mondphasen. Ordne den richtigen Namen der Mondphase zu, indem du die entsprechende Schaltfläche drückst. Wenn du eine Schaltfläche mit der falschen Antwort betätigst, werden die Antworten neu gemischt.

18. Richtig

Richtig ☺!

19. Falsch

Leider falsch ☹

20. Rakete Rückreise

Wir befinden uns auf der Rückreise zur Erde.

Drücke auf die blaue Schaltfläche im Hintergrund.

20. Danksagung

Die Lerneinheit ist zu Ende. Vielen Dank für deine Teilnahme.

Ich hoffe du hattest Spass dabei und konntest etwas lernen.

Du darfst die Brille jetzt abnehmen.

Abnehmender Sichelmond

Genau! Das ist ein abnehmender Sichelmond. Super gemacht! ☺

Vollmond

Richtig! Auf dem Bild ist ein Vollmond zu sehen.

Zunehmender Dreiviertelmond

Prima! Das ist ein zunehmender Dreiviertelmond.

Die Rakete ist startklar und kurz vor dem Abflug zur Erde. Bewege dich zu ihr!

Abnehmender Sichelmond

Bevor es Neumond wird, sehen wir den abnehmenden Sichelmond von der Erde aus.

Abnehmender Dreiviertelmond

Nach dem Vollmond bekommen wir den abnehmenden Dreiviertelmond zu sehen.

Abnehmender Halbmond

Beginnt der neue Mondmonat, dann nimmt die Sonneneinstrahlung wieder ab. Auf einem Viertel der Laufbahn sehen wir auf der Erde den abnehmenden Halbmond.

Neumond

Wenn der Mond mit dem Rücken zur Sonne steht, dann sehen wir auf der Erde den Neumond.

Vollmond

Wenn der Mond sich 1x ganz um die Erde bewegt hat, nach 27 Tagen, sehen wir auf der Erde den Vollmond. Dieser wird komplett von der Sonne angestrahlt.

Zunehmender Dreiviertelmond

Bevor wir einen Vollmond zu sehen bekommen, sehen wir erst einmal einen zunehmenden Dreiviertelmond.

Zunehmender Halbmond

Den zunehmenden Halbmond sehen wir, wenn der Mond ¾ der Mondlaufbahn umkreist hat.

Zunehmender Sichelmond

Nach dem Neumond, bekommen wir den zunehmenden Sichelmond von der Erde aus zu sehen.

A.3 Inhalte der (VR)-Lerneinheit

Lernstoff: Sonne – Erde - Mond

Unsere Erde hat einen Durchmesser von **12’742km** und ist damit fast **4x** grösser als der Mond. Sie benötigt ungefähr **1 Jahr**, um die Sonne zu umkreisen.

Unsere Sonne hat einen Durchmesser von **1'392’700km** und ist damit **110x** grösser als die Erde. Die Entfernung zur Erde beträgt **149'000'000km**.

Unser Mond hat einen Durchmesser von **3'474.2km** und ist damit nur ca. **¼** so gross wie unsere Erde. Der Mond umkreist die Erde in **ca. 27 Tagen und 8 Stunden**. Die Entfernung zur Erde beträgt **384’400km**.

Vorschlag: Tabelle an der Tafel aufmalen. Kinder müssen die Antworten an die richtige Stelle anheften. So wie in der VR-Lerneinheit.

	Sonne	Erde	Mond

Durchmesser	1'392'700 km	12'742 km	3'474.2 km
Wer umkreist wen?	Ich umkreise niemanden	Ich umkreise die Sonne	Ich umkreise die Erde
Entfernung zur Erde	149'000'000 km	0 km	384'400 km

Bisher waren nur **12** Menschen auf dem Mond. Der erste Mensch auf dem Mond war **Neil Armstrong**. Er war **1969** auf dem Mond. Ein Flug zum Mond dauert ungefähr **3 Tage**.

Das Sonnensystem besteht aus **unserer Sonne** und **8 Planeten**. Alle Planeten sind ständig in Bewegung und umkreisen die Sonne. Die Sonne ist **ein Stern**, also kein Planet. Die Planeten unseres Sonnensystems: **Merkur, Venus, Erde, Mars, Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun**. Um dir die Reihenfolge zu merken, gibt es einen Merkspruch: **M**ein **V**ater **e**rklärt **m**ir **j**eden **S**amstag **u**nseren **N**achthimmel. Der Anfangsbuchstabe jedes Wortes steht für einen Planeten.

GRÖSSENVERHÄLTNIS VON SONNE, ERDE UND MOND AUFZEIGEN

Siehst du wie riesig die Sonne ist. Sie ist **110x** grösser als die Erde. Der Mond ist nur **¼** so gross wie die Erde oder **4x** kleiner als die Erde.

Der Mond weist eine Vielzahl an Oberflächenmerkmalen auf. Schon mit blossem Auge können wir die auffälligsten davon sehen. Die Meere. Die Meere nehmen viel Raum ein, haben eine rundliche Form und sind gegenüber der Umgebung dunkel gefärbt. Sie sehen aus wie schwarze Flecken. Eine weitere Auffälligkeit sind die Krater. Diese sind durch Einschläge von Himmelskörpern wie Meteoriten und Asteroiden entstanden.

Wie schon vorhin besprochen, ist der Mond **4x** kleiner als die Erde, daher ist die Anziehungskraft entsprechend geringer. Auf dem Mond wiegt alles rund **6x** weniger als auf der Erde.

Die 8 Mondphasen: Der Mond bewegt sich in einer Laufbahn um die Erde. Der Mond hat kein eigenes Licht. Er wird von der Sonne beleuchtet und umkreist dabei die Erde. Um die Erde einmal komplett zu umkreisen, benötigt der Mond ca. 27 Tage und 8 Stunden. Da er immer in Bewegung ist, wird er unterschiedlich durch die Sonne angeleuchtet. So entstehen die Mondphasen. **Folgend Bilder und Text von den 8 Mondphasen zeigen.**

Wie entsteht eine Mondfinsternis?

Link zum Erklär Video vom Bayrischen Rundfunk: https://www.br.de/mediathek/video/in-80-sekunden-erklaert-wie-entsteht-eine-mondfinsternis-av:5b2a773c39f8270018b6099b

Text aus dem Video:

Auf seiner Runde um die Erde gerät der Vollmond manchmal genau in den Schatten der Erde. Eine Mondfinsternis! Der Anfang einer Mondfinsternis ist kaum wahrnehmbar: Der Mond zieht in den Halbschatten der Erde. Erst wenn der Kernschatten der Erde auf den Mond fällt, verfinstert sich die Mondscheibe deutlich. Zieht der Mond ganz in den Kernschatten, gibt es eine totale Mondfinsternis mit dem typischen glutroten Mond. Aber warum zieht der Mond nicht JEDEN Monat durch den Erdschatten? Weil er meist nicht auf der gleichen Ebene mit Erde und Sonne ist: Die Mondbahn ist zur Erdbahn um 5 Grad geneigt. Manchmal befindet sich der Vollmond unterhalb der Erdbahn, manchmal über ihr. Nur wenn der Vollmond genau auf der Ebene Erde-Sonne steht, gibt es eine Mondfinsternis.

A.4 Muster Fragebogen

Siehe externes Dokument (PDF): Muster-Fragebogen

A.5 Probe-Fragebogen

Siehe externes Dokument (PDF): Probe-Fragebogen

A.6 Prä-Test

A.6.1 Realschule Neuhausen am Rheinfall

Siehe externes Dokument (PDF): Prä-Test_Neuhausen

A.6.2 Primarschule Stein am Rhein

Siehe externes Dokument (PDF): Prä-Test_SteinAmRhein

A.7 Post-Test VR

A.7.1 Realschule Neuhausen am Rheinfall

Siehe externes Dokument (PDF): Post-Test-VR_Neuhausen

A.7.2 Primarschule Stein am Rhein

Siehe externes Dokument (PDF): Post-Test-VR_SteinAmRhein

A.8 Post-Test Frontalunterricht

A.8.1 Realschule Neuhausen am Rheinfall

Siehe externes Dokument (PDF): Post-Test-Frontalunterricht_Neuhausen

A.8.2 Primarschule Stein am Rhein

Siehe externes Dokument (PDF): Post-Test-Frontalunterricht_SteinAmRhein

A.9 Einwilligungserklärungen

Einwilligungserklärung

Sehr geehrte Eltern

Mein Name ist Stefan Botchkovoi und ich bin 25 Jahre alt. Derzeit bin ich Student der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften. Ihr Kind hat im Rahmen meiner Masterarbeit an einer Studie teilgenommen, in der der Lerneffekt von VR-Lerneinheiten untersucht wird. Vielleicht hat Ihr Kind Ihnen schon davon berichtet. Während der Durchführung der VR-Lerneinheit wurde ihr Kind fotografiert und gefilmt. Auf den Aufnahmen ist Ihr Kind unkenntlich, da das Gesicht von einer grossen VR-Brille verdeckt wurde. Gerne würde ich eventuell die Bilder für meine Masterarbeit nutzen und die Videos an meiner Präsentation zeigen. Derzeit wurden die Aufnahmen nicht verarbeitet oder weitergereicht. Ich selbst respektiere und achte die Datenschutzverordnung des Bundes. Die erhobenen Aufnahmen würden ausschliesslich für die Masterarbeit genutztl Mit Ihrem Einverständnis würden Sie mich enorm unterstützen. Wenn Sie dem nicht zustimmen, lösche ich alle getätigten Aufnahmen Ihres Kindes.

Vielen Dank im Voraus.
Beste Grüsse
Stefan Botchkovoi

☒ Ich stimme zu, dass die getätigten Aufnahmen ausschliesslich für die Masterarbeit und die dazugehörige Präsentation verwendet werden dürfen.

O Ich stimme nicht zu. Bitte löschen Sie die Aufnahmen unwiderruflich.

Name des Kindes: [redacted]

[redacted]

Einwilligungserklärung

Sehr geehrte Eltern

Mein Name ist Stefan Botchkovoi und ich bin 25 Jahre alt. Derzeit bin ich Student der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften. Ihr Kind hat im Rahmen meiner Masterarbeit an einer Studie teilgenommen, in der der Lerneffekt von VR-Lerneinheiten untersucht wird. Vielleicht hat Ihr Kind Ihnen schon davon berichtet. Während der Durchführung der VR-Lerneinheit wurde ihr Kind fotografiert und gefilmt. Auf den Aufnahmen ist Ihr Kind unkenntlich, da das Gesicht von einer grossen VR-Brille verdeckt wurde. Gerne würde ich eventuell die Bilder für meine Masterarbeit nutzen und die Videos an meiner Präsentation zeigen. Derzeit wurden die Aufnahmen nicht verarbeitet oder weitergereicht. Ich selbst respektiere und achte die Datenschutzverordnung des Bundes. Die erhobenen Aufnahmen würden ausschliesslich für die Masterarbeit genutzt! Mit Ihrem Einverständnis würden Sie mich enorm unterstützen. Wenn Sie dem nicht zustimmen, lösche ich alle getätigten Aufnahmen Ihres Kindes.

Vielen Dank im Voraus.
Beste Grüsse
Stefan Botchkovoi

☒ Ich stimme zu, dass die getätigten Aufnahmen ausschliesslich für die Masterarbeit und die dazugehörige Präsentation verwendet werden dürfen.

O Ich stimme nicht zu. Bitte löschen Sie die Aufnahmen unwiderruflich.

Name des Kindes: [redacted]

[redacted]en

Einwilligungserklärung

Sehr geehrte Eltern

Mein Name ist Stefan Botchkovoi und ich bin 25 Jahre alt. Derzeit bin ich Student der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften. Ihr Kind hat im Rahmen meiner Masterarbeit an einer Studie teilgenommen, in der der Lerneffekt von VR-Lerneinheiten untersucht wird. Vielleicht hat Ihr Kind Ihnen schon davon berichtet. Während der Durchführung der VR-Lerneinheit wurde ihr Kind fotografiert und gefilmt. Auf den Aufnahmen ist Ihr Kind unkenntlich, da das Gesicht von einer grossen VR-Brille verdeckt wurde. Gerne würde ich eventuell die Bilder für meine Masterarbeit nutzen und die Videos an meiner Präsentation zeigen. Derzeit wurden die Aufnahmen nicht verarbeitet oder weitergereicht. Ich selbst respektiere und achte die Datenschutzverordnung des Bundes. Die erhobenen Aufnahmen würden ausschliesslich für die Masterarbeit genutzt! Mit Ihrem Einverständnis würden Sie mich enorm unterstützen. Wenn Sie dem nicht zustimmen, lösche ich alle getätigten Aufnahmen Ihres Kindes.

Vielen Dank im Voraus.
Beste Grüsse
Stefan Botchkovoi

X Ich stimme zu, dass die getätigten Aufnahmen ausschliesslich für die Masterarbeit und die dazugehörige Präsentation verwendet werden dürfen.

O Ich stimme nicht zu. Bitte löschen Sie die Aufnahmen unwiderruflich.

Name des Kindes: [redacted]

[redacted]

Einwilligungserklärung

Sehr geehrte Eltern

Mein Name ist Stefan Botchkovoi und ich bin 25 Jahre alt. Derzeit bin ich Student der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften. Ihr Kind hat im Rahmen meiner Masterarbeit an einer Studie teilgenommen, in der der Lerneffekt von VR-Lerneinheiten untersucht wird. Vielleicht hat Ihr Kind Ihnen schon davon berichtet. Während der Durchführung der VR-Lerneinheit wurde ihr Kind fotografiert und gefilmt. Auf den Aufnahmen ist Ihr Kind unkenntlich, da das Gesicht von einer grossen VR-Brille verdeckt wurde. Gerne würde ich eventuell die Bilder für meine Masterarbeit nutzen und die Videos an meiner Präsentation zeigen. Derzeit wurden die Aufnahmen nicht verarbeitet oder weitergereicht. Ich selbst respektiere und achte die Datenschutzverordnung des Bundes. Die erhobenen Aufnahmen würden ausschliesslich für die Masterarbeit genutzt! Mit Ihrem Einverständnis würden Sie mich enorm unterstützen. Wenn Sie dem nicht zustimmen, lösche ich alle getätigten Aufnahmen Ihres Kindes.

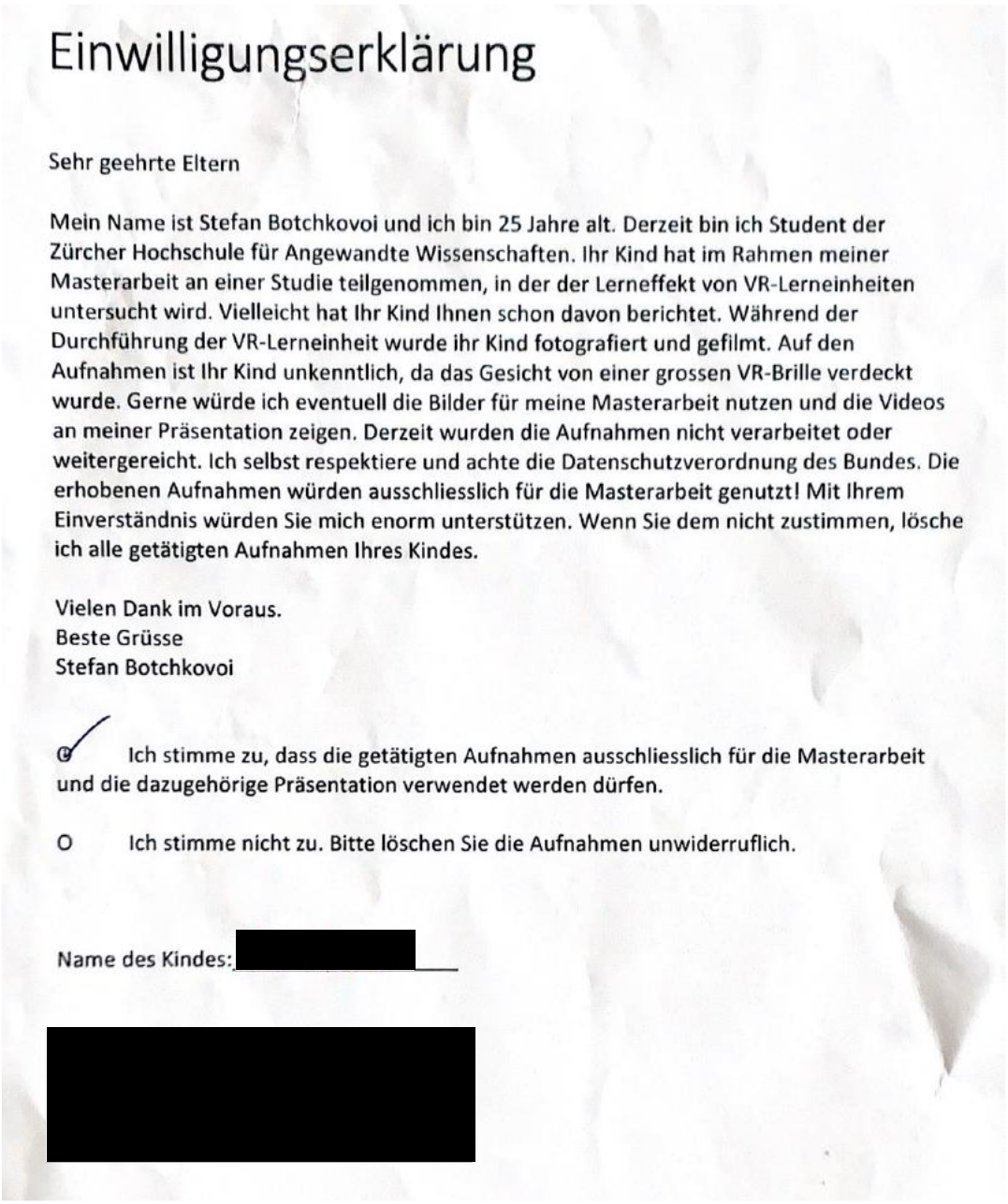
Vielen Dank im Voraus.
Beste Grüsse
Stefan Botchkovoi

X Ich stimme zu, dass die getätigten Aufnahmen ausschliesslich für die Masterarbeit und die dazugehörige Präsentation verwendet werden dürfen.

O Ich stimme nicht zu. Bitte löschen Sie die Aufnahmen unwiderruflich.

Name des Kindes: [redacted]

[redacted]



Einwilligungserklärung

Sehr geehrte Eltern

Mein Name ist Stefan Botchkovoi und ich bin 25 Jahre alt. Derzeit bin ich Student der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften. Ihr Kind hat im Rahmen meiner Masterarbeit an einer Studie teilgenommen, in der der Lerneffekt von VR-Lerneinheiten untersucht wird. Vielleicht hat Ihr Kind Ihnen schon davon berichtet. Während der Durchführung der VR-Lerneinheit wurde ihr Kind fotografiert und gefilmt. Auf den Aufnahmen ist Ihr Kind unkenntlich, da das Gesicht von einer grossen VR-Brille verdeckt wurde. Gerne würde ich eventuell die Bilder für meine Masterarbeit nutzen und die Videos an meiner Präsentation zeigen. Derzeit wurden die Aufnahmen nicht verarbeitet oder weitergereicht. Ich selbst respektiere und achte die Datenschutzverordnung des Bundes. Die erhobenen Aufnahmen würden ausschliesslich für die Masterarbeit genutzt! Mit Ihrem Einverständnis würden Sie mich enorm unterstützen. Wenn Sie dem nicht zustimmen, lösche ich alle getätigten Aufnahmen Ihres Kindes.

Vielen Dank im Voraus.
Beste Grüsse
Stefan Botchkovoi

☑ Ich stimme zu, dass die getätigten Aufnahmen ausschliesslich für die Masterarbeit und die dazugehörige Präsentation verwendet werden dürfen.

O Ich stimme nicht zu. Bitte löschen Sie die Aufnahmen unwiderruflich.

Name des Kindes: [redacted]

[redacted]

A.10 Auswertung der Messung

Die Tabellen der gesammelten Daten sind für die Einfügung zu gross, weshalb die Daten in dem folgendem externen Dokument (geschütztes Excel) eingesehen werden können: Auswertung Prä- und Post-Messung

A.11 Auswertung Proband 2

Proband 2

Phase	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	Gesamtpunktzahl
Pre-Test	0	2	1	0	1	1	8	0	1	2	0	1	13
Post-Test	1	2	1	1	1	1	8	2,5	1	2	0	2	22,5

Wissenszuwachs: **73%**

A.12 Beobachtungen Neuhausen am Rheinfall

A.12.1 VR-Lerneinheit

Proband 2

- Einweisung
- Gamer
- Noch nie vorher VR gespielt
- Hat grosse Schwierigkeiten mit der Steuerung. Es muss ständig erklärt und wiederholt werden
- Teleportation fällt dem Probanden schwer
- Das Werfen fördert sichtbar die motorischen Fähigkeiten. Nach anfänglichen Schwierigkeiten schaffen es alle Probanden mindestens einen Ball zu treffen
- Nach anfänglichen Schwierigkeiten konnte nach einer gewissen Findungsphase die Aufgabe im Klassenzimmer gut gelöst werden
- Proband bekommt nach und nach die Steuerung in den Griff
- Proband ist sich bei vielem unsicher und muss nachfragen
- Mondphasen wurden genau beobachtet. Die anschliessenden Fragen konnten gut gelöst werden
- Kein Schwindel oder Übelkeit

Proband 5

- Mehrmals schon VR-Spiele gespielt
- Positiv aufgeregt auf das Experiment
- Einweisung erfolgt
- Spielt Computerspiele
- Schüler haben immer wieder kleinere Fragen zur Steuerung, die nebenher beantwortet werden können
- Teleportation wird wie beim ersten Schüler nicht genutzt
- Aufgabe an der Tafel muss nochmals nacherklärt werden
- Hat Höhenangst. Die Rampe zur Rakete kostet den Probanden Überwindung
- Flug zum Mond beeindruckt den Probanden. Ist vom Sonnensystem und dem Grössenverhältnis Sonne-Erde-Mond fasziniert.
- Mond beeindruckt den Probanden
- Mondstation als gruselig empfunden
- Proband ist tief in der Welt eingetaucht. Immersion/Presence
- Proband konnte die drei Fragen zum Mond mit kurzen Überlegungen sehr gut lösen
- Spiel hat Spass gemacht

- Kein Schwindel oder Übelkeit
- Begeistert von der Lerneinheit
- Findet das Spiel faszinierend

Proband 7

- Einweisung
- Neutrale Gefühlslage. Keine besondere Vorfreude oder Nervosität
- Spielt keine Computerspiele
- VR zuvor 1x nur kurz probiert
- Steuerung fällt schwer es müssen Hinweise gegeben werden
- Teleportation wurde schnell verstanden und wird zum Fortbewegen genutzt
- Tafelaufgabe konnte ohne weitere Erklärung zügig mit kurzem Überlegen gelöst werden
- Reise zum Mond war beeindruckend. Hat für Staunen gesorgt.
- Liest sich alle Texte aufmerksam durch
- Fragen zu den Mondphasen waren anspruchsvoll. Bei Schwierigkeiten wurde nach dem Ausschlusskriterium gearbeitet
- Gegen Ende Übelkeit, Schwindel
- Hatte Spass und würde gerne nochmal eine VR-Lerneinheit spielen

Proband 9

- 1x mit VR zuvor gespielt
- Spielt keine Computerspiele
- Positiv aufgeregt auf das Experiment
- Einweisung erfolgt
- Laufen mit Controller schwierig. Teleportation fällt auch schwer
- Muss auf den Weg zum Schulhaus hingewiesen werden
- Schwindel, schlecht durch schnelle und hektische Bewegungen
- Tafelaufgabe scheint schwer zu sein aber nach überlegen und probieren lösbar
- Nach der Tafelaufgabe wurde das Experiment aufgrund von Schwindel und Übelkeit abgebrochen
- Gefühl von Presence war trotz Abbruch vorhanden

Proband 10

- Gamer
- Positiv aufgeregt
- Einweisung erfolgt
- Einmal mit VR gespielt
- Anfangs muss die Steuerung nochmals erklärt werden. Ist ein Learning by Doing

- Benutzt die Teleportation häufig
- Liest sich alle Texte aufmerksam durch
- Verspürt Schwindel und Übelkeit
- Experiment wurde an der Tafel in der ersten Szene abgebrochen.
- Bei der Tafelaufgabe konnte keine Antwort zugewiesen werden

A.12.2 Frontalunterricht

- Interesse der Probanden war hoch
- Viele Fragen wurden gestellt
- Distanzen konnten schwer abgeschätzt werden
- Wenig Vorwissen
- Breites Fragespektrum
- Diffuse Fragen wie (wie: sind schon Mal zwei Planeten ineinander gekracht?)
- Zielgerichtete Fragen (Welche Planeten wurden sonst besucht? Was ist das auf der Sonne, die Eruptionen, Oberfläche)
- Medien wurden flexibel eingesetzt. Bilder, Internet, Globus
- Merksatz konnte wiederholt und eingeprägt werden
- Gravitation konnte von den Probanden schwer nachvollzogen werden
- Schätzfragen wurden gestellt
- Distanzen und räumliche Wahrnehmung ist schwierig
- Grosse Zahlen können schwer vollzogen werden

A.13 Beobachtungen Stein am Rhein

A.13.1 VR-Lerneinheit

Proband 12

- Einweisung erfolgt
- Fühlt sich neutral
- Gamed Nintendo
- Spielt sehr regelmässig VR
- Keinerlei Probleme mit der Steuerung
- Teleportation wird genutzt
- Tafelaufgabe macht keine Probleme und wurde fehlerfrei gelöst
- Mondaufgabe wurde fehlerfrei gelöst
- Sicherer Umgang in der VR-Umgebung
- Konzentration auf die Lerninhalte

Proband 15

- Einweisung erfolgt
- Hat schon einige Male mit einer VR Brille gespielt
- Gamed auf dem Tablet

- Koordinationsprobleme, die gegen Ende der VR-Lerneinheit weniger wurden
- Tafelaufgabe konnte nicht vollständig gelöst werden, aufgrund der Koordinationsprobleme
- Mondaufgabe konnte ohne Probleme gelöst werden

Proband 17

- Noch nie VR gespielt
- Gamed Xbox
- Einweisung erfolgt
- Teleportation funktioniert ohne Probleme
- Braucht Zeit, um sich mit der Steuerung vertraut zu machen
- Beherrscht die Steuerung mittlerweile
- Tafelaufgabe war kein Problem
- Mondaufgabe fehlerfrei gelöst

Proband 19

- Einweisung erfolgt
- Spielt ab und zu mit VR-Sets
- Steuerung macht etwas Probleme
- Gleichgewichtsprobleme beim Spielen
- Massive Probleme mit der Steuerung und Koordination
- Aufgabe an der Tafel erschien als schwierig, konnte aber mit Hilfe gelöst werden
- Aufgrund der Koordinationsprobleme wurde dem Probanden übel und schwindelig
- Das Experiment wurde abgebrochen
- Aufgabe an der Tafel erschien als schwierig, konnte aber mit Hilfe gelöst werden

Proband 20

- Einweisung erfolgt
- Gamed Playstation
- Noch nie mit einer VR-Brille gespielt
- Steuerung wurde direkt verstanden. Proband war in der Lage sofort mit dem Spiel zu beginnen
- Stationen werden nicht genau bearbeitet. Proband «rennt» durch die VR-Lerneinheit
- Spielerisches verhalten
- Hört die Erklärungen nicht an
- Tafelaufgabe wurde zügig und ohne Fehler bearbeitet

- In der Rakete werden die Erklärungen nicht aufmerksam beachtet. In dieser Zeit werden die einzelnen Objekte in der Rakete betrachtet
- Zeigt Anzeichen vom Eintauchen. Schaut vorsichtig von der Raketenrampe
- Mondszene wird «durchgerannt», Erklärungen übersprungen
- Proband ist soweit «eingetaucht», dass eine Unterhaltung nicht möglich ist
- Mondphasen-Aufgabe wurde ohne Fehler gelöst
- Proband ist mit der Steuerung sehr vertraut und hatte keine Zwischenfrage

Proband 21

- Einweisung erfolgt
- Neutral. Nicht aufgeregt
- Hat schon 2x mit einer VR-Brille gespielt
- Gamed daheim ab und zu
- Steuerung macht keine Probleme
- Teleportation wird genutzt
- Stationen werden aufmerksam abgearbeitet
- Aufgabe an der Tafel konnte fehlerfrei und ohne Erklärung gelöst werden
- Wurfstation auf dem Mond heitert das Spiel auf und sorgt bei jedem Probanden für einen Lacher.
- Mondphasen wurden zügig gelöst

Proband 22

- Einweisung erfolgt
- Gamer
- Keine VR-Erfahrung
- Schaut wild umher
- Teleportation funktioniert ohne Probleme
- Steuerung wird nach und nach besser
- Stationen werden nicht aufmerksam bearbeitet
- Koordinationsprobleme
- Tafelaufgabe ohne Schwierigkeiten gelöst
- Koordinationsprobleme sind überwunden

Proband 24

- Einweisung erfolgt
- Nicht aufgeregt. Neutral
- Gamed Nintendo
- Noch nie mit VR gespielt
- Anfangs vorsichtig mit dem Laufen, findet aber nach und nach besser rein
- Stationen werden sorgfältig bearbeitet
- Tafelaufgabe ohne Probleme und Fehler gelöst

- Mondaufgabe ohne Probleme und Fehler gelöst
- Steuerung ist sicher und gekonnt
- Presence: Ja

Proband 27

- Einweisung erfolgt
- Vorher 3x mit VR gespielt
- Keine Gamerin
- Positiv aufgeregt
- Teleportation ist bekannt und wird verwendet
- Steuerung scheint keine Probleme zu machen
- Nach kurzer Startschwierigkeit wurde die Tafelaufgabe schnell und ohne Fehler gelöst
- Proband meistert die Lerneinheit mit Bravour. Jede Lernstation wurde aufmerksam bearbeitet
- Zum Ende der 3. Szene musste eine kleine Pause eingelegt werden, da dem Probanden schwindelig wurde
- Nach einer 3-minütigen Pause wurde die Lerneinheit
- Proband hatte das Gefühl im Spiel zu sein

Proband 30

- Einweisung erfolgt
- Hat zuvor 1x mit einer VR-Brille gespielt
- Gamed ab und zu Computer-Spiele
- Keine Probleme mit der Steuerung
- Proband schaut sich die Landschaft mit hektischen Kopfbewegungen an. Wurde darauf hingewiesen, ruhige und langsame Bewegungen zu machen. Der Hinweis wurde nach einem kurzen Moment vergessen
- In der 3. Szene wurde der Lerndurchlauf aufgrund von Schwindel und Übelkeit abgebrochen

Proband 31

- Einweisung erfolgt
- Noch nie VR gespielt
- Gamed etwas am Computer
- Hat etwas Probleme mit der Koordination an der Tafel. Aufgabe erscheint aber nicht schwer zu sein
- Proband hat sich mit der Steuerung vertraut gemacht
- Mondaufgabe wurde zügig gelöst
- Eher ein spielerisches Verhalten und erkundet viel die Landschaft

A.13.2 Beobachtung Frontalunterricht

- Lehrer nimmt Bälle, die ca. dem Grössenverhältnis entsprechen, um die Sonne und die Erde zu zeigen und zu erklären, wer, wen umkreist
- Gewisse Schüler haben Vorwissen wie «die Sonne ist ein Stern und kein Planet»
- Grössenverhältnisse können trotzdem nur schwer und vereinzelt nachvollzogen werden
- Einzelne Kinder haben bereits ein fundiertes Wissen
- In den ersten 10 Minuten haben die Kinder die Grössenverhältnisse und die Umkreisungen vermittelt bekommen. Anschliessend wird das Erlernte mit dem Sitznachbar mittels gegenseitiger Erzählung repetiert
- Trotz vorhergehender Erklärung der Grössenverhältnisse, können die gegeben Grössen der Planeten nicht wirklich zugeordnet werden → Fehlendes Verständnis, Vorstellung der Grössen.
- Die Entfernungen können gut und logisch zugeordnet werden. Folgende Überlegung wurde genannt: Die Sonne ist am weitesten weg, da wir sonst verbrennen würden
- Kinder kennen Neil Armstrong und seinen ersten Satz auf dem Mond, wissen aber nicht wie viele Menschen insgesamt auf dem Mond waren. Die Mehrheit hat gesagt, dass 4 Menschen auf dem Mond waren
- Ein 10-jähriges Mädchen wusste sogar, dass die Sonne mit Gas gefühlt ist.
- Kinder können bereits vor dem Unterricht Sterne, Monde und Planeten auseinanderhalten
- Einige Kinder kannten schon vorhergehend den Merkspruch, um die Planeten besser zu merken
- Gemeinsam konnten die Kinder alle Planeten mittels dem Spruch aufzählen
- Kinder wissen vereinzelt, dass der Mond angestrahlt wird
- Mondphasen werden am Beamer mittels eines Laptops einzeln gezeigt und erklärt, wie diese zustande kommen
- Vollmond und Halbmond sind bekannt. Sichelmond schon eher weniger und Dreiviertel Mond konnte gar nicht genannt werden.
- Den Unterschied von zunehmen und abnehmend kannte keiner
- Nach einer Erklärung werden die Kinder erneut abgefragt und benennen die einzelnen Mondphasen. Dreiviertel-, sowie Sichelmond waren immer noch schwierig zu benennen. Auch ob sich der Mond in einer zunehmenden oder abnehmenden Phase befindet
- Die Mondfinsternis wird mit demselben Video erklärt, wie in der VR-Lerneinheit. Anschliessend werden die Kinder abgefragt
- Es wurde erneut nachgefragt, wie Mondkrater entstehen. Das konnte keiner genau beantworten und wurde nochmals vom Lehrer erklärt