

**BACHELORARBEIT**

# **Einfluss immersiver Mixed-Reality-Lernumgebungen auf die unmittelbare Reproduktionsgenauigkeit: Ein Vergleich mit videobasierten Lerninhalten**

---

vorgelegt am 26. Februar 2025  
Jon Louis Schulte

Erstprüfer: Prof. Dr. Eike Langbehn

Zweitprüfer: Simon Dewert

---

**HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE  
WISSENSCHAFTEN HAMBURG**

Department Medientechnik

Finkenau 35

20081 Hamburg

## **Zusammenfassung**

Diese Arbeit untersucht den Einfluss immersiver Mixed-Reality (MR)-Lernumgebungen auf die unmittelbare Reproduktionsgenauigkeit von Lerninhalten im Vergleich zu videobasiertem Lernen. In einer experimentellen Feldstudie mit Mixed-Methods-Ansatz wurden die Teilnehmenden in zwei Gruppen aufgeteilt, wovon eine mit einer eigens entwickelten MR-Anwendung zum Thema Erdschichten interagierte, während die andere Gruppe ein themengleiches Video sah. Die Reproduktionsgenauigkeit wurde mittels eines Wissenstests unmittelbar nach der Lernphase erfasst. Zusätzlich wurden qualitative Daten zum Lernerlebnis erhoben. Die quantitativen Ergebnisse zeigten keinen statistisch signifikanten Unterschied in der Reproduktionsgenauigkeit zwischen den beiden Gruppen. Die qualitative Analyse deutete jedoch auf ein positiveres Lernerlebnis, höhere Motivation und stärkeres Engagement in der MR-Gruppe hin. Diese Ergebnisse legen nahe, dass MR-Lernumgebungen, obwohl sie in dieser Studie keine signifikante Verbesserung der unmittelbaren Reproduktionsgenauigkeit von Faktenwissen bewirkten, das Potenzial haben, das Lernerlebnis positiv zu beeinflussen. MR könnte daher als ergänzendes Lernmedium in Betracht gezogen werden, insbesondere um Motivation und Engagement zu fördern. Zukünftige Forschung sollte die Langzeiteffekte von MR auf das Lernen und die Wirksamkeit in verschiedenen Lernszenarien untersuchen.

## **Abstract**

This work investigates the influence of immersive Mixed Reality (MR) learning environments on the immediate recall accuracy of learning content in comparison to video-based learning. In an experimental field study with a mixed-methods approach, participants were divided into two groups, one of which interacted with a specially developed MR application on the topic of Earth's layers, while the other group watched a video on the same topic. Recall accuracy was assessed using a knowledge test immediately after the learning phase. In addition, qualitative data on the learning experience was collected. The quantitative results showed no statistically significant difference in recall accuracy between the two groups. However, the qualitative analysis indicated a more positive learning experience, higher motivation, and greater

engagement in the MR group. These results suggest that, although MR learning environments did not cause a significant improvement in the immediate recall of factual knowledge in this study, they have the potential to positively influence the learning experience. MR could therefore be considered as a supplementary learning medium, especially to promote motivation and engagement. Future research should investigate the long-term effects of MR on learning and its effectiveness in different learning scenarios.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	<b>4</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>6</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>7</b>
<b>2 Grundlagen</b> .....	<b>9</b>
2.1 Einführung in XR-Technologien.....	9
2.1.1 Virtual Reality Kontinuum.....	9
2.1.2 Technische Grundlagen und Komponenten.....	10
2.1.3 Evolution der Hardware.....	12
2.2 Pädagogische und lernpsychologische Theorien.....	13
2.2.1 Konstruktivismus.....	13
2.2.2 Dual Coding Theorie.....	13
2.2.3 Self-Paced Learning.....	14
2.3 XR im Bildungskontext.....	14
2.3.1 Anwendungsbereiche von XR im Bildungsbereich.....	14
2.3.2 Vorteile der Anwendung von XR im Bildungskontext.....	15
2.3.2.1 Steigerung des Engagements und der Motivation.....	15
2.3.2.2 Sicherer und kontrollierter Lernraum.....	15
2.3.3 Herausforderungen und Einschränkungen bei der Anwendung von XR im Bildungskontext.....	16
2.3.3.1 Motion Sickness.....	16
2.3.3.2 Anschaffungskosten.....	16
2.3.3.3 Fehlende Pädagogische Konzepte.....	17
2.3.4 Relevanz für die Praxis.....	17
<b>3 Konzeption und Entwicklung der XR-Anwendung</b> .....	<b>18</b>
3.1 Anforderungsanalyse.....	18
3.1.1 Softwareanforderungen.....	18
3.1.2 Hardwareanforderungen.....	19
3.2 User Interface Design.....	21
3.3 Technische Implementierung.....	26
<b>4 Methodik</b> .....	<b>27</b>
4.1 Datenerhebung.....	27
4.1.1 Versuchsdesign.....	27
4.1.2 Ethische Aspekte.....	28
4.1.3 Erfassungsinstrumente.....	28
4.1.4 Eigenschaften und Auswahl der Stichprobe.....	29
4.2 Durchführung des Versuchs.....	30

4.2.1 Einführung.....	30
4.2.2 Ablauf Gruppe A.....	30
4.2.3 Ablauf Gruppe B.....	30
4.2.4 Abschluss.....	31
4.3 Datenanalyse.....	32
<b>5 Evaluation.....</b>	<b>34</b>
5.1 Diskussion der Quantitativen Ergebnisse.....	34
5.2 Diskussion der qualitativen Ergebnisse.....	34
5.2.1 Einfluss der virtuellen Lernumgebung auf das Lernerlebnis.....	34
5.2.2 Interaktionsmöglichkeiten und technische Umsetzung.....	35
5.3 Einordnung in bestehende Literatur.....	36
5.4 Limitationen.....	37
5.5 Implikationen für die Praxis.....	38
5.6 Ausblick und zukünftige Forschung.....	38
<b>6 Fazit.....</b>	<b>41</b>
<b>Quellenverzeichnis.....</b>	<b>42</b>
<b>Anhang.....</b>	<b>47</b>
Fragebogen.....	47
Multiple Choice.....	47
Wahr/Falsch.....	49
Offene Fragen.....	50
Inhalte des USB-Sticks.....	51
<b>Eigenständigkeitserklärung.....</b>	<b>52</b>

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Layout des User Interfaces.....	21
Abbildung 2: Layout des User Interfaces nach dem Start der Anwendung.....	22
Abbildung 3: Greifen eines einzelnen Lernbausteines.....	23
Abbildung 4: Infotafel mit platziertem Lernbaustein.....	24
Abbildung 5: Entfernen eines Lernbausteines von der Infotafel.....	24
Abbildung 6: Einsetzen einer Erdschicht in die Erde.....	25

# 1 Einleitung

In einer zunehmend von visuellen und interaktiven Medien geprägten Welt stehen traditionelle Lernmedien vor der Herausforderung, mit den sich wandelnden Bedürfnissen und Erwartungen der Lernenden Schritt zu halten (Au & Lee, 2017). Während Videos als Lernmedium bereits eine gewisse Dynamik und Anschaulichkeit bieten, bleibt die Interaktion oft auf das passive Betrachten beschränkt (Moro et al., 2017). Die zunehmende Verbreitung und Weiterentwicklung von Extended Reality (XR) Technologien eröffnet diesbezüglich neue Potenziale für den Bildungsbereich, da XR-Anwendungen eine immersive und interaktive Lernerfahrung ermöglichen. Diese interaktive Auseinandersetzung mit Lerninhalten in einer virtuellen Umgebung könnte einen entscheidenden Vorteil gegenüber traditionellen Medien darstellen.

Trotz des offensichtlichen Potenzials von XR im Bildungsbereich ist die Forschung zu den konkreten Auswirkungen dieser Technologie auf den Lernerfolg, insbesondere im Vergleich zu etablierten Lernformaten wie Videos, noch nicht abgeschlossen. Im Gegensatz zu den in Abschnitt 2.3.2.1 diskutierten positiven Effekten von XR auf Motivation, Engagement und das subjektive Lernerlebnis, die in bestehenden Studien herausgestellt werden, ist das Bild hinsichtlich der Wissensaufnahme und -speicherung, speziell der unmittelbaren Reproduktionsgenauigkeit, noch differenziert zu betrachten. Es gibt Hinweise darauf, dass XR hier Vorteile bieten könnte, jedoch sind weitere Untersuchungen notwendig, um diese Annahme zu bestätigen und auch den Einfluss verschiedener Faktoren, wie Art der Lerninhalte, die Gestaltung der XR-Umgebung oder individuelle Lernvoraussetzungen genauer zu verstehen. Hier setzt diese Arbeit an und untersucht die folgende Forschungsfrage: **Inwiefern beeinflusst eine immersive Mixed-Reality-Lernumgebung die unmittelbare Reproduktionsgenauigkeit von Lerninhalten im Vergleich zu einer videobasierten Lernumgebung?** Aus dieser Forschungsfrage leiten sich die folgenden Hypothesen ab:

1. Die unmittelbare Reproduktionsgenauigkeit von Lerninhalten ist in der MR-Lernumgebung signifikant höher als in der videobasierten Lernumgebung.

2. Die Teilnehmer:innen der MR-Gruppe berichten in offenen Fragen über ein positiveres Lernerlebnis, eine höhere Motivation und ein stärkeres Engagement als die Teilnehmer:innen der Video-Gruppe.

## 2 Grundlagen

### 2.1 Einführung in XR-Technologien

#### 2.1.1 Virtual Reality Kontinuum

Zu Beginn ist es sinnvoll, Milgram's Virtual Reality Kontinuum zu betrachten, welches in dieser Arbeit als Rahmenwerk dient, um unterschiedliche technologiegestützte Realitätsformen anhand ihres Grades der Vermischung von realer und virtueller Umgebung einzuordnen. Innerhalb des Kontinuums werden folgende Schlüsselbegriffe Definiert (Milgram et al., 1995; Skarbez et al., 2021):

##### **Virtual Reality (VR)**

Als Virtual Reality wird eine vollständig immersive, computergenerierte Simulation einer dreidimensionalen Umgebung verstanden. Im Gegensatz zu Augmented Reality (AR) oder Mixed Reality (MR) werden hierbei keine virtuellen Elemente in die reale Umgebung eingeblendet, sondern der Nutzer befindet sich vollständig in der virtuellen Welt. Umgesetzt wird dies mit Hilfe von VR-Brillen, welche die reale Umgebung dabei visuell komplett abschirmen (Au & Lee, 2017; Hendra Jaya et al., 2022; Kyaw et al., 2019).

##### **Mixed Reality (MR)**

Unter Mixed Reality versteht man die Kombination von Objekten aus der echten Umgebung mit virtuell erzeugten Objekten. Virtuelle Objekte in Mixed Reality wirken auf den Nutzer so, als ob sie Teil der echten Umgebung wären. So können sie etwa durch Objekte der echten Umgebung verdeckt werden und auch Reflektionen und Schattierungen werden möglichst realitätsnah dargestellt. Auch Geräusche und Klänge werden mit Hilfe von Head-Tracking und darauf reagierenden Effekten so wiedergegeben, dass der Eindruck entsteht, als würden sie von bestimmten Punkten in der realen Umgebung erklingen (Sotamaa et al., 2021; XR Safety Initiative (XRSI), 2020).

##### **Augmented Reality (AR)**

Im Gegensatz zur Mixed Reality werden virtuelle Objekte und Informationen in der Augmented Reality nicht in die reale integriert, sondern lediglich über der realen Umgebung eingeblendet. Der Nutzer nimmt also weiterhin seine reale Umgebung wahr, die durch zusätzliche virtuelle Elemente erweitert wird. Diese Einblendungen erfolgen

meist über ein Smartphone, ein Tablet oder eine AR-Brille (Lvov & Popova, 2019; Skarbez et al., 2021; XR Safety Initiative (XRSI), 2020).

### **Extended Reality (XR)**

Da der Unterschied zwischen AR und MR nicht immer klar ist und einige Experten zudem Argumentieren, dass auch VR eigentlich eine Form von MR ist, da Nutzer die reale Umgebung durch Auditive und Sensorische Wahrnehmung neben der Virtuellen Umgebung wahrnehmen, wird inzwischen oft der Sammelbegriff Extended Reality (XR) verwendet. Dieser fasst die verschiedenen Technologien zusammen (Jungherr & Schlarb, 2022; XR Safety Initiative (XRSI), 2020).

### **Real Environment (RE)**

Am anderen Ende des Kontinuums befindet sich die echte Realität, wie sie auf natürliche Art und Weise wahrgenommen wird (Cowling & Birt, 2018).

## 2.1.2 Technische Grundlagen und Komponenten

Um immersive XR-Erfahrungen zu schaffen, sind die Qualität und Leistungsfähigkeit der Hardware entscheidende Faktoren. Im Folgenden werden die wichtigsten Bestandteile eines Virtual Reality Headsets (VR-Headsets), wie es auch im Rahmen dieser Arbeit eingesetzt wird, erläutert.

### **Displays**

VR-Headsets verfügen über zwei Displays, je eines pro Auge, welche verantwortlich für die Darstellung der virtuellen Umgebung sind. Je höher die Auflösung der Displays, desto realitätsnäher erscheint das Bild dem Nutzer, da die einzelnen Pixel weniger sichtbar werden. Auch der sogenannte Screen-Door-Effekt wird durch eine höhere Auflösung reduziert. Dieser tritt auf, wenn die Zwischenräume zwischen den Pixeln als feines Gitter wahrnehmbar sind, was den Eindruck erweckt, durch ein Fliegengitter zu schauen. Wichtig ist außerdem eine hohe Bildwiederholrate. Je höher sie ist, desto flüssiger können Bewegungen dargestellt werden, was die Immersion erhöht und dabei hilft, Nebenwirkungen wie Schwindel zu reduzieren (Angelov et al., 2020; XR Safety Initiative (XRSI), 2020).

### **Linsen**

Die Linsen in einem VR-Headset sorgen dafür, das Bild des Displays zu vergrößern und für das Auge korrekt zu fokussieren. Die Größe des Sichtfeldes (Field of View, FoV), also der Bereich der virtuellen Welt, der für den Nutzer sichtbar ist, hängt maßgeblich von den verwendeten Linsen ab. Ein größeres Sichtfeld trägt zu einem stärkeren Gefühl der Immersion bei. In günstigen Headsets werden häufig Fresnel-Linsen verwendet. Diese haben eine spezielle, geriffelte Oberfläche, welche eine dünne und leichte Bauweise mit einer kurzen Brennweite ermöglicht. Allerdings können Fresnel-Linsen zu optischen Artefakten wie God Rays (Streulicht) und chromatischen Aberrationen (Farbsäumen) führen. Vermeiden lassen sich solche Effekte durch die Verwendung von Pancake-Linsen. Sie sind kompakter und leichter als Fresnel-Linsen und können ein größeres Sichtfeld bei geringerer Verzeichnung bieten. Allerdings sind sie in der Herstellung aufwendiger und daher teurer (Angelov et al., 2020).

### **Rechenleistung**

Es gibt im Wesentlichen zwei Varianten, die für das Rendering der Virtuellen Objekte oder Umgebung benötigte Rechenleistung bereitzustellen. Standalone-VR-Headsets verwenden direkt in das Headset integrierte, leistungsstarke System-on-a-Chip (SOC), um die virtuellen Welten in Echtzeit zu rendern. Ein SOC vereint CPU, GPU und andere wichtige Komponenten auf einem einzigen Chip, was es effizient und kompakt und damit auch gut für den Einsatz in VR-Headsets geeignet macht. Bei PC-VR-Headsets ohne eigene GPU wird ein externer, meist per Kabel verbundener, Computer benötigt, welcher potentiell deutlich mehr Leistung als ein SOC bereitstellen kann (Angelov et al., 2020).

### **Audio**

Ein weiterer wichtiger Faktor für eine überzeugende XR-Erfahrung ist eine glaubwürdige Simulation von räumlichem Klang, die den Eindruck erweckt, dass Geräusche aus bestimmten Richtungen oder von fest im Raum verortbaren Orten kommen. Verschiedene Technologien wie unter anderem HRTF (Head-Related Transfer Function) werden eingesetzt, um den Klang an die Position und Orientierung des Kopfes des Nutzers anzupassen (*What is HRTF?*, 2019).

### **Interaktion**

Für die Interaktion mit der virtuellen Umgebung kommen bei aktuellen VR-Headsets verschiedene Technologien zum Einsatz. Controller, die über 6DoF-Tracking verfügen, ermöglichen die präzise Erfassung ihrer Position und Orientierung im Raum. Kombiniert mit Tasten, Analogsticks und Triggern ermöglichen sie eine präzise Interaktion und bieten außerdem haptisches Feedback. Beim Hand-Tracking erfassen Kameras am Headset die Bewegungen und Gesten der Hände und übertragen diese in die virtuelle Welt, was eine intuitive Interaktion ohne Controller ermöglicht. Hochwertige Headsets bieten zum Teil außerdem Eye-Tracking an, welches die Blickrichtung des Nutzers erfasst. Es kann nicht nur zur Steuerung, sondern auch durch Techniken wie Foveated Rendering zur Optimierung der Grafikdarstellung verwendet werden (Angelov et al., 2020; XR Safety Initiative (XRSI), 2020).

### 2.1.3 Evolution der Hardware

In seinen Anfängen in den 1990er-Jahren versprach das Konzept der Virtuellen Realität faszinierende Interaktionen mit simulierten Umgebungen und virtuellen Personen. Die frühe VR-Hardware war jedoch mit erheblichen Herausforderungen konfrontiert, darunter mangelnder Komfort, fehlender Realismus und hohe Kosten. Ein zentrales Problem war die unzureichende Rechenleistung der damaligen Computer, die nicht in der Lage waren, die komplexen dreidimensionalen virtuellen Welten in ausreichender Qualität und Geschwindigkeit zu berechnen und darzustellen. Aufgrund dieser Einschränkungen beschränkten sich die Anwendungen hauptsächlich auf militärische und industrielle Sektoren, wie beispielsweise Gefechtssimulationen und 3D-Visualisierungen (Au & Lee, 2017). Ein entscheidender Schritt, um VR für den Massenmarkt verfügbar zu machen, war die Entwicklung der Oculus Rift. Nach einer erfolgreichen Kickstarter-Kampagne im Jahr 2012 folgten mehrere Entwicklerversionen und Prototypen, die schrittweise Auflösung, Sichtfeld und Tracking verbesserten. Die erste kommerzielle Version der Rift erschien 2016, benötigte jedoch einen leistungsstarken PC. Einen weiteren Meilenstein stellte die Oculus Quest dar, die im Mai 2019 auf den Markt kam. Als Standalone-Headset, das ohne externen Computer funktionierte, machte die Quest VR deutlich zugänglicher und ebnete den Weg für eine breitere Akzeptanz (Grossman, 2014).

## 2.2 Pädagogische und lernpsychologische Theorien

### 2.2.1 Konstruktivismus

Im Kern geht der Konstruktivismus davon aus, dass sich Lernende durch Interaktion mit der Umwelt und der daraus folgenden Interpretation von Erfahrungen, ihr Wissen und das Verständnis von Konzepten selbst aktiv konstruieren. Sie erhalten also nicht nur passive Informationen, sondern bauen, basierend auf ihrem bereits bestehenden Wissen, durch die Integration von neuen Erfahrungen aktiv ihre Wissensstrukturen aus (Hunt et al., 2020).

Es liegt also nahe, auf Grundlage des Konstruktivismus XR Anwendungen zu entwickeln, da sie Umgebungen bereitstellen können, durch die Nutzer aktiv mit Inhalten interagieren und so aktiv Erfahrungen und Wissen konstruieren können (Radianti et al., 2020).

### 2.2.2 Dual Coding Theorie

Die Dual Coding Theorie ist eine aus der Kognitionspsychologie stammende Theorie, die sich mit der Verarbeitung von verbalen und bildlichen Informationen auseinandersetzt. Sie besagt, dass Menschen Informationen in zwei unterschiedlichen, aber dennoch miteinander verbundenen, kognitiven Systemen verarbeiten: Zum einen das verbale System, welches für die Verarbeitung von Sprache und sprachbasierten Informationen zuständig ist und zum anderen dem visuellen System, welches primär für die Verarbeitung von visuellen Vorstellungen und auch anderen nicht-sprachlichen Informationen zuständig ist (Schnotz, 2014).

Im Kontext von XR- und VR-Lernanwendung ist diese Theorie besonders relevant, da sie die technischen Voraussetzungen bietet, visuell immersive Erfahrungen bereitzustellen und Informationen sowohl über das visuelle als auch das verbale System zu vermitteln, was zu gesteigerten Lernerfolgen führen könnte. Bei der Gestaltung einer XR-Lernanwendung ist es demnach sinnvoll, darauf zu achten, dass beide Systeme aktiviert werden, damit die Informationen über beide Systeme hinweg vernetzt werden können. Erzielt werden kann eine solche duale Kodierung von Informationen beispielsweise durch die Darstellung eines virtuellen Objektes mit begleitender

sprachlicher Erklärung. Die daraus resultierende doppelte Repräsentation im Gehirn kann zu einem besseren Behalten und einem tieferen Verständnis führen, da die Lernenden ein umfassenderes mentales Modell des Lernstoffs konstruieren können (Schnotz, 2014).

### 2.2.3 Self-Paced Learning

Das selbstgesteuerte Lernen, auch als "Self-Paced Learning" bezeichnet, beschreibt eine Lernform, bei der die Lernenden die Möglichkeit haben, das Lerntempo individuell auf ihre Bedürfnisse und Fähigkeiten anzupassen. Sie haben die Freiheit, sich bei komplexen Inhalten mehr Zeit zu nehmen und diese so oft wie nötig zu wiederholen, bis ein tieferes Verständnis erreicht ist. Im Gegensatz dazu können bereits verstandene Inhalte schneller durchlaufen werden, wodurch eine effizientere Nutzung der Lernzeit ermöglicht wird (Fussell & Truong, 2022). Diese Flexibilität fördert nicht nur ein tieferes Verständnis des Lernstoffs, sondern steigert auch die Selbstständigkeit und das Selbstvertrauen der Lernenden, da sie die Kontrolle über ihren eigenen Lernprozess übernehmen (Qureshi et al., 2024).

## 2.3 XR im Bildungskontext

### 2.3.1 Anwendungsbereiche von XR im Bildungsbereich

XR-Anwendungen werden schon heute in verschiedensten Bereichen des Bildungswesens eingesetzt. Im MINT-Bereich ermöglicht XR die Nachbildung unsichtbarer, gefährlicher oder unzugänglicher Phänomene und die Simulation von Betriebsumgebungen, um den Umgang mit teuren Geräten zu erlernen (Durukan et al., 2020). In der medizinischen und gesundheitswissenschaftlichen Ausbildung können XR-Anwendungen insbesondere in den ersten Studienjahren als Alternative zu realen wissenschaftlichen Laboren dienen und Interaktion, Engagement und akademische Leistungen verbessern (Kyaw et al., 2019). Auch in der Ausbildung von Schiffsnavigatoren werden XR-basierte Simulationen eingesetzt (Lvov & Popova, 2019). Im Bauingenieurwesen findet XR Anwendung in der Visualisierung und Gestaltung von Architektur und in der Sicherheits- und Brandschutzschulung (Radianti et al., 2020). XR,

kombiniert mit Gamification-Strategien, kann das Erlernen von Fremdsprachen unterstützen (Pinto et al., 2021). XR wird zudem für erfahrungsbasiertes Lernen, wie beispielsweise virtuelle Exkursionen, eingesetzt (Schott & Marshall, 2020).

### 2.3.2 Vorteile der Anwendung von XR im Bildungskontext

Der Einsatz XR-Technologien im Bildungskontext hat das Potenzial, die Art und Weise, wie Lernende mit Bildungsinhalten interagieren und Erfahrungen machen, grundlegend zu verändern und kann viele weitere Vorteile mit sich bringen.

#### 2.3.2.1 Steigerung des Engagements und der Motivation

XR-Technologien bieten immersive und interaktive Lernerfahrungen, die das Potenzial haben, die Aufmerksamkeit der Lernenden zu fesseln und sie aktiv in den Lernprozess einzubeziehen, was wiederum das Interesse und die Motivation steigern kann. Dies gelingt unter anderem durch die Vermittlung eines starken Gefühls von Präsenz und Immersion, indem Lernende in authentische, multisensorische Erfahrungen eintauchen und Lerninhalte so zum Leben erweckt werden (Schott & Marshall, 2020). Insbesondere bei Lerninhalten, die traditionell als weniger ansprechend empfunden werden, kann die Neuartigkeit und der Unterhaltungswert von XR unaufmerksame oder desinteressierte Lernende ansprechen und ihre Aufmerksamkeit strategisch auf den Lernstoff lenken (Fussell & Truong, 2022; Radianti et al., 2020). Die aktive Teilnahme an virtuellen Umgebungen, statt passive Beobachter zu bleiben, fördert ein tieferes Verständnis und eine stärkere Bindung an den Lernstoff (Radianti et al., 2020). Darüber hinaus ermöglichen XR-Technologien es, Lerninhalte erfahrungsbasiert zu vermitteln, indem sie den Lernenden normalerweise unzugängliche Welten zugänglich machen. Virtuelle Exkursionen können hierbei neues Interesse an einem Thema wecken und das allgemeine Engagement verbessern (Au & Lee, 2017). XR kann somit als nützliches, zusätzliches Werkzeug dienen, um aktuelle Lehrmethoden zu begleiten.

#### 2.3.2.2 Sicherer und kontrollierter Lernraum

XR-Technologien bieten eine sichere und kontrollierte Umgebung für Lernende, um zu üben und Fehler zu machen, ohne Konsequenzen fürchten zu müssen. Dies ist

besonders nützlich in Bereichen wie der Medizin oder der Luftfahrt, wo Fehler in der realen Welt schwerwiegende Folgen haben können. So können Medizinstudenten beispielsweise virtuelle Operationen an virtuellen Patienten ohne das Risiko, einem echten Patienten zu schaden, durchführen und aus ihren Fehlern lernen (Gan et al., 2023). Darüber hinaus bieten XR-Anwendungen eine risikofreie Umgebung, in der Lernende Selbstvertrauen aufbauen und Ängste reduzieren können, bevor sie ihr Wissen und ihre Fähigkeiten in realen Situationen anwenden (Au & Lee, 2017). In der Lotsenausbildung zum Beispiel ermöglicht VR den Lernenden, Notverfahren in einer simulierten Umgebung zu üben, damit sie die nötigen Fähigkeiten entwickeln können, um in kritischen Situationen ruhig und effektiv zu reagieren (Lvov & Popova, 2019).

### 2.3.3 Herausforderungen und Einschränkungen bei der Anwendung von XR im Bildungskontext

#### 2.3.3.1 Motion Sickness

Ein häufiges Problem bei der Nutzung von XR-Anwendungen ist die sogenannte Motion Sickness, welche durch einen sensorischen Konflikt zwischen der visuellen Wahrnehmung und dem Gleichgewichtssinn verursacht wird (Lvov & Popova, 2019). Nutzende können Symptome erfahren, die von leichtem Unwohlsein, wie Kopfschmerzen oder Augenbelastung, bis hin zu starker Übelkeit und Erbrechen reichen. Diese Symptome können so stark ausgeprägt sein, dass sie die Interaktion und das Lernen behindern und selbst nach Absetzen des Headsets noch anhalten (Fussell & Truong, 2022; Hunt et al., 2020; Pinto et al., 2021). Junge Nutzer scheinen generell weniger anfällig für die Symptome zu sein (Schott & Marshall, 2020).

#### 2.3.3.2 Anschaffungskosten

Hohe Anschaffungskosten sind eine erhebliche Barriere, die dem weitreichenden Einsatz von XR-Technologien im Bildungsbereich im Wege stehen (Durukan et al., 2020; Gan et al., 2023). So entstehen nicht nur durch den Kauf der Hardware und Software Kosten, sondern auch durch die praktische Unterstützung von Lehrkräften, die mit der

Technologie noch nicht vertraut sind. Auch das Erstellen von qualitativ hochwertigen Inhalten kann zeit- und kostenintensiv sein (Hendra Jaya et al., 2022).

### 2.3.3.3 Fehlende Pädagogische Konzepte

In einem Großteil der Literatur, die sich mit der Gestaltung von XR-Anwendungen befasst, werden keine oder nur sehr wenige pädagogische und lerntheoretische Konzepte behandelt (Radianti et al., 2020). Ein häufiger Fehlschluss ist der Transfer von traditionellen pädagogischen Konzepten in eine XR-Umgebung (Au & Lee, 2017).

### 2.3.4 Relevanz für die Praxis

Eine verbesserte unmittelbare Reproduktion von Wissen durch die Nutzung einer XR-Lernanwendung könnte einen merkbaren Einfluss auf die Verarbeitung und Diskussion von Lerninhalten im Unterricht haben. Sollte sich zeigen, dass Lernende durch die Interaktion mit einer XR-Umgebung die präsentierten Informationen unmittelbar genauer wiedergeben können, würden sich neue Potenziale für die Gestaltung von Unterrichtssequenzen eröffnen. In Schulen könnte die gesteigerte Reproduktionsgenauigkeit dazu beitragen, dass Schülerinnen und Schüler in anschließenden Unterrichtsgesprächen oder -Aktivitäten auf ein fundierteres Vorwissen zurückgreifen können. Dies wiederum könnte die Interaktion und den Austausch im Klassenzimmer lebendiger gestalten, da die Lernenden aktiver in die Diskussion einbezogen werden und sich auf einer solideren Wissensbasis austauschen können.

# 3 Konzeption und Entwicklung der XR-Anwendung

## 3.1 Anforderungsanalyse

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit wird eine Mixed-Reality-Anwendung (MR) entwickelt, die das Ziel verfolgt, den Lernprozess im Vergleich zu Lernvideos zu verbessern. Um die konkreten Anforderungen an diese Anwendung zu bestimmen, ist eine umfassende Anforderungsanalyse notwendig. Diese Analyse basiert auf den in Kapitel 2 dargelegten theoretischen Grundlagen, insbesondere den konstruktivistischen Ansätzen und der Dual Coding Theorie, sowie auf der übergeordneten Forschungsfrage dieser Arbeit. Die Anforderungen lassen sich in Hard- und Software Anforderungen unterteilen.

### 3.1.1 Softwareanforderungen

#### **Interaktive 3D-Modelle**

Die Anwendung muss die Darstellung und Manipulation von interaktiven 3D-Modellen ermöglichen, die den Lerninhalt veranschaulichen. Diese Anforderung leitet sich aus dem konstruktivistischen Ansatz ab, der die aktive Auseinandersetzung mit Lernmaterialien als zentral für den Wissenserwerb betrachtet.

#### **Sprachausgabe**

Die Anwendung muss eine Sprachausgabe integrieren, die die Lerninhalte verbal erläutert und zusätzliche Informationen liefert. Dies stützt sich auf die Dual Coding Theorie, die besagt, dass die gleichzeitige Verarbeitung von verbalen und visuellen Informationen den Lernerfolg verbessert.

#### **Selbstständiges Lerntempo**

Die Anwendung muss es den Nutzern ermöglichen, ihr eigenes Lerntempo zu bestimmen, indem sie die Wiedergabe pausieren, fortsetzen oder erneut starten können. Dies trägt den individuellen Unterschieden in der Lerngeschwindigkeit Rechnung und fördert die Selbstregulation beim Lernen.

## 3.1.2 Hardwareanforderungen

### **Standalone Fähigkeit**

Eine kabelgebundene Lösung, die zusätzliche Hardware wie leistungsstarke PCs oder externe Tracking-Systeme erfordert, wäre für den Gebrauch in Bildungseinrichtungen nicht praktikabel, da dies den Materialaufwand, die Komplexität des Setups und dementsprechend auch die Kosten stark erhöhen würde. Zusätzlich entsteht durch die Standalone Fähigkeit eine hohe Flexibilität und Mobilität in der Nutzung, da die Lernenden nicht an einen bestimmten Ort gebunden sind und die Anwendung in unterschiedlichen Lernumgebungen, wie zum Beispiel im Klassenzimmer, in der Bibliothek oder zu Hause, einsetzen können.

### **Display und Optik**

Ein weiterer wichtiger Aspekt bei der Auswahl der geeigneten Hardware betrifft Display und Optik. Um eine flüssige Darstellung von Bewegungen zu gewährleisten und somit die Immersion zu erhöhen sowie potenziellen Nebenwirkungen wie Schwindel entgegenzuwirken, ist eine hohe Bildwiederholrate von entscheidender Bedeutung (Angelov et al., 2020; XR Safety Initiative (XRSI), 2020). Ebenso trägt ein möglichst weites Sichtfeld (Field of View, FoV) zu einem überzeugendem immersiven Erlebnis bei. Bei der Auswahl der Komponenten ist jedoch stets darauf zu achten, dass die genannten Anforderungen in einem angemessenen Kostenrahmen realisierbar sind, um die Wirtschaftlichkeit der Gesamtlösung nicht zu gefährden.

### **6DoF-Tracking**

Mithilfe von 6DoF Tracking kann die vollständige räumliche Bewegung des Kopfes erfasst werden, indem sowohl die Position als auch die Orientierung im Raum getrackt wird (XR Safety Initiative (XRSI), 2020). Diese Funktionalität ist entscheidend für die Anwendung, da es den Lernenden die Möglichkeit gibt, sich frei im Raum zu bewegen und die Lerninhalte aus verschiedenen Blickwinkeln zu betrachten, was zu einer verbesserten räumlichen Orientierung und einem tieferen Verständnis der dargestellten 3D-Modelle beitragen kann. Ein eingeschränktes Tracking, das beispielsweise nur Kopfdrehungen erfasst (3DoF), würde die Interaktionsmöglichkeiten und das

Immersionsgefühl erheblich limitieren und somit den Lernerfolg in der MR-Umgebung beeinträchtigen (Schott & Marshall, 2020; XR Safety Initiative (XRSI), 2020).

### **Hand-Tracking**

Da ein Ziel der Anwendung ist, eine möglichst intuitive Interaktion mit virtuellen Objekten mithilfe von natürlichen Handgesten zu ermöglichen, ist eine solche Funktionalität erforderlich.

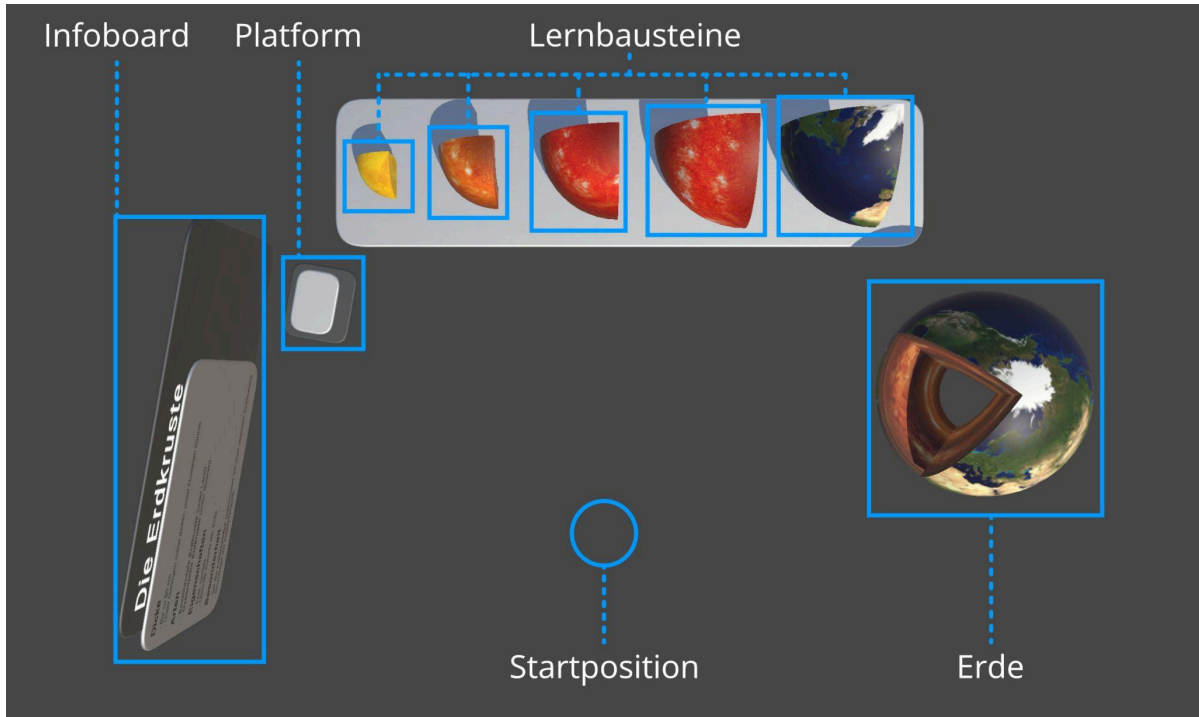
### **Gewicht und Tragekomfort**

Für eine komfortable Nutzung der XR-Anwendung, insbesondere bei längeren Lerneinheiten, spielen Gewicht und Tragekomfort des Headsets eine entscheidende Rolle. Ein geringes Gewicht reduziert die Belastung auf Nacken und Kopf und ermöglicht so eine längere Nutzungsdauer ohne Beschwerden. Darüber hinaus sollte das Headset über eine ergonomische Passform und anpassbare Einstellmöglichkeiten verfügen, um es optimal an die individuellen Kopfgrößen und -formen der Nutzer anzupassen.

## 3.2 User Interface Design

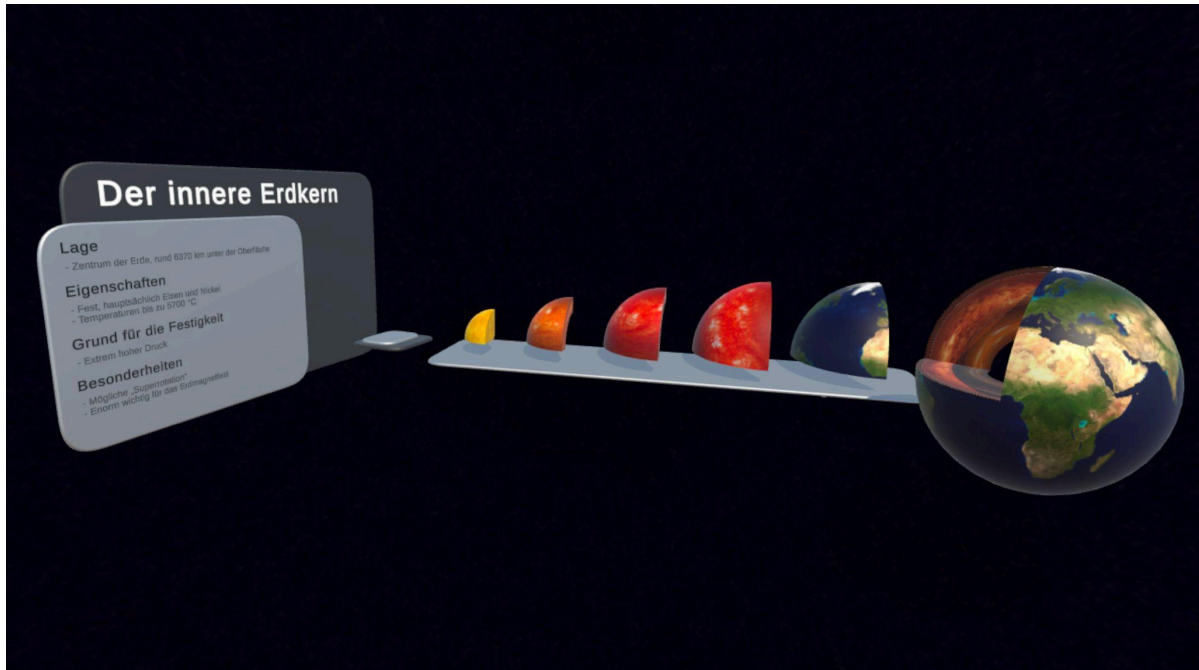
### Abbildung 1

Layout des User Interfaces



## Abbildung 2

Layout des User Interfaces nach dem Start der Anwendung

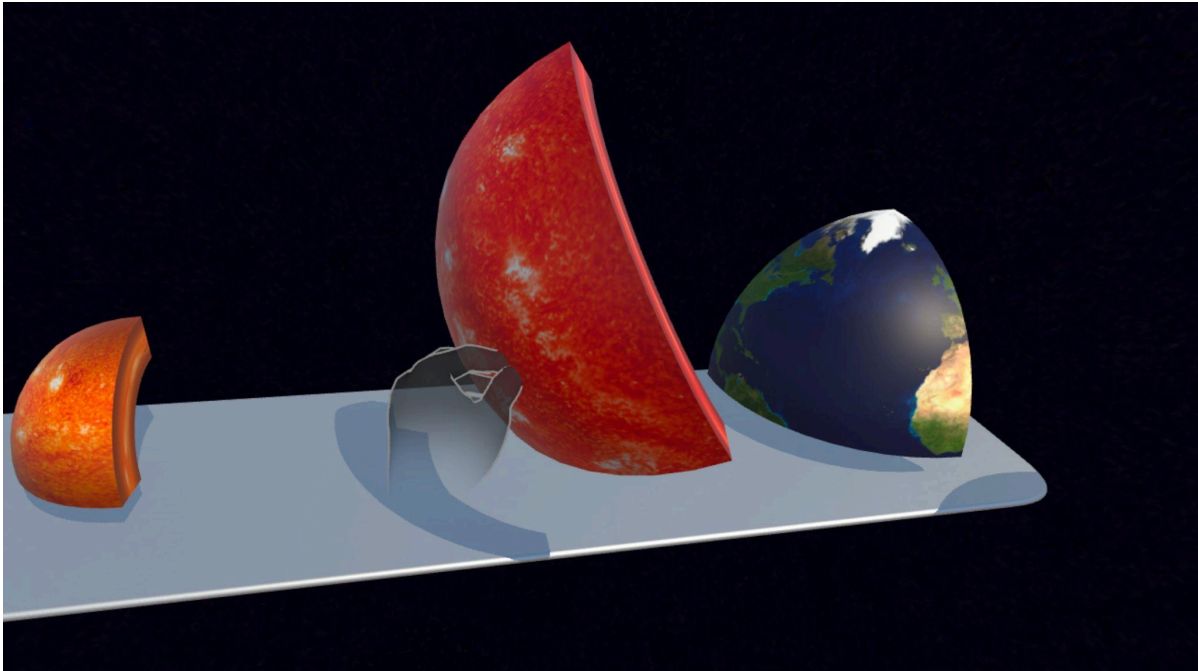


*Anmerkung.* Auf den in dieser Arbeit gezeigten Screenshots wird anstelle des Passthrough Bildes, welches die reale Umgebung zeigen würde, ein schwarzer Hintergrund dargestellt. Dies dient der besseren Erkennbarkeit der User Interface Komponenten.

Das Kernelement der XR-Anwendung sind die sogenannten Lernbausteine, in diesem Fall sind dies jeweils Ausschnitte aus den einzelnen Erdschichten. Die Nutzer können die einzelnen Bausteine mithilfe des Hand-Trackings greifen und sie frei im Raum umherbewegen und platzieren. Wird die Anwendung gestartet, sind die einzelnen Bausteine zunächst direkt vor dem Nutzer auf einer zentralen Plattform platziert.

### Abbildung 3

*Greifen eines einzelnen Lernbausteines*



Links von der Startposition des Nutzers befindet sich eine Infotafel mit einer Plattform, auf der die einzelnen Bausteine platziert werden können. Der Inhalt dieser Tafel zeigt jeweils zu dem auf der Plattform platzierten Baustein passende Informationen an. Wird ein Baustein auf der Plattform platziert, startet außerdem automatisch ein Audioclip, der Inhalte zu dem jeweiligen Baustein in gesprochener Form enthält. Wenn der Baustein von der Plattform entfernt wird, stoppt der Audioclip automatisch.

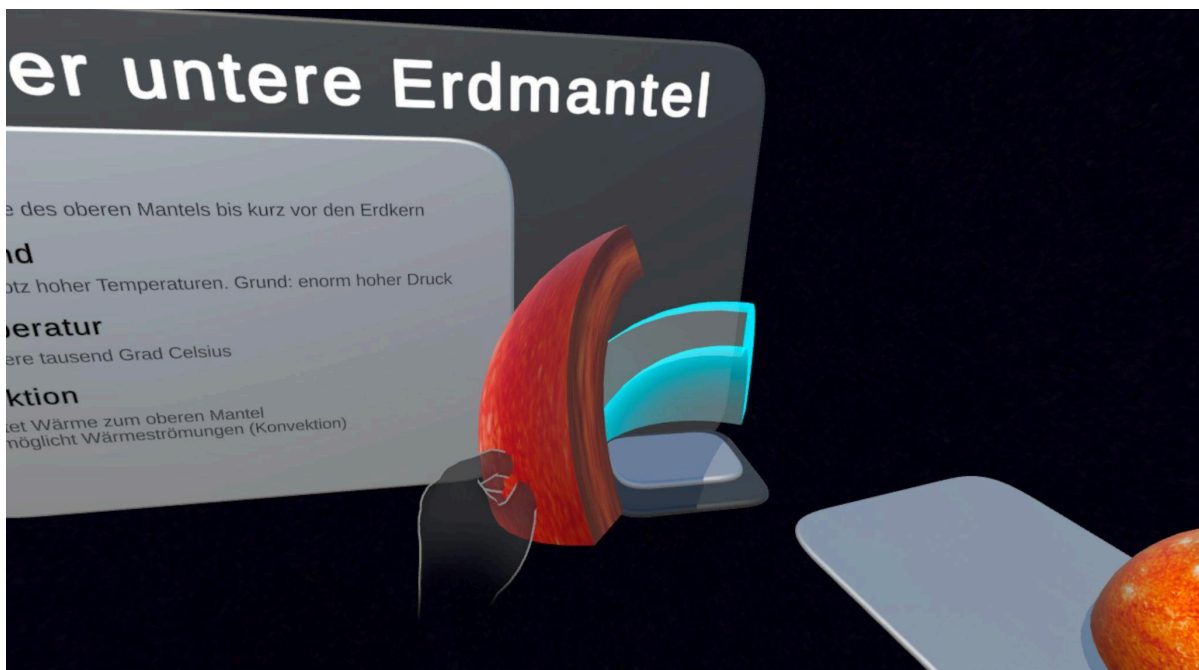
## Abbildung 4

Infotafel mit platziertem Lernbaustein



## Abbildung 5

Entfernen eines Lernbausteines von der Infotafel

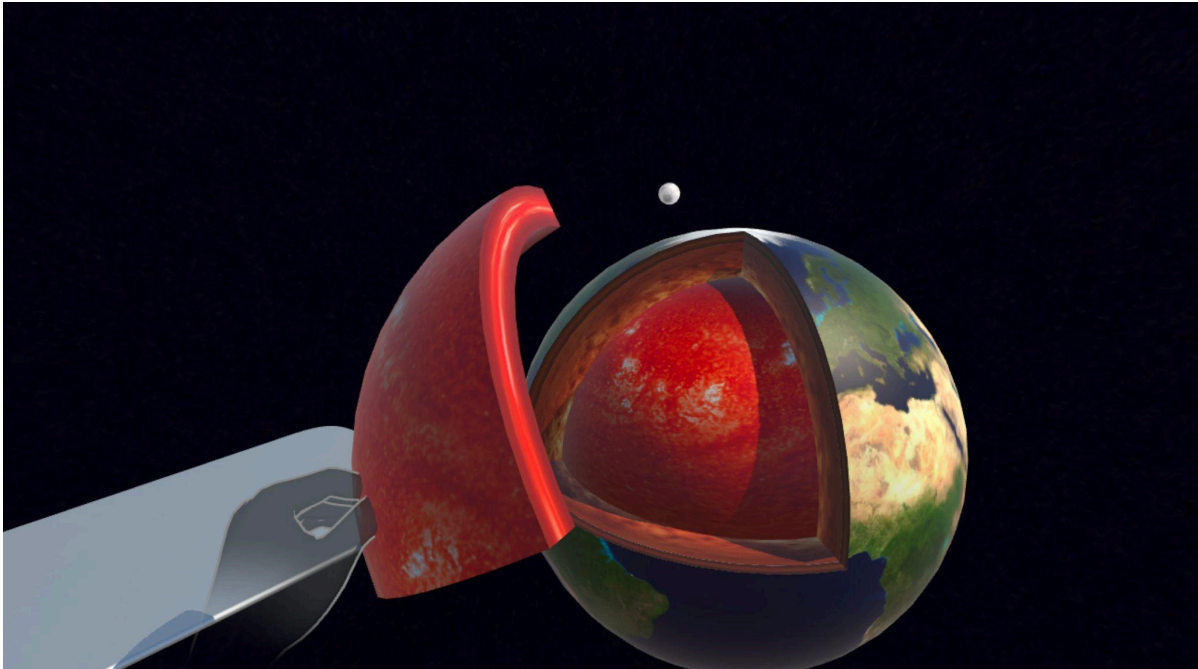


Rechts von der Startposition der Nutzers befindet sich ein Modell der Erde, aus dem ein Querschnitt entfernt wurde. Die Nutzer haben die Möglichkeit, die einzelnen Erdschichten in die Erde wieder einzufügen und so ein vollständiges Modell zu erzeugen. Wichtig ist allerdings, dass die Schichten in der richtigen Reihenfolge

eingefügt werden, ein Zusammenbauen in falscher Reihenfolge ist nicht möglich, um das Verständnis für die Zusammensetzung der Erde zu fördern.

### **Abbildung 6**

*Einsetzen einer Erdschicht in die Erde*



Die visuelle Gestaltung der Anwendung ist bewusst schlicht und ablenkungsfrei gehalten, um die Aufmerksamkeit des Nutzers nicht von den Lerninhalten zu lenken. Die Farbpalette der User Interface Komponenten ist kontrastreich und nutzt ausschließlich Grautöne. Zum einen erhöht dies die Lesbarkeit, zum anderen entsteht so eine klare Abgrenzung von den Lernbausteinen, welche farbige Texturen verwenden. Die Anwendung wurde als Mixed Reality Anwendung gestaltet, es werden also virtuelle Objekte zusammen mit der realen Umgebung der Nutzer angezeigt. Realisiert wird dies mithilfe der Passthrough Funktionalität, bei der die reale Umgebung durch Kameras gefilmt und in Echtzeit von der Anwendung zusammen mit den virtuellen Objekten angezeigt wird. Um die Bedienung möglichst intuitiv zu gestalten und dem Nutzer ein klares Feedback über seine Aktionen zu geben, wird zu jeder Interaktion, wie z.B. dem Greifen und Bewegen der Lernbausteine, durch spezifische Sounds ein akustisches Feedback gegeben. Die verwendeten Sounds stammen aus dem Meta Interaction SDK.

### 3.3 Technische Implementierung

Als zentrale Entwicklungsplattform wurde die Unity Game Engine von Unity Technologies in der Version 6000.0.28f1 verwendet (Unity Technologies, 2024). Unity ist eine der am weitesten verbreiteten Plattformen zur Entwicklung von auf 3D Inhalten basierenden Anwendungen (Sotamaa et al., 2021). Die Entscheidung für Unity fiel vor allem aufgrund der breiten Unterstützung für XR-Plattformen, insbesondere für die Meta Quest-Gerätefamilie, welche im Rahmen dieser Arbeit genutzt wurde. Neben der Unity Engine ist die Unreal Engine die aktuell einzige andere nennenswert verbreitete Plattform für die Entwicklung von XR-Anwendungen (Jungherr & Schlarb, 2022). Im Rahmen dieses Projekts wurde sie jedoch aufgrund ihrer höheren Hardwareanforderungen und der begrenzten Leistungsfähigkeit der verfügbaren Entwicklungshardware nicht in Betracht gezogen. Für die Integration von XR-spezifischen Funktionen wurde das Meta XR All-in-One SDK verwendet. Dieses SDK wurde speziell für die Entwicklung von XR-Anwendungen für Meta Quest-Geräte entwickelt und ermöglicht es, Gerätefunktionen wie das Hand-Tracking oder den Passthrough-Modus in Unity Anwendungen zu integrieren. Das Hand-Tracking ermöglicht es den Nutzern, mit ihren Händen und Fingern mit virtuellen Objekten zu interagieren, ohne physische Controller nutzen zu müssen. Ursprünglich wurde die Anwendung für die Meta Quest 2 entwickelt. Im Laufe des Entwicklungsprozesses erfolgte jedoch ein Wechsel zur Meta Quest 3S. Ausschlaggebend hierfür waren die deutlich verbesserte Qualität des Passthrough-Modus sowie das präzisere und stabilere Hand-Tracking der neuen Gerätegeneration. Die Audioinhalte der Anwendung, welche die Lerninhalte verbal erläutern, wurden mithilfe der Text-to-Speech-Engine von ElevenLabs generiert. Diese Cloud-basierte Lösung bietet eine hohe Sprachqualität und einen natürlichen Stimmklang (*Free Text To Speech Online with Lifelike AI Voices*, 2023). Der Einsatz einer TTS-Engine ist eine kostengünstige und flexible Möglichkeit, gesprochene Audio Inhalte zu erstellen, die genutzt werden können, um die Dual-Coding Theorie zu implementieren.

## 4 Methodik

Im folgenden Kapitel wird die methodische Vorgehensweise zur Beantwortung der Forschungsfrage und der Überprüfung der damit verbundenen Hypothesen detailliert dargelegt. Es werden das Studiendesign, die Stichprobe, die eingesetzten Erhebungsinstrumente sowie der Ablauf der Datenerhebung und die geplanten Analyseverfahren beschrieben. Ziel dieses Kapitels ist es, die Nachvollziehbarkeit und Transparenz der Untersuchung zu gewährleisten und die Güte der Ergebnisse kritisch einschätzbar zu machen.

### 4.1 Datenerhebung

Um die Forschungsfrage zu beantworten und die aufgestellten Hypothesen zu prüfen, wurde eine experimentelle Feldstudie mit einem Mixed-Methods-Ansatz durchgeführt. Um die Anwendbarkeit der Ergebnisse auf reale Situationen zu erhöhen, wurde die Feldstudie in einer natürlichen Lernumgebung durchgeführt, wobei reale Störvariablen berücksichtigt wurden (Cayubit, 2022).

#### 4.1.1 Versuchsdesign

Es wurde ein Between-Subjects-Design angewandt, bei dem die Teilnehmer nach dem Zufallsprinzip einer von zwei Gruppen zugeteilt wurden: einer Video-Gruppe (Gruppe A) und einer Mixed-Reality-Gruppe (Gruppe B). Die unabhängige Variable war das Lernmedium. Die abhängige Variable war die unmittelbare Reproduktionsgenauigkeit, gemessen durch einen Wissenstest. Es wurde keine Kontrollgruppe ohne vorherige Lernphase eingesetzt. Beiden Gruppen stand maximal 10 Minuten Zeit zur Verfügung, um sich die Lerninhalte anzueignen. Gruppe A sah sich die bereitgestellten Videomaterialien an einem Laptop an, mit der Möglichkeit, das Video zu pausieren, zu wiederholen oder die Geschwindigkeit anzupassen. Diese Optionen wurden gegeben, um sie mit der selbstgesteuerten Lerngeschwindigkeit in der MR-Anwendung von Gruppe B vergleichbar zu machen. Gruppe B erhielt zusätzlich bis zu 10 Minuten Zeit, um sich mit der Hardware vertraut zu machen. Während der Lernphase konnten sich

die Teilnehmer in der MR-Anwendung frei bewegen und Inhalte wiederholen oder überspringen.

#### 4.1.2 Ethische Aspekte

Vor Beginn der Studie wurden alle Teilnehmer ausführlich über den Ablauf, die Ziele der Untersuchung und ihre Rechte aufgeklärt. Die Teilnahme erfolgte freiwillig und konnte jederzeit ohne Angabe von Gründen beendet werden. Die erhobenen Daten wurden anonymisiert und vertraulich behandelt, um die Privatsphäre der Teilnehmenden zu schützen.

#### 4.1.3 Erfassungsinstrumente

Zur Erhebung der abhängigen Variable, der unmittelbaren Wissensaufnahme und -speicherung, wurde ein zweiteiliger, standardisierter Fragebogen benutzt, der unmittelbar im Anschluss an die Lernphase ausgehändigt wurde. Bei der Entwicklung des Fragebogens wurde darauf geachtet, dass alle Fragen durch die bereitgestellten Lernmaterialien beantwortet werden können, um sicherzustellen, dass der Text den Lernerfolg und nicht bereits vorhandenes Vorwissen misst.

##### **Quantitativer Wissenstest**

Der erste Teil des Fragebogens diente der quantitativen Erfassung des erworbenen Wissens und bestand aus 12 Multiple-Choice-Fragen mit jeweils vier Antwortoptionen, von denen jeweils eine Antwort korrekt war. Die Fragen wurden so formuliert, dass sie einen direkten Bezug zu den in den Lernmaterialien vermittelten Inhalten aufwiesen und allein mithilfe des dort präsentierten Wissens beantwortet werden konnten. Durch diese gezielte Ausrichtung wurde sichergestellt, dass der Test tatsächlich das Verständnis der spezifischen Lerninhalte und nicht allgemeines Vorwissen oder Schlussfolgerungen der Teilnehmenden erfasste. Die Auswahl des Multiple-Choice-Formats erfolgte aufgrund seiner Objektivität, der einfachen Auswertbarkeit und der Möglichkeit, eine breite Themenabdeckung innerhalb der vorgegebenen Zeit zu ermöglichen. Die korrekten Antworten wurden im Vorfeld anhand der Lernmaterialien eindeutig definiert, um eine objektive Bewertung der Leistungen zu

garantieren. Die erreichte Punktzahl in diesem Abschnitt diene als primärer Indikator für die Effektivität des jeweiligen Medienformats hinsichtlich der Wissensvermittlung.

### **Qualitative Ergänzung durch offene Fragen**

Ergänzend zur quantitativen Wissensabfrage enthielt der Fragebogen einen zweiten Teil mit offenen Fragen. Diese dienten dazu, ein tieferes Verständnis des Lernprozesses und der individuellen Erfahrungen der Teilnehmenden zu erfassen. Die Integration offener Fragen ermöglichte es, über die reine Messung des reproduzierten Wissens hinauszugehen und qualitative Daten zu generieren, die potenziell aufschlussreiche Einblicke in die individuelle Auseinandersetzung mit den Lerninhalten liefern konnten. Bei der Auswertung dieser offenen Fragen wurde versucht, Muster und wiederkehrende Themen in den Antworten der Teilnehmenden zu identifizieren.

Die Kombination aus quantitativen und qualitativen Elementen ermöglichte eine umfassende und differenzierte Analyse der Forschungsfrage. Während der quantitative Wissenstest eine objektive Messung des Lernerfolgs erlaubte, trugen die offenen Fragen dazu bei, den Kontext des Lernprozesses besser zu verstehen und potenzielle Einflussfaktoren zu identifizieren. Die Standardisierung des Fragebogens gewährleistete zudem eine gute Vergleichbarkeit der Antworten zwischen den Teilnehmenden.

#### 4.1.4 Eigenschaften und Auswahl der Stichprobe

Die Stichprobe für diese explorative Studie umfasste insgesamt 15 Probanden. Die Rekrutierung erfolgte primär über persönliche Kontakte, es handelt sich somit um eine Gelegenheitsstichprobe. Diese Wahl war durch limitierte Ressourcen und den explorativen Charakter der Studie begründet. Einschlusskriterien waren ein Mindestalter von 18 Jahren und eine normale oder korrigierte Sehfähigkeit. Das durchschnittliche Alter der Teilnehmenden lag bei 27,3 Jahren bei einer Standardabweichung von 10,0. Der jüngste Teilnehmer war 18 Jahre alt, der älteste 53. Die Stichprobe setzte sich aus 5 weiblichen und 10 männlichen Teilnehmer:innen zusammen. 13 der Teilnehmer:innen waren Studierende. Insgesamt hatten fünf Personen zwar schon einmal ein VR-Headset genutzt, ihre Erfahrung damit war jedoch nach eigener Aussage sehr gering.

## 4.2 Durchführung des Versuchs

Das Experiment wurde nach einem klar definierten Ablauf durchgeführt, um eine standardisierte Datenerhebung durchzuführen und Verzerrungen zu minimieren.

### 4.2.1 Einführung

Der Versuchsleiter erläuterte den Zweck der Studie und den Ablauf des Experiments für die jeweilige Gruppe. Es wurde die Freiwilligkeit der Teilnahme betont und die Probanden wurden darüber informiert, dass sie die Studie jederzeit ohne Angabe von Gründen beenden können. Die Probanden hatten die Möglichkeit, Rückfragen an den Versuchsleiter zu richten.

### 4.2.2 Ablauf Gruppe A

#### **Bereitstellung der Lernumgebung**

Den Probanden wurde ein handelsüblicher Laptop zur Verfügung gestellt. Es wurde sichergestellt, dass die Lautstärke angemessen eingestellt war und keine externen Störgeräusche die Konzentration beeinträchtigen konnten. Die Probanden wurden informiert bezüglich der Möglichkeit, das Videomaterial nach Bedarf zu pausieren, zurückzuspulen oder die Wiedergabegeschwindigkeit anzupassen.

#### **Durchführung der Lernphase**

Die Probanden wurden angewiesen, das bereitgestellte Videomaterial anzusehen. Der Versuchsleiter startete das Video oder gab den Teilnehmenden die Anweisung, es selbst zu starten. Der Versuchsleiter beobachtete die Durchführung diskret, um sicherzustellen, dass keine unerwarteten Probleme auftraten, griff jedoch nicht aktiv in den Lernprozess ein, es sei denn, es gab technische Schwierigkeiten.

### 4.2.3 Ablauf Gruppe B

#### **Einführung und Aufklärung über mögliche Risiken**

Der grundlegende Ablauf und die Dauer des Experiments wurde erläutert. Es wurde auf mögliche Risiken der Nutzung von VR-Headsets hingewiesen. Am häufigsten kommt es in der Praxis bei der Nutzung von VR-Hardware zu Problemen mit Schwindel, in diesem

Kontext meist als Motion Sickness bezeichnet (Schott & Marshall, 2020). Den Probanden wurde versichert, dass der Versuch bei auftretenden Beschwerden umgehend abgebrochen wird, um ihr Wohlbefinden zu gewährleisten. Da für die Nutzung der Anwendung insbesondere die „Grab“-Geste von zentraler Bedeutung ist, wird deren Funktionsweise im Vorfeld erläutert und praktisch demonstriert, um eine reibungslose Durchführung des Versuches sicherzustellen.

### **Bereitstellung der Hardware**

Jeder Proband bekam ein VR-Headset bereitgestellt. Der Versuchsleiter unterstützte die Probanden beim Einstellen des Kopfgurtes und dem Finden der richtigen Position des Headsets. Der Abstand der Linsen (IPD) wurde individuell angepasst, um einen optimalen Tragekomfort zu gewährleisten und eine klare, scharfe Sicht auf die virtuellen Inhalte sicherzustellen.

### **Eingewöhnung/Aufwärmphase**

In der Aufwärmphase wird den Probanden die Möglichkeit gegeben, sich mit der Technologie vertraut zu machen, bevor die eigentlichen Aufgaben beginnen. Dazu starten sie eine kurze, unkritische MR-Session, wie das Erkunden eines virtuellen Raums oder das Ausführen einfacher Interaktionen, beispielsweise das Aufheben eines Objekts. Diese Phase dient dazu, anfängliche Unsicherheiten abzubauen, die Steuerung zu verstehen und mögliche technische Anpassungen vorzunehmen, wie z.B. die Passform des Headsets. Zudem werden die Teilnehmenden gefragt, ob sie sich in der virtuellen Umgebung wohl fühlen, bevor sie mit der eigentlichen Aufgabe fortfahren.

### **Durchführung des Experiments**

Die MR-Anwendung wird gestartet und die 10 Minuten lange Testphase beginnt. Die Durchführung wird überwacht, ohne aktiv einzugreifen. Nur im Bedarfsfall, wie bei technischen Problemen, wird Unterstützung geboten.

## 4.2.4 Abschluss

Nachdem die Zeit der Testphase abgelaufen war, füllten die Probanden den Fragebogen aus, wofür ihnen ausreichend Zeit zur Verfügung gestellt wurde. Der Versuchsleiter stand für Verständnisfragen zur Verfügung, gab aber keine Hinweise zu den richtigen

Antworten. Nachdem die Teilnehmenden den Fragebogen abgegeben hatten, wurde der Versuch beendet.

## 4.3 Datenanalyse

Zur Auswertung der erhobenen Daten werden verschiedene statistische Verfahren herangezogen um die Forschungsfrage zu beantworten und die aufgestellten Hypothesen zu prüfen.

### **T-Test für unabhängige Stichproben**

Um zu prüfen, ob sich die Mittelwerte der beiden Gruppen signifikant voneinander unterscheiden, wird ein t-Test für unabhängige Stichproben durchgeführt. Dieser Test ist geeignet, weil zwei unabhängige Gruppen verglichen werden und die Testergebnisse als Zahlenwerte vorliegen. Der t-Test überprüft die Nullhypothese, dass kein Unterschied zwischen den durchschnittlichen Testergebnissen der beiden Gruppen besteht. Er prüft also, ob der beobachtete Unterschied zwischen den Gruppen zufällig ist oder ob ein tatsächlicher Unterschied zwischen den Lernmethoden besteht. Ein Ergebnis wird als statistisch bedeutsam angesehen, wenn die Wahrscheinlichkeit, dass der Unterschied nur zufällig ist, unter 5% liegt ( $p < 0,05$ ) (Haslwanter, 2022).

### **Effektstärken**

Zusätzlich zum t-Test wird die Effektstärke berechnet, um die praktische Relevanz eines möglichen signifikanten Unterschieds zu messen. Als Maß für die Effektstärke wird Cohens d verwendet, welches den Unterschied zwischen den Mittelwerten der beiden Gruppen in Standardabweichungseinheiten ausdrückt. Nach Cohen (Cohen, 1988) kann ein d von 0.2 als kleiner Effekt, ein d von 0.5 als mittlerer Effekt und ein d von 0.8 als großer Effekt interpretiert werden. Die Berechnung der Effektstärke ermöglicht eine Einschätzung der Größe des beobachteten Effekts und ergänzt somit die Aussagekraft des t-Tests (Cohen, 1988; Haslwanter, 2022).

### **Analyse der qualitativen Daten**

Die qualitative Analyse dient dazu, ein tieferes Verständnis des Lernprozesses und der individuellen Erfahrungen der Teilnehmenden in den beiden Lernumgebungen zu gewinnen und die Ergebnisse der quantitativen Analyse zu kontextualisieren. Es wird

versucht, aus den Antworten der Teilnehmer auf die offenen Fragen Erkenntnisse zu ziehen, indem sie nach wiederkehrenden Mustern oder relevanten Zitaten untersucht werden.

Die Kombination dieser statistischen und qualitativen Verfahren ermöglicht eine umfassende Auswertung der Daten und liefert sowohl quantitative als auch qualitative Erkenntnisse über den Einfluss des Medienformats auf den Lernerfolg.

## 5 Evaluation

### 5.1 Diskussion der Quantitativen Ergebnisse

Der durchgeführte t-Test für unabhängige Stichproben ergab einen t-Wert von 0.293 bei einem p-Wert von 0.774. Da der p-Wert deutlich über dem häufig verwendeten Signifikanzniveau von 0.05 liegt, ist das Ergebnis der Studie als statistisch nicht signifikant einzuordnen (James et al., 2023). Die Nullhypothese, die von keinerlei Unterschieden zwischen den Ergebnissen beider Gruppen ausgeht, kann dementsprechend nicht verworfen werden. Die zusätzlich berechnete Effektstärke nach Cohen (Cohen's  $d = 0.16$ ) deutet auf einen sehr geringen, unterhalb der Schwelle für einen kleinen Effekt liegenden Unterschied zwischen den Gruppen hin (Cohen, 1988). Auf Basis der erhobenen Daten muss die ursprüngliche Hypothese, dass eine MR-basierte Lernumgebung zu einer signifikant höheren Reproduktionsgenauigkeit führen würde als Videobasiertes Lernen, verworfen werden. Es ist allerdings wichtig zu betonen, dass das Fehlen eines statistisch signifikanten Unterschieds nicht zwangsläufig die Abwesenheit eines Effekts bedeutet. Vielmehr ist es im Kontext dieser explorativen Studie mit begrenzter Stichprobengröße ( $N = 15$ ) und den damit verbundenen Einschränkungen der Teststärke möglich, dass ein tatsächlich vorhandener, aber möglicherweise kleinerer Effekt nicht gemessen werden konnte. Wie in Abschnitt 5.2.3.1 ausführlicher dargelegt, könnte die Art des Wissenstests für bestimmte Lerneffekte nicht geeignet gewesen sein.

### 5.2 Diskussion der qualitativen Ergebnisse

#### 5.2.1 Einfluss der virtuellen Lernumgebung auf das Lernerlebnis

Die meisten Teilnehmer bewerteten die Möglichkeit, sich in der virtuellen Umgebung zu bewegen, als positiv für ihr Lernerlebnis. Besonders hervorgehoben wurden die "bessere Visualisierung der verschiedenen Schichten", die "gute Zusammenfassung der Inhalte in Stichpunkten" und die Möglichkeit, "zu vorherigen Bausteinen zu wechseln,

um sie nochmal zu wiederholen". Ein Teilnehmer betonte, dass die virtuelle Umgebung "im Vergleich zu einem Video interessanter" sei und eine "höhere Flexibilität" mit sich bringe. Ein anderer Teilnehmer beschrieb das Erlebnis als "positiv, Spaßig, interessant, anschaulich". Diese Rückmeldungen stehen im Einklang mit der konstruktivistischen Lerntheorie, die die aktive Auseinandersetzung mit Lernmaterialien als zentral für den Wissenserwerb betrachtet. Auch die Dual-Coding-Theorie findet in den positiven Rückmeldungen zur Kombination aus visueller Darstellung und Audioinhalten ihre Bestätigung.

Es gab allerdings auch Rückmeldungen, dass die virtuelle Umgebung eher ablenkend wirken kann, vor allem wenn zuvor noch keine Erfahrungen mit der Nutzung von VR-Headsets gesammelt wurden. Ein Teilnehmer schrieb, dass er sich aufgrund der ablenkenden Umgebung die Lerninhalte schlechter merken konnte. Dies zeigt die Wichtigkeit einer Einführungs- und Eingewöhnungsphase für die Nutzung der VR-Technologie, wie sie auch in der Methodik der Studie vorgesehen war. Ein Teilnehmer merkte zudem an, dass nicht immer klar erkennbar war, wann der Audiokommentar endete oder wann eine Wiederholung begann. Dies könnte behoben werden, indem sich die Sprachausgabe entweder nicht ohne eine erneute Bestätigung durch den Nutzer wiederholt, oder ein eindeutiges akustisches Signal das Ende eines Audioclips markiert.

## 5.2.2 Interaktionsmöglichkeiten und technische Umsetzung

Ein Aspekt, der in den Antworten der Teilnehmenden auf die offenen Fragen deutlich wurde, war die teilweise nicht vollständig zuverlässig funktionierende Erkennung der Handgesten. Während die Mehrheit der Befragten die Bedienung als "okay", "sehr einfach" und "intuitiv" beschrieb und angab, dass die Interaktionsmöglichkeiten "gut funktionierten", äußerten zwei Teilnehmer:innen Schwierigkeiten und Verbesserungsvorschläge. Ein Teilnehmer beschrieb, dass die Geste "manchmal allerdings nicht beim ersten Anfassen" erkannt wurde. Ein anderer Teilnehmer wünschte sich "ein paar weitere Interaktionen", um sich die Lerninhalte besser einzuprägen. Als Beispiel wurden "kurze Zwischenreflexionen" oder die Möglichkeit, den einzelnen Erdschichten ihre Namen zuzuordnen genannt. Aus den Rückmeldungen lässt

sich schließen, dass die Interaktion mit der Anwendung zwar grundsätzlich funktionierte, allerdings noch Optimierungspotenzial bei der Zuverlässigkeit der Gestenerkennung und vor allem im Blick auf zusätzliche Interaktionsmöglichkeiten besteht.

Gemischer hingegen fielen die Rückmeldungen hinsichtlich der Bewegung in der MR-Umgebung aus. Positiv wurde die "bessere Visualisierung der verschiedenen Schichten" (Erdschichten), die "gute Zusammenfassung der Inhalte in Stichpunkten" sowie die Möglichkeit, "zu vorherigen Schalen zu wechseln, um nochmal zu wiederholen", hervorgehoben. Ein Teilnehmer betonte, dass die virtuelle Umgebung "im Vergleich zu einem Video interessanter" sei und eine "höhere Flexibilität" mit sich bringe. Ein anderer Teilnehmer berichtete, dass die XR-Umgebung eher ablenken gewirkt habe, da er vor dem Versuch noch nie eine VR-Brille genutzt hatte.

Die qualitativen Ergebnisse stützen die Annahme, dass MR-Lernumgebungen grundsätzlich das Potenzial haben, das Lernerlebnis positiv zu beeinflussen. Sie zeigen aber auch, dass die technische Umsetzung und die Berücksichtigung individueller Bedürfnisse entscheidend sind, um dieses Potenzial voll auszuschöpfen. Die Ergebnisse der qualitativen Analyse stehen in gewissem Widerspruch zu den nicht-signifikanten quantitativen Ergebnissen. Während die Teilnehmer:innen subjektiv positive Aspekte der MR-Umgebung wahrnahmen, konnte kein signifikanter Unterschied in der Reproduktionsleistung festgestellt werden.

### 5.3 Einordnung in bestehende Literatur

In der Studie zeigte sich kein signifikanter Unterschied in der Reproduktionsleistung, jedoch gab es Hinweise auf positive Effekte der XR-Umgebung auf Motivation und Engagement. Diese Ergebnisse stehen teilweise im Einklang mit der bestehenden Literatur, weisen aber auch einige Widersprüche auf. Viele Studien belegen Vorteile von XR für das Lernen, insbesondere eine leichte Verbesserung des Wissens und moderate bis starke Verbesserungen der Fähigkeiten im Vergleich zu traditionellen oder anderen Formen des digitalen Lernens. Andere Arbeiten heben die positiven Eigenschaften von XR hervor, wie Immersion, Interaktion und unmittelbares Feedback, die es den Nutzern ermöglichen, sich stärker auf das Lernen selbst zu konzentrieren, was zu einer besseren

Wissensaneignung führt (Fussell & Truong, 2022; Kyaw et al., 2019; Liu et al., 2020; Radianti et al., 2020). XR wird auch im Bereich des Sprachenlernens und für die Kompetenzentwicklung als vorteilhaft angesehen (Pinto et al., 2021).

Andere Studien mahnen jedoch zur Vorsicht. XR verbessert nicht unbedingt alle Arten des Lernens. Hohe Immersion kann ablenken und das Arbeitsgedächtnis belasten. Einige Studien fanden keine signifikanten Vorteile oder sogar Nachteile von XR, insbesondere beim Erwerb von Faktenwissen (Huang et al., 2021).

Die positiven qualitativen Rückmeldungen zum Lernerlebnis decken sich jedoch mit Studien, die die motivationssteigernden Effekte von XR hervorheben (Fussell & Truong, 2022). Dies stützt die in Kapitel 2.2.1 und 2.2.2 diskutierten Theorien, insbesondere den konstruktivistischen Ansatz und die Dual-Coding-Theorie, die die Bedeutung von aktiver Auseinandersetzung und multimodaler Informationsverarbeitung für den Lernerfolg betonen.

## 5.4 Limitationen

### **Stichprobengröße und -zusammensetzung**

Mit 15 Teilnehmern ist die Stichprobe relativ klein, was die Verallgemeinerbarkeit der Ergebnisse einschränkt. Trotz einer gewissen Diversität hinsichtlich Alter und Geschlecht bestand die Stichprobe hauptsächlich aus Studierenden, die über persönliche Kontakte rekrutiert wurden. Es ist daher fraglich, inwieweit die Ergebnisse auf andere Bevölkerungsgruppen, z. B. Schüler oder ältere Erwachsene, übertragbar sind.

### **Fehlende Kontrollgruppe**

Es gab in der Studie keine Kontrollgruppe, die den Wissenstest ohne eine vorherige Lernphase durchgeführt hat. Dies erschwert die eindeutige Zuordnung der beobachteten Unterschiede auf das Lernformat.

### **Fokus auf unmittelbare Ergebnisse**

Die Studie fokussiert sich auf die Untersuchung der unmittelbaren Lerneffekte. Langfristige Lerneffekte, wie das Behalten von Wissen und Fakten über einen längeren Zeitraum oder der Transfer des Wissens auf neue Problemstellungen wurde im Rahmen dieser Studie nicht untersucht. Daher besitzen die Ergebnisse der Studie hinsichtlich der

Nachhaltigkeit des Lernens mithilfe von XR-Anwendungen nur eine eingeschränkte Aussagekräftigkeit.

### **Wissenstest**

Es ist möglich, dass der verwendete Wissenstest zu einfach war und die meisten Teilnehmer, unabhängig vom Lernformat bereits durch Vor- und Allgemeinwissen, einen Großteil der Fragen korrekt beantworten konnten. Dies könnte tatsächliche Unterschiede zwischen den beiden Gruppen verzerrt haben. Da der Test primär auf die Abfrage von Faktenwissen ausgerichtet war, war es nicht möglich, andere Lerneffekte, wie ein verbessertes räumliches Verständnis durch die MR-Umgebung, zu erfassen.

## **5.5 Implikationen für die Praxis**

Zusammenfassend zeigte sich, dass die MR-Lernumgebung im Vergleich zur videobasierten Lernumgebung keinen statistisch signifikanten Vorteil hinsichtlich der unmittelbaren Reproduktionsgenauigkeit von Faktenwissen bot. Allerdings deuten die qualitativen Daten darauf hin, dass MR-Anwendungen das Potenzial haben, das Lernerlebnis positiv zu beeinflussen, insbesondere durch gesteigerte Motivation und ein höheres Engagement der Lernenden. Diese Ergebnisse legen nahe, dass XR-Technologien, trotz der fehlenden Signifikanz in Bezug auf die Reproduktionsleistung, als ergänzendes Lernmedium im Unterricht wertvoll sein können. XR sollte jedoch nicht als Ersatz für traditionelle Lehrmethoden betrachtet werden, sondern vielmehr als ein Werkzeug, das in spezifischen Lernszenarien gezielt eingesetzt wird, um seine Stärken auszuspielen. Dazu gehören beispielsweise die Visualisierung komplexer räumlicher Zusammenhänge, wie der Schichten der Erde, die Simulation von Experimenten oder die Schaffung immersiver Erfahrungen, die in der Realität nicht oder nur schwer zugänglich wären.

## **5.6 Ausblick und zukünftige Forschung**

Der im Rahmen dieser Arbeit durchgeführte Versuch liefert erste Erkenntnisse über den Einfluss von MR-basierten Lernanwendungen auf die unmittelbare Reproduktionsgenauigkeit von Lerninhalten. Da die Ergebnisse keine statistische Signifikanz erreichen, sind weiterführende Untersuchungen erforderlich, um die

Potenziale und Limitationen von XR im Bildungskontext genauer zu verstehen. Basierend auf den Limitationen und den gewonnenen Erkenntnissen dieser Studie lassen sich folgende Ansatzpunkte für zukünftige Forschung ableiten:

### **Langzeiteffekte des Lernens**

Ein entscheidender Aspekt, der in der vorliegenden Studie aufgrund des begrenzten Zeitrahmens nicht untersucht werden konnte, ist die Langzeitwirkung von XR-basiertem Lernen. Zukünftige Studien könnten untersuchen, ob sich die Reproduktionsgenauigkeit von Wissen, das in einer XR-Umgebung erworben wurde, über einen längeren Zeitraum von traditionellen Lernmethoden unterscheidet. Es wäre aufschlussreich, die Behaltensleistung der Probanden nach Tagen, Wochen oder sogar Monaten zu erfassen und mögliche Unterschiede in der Vergessenskurve zu analysieren.

### **Komplexere Lernszenarien und Transferleistungen**

Die in dieser Studie verwendete Lernanwendung behandelte ein relativ klar abgegrenztes Thema (die Schichten der Erde) mit einem Fokus auf die Reproduktion von Faktenwissen. Zukünftige Forschung könnte sich mit komplexeren Lernszenarien befassen, die über die reine Wiedergabe von Informationen hinausgehen. Es wäre interessant zu untersuchen, ob XR-Anwendungen auch die Fähigkeit zum Transfer von Wissen auf neue Situationen oder die Lösung komplexer Probleme fördern können.

### **Verbessertes Studiendesign**

Zukünftige Studien sollten das Studiendesign optimieren. Eine größere, repräsentativere Stichprobe würde die statistische Aussagekraft und Generalisierbarkeit verbessern. Eine Kontrollgruppe ohne Lernphase könnte helfen, Vorwissens- und Testeffekte zu kontrollieren.

### **Bereitschaft zum Praxiseinsatz**

Wie gut eine Einführung in die Lehrpraxis an Schulen und Universitäten gelingt, hängt auch von der Offenheit gegenüber neuen Technologien der Lehrkraft und deren Bereitschaft sie einzusetzen ab. Während viele Studien dies zwar erwähnen und bestätigen, wurden die Einstellungen oder Akzeptanzraten von Lehrkräften weder quantitativ erfasst oder dargestellt als auch qualitativ tiefergehend untersucht (Durukan et al., 2020; Hendra Jaya et al., 2022; Moro et al., 2021).

### **Hürden beim Praxiseinsatz**

Obwohl die Potenziale von XR für die Bildung vielfach diskutiert werden, besteht weiterhin Forschungsbedarf hinsichtlich der tatsächlichen Hürden, die einem breiten Praxiseinsatz entgegenstehen (Au & Lee, 2017; Radianti et al., 2020; Schott & Marshall, 2020). Zukünftige Studien könnten empirisch untersuchen, welche Faktoren den Einsatz von XR-Technologien in der Praxis hindern oder erschweren. Dies könnte nicht nur eine Grundlage für die Entwicklung von Unterstützungsmaßnahmen bieten, sondern auch helfen, zukünftige XR-Lernanwendungen praxisorientierter zu gestalten.

### **Genauere Untersuchung von positiven Faktoren**

Um das Potenzial von XR im Bildungsbereich voll auszuschöpfen, ist es wichtig, die positiven Einflussfaktoren auf das Lernerlebnis genauer zu verstehen. Es könnte untersucht werden, welche Gestaltungsmerkmale und Nutzungsszenarien von XR-Lernumgebungen zu besonders positiven Lernerfahrungen, hoher Motivation und verbesserten Lernerfolg führen. Die Ergebnisse könnten dabei helfen, XR-Anwendungen zu entwickeln, die ihre Stärken in Bezug auf spezifische Lernziele und Zielgruppen bestmöglich entfalten.

## 6 Fazit

In dieser Bachelorarbeit wurde untersucht, inwiefern eine immersive Mixed-Reality (MR)-Lernumgebung die unmittelbare Reproduktionsgenauigkeit von Lerninhalten im Vergleich zu einer videobasierten Lernumgebung beeinflusst.

Die Ergebnisse der experimentellen Studie zeigten keinen statistisch signifikanten Unterschied in der Reproduktionsgenauigkeit zwischen den beiden Gruppen. Die Effektstärke war sehr gering. Qualitative Daten deuteten jedoch auf ein positiveres Lernerlebnis, höhere Motivation und stärkeres Engagement in der MR-Gruppe hin.

Daraus lässt sich schließen, dass die MR-Lernumgebung in dieser Studie zwar keinen direkten Vorteil für die Wissenswiedergabe bot, aber Potenzial zur Förderung von Motivation und Engagement aufweist. Diese Faktoren könnten indirekt den Lernerfolg beeinflussen.

Die Forschungsfrage, inwiefern eine immersive MR-Lernumgebung die unmittelbare Reproduktionsgenauigkeit von Lerninhalten im Vergleich zu einer videobasierten Lernumgebung beeinflusst, wird wie folgt beantwortet: Ein signifikanter oder praktisch relevanter Einfluss konnte nicht nachgewiesen werden. Die Resultate legen nahe, dass MR in der untersuchten Form keinen unmittelbaren Vorteil für die reine Wissenswiedergabe bietet, jedoch positive Nebeneffekte wie gesteigerte Motivation zeigt.

Diese Arbeit liefert Einblicke in die Wirkungsweise von MR-Lernumgebungen und zeigt, dass ihr Einsatz differenziert betrachtet werden muss. Zukünftige Forschung sollte die Langzeiteffekte und die Wirksamkeit von MR in komplexeren Lernszenarien untersuchen, um die optimalen Einsatzbedingungen von MR im Bildungsbereich zu identifizieren.

# Quellenverzeichnis

- Angelov, V., Petkov, E., Shipkovenski, G., & Kalushkov, T. (2020). Modern Virtual Reality Headsets. *2020 International Congress on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications (HORA)*, 1–5.  
<https://doi.org/10.1109/HORA49412.2020.9152604>
- Au, E. H., & Lee, J. J. (2017). Virtual reality in education: A tool for learning in the experience age. *International Journal of Innovation in Education*, 4(4), 215.  
<https://doi.org/10.1504/IJIE.2017.091481>
- Cayubit, R. F. O. (2022). Why learning environment matters? An analysis on how the learning environment influences the academic motivation, learning strategies and engagement of college students. *Learning Environments Research*, 25(2), 581–599. <https://doi.org/10.1007/s10984-021-09382-x>
- Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences* (0 Aufl.). Routledge.  
<https://doi.org/10.4324/9780203771587>
- Cowling, M., & Birt, J. (2018). Pedagogy before Technology: A Design-Based Research Approach to Enhancing Skills Development in Paramedic Science Using Mixed Reality. *Information*, 9(2), 29. <https://doi.org/10.3390/info9020029>
- Durukan, A., Artun, H., & Temur, A. (2020). Virtual Reality in Science Education: A Descriptive Review. *Journal of Science Learning*, 3(3), 132–142.  
<https://doi.org/10.17509/jsl.v3i3.21906>
- Free Text To Speech Online with Lifelike AI Voices*. (2023, Dezember 31). ElevenLabs.  
<https://elevenlabs.io/text-to-speech>
- Fussell, S. G., & Truong, D. (2022). Using virtual reality for dynamic learning: An extended

- technology acceptance model. *Virtual Reality*, 26(1), 249–267.  
<https://doi.org/10.1007/s10055-021-00554-x>
- Gan, W., Mok, T.-N., Chen, J., She, G., Zha, Z., Wang, H., Li, H., Li, J., & Zheng, X. (2023). Researching the application of virtual reality in medical education: One-year follow-up of a randomized trial. *BMC Medical Education*, 23(1), 3.  
<https://doi.org/10.1186/s12909-022-03992-6>
- Grossman, L. (2014, März 26). *The Virtual Genius of Oculus Rift*. TIME.  
<https://time.com/39577/facebook-oculus-vr-inside-story/>
- Haslwanter, T. (2022). *An Introduction to Statistics with Python: With Applications in the Life Sciences* (2nd ed). Springer.
- Hendra Jaya, Sapto Haryoko, Andi Rahmat Baharuddin, Lu'mu, Saharuddin, Mantasia, & Iwan Suhardi. (2022). Potential utilization of virtual reality learning for vocational school teachers. *World Journal of Advanced Engineering Technology and Sciences*, 7(2), 054–061. <https://doi.org/10.30574/wjaets.2022.7.2.0119>
- Huang, W., Roscoe, R. D., Johnson-Glenberg, M. C., & Craig, S. D. (2021). Motivation, engagement, and performance across multiple virtual reality sessions and levels of immersion. *Journal of Computer Assisted Learning*, 37(3), 745–758.  
<https://doi.org/10.1111/jcal.12520>
- Hunt, J. A., Heydenburg, M., Anderson, S. L., & Thompson, R. R. (2020). Does virtual reality training improve veterinary students' first canine surgical performance? *Veterinary Record*, 186(17), 562–562. <https://doi.org/10.1136/vr.105749>
- James, G., Witten, D., Hastie, T., Tibshirani, R., & Taylor, J. E. (2023). *An introduction to statistical learning: With applications in Python*. Springer.

- Jungherr, A., & Schlarb, D. B. (2022). The Extended Reach of Game Engine Companies: How Companies Like Epic Games and Unity Technologies Provide Platforms for Extended Reality Applications and the Metaverse. *Social Media + Society*, 8(2), 20563051221107641. <https://doi.org/10.1177/20563051221107641>
- Kyaw, B. M., Saxena, N., Posadzki, P., Vseteckova, J., Nikolaou, C. K., George, P. P., Divakar, U., Masiello, I., Kononowicz, A. A., Zary, N., & Tudor Car, L. (2019). Virtual Reality for Health Professions Education: Systematic Review and Meta-Analysis by the Digital Health Education Collaboration. *Journal of Medical Internet Research*, 21(1), e12959. <https://doi.org/10.2196/12959>
- Liu, R., Wang, L., Lei, J., Wang, Q., & Ren, Y. (2020). Effects of an immersive virtual reality-based classroom on students' learning performance in science lessons. *British Journal of Educational Technology*, 51(6), 2034–2049. <https://doi.org/10.1111/bjet.13028>
- Lvov, M. S., & Popova, H. V. (2019). Simulation technologies of virtual reality usage in the training of future ship navigators. *Educational Dimension*, 1, 159–180. <https://doi.org/10.31812/educdim.v53i1.3840>
- Milgram, P., Takemura, H., Utsumi, A., & Kishino, F. (1995). *Augmented reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum* (H. Das, Hrsg.; S. 282–292). <https://doi.org/10.1117/12.197321>
- Moro, C., Phelps, C., Redmond, P., & Stromberga, Z. (2021). HoloLens and mobile augmented reality in medical and health science education: A randomised controlled trial. *British Journal of Educational Technology*, 52(2), 680–694. <https://doi.org/10.1111/bjet.13049>

- Moro, C., Štromberga, Z., & Stirling, A. (2017). Virtualisation devices for student learning: Comparison between desktop-based (Oculus Rift) and mobile-based (Gear VR) virtual reality in medical and health science education. *Australasian Journal of Educational Technology*, 33(6). <https://doi.org/10.14742/ajet.3840>
- Pinto, R. D., Peixoto, B., Melo, M., Cabral, L., & Bessa, M. (2021). Foreign Language Learning Gamification Using Virtual Reality—A Systematic Review of Empirical Research. *Education Sciences*, 11(5), 222. <https://doi.org/10.3390/educsci11050222>
- Qureshi, S., Thandrayen, J., & Chua, Q. (2024). *Online and Autonomous Teaching: A Case Study of Flexible Learning during and beyond the Pandemic*.
- 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>
- Schnotz, W. (2014). Integrated Model of Text and Picture Comprehension. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (2. Aufl., S. 72–103). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139547369.006>
- Schott, C., & Marshall, S. (2020). Virtual Reality for Experiential Education: A User Experience Exploration. *Australasian Journal of Educational Technology*, 96–110. <https://doi.org/10.14742/ajet.5166>
- Skarbez, R., Smith, M., & Whitton, M. C. (2021). Revisiting Milgram and Kishino's Reality-Virtuality Continuum. *Frontiers in Virtual Reality*, 2, 647997. <https://doi.org/10.3389/frvir.2021.647997>

Sotamaa, O., Svelch, J., Nieborg, D., Zabban, V., Consalvo, M., Wirman, H., Browne, P., Schram, B., Švelch, J., Phelps, A., Banks, J., Keogh, B., Ter Minassian, H., Van Roessel, L., Ozimek, A., Kerr, A., Chia, A., Nakamura, A., Young, C., & Perks, M. (2021). *Game Production Studies*. Amsterdam University Press.  
<https://doi.org/10.5117/9789463725439>

Unity Technologies. (2024). *Unity* (Version 6000.0.28f1) [Software]. Unity Technologies.  
<https://unity.com/releases/editor/whats-new/6000.0.28>

*What is HRTF?* (2019, Juni 19). 3Dio.

<https://3diosound.com/blogs/learn-about-sound/what-is-hrtf>

XR Safety Initiative (XRSI). (2020). *2020, XRSI - Standard-XR-Definitions*. XR Safety Initiative (XRSI).

# Anhang

## Fragebogen

### Multiple Choice

1. In wie viele Hauptschalen wird die Erde laut dem Video unterteilt?

- Zwei
- Drei
- Vier
- Fünf

2. Welche der folgenden Schichten ist die dünnste Schicht der Erde laut dem Video?

- Der Erdmantel
- Der äußere Erdkern
- Die Erdkruste
- Der innere Erdkern

3. Wie hoch kann die Temperatur im inneren Erdkern laut dem Video werden?

- Bis zu 3000°C
- Bis zu 5000°C
- Bis zu 5700°C
- Bis zu 6370°C

4. Mit welcher Oberfläche wird die Temperatur des inneren Erdkerns im Video verglichen?

- Der Mondoberfläche
- Der Marsoberfläche
- Der Oberfläche der Sonne
- Der Oberfläche der Jupiters

5. Welches Messgerät wird verwendet, um Erdbebenwellen zu erfassen und so den inneren Aufbau der Erde zu bestimmen?

- Thermometer
- Barometer
- Seismograph
- Mikroskop

6. An welchem Ort ist die Erdkruste typischerweise dicker?

- Am Meeresgrund
- Unterhalb von Wüsten
- In Gebirgen
- An den Polen

7. Was ermöglicht die Bewegung der Platten der Lithosphäre?

- Die Rotation des inneren Erdkerns
- Die zähflüssige Beschaffenheit der Asthenosphäre
- Die feste Beschaffenheit des unteren Erdmantels
- Die unterschiedliche Dicke der Erdkruste

8. Welche Schicht der Erde wird auch als "steinerne Hülle" bezeichnet?

- Asthenosphäre
- Unterer Erdmantel
- Innerer Erdkern
- Lithosphäre

9. Warum ist der untere Erdmantel fest, obwohl er heißer ist als der obere Erdmantel?

- Wegen der chemischen Zusammensetzung
- Wegen des geringeren Drucks
- Wegen des hohen Drucks
- Wegen der geringeren Dichte

10. Wie wird der Zustand der Astenosphäre im Video beschrieben?

- Fest
- Flüssig
- Zähflüssig
- Gasförmig

11. Welche Aussage über die Erforschung des Erdinneren ist laut Video korrekt?

- Wir haben den Erdmittelpunkt bereits erreicht.
- Direkte Beobachtung des Erdinneren ist bisher nicht möglich gewesen.
- Mikroskope werden verwendet, um die Struktur der Erde zu untersuchen.
- Die Temperatur im Erdinneren nimmt ab.

12. Was ermöglicht es Forschern, Rückschlüsse auf den Aufbau der Erde zu ziehen? \*

- Direkte Bohrungen bis zum Erdkern.
- Die Analyse von Gesteinsproben von der Mondoberfläche.
- Die Messung von Erdbebenwellen mithilfe von Seismographen.
- Das Studium von Vulkanausbrüchen.

Wahr/Falsch

13. Es ist uns Menschen bereits gelungen, zum Mittelpunkt der Erde zu gelangen.

- Wahr
- Falsch

14. Der äußere Erdkern ist heißer als der innere Erdkern.

- Wahr
- Falsch

15. Die Lithosphäre ist starr und unbeweglich.

- Wahr
- Falsch

16. Die Dicke der Erdkruste ist überall gleich.

- Wahr
- Falsch

17. Der innere Erdkern besteht hauptsächlich aus flüssigem Metall.

- Wahr
- Falsch

### Offene Fragen

18. Wie empfanden Sie die Interaktionsmöglichkeiten in der MR-Anwendung? Hatten Sie Schwierigkeiten bei der Bedienung? Falls ja, welche?

---

---

---

---

---

19. Inwiefern hat die Möglichkeit, sich in der virtuellen Umgebung zu bewegen, Ihr Lernerlebnis beeinflusst (positiv oder negativ)?

---

---

---

---

---

# Inhalte des USB-Sticks

## **Bachelorarbeit im PDF-Format**

Datei: Bachelorarbeit\_Jon\_Louis\_Schulte.pdf

## **Screenshots der Anwendung**

Ordner: Screenshots

## **Quellcode der Anwendung**

Datei: Quellcode.zip

Hinweis: Es handelt sich um ein Unity Projekt für Unity Version 6000.0.28f1

## **APK-Datei der Anwendung**

Datei: Erdschichten.apk

Hinweis: Die Anwendung wurde ausschließlich auf der Meta Quest 3S getestet.

## **Archivierte Web-Quellen**

Ordner: Web-Quellen

# Eigenständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorstehende Bachelorthesis mit dem Titel

## **Einfluss immersiver Mixed-Reality-Lernumgebungen auf die unmittelbare Reproduktionsgenauigkeit: Ein Vergleich mit videobasierten Lerninhalten**

bzw. im Falle einer Gruppenarbeit die entsprechend gekennzeichneten Teile der Arbeit selbstständig ohne fremde Hilfe gefertigt und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quelle kenntlich gemacht. Diese Arbeit hat in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner Prüfungsbehörde vorgelegen.

Ort, Datum, Unterschrift