

# AuCity 3

## Kollaborative und adaptive MR in der Hochschullehre am Beispiel des Bauingenieurwesens

---

### Teilvorhaben: Didaktische und technische Konzepte kollaborativer und adaptiver Mixed-Reality-Szenarien in der Hochschullehre

---

Laufzeit 1. Förderphase: 01.09.2018 – 28.02.2022 (42 Monate)

Laufzeit 2. Förderphase: 01.03.2022 – 31.08.2024 (30 Monate)

#### **Beteiligte Institute/Abteilungen, Universität Ulm**

Institut für Psychologie und Pädagogik – Abteilung Lehr-Lernforschung –

- Prof. Tina Seufert (LLF)

Institut für Medieninformatik - Forschungsgruppe Visual Computing –

- Prof. Timo Ropinski (VC)

Institut für Medieninformatik – Forschungsgruppe Mensch-Computer-Interaktion

- Prof. Enrico Rukzio (HCI)

#### **Beteiligte Institute/Abteilungen, Bauhaus-Universität Weimar**

Professur Intelligentes Technisches Design

- Prof. Christian Koch (ITD)

Bauhaus-Institut für zukunftsweisende Infrastruktursysteme

- Prof. Jörg Londong (b.is) / Eckhard Kraft (b.is)

#### **Beteiligte Institute/Abteilungen, FSU Jena (vorher: Hochschule Magdeburg-Stendal)**

Professur für Educational Design und digitale Lernkultur

- Prof. Steffi Zander (ID)

#### **Projektleitung (alt)**

Prof. Dr. Steffi Zander

Fakultät Angewandte Humanwissenschaften

Professur Allgemeine Psychologie

Osterburger Straße 25, 39576 Stendal

#### **Projektleitung (neu)**

Prof. Dr. Steffi Zander

Institut für Erziehungswissenschaften

Professur Educational Design und digitale  
Lernkultur

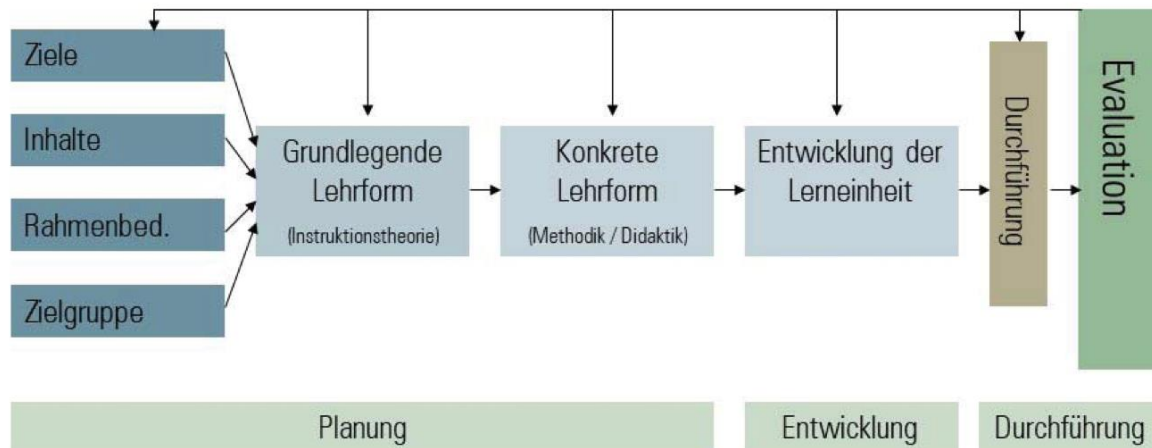
Am Planetarium 4, 07743 Jena

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Ziele des Lernens mit digitalen Medien .....</b>	<b>4</b>
	1.1 Kognitive Lernziele .....	4
	1.2 Affektive Lernziele .....	5
	1.3 Kognitive Belastung .....	5
	1.4 Immersion und Präsenz.....	6
	1.5 Usability & User Experience .....	7
<b>2</b>	<b>Inhalte .....</b>	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>Technische Rahmenbedingungen .....</b>	<b>15</b>
<b>4</b>	<b>Zielgruppe .....</b>	<b>16</b>
	4.1 Vorwissen .....	16
	4.2 Räumliche Vorstellungsvermögen .....	17
	4.3 Motivation .....	17
	4.4 Lern- und Leistungsemotionen .....	19
	4.5 Bedürfnisse .....	19
<b>5</b>	<b>Lehrform, Mediendidaktik und -design.....</b>	<b>21</b>
	5.1 Evidenzbasierte Gestaltungsprinzipien .....	21
	5.2 Kollaboration .....	30
	5.3 Adaptivität: Lernvoraussetzungen in MR.....	34
	5.4 Adaptivität: Messverfahren / Prozessdaten.....	37
<b>6</b>	<b>Entwicklung / Authoring .....</b>	<b>39</b>
<b>7</b>	<b>Durchführung &amp; Evaluation.....</b>	<b>41</b>
	Danksagung.....	45
<b>8</b>	<b>Verwertungsplan.....</b>	<b>46</b>
<b>9</b>	<b>Erfolgskontrollbericht .....</b>	<b>48</b>
	Referenzen.....	52

Die Grundlage für das im Folgenden beschriebene Projekt *AuCity 3* bildete das folgende Modell, welches auf die Teilprojektleiterin der Universität Ulm – Prof. Dr. Tina Seufert (Teilprojektleitung der Universität Ulm) – zurück geht.

Das Modell ermöglicht die Einordnung der hier präsentierten interdisziplinären Forschungs- und Entwicklungsergebnisse zu Mixed-Reality-Lernumgebungen in der Hochschullehre. Daher dient es dem Abschlussbericht als Advance Organizer und soll zu Beginn kurz umrissen werden.



Das Instruktionsdesignmodell visualisiert die Schritte zur Entwicklung von Lernumgebungen: Im ersten Schritt des Instruktionsdesigns sind Ziele, Inhalte, Rahmenbedingungen und Zielgruppe des digitalen Lernangebotes zu analysieren. Diese werden in diesem Bericht theoretisch gerahmt. Die Inhalte der Lernumgebungen, die im Projekt entwickelt, um- und eingesetzt wurden werden mit Video- und Bildbeispielen präsentiert.

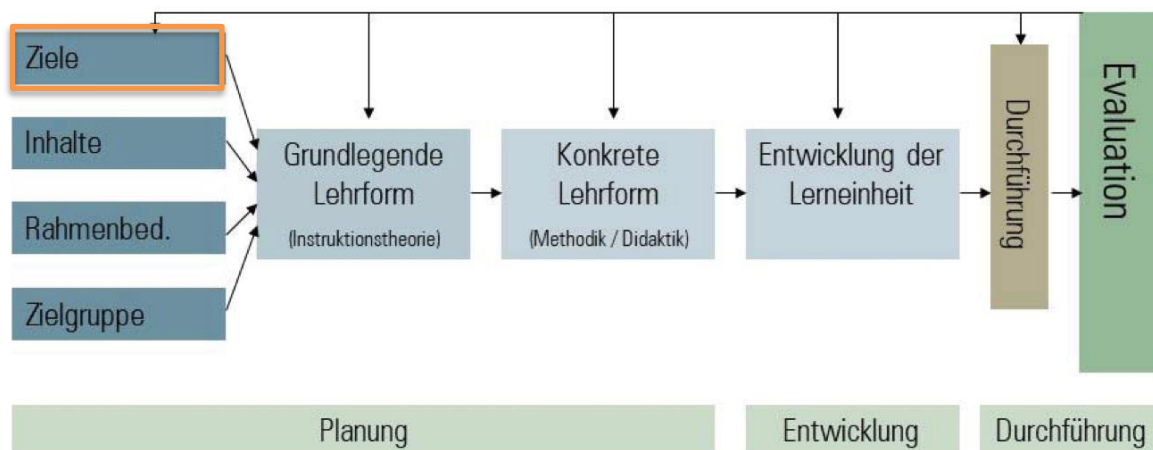
Im nächsten Schritt werden aus diesen Vorbedingungen im Instruktionsdesignmodell die allgemeinen und konkreten Lehrformen und die explizite Gestaltung der Lerneinheit abgeleitet. Diese Teile des Modells werden in Kapiteln zu den Forschungs- und Entwicklungsergebnissen präsentiert. Die Kapitel 5, 6, und 7 stellen das Herzstück des Abschlussberichtes dar:

Zahlreiche Gestaltungsprinzipien für Mixed-Reality-Umgebungen wurden im Laufe beider Förderphasen empirisch geprüft und konkrete Lehrformen für MR-Umgebungen untersucht. Hierzu zählen kollaborative und Einzellernsettings, virtuelle Exkursionen und die Frage nach der Adaptivität von Lernumgebungen. Die Frage der Adaptivität überschneidet sich inhaltlich stark mit der Zielgruppenanalyse. Während im letzteren gefragt wird, welche Merkmale der Zielgruppe für die Gestaltung der Lehrformate bedeutend sind, geht es im Rahmen der Adaptivität (Entwicklung der Lerneinheit) schon darum, das Lernangebot an mögliche individuelle Unterschiede anzupassen, um eine hohe Passung von Angebot und Lernenden zu ermöglichen. Grundlage hierfür ist, möglichst gut zu verstehen, wie unterschiedliche Lehrformate mit kognitiven und motivational-affektiven Voraussetzungen interagieren. Hierfür haben wir im Projekt Grundlagenforschung betrieben, deren Ergebnisse im Kapitel zur Adaptivität dargestellt sind.

Die Durchführung und Evaluation der Lerneinheiten wurde je nach Forschungsanlass teils im Labor (Grundlagenforschung), teils direkt in der Hochschullehre (im Feld) realisiert. Die Ergebnisse der experimentellen Studien, der Design-Based-Research-Ansätze und der Mixed-Method-Studien werden in den Ergebniskapiteln dargestellt. Mit diesem Bericht wird daher der gesamte Zyklus des Instruktionsdesigns abgebildet und im Resultat mit evidenzbasierten Gestaltungsprinzipien, Kollaborations- und Adaptivitätsansätzen in Mixed-Reality-Anwendungen abgeschlossen.

# 1 Ziele des Lernens mit digitalen Medien

Im Lernprozess spielen verschiedene Arten von Lernzielen eine zentrale Rolle, um sicherzustellen, dass Lernende nicht nur Wissen erwerben, sondern auch anwenden können und dies als Grundlage für eigenen Problemlösungen, Beurteilungs- und Entscheidungs-, sowie kreative Prozesse nutzen können. Weiterhin sollen neben kognitiven Lernzielen, oft auch emotionale und soziale Fähigkeiten entwickelt werden, diese sind in der Kategorie der affektiven Lernziele berücksichtigt. Im folgenden Kapitel werden die (Lern- Ziele, deren Erreichung in den später dargestellten Studien in Mixed-Reality Umgebungen untersucht wurden, dargestellt.



## 1.1 Kognitive Lernziele

Kognitive Lernziele beziehen sich auf die geistigen Fähigkeiten und das Wissen, welche ein Lernender erwerben soll. Diese Ziele umfassen das Verständnis, die Analyse, die Synthese und die Bewertung von Informationen. Sie sind in Blooms Taxonomie der Bildungsziele detailliert beschrieben, die eine hierarchische Struktur von einfachen zu komplexeren Denkfähigkeiten darstellt.

Die kognitiven Lernziele lassen sich in folgende Ebenen unterteilen (z.B. Hasselhorn & Gold, 2013):

1. **Wissen:** Das Erinnern von Fakten, Begriffen und grundlegenden Konzepten.
2. **Verstehen:** Das Erklären von Ideen oder Konzepten.
3. **Anwenden:** Das Verwenden von Wissen in neuen Situationen.
4. **Analysieren:** Das Zerlegen von Informationen in Teile und das Erkennen ihrer Beziehungen.
5. **Synthese:** Das Zusammenfügen von Teilen zu einem neuen Ganzen.
6. **Bewerten:** Das Beurteilen von Informationen und Ideen auf der Grundlage von Kriterien.

Diese Ziele sind entscheidend für die intellektuelle Entwicklung der Lernenden und ihre Fähigkeit, komplexe Probleme zu lösen und fundierte Entscheidungen zu treffen.

Die Differenzierung der kognitiven Lernziele gemäß der Taxonomie von Bloom (1956) ist besonders wichtig, wenn die Wirksamkeit von MR-Lernumgebungen untersucht wird. Diese Unterscheidung ermöglicht es, die Effektivität von MR-Lernumgebungen auf verschiedenen Ebenen des Lernens zu bewerten. In MR-Umgebungen, die oft komplexe und immersive Szenarien darstellen, ist es entscheidend, diese Lernziele klar zu definieren, um die Effekte differenziert analysieren und gezielte instruktionale Verbesserungen vornehmen zu können. Zudem ist diese Differenzierung wichtig, weil die Ergebnisse einer Untersuchung je nach Lernziel unterschiedlich ausfallen können. Ohne diese Unterscheidung

könnten bei der Bewertung der Ergebnisse wichtige Details übersehen oder falsch interpretiert werden (siehe Kapitel 5.1. 5.2, 5.3)

## 1.2 Affektive Lernziele

Affektive Lernziele beziehen sich auf die emotionalen und motivationalen Aspekte des Lernens. Diese Ziele betreffen Einstellungen, Werte, Gefühle und die Motivation der Lernenden. Sie zielen darauf ab, emotionale und motivationale Reaktionen zu entwickeln und zu beeinflussen, die das Verhalten und die Lernbereitschaft der Lernenden positiv beeinflussen können.

Sowohl kognitive als auch affektive Lernziele sind für eine umfassende Bildung unerlässlich. Während kognitive Lernziele den Wissenserwerb und die Fähigkeit zur Problemlösung fördern, unterstützen affektive Lernziele die lern- und leistungsbezogenen Emotionen und Motivation sowie die Entwicklung sozialer Kompetenzen. Dies gilt für alle Lernangebote, ob sie in Präsenz- oder in Mixed-Reality-Settings umgesetzt werden. In unserem Projekt wurde der Fokus auf intrinsische Motivation, teil auch auf Frustration als Ergebnis des Lernprozesses und lernbegleitende Emotionen und Motivation untersucht (siehe Kapitel 5.1. 5.2, 5.3)

Daneben wurden Aspekte der Lern- und Leistungsmotivation und -emotionen als Lernvoraussetzungen untersucht. Diese Perspektive auf motivationales und emotionales Geschehen im Lernprozess untersucht, wie sich diese Voraussetzungen der Lernenden auf den Lernprozess auswirken. Im Projekt standen hierbei Interesse, Leitungsmotivation sowie Need for Touch als motivationale und bedürfnisbezogenen Voraussetzungen (siehe Kapitel 5.3.).

Genauere Unterscheidungen von Aspekten von Lernmotivation und -emotionen, , welche im Projekt berücksichtigt wurden, finden sich im Kapitel 4.

## 1.3 Kognitive Belastung

Im Lernprozess spielen neben den Lernzielen auch kognitive Belastung, Konzentration, Aufmerksamkeit zentrale Rollen für gelingendes Lernen. Im Projekt wurde in zahlreichen Studien die kognitive Belastung untersucht, die beim Lernen in verschiedensten MR-Szenarien entsteht. An dieser Stelle sollen die Grundzüge des Cognitive Load Ansatzes kurz dargestellt werden, um die Ergebnisse später besser einordnen zu können.

Kognitive Belastung bezieht sich auf die mentale Anstrengung, die das Arbeitsgedächtnis eines Menschen benötigt, um eine bestimmte Aufgabe zu bewältigen. Das Konzept ist besonders relevant im Kontext des Lernens und der Instruktionsgestaltung (Klepsch, Schmitz & Seufert, 2017).

Stellt man sich das Arbeitsgedächtnis als einen kleinen Schreibtisch vor, so können auf diesem nur eine begrenzte Anzahl von Dokumenten gleichzeitig ausgebreitet und bearbeitet werden. Sofern zu viele Dokumente auf einmal darauf liegen, wird es schwierig, sich auf eine Aufgabe zu konzentrieren und effektiv zu arbeiten. Die Cognitive Load Theorie baut auf einer derartigen Vorstellung vom Arbeitsgedächtnis auf: Das Arbeitsgedächtnis hat eine begrenzte Kapazität und kann nur eine bestimmte Menge an Informationen gleichzeitig verarbeiten. Dies macht das Informationsdesign insbesondere für Lernmaterialien besonders wichtig, denn die Art und Weise, wie Informationen gestaltet sind, bestimmt, in welcher Weise und in welchem Ausmaß die begrenzten kognitiven Ressourcen des Arbeitsgedächtnisses (siehe auch Aufmerksamkeit, Konzentration) angefordert werden.

Es werden drei Hauptarten von kognitiver Belastung bzw. Informationsverarbeitung unterschieden:

1. **Intrinsic Load** (intrinsische Belastung): Diese entsteht durch die Komplexität des Lernstoffs selbst. Je komplexer das Material, desto höher ist die intrinsische Belastung. Zum Beispiel ist das Erlernen einer komplizierten neuen mathematischen Formel anspruchsvoller als das Merken einer einfachen Vokabelliste.
2. **Extraneous Load** (extrinsische Belastung): Diese wird durch die Art und Weise, wie das Material präsentiert wird, verursacht. Unnötige oder schlecht strukturierte Informationen erhöhen die extrinsische Belastung. Zum Beispiel kann ein schlecht gestaltetes Diagramm oder unnötige Ablenkungen im Lernmaterial die kognitive Belastung erhöhen.
3. **Germane Load** (relevante Belastung): Diese entsteht, wenn kognitive Ressourcen zur Verarbeitung, zum Verständnis verwendet werden. Eine gut gestaltete Lernumgebung fördert den Germane Load, indem sie das tiefere Verständnis und die Verknüpfung von Informationen unterstützt.

Das Ziel des Instruktionsdesigns ist es, die intrinsische Belastung zu optimieren (da sie oft unvermeidbar ist), die extrinsische Belastung zu minimieren (durch gute Gestaltung und guten didaktischen Einsatz) und die relevante Belastung zu maximieren (da sie das Verständnis fördert).

In unserem Projekt standen besonders die drei Aspekte der kognitiven Belastung im Fokus, welche durch unsere MR-Anwendungen im Lernprozess ausgelöst werden. Zahlreiche Mediendidaktische Gestaltungsprinzipien für MR in die Anwendungen integriert und deren Lern- und Motivationsförderlichkeit, aber auch die Belastung des Arbeitsgedächtnisses wurden untersucht. Diese sind im Ergebnisteil dargestellt (siehe Kapitel 5.1, 5.2, 5.3)

## 1.4 Immersion und Präsenz

Immersion und Präsenz sind zwei zentrale Konzepte in virtuellen Lernumgebungen, die beschreiben, wie intensiv und realitätsnah ein Lernender eine solche Umgebung erlebt.

**Immersion** bezeichnet das Eintauchen in eine virtuelle Umgebung, bei dem die physische Realität in den Hintergrund tritt und der Lernende vollständig in die virtuelle Welt eintaucht. Es handelt sich um das Gefühl, von der virtuellen Umgebung umgeben zu sein, wobei die Grenzen zwischen der realen und der virtuellen Welt verschwimmen. Dabei können zwei Aspekte unterschieden werden:

- **Technische Aspekte:** Immersion wird durch die Qualität der visuellen, auditiven und manchmal auch haptischen Elemente der virtuellen Umgebung beeinflusst. Hochwertige Grafiken, realistische Soundeffekte und interaktive Elemente tragen zu einem stärkeren Gefühl der Immersion bei.
- **Kognitive und emotionale Aspekte:** Das Eintauchen in eine virtuelle Umgebung hängt auch von der Fähigkeit des Lernenden ab, sich auf die virtuelle Welt zu konzentrieren und emotionale Reaktionen auf die simulierte Realität zu entwickeln.

**Präsenz** bezieht sich auf das subjektive Erleben, tatsächlich in der virtuellen Umgebung anwesend zu sein. Es ist das Gefühl, "wirklich dort" zu sein, obwohl man physisch an einem anderen Ort ist. Präsenz ist ein psychologisches Phänomen und hängt stark davon ab, wie überzeugend die virtuelle Umgebung gestaltet ist und wie gut die Lernenden in diese Umgebung eingebunden werden. Auch hier können zwei Aspekte unterschieden werden:

- **Subjektives Empfinden:** Präsenz ist stark abhängig von der persönlichen Wahrnehmung des Lernenden. Zwei Personen können dieselbe virtuelle Umgebung erleben, aber unterschiedliche Grade von Präsenz empfinden.

- **Kohärenz der Umgebung:** Eine kohärente und logisch aufgebaute virtuelle Umgebung, die konsistente Regeln und Interaktionen bietet, erhöht das Gefühl der Präsenz.

In virtuellen Lernumgebungen arbeiten Immersion und Präsenz zusammen, um ein möglichst realistisches und einnehmendes Lernerlebnis zu schaffen. Hohe Immersion fördert typischerweise ein starkes Präsenzgefühl, was wiederum die Effektivität und das Engagement im Lernprozess erhöhen kann. (siehe Kapitel 5.1, 5.2, 5.3)

## 1.5 Usability & User Experience

Benutzerfreundlichkeit (Usability) meint die Effektivität, wie Lernende eine digitale Lernplattform oder -anwendung nutzen können. Effektivität bedeutet dabei, wie schnell und unter welchem Aufwand es möglich ist, Informationen abzurufen und Aktionen auszuführen. Um eine möglichst hohe Benutzerfreundlichkeit zu erreichen, sollten verschiedene Aspekte berücksichtigt werden, die sicherstellen, dass die Lernumgebung intuitiv, zugänglich und effizient ist, um ein optimales Lernerlebnis zu bieten.

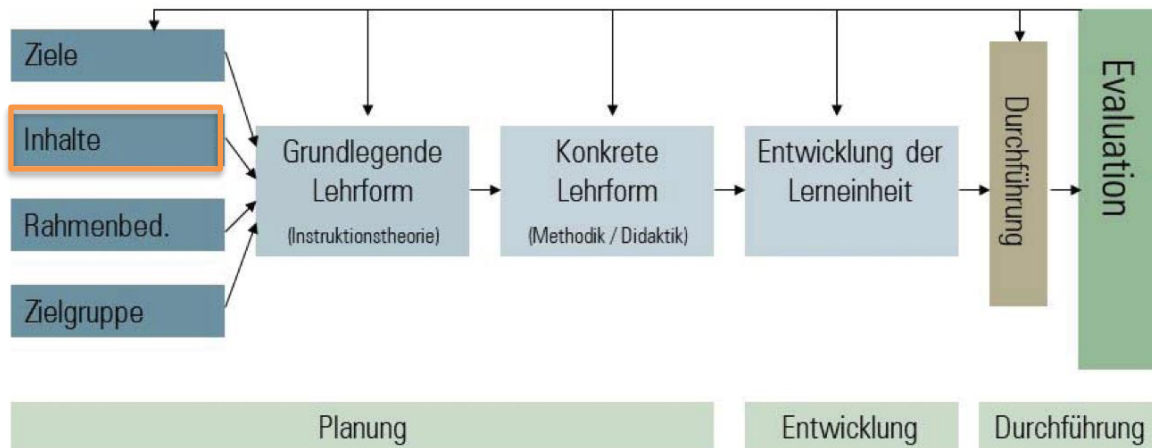
- **Effektivität:** Die Lernumgebung ermöglicht es den Nutzenden, ihre Lernziele zu erreichen und Aufgaben erfolgreich abzuschließen. Die Funktionen sollten klar und zielgerichtet gestaltet sein, um die Lernenden bei der Erreichung ihrer Lernziele zu unterstützen.
- **Effizienz:** Die Lernumgebung sollte den Lernenden ermöglichen, Aufgaben schnell und mit minimalem Aufwand zu erledigen. Dies umfasst eine benutzerfreundliche Navigation, schnelle Ladezeiten und eine klare Struktur der Inhalte.
- **Zufriedenheit:** Die Lernenden sollten mit der Nutzung der digitalen Lernumgebung zufrieden sein. Dies umfasst ein positives Nutzererlebnis, das durch ein ansprechendes Design, eine angenehme Interaktion und hilfreiche Funktionen gefördert wird.
- **Fehlervermeidung und Fehlerbehebung:** Die Lernumgebung sollte so gestaltet sein, dass sie Fehler minimiert und den Lernenden bei der Behebung von Problemen unterstützt. Dazu gehören klare Anleitungen, hilfreiche Fehlermeldungen und einfache Möglichkeiten zur Korrektur von Fehlern.
- **Zugänglichkeit:** Die Lernumgebung muss für alle Lernenden zugänglich sein, einschließlich solcher mit besonderen Bedürfnissen. Dies umfasst Barrierefreiheit für Menschen mit Behinderungen (z. B. durch Screenreader-Unterstützung oder anpassbare Schriftgrößen) sowie die Unterstützung unterschiedlicher Geräte und Plattformen.
- **Lernförderlichkeit:** Die Usability sollte die Lernprozesse unterstützen, indem sie eine klare und logische Struktur bietet, die es den Lernenden erleichtert, sich in der Umgebung zurechtzufinden und sich auf die Lerninhalte zu konzentrieren.

User Experience geht noch über die Idee der Benutzerfreundlichkeit hinaus und schließt auch Emotionen und subjektive Vorstellungen der Nutzenden mit ein. User Experience wird definiert als Wahrnehmungen und Reaktionen einer Person, die aus der tatsächlichen und/oder der erwarteten Benutzung eines Produkts, eines Systems oder einer Dienstleistung resultieren. Dies umfasst alle Emotionen, Vorstellungen, Vorlieben, Wahrnehmungen, physiologischen und psychologischen Reaktionen, Verhaltensweisen und Leistungen, die sich vor, während und nach der Nutzung ergeben (DIN ISO 9241-210). Ein Instrument zur Messung der User-Experience ist der *Questionnaire User Experience (QUX)*; Müller, Heidig und Niegemann, 2012). Der QUX beruht auf dem holistischen Modell der User-Experience von Mahlke (2008), ist als Online-Fragebogen konzipiert und dient der Einschätzung der User-Experience.

Dieser kann genutzt werden, um die User Experience von Desktop-basierten, im Webbrowser dargestellten virtuellen Exkursionen zu bewerten. Dabei wird die User-Experience in vier Subkategorien unterschieden:

## 2 Inhalte

Zuständige Projektpartner: b.is, ITD (BUW), ID (HSMS), LLF, VC, HCI (UU)



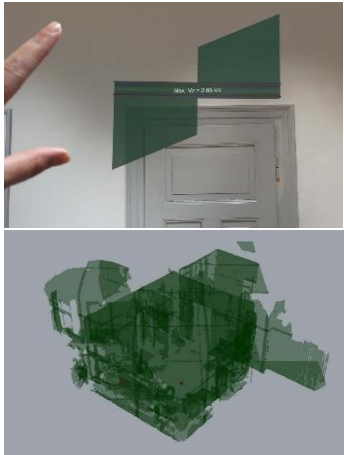
Lerninhalte können entsprechend der vermittelten Fähigkeiten und Fertigkeiten gruppiert werden. So werden in der folgenden Tabelle die im Projekt entwickelten Anwendungen dargestellt. Es zeigt sich, dass zum einen Fertigkeiten (Mentale Rotation, Schreiben, Entwerfen) vermittelt werden, zum anderen aber auch Lerninhalte, welche abstrakte Konzepte, Modelle und Theorien vermitteln sollen. Im Projekt wurden Inhalte für verschiedenen Fachdisziplinen entwickelt und getestet. Ein Überblick über die entwickelten Anwendungen findet sich in der folgenden Tabelle:

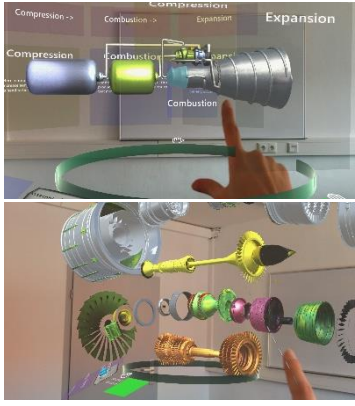
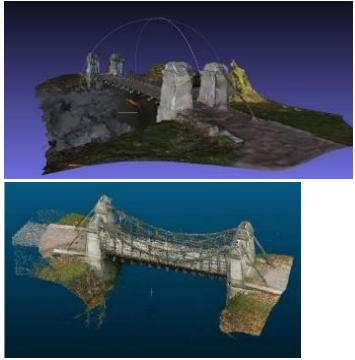
Tabelle 1: Die (weiter)entwickelten/genutzten Anwendungen während der Förderphase


	Anwendung	Zuständigkeiten	Lerninhalte	Beschreibung der Anwendung
Zentrale Anwendungen	<b>Panorama Viewer VR / Desktop</b>	VC: Software-entwicklung b.is: LernkonzeptInhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Wasserspeicher (Regenrückhaltebecken)</li> <li>- Versickerung</li> </ul>	Der <i>Panorama Viewer</i> wurde mit dem Ziel entwickelt, 360°-Panoramen durch Einzel- und Mehrbenutzung im hochschuldidaktischen Kontext zu ermöglichen. Am Beispiel eines neu gebauten Regenrückhaltebeckens in Weimar können mit dem <i>Panorama Viewer</i> virtuelle Exkursionen durchgeführt werden, in dem alle Teilnehmenden individuell durch einen Avatar repräsentiert werden, der auch individuell zu steuern ist. Geeignet ist der <i>Panorama Viewer</i> , insbesondere für geführte virtuelle Exkursionen.
	<b>Tragwerk VR / Desktop</b>	ITD: Software-entwicklung ID & LLF: Studiendesign, -durchführung und -auswertung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Grundlagenverständnis von Tragwerkgeometrie, -material, verschiedene Lasten</li> <li>- Effekte der Parameter auf Durchbiegung</li> <li>- Veranschaulichung abstrakter Tragwerkssysteme</li> </ul>	Die App <i>Tragwerk VR / Desktop</i> bietet eine immersive Lernumgebung, die sowohl auf Desktop-Computern als auch in Virtual Reality genutzt werden kann. Sie dient dem Grundlagenverständnis von Tragwerkgeometrie, Materialeigenschaften und verschiedenen Lasten. Nutzer können die Effekte unterschiedlicher Parameter auf die Durchbiegung von Tragwerken interaktiv erkunden und erleben. Zudem veranschaulicht die App abstrakte Tragwerkssysteme auf intuitive Weise, wodurch komplexe Zusammenhänge leichter nachvollziehbar werden.

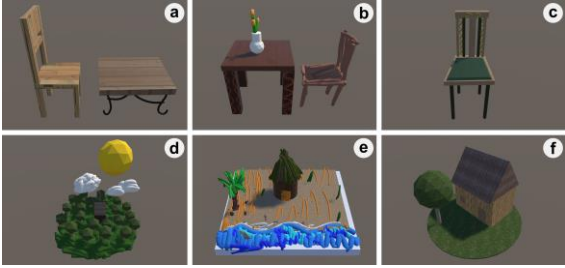
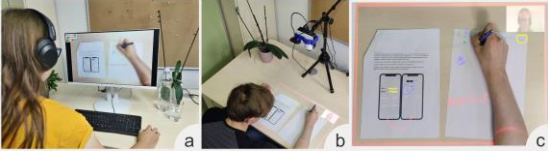

				<p><b>Zusammenfassungstafel</b></p> <p><b>Erklärungstafel</b></p> <p>Level 3: Querschnittsgeometrie</p> <p>Die Rollen haben gleiche Querschnittsflächen, aber unterschiedliche Flächeninhalte.</p>
	<b>Klempner VR</b>	<p>HCI: Software-entwicklung ID &amp; LLF &amp; HCI: Studien-design, -durchführung und -auswertung</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Räumliches Vorstellungsvermögen</li> <li>- Einfluss unterschiedlicher Interaktionsmetaphern in der Interaktion mit 3-dimensionalen Objekten</li> </ul>	<p><i>Klempner VR</i> untersucht, wie individuelle räumliche Fähigkeiten die Leistung bei der Manipulation von 3D-Objekten in virtuellen Umgebungen beeinflussen. Dabei werden unterschiedliche, winklige Rohrstücke präsentiert, die in eine Zielform eingepasst werden müssen, welche anders skaliert, rotiert und/oder positioniert sind. Hierbei wird der Einsatz verschiedener Interaktionstechniken untersucht. Im Speziellen werden dabei verschiedene Freiheitsgrade bei der Interaktion mit den Rohrstücken evaluiert (nur eine Achse bei der Rotation vs. drei Achsen bei der Rotation vs. alle Manipulationsarten).</p>
	<b>Rotate It! Tablet / VR</b>	<p>VR-Version: HCI: Software-entwicklung ID: Studien-design, -durchführung und -auswertung</p> <p>Tablet-Version: Anwendung existierte bereits vor Beginn des Projekts</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Training räumlichen Vorstellungsvermögens</li> <li>- Räumliche Wahrnehmung durch stereoskopische Darstellung</li> </ul>	<p>In der Anwendung <i>Rotate It! VR</i> werden pro Aufgabe zwei Objekte aus dem Mental-Rotation-Test von Vandenberg &amp; Kuse (1985) räumlich verdreht in virtueller Realität dargestellt und können durch Nutzendeninteraktionen manipuliert (gedreht) werden. Am Ende muss entschieden werden, ob die Objekte identisch oder unterschiedlich sind.</p>
	<b>Regenwasser VR</b>	<p>VC: Software-entwicklung b.is: Lerninhalte</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lernen und Verstehen von Formeln und Tabellen als Rechtsgrundlage für die Dimensionierung von Abflusssystemen</li> </ul>	<p>Die Regen VR besteht aus einer virtuellen Landschaft, in der unterschiedliche Wetterereignisse (z. B. Regenfälle in unterschiedlicher Intensität) simuliert und deren Auswertungen anhand mehrerer Parameter analysiert werden können. Dabei können auch unterschiedliche Technologien der Siedlungswasserwirtschaft mit einbezogen werden. In der Regen VR werden digitale räumliche Darstellungen von bspw. Anlagen, Böden oder landwirtschaftlichen Nutzflächen zur Wissensvermittlung genutzt, welche mit Annotationen versehen sind. Annotationen sind ein- und ausblendbare Notizen, welche fest an den entsprechenden lernrelevanten Punkt in der virtuellen Umgebung verankert sind.</p>


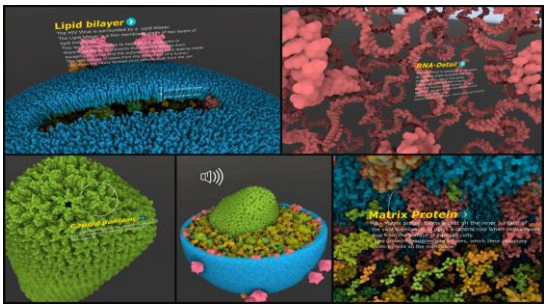
<b>Haupt- komponente</b>	<b>Heart &amp; Spine Modell</b>	<p>ID: Studiendesign, Lernkonzept, Lerninhalte</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lernvoraussetzung: Bedürfnis, Dinge anzufassen</li> </ul>	<p>Konzeptioniert wurden AR-Umgebungen, in der reale, physische Modelle von Herz und Wirbelsäule mittels eines Smartphones durch Annotationen virtuell in Augmented Reality erweitert wurden. Dies sollte</p>
------------------------------	---------------------------------	--	--	---

		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vergleich zwischen rein visuellen und haptischen Lernmaterialien</li> </ul>	<p>mit einem Smartphone realisiert werden, welches es ermöglichen sollte, Zusatzfunktionen über die Teile und Funktionsweise der Organe virtuell an dem Modell einblenden zu lassen.</p> <p>Erste Pilotstudien zur Bedeutung kognitiver und motivationaler Einflussfaktoren auf das Lernen mit haptisch erkundbaren Modellen (ohne den Einsatz von AR) wurden bereits durchgeführt.</p>
<b>Hirn Modell</b>	ID: Studiendesign, Lernkonzept, Lerninhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Haptische Instruktionen vs. keine Instruktionen</li> <li>- Einfluss des Need for Touch</li> <li>- Einfluss auf die langfristige Erinnerungsfähigkeit</li> </ul>	<p>Ein haptisches anatomisches Modell eines Hirns wurde als Ausgangspunkt für die Konzeption für die Hirn-VR-Umgebung genutzt. Zuvor wurden Studien mit diesem haptischen Modell durchgeführt, um grundlegende Effekte haptischer Wahrnehmung auf Lern- und Gedächtnisprozesse zu untersuchen. Dabei wurde insbesondere die Wirksamkeit von Instruktionen zur haptischen Exploration des Modells (vs. ohne Instruktionen) in den Blick genommen.</p>
<b>Hirn VR</b>	ID: Softwareentwicklung, Lernkonzept, Lerninhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lerninhalte zur Funktionsweise des Gehirns</li> <li>- Exploratives oder angeleitetes Szenario wählbar</li> </ul>	<p>In der Anwendung <i>Hirn VR</i> wird ein virtuelles und in verschiedenen Schichten darstellbares Modell des Gehirns in einer Virtual-Reality-Umgebung präsentiert. Das Modell ist mit Annotationen versehen, also ein- und ausblendbare Notizen, welche fest an den entsprechenden lernrelevanten Punkt in der virtuellen Umgebung verankert sind. Außerdem können die verschiedenen Bestandteile des Hirns ein- und ausgeblendet bzw. farblich hervorgehoben. Dies kann in einem explorativen oder einem geführten Modus erfolgen, bei dem die entsprechenden Bestandteile automatisch ein- oder ausgeblendet werden.</p>
<b>Holographic Structural Analysis</b>	ITD: Softwareentwicklung, Lernkonzept, Lerninhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Training des Verständnisses der Kraftverteilung in Bauwerken</li> <li>- Experimentieren der Normal- und Querkräfte sowie Momente im Bauwerk</li> </ul>	<p>Die Anwendung <i>Holographic Structural Analysis</i> präsentiert eine immersive Applikation zur Erlernung von Normal- und Querkraftverteilung sowie der Momentenverlauf in Tragwerken bei unterschiedlichen Arten von Lasten. Die Mixed Reality Umsetzung ermöglicht dem Nutzenden unterschiedliche virtuelle Tragwerkstypen mit der realen Umgebung zu verbinden und vordefinierte Lasten (Punkt-, Linien- und Flächenlasten) miteinander zu kombinieren.</p> 
<b>Turbine MR</b>	ITD: Softwareentwicklung, Lernkonzept, Lerninhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verständnis der Funktionsweise von Turbinen</li> <li>- Verständnis der einzelnen Komponenten einer Turbine</li> </ul>	<p>Turbine MR gibt eine breite Anwendung für das Erlernen der Grundlagen in Flugzeugtechnik. Durch die integrierten Wissensabfragen wird eine regelbasierte Schwierigkeitsanpassung vorgenommen. Der Inhalt der App umfasst spielerisch Grundlagen der Physik wie Newton'sche Gesetze sowie fortschrittlichere Themen wie Kompression, Verbrennung und Expansion innerhalb der Turbinen.</p>

			
<b>Brücke MR</b>	ITD: Softwareentwicklung, Lernkonzept, Lerninhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Integration LIDAR Scan und Photogrammetrische Rekonstruktion in MR-Umgebung</li> <li>- Registrierung digitaler Schatten mit dem physischen Bauobjekt</li> </ul>	<p>Die Mixed Reality App Brücke MR kombiniert photogrammetrische 3D Rekonstruktion einer Brücke mit den Simulationsergebnissen aus einem finiten Elemente Modell sowie Informationen aus einem digitalen Bauwerksmodell. Unterschiedliche Datenformate sowie Detaillierungsgrade werden in der App zusammengeführt und bei Bedarf miteinander kombiniert visualisiert.</p> 
<b>Neues Bauen am Horn 360°-Rundgang</b>	b.is, HCI, VC: Softwareentwicklung, Lernkonzept, Studierendurchführung b.is & ID: Studienevaluation	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rahmenbedingungen für die Planung technischer Infrastruktur (Abwasserkanäle, Bauwerke des Regenwasser-managements, z. B. Rigolen) am Beispiel des Stadtquartiers "Neues Bauen am Horn" in Weimar</li> </ul>	<p>Die virtuelle Exkursion "Neues Bauen am Horn" zeigt ein Stadtquartier, das auf einem ehemaligen Kasernengelände in Weimar während der 2000er Jahre gebaut wurde. Inhaltlich wird es genutzt, um typische Herausforderungen der Planungen technischer Infrastruktur darzustellen, wie z. B. die Notwendigkeit eines Gefälles für die Schwemmkanalentwässerung oder die Einhaltung von Kurvenradien für Müllfahrzeuge. Technisch beruht die virtuelle Exkursion auf 360°-Aufnahmen und dem Autorensystem Pano2VR. Evaluationen zeigen die Lernwirksamkeit und sehr gute Lernvoraussetzungen, wie Motivation und Emotion des virtuellen Rundgangs, aber auch Abstufungen zu einer realen Exkursion.</p>
<b>Wasserwerk 360°-Modell</b>	b.is: Softwareentwicklung, Lernkonzept, Studierendurchführung bezüglich verschiedener Variablen (Kollaborativ vs. Einzel, Escape-Room vs. Ohne Game-Mechanik, 3D-Raum vs. Website) b.is & ID: Studienevaluation	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Prozess der Wasseraufbereitung lernen</li> <li>- Prozesskomponenten lernen</li> <li>- Prozessschritte verstehen</li> </ul>	<p>Das Wasserwerk Tiefengruben ist eines von mehreren Wasserwerken, das die Stadt Weimar mit Trinkwasser versorgt. Aufgrund der Lage abseits der Innenstadt waren Exkursionen immer mit hohem Aufwand verbunden. Entsprechend steht die virtuelle Exkursion zum Wasserwerk nun insbesondere Lehrveranstaltungen offen, in denen zuvor nur Bilder und Aufbereitungsschemata gezeigt wurden. Technisch basiert die virtuelle Exkursion zum Wasserwerk auf der gebührenpflichtigen Plattform Matterport, die auch das Stitching der 360°-Panoramen übernommen hat. Auch für dieses Modell wurden gute Lernvoraussetzungen, wie Motivation und Emotion erhoben. Gleichzeitig wurde mit Hilfe eines niedrigschwelligen formularbasierten Escape Rooms ein Ansatz der Führung durch das Wasserwerk positiv erprobt, der eine Alternative zur von nicht allen Lernenden präferierten freien Exploration bietet.</p>

				
	<b>360°-Rundgang Jenfelder Au</b>	b.is: Softwareentwicklung, Lernkonzept, Studierendurchführung b.is & ID: Studienauserwertung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ressourcenorientierte Sanitärsysteme</li> <li>- Prozesse und Prozesskomponenten in Ressourcenorientierten Sanitärsystemen kennen und verstehen.</li> </ul>	Die Jenfelder Au in Hamburg ist ein Neubaugebiet, dass mit ca. 5000 Einwohner in den 2020er Jahren erstellt wurde und als Besonderheit ein stoffstromorientiertes Sanitärsystem aufweist, d.h. Grauwasser aus Küche und Bad sowie Schwarzwasser aus der Toilette werden getrennt gesammelt und auch getrennt behandelt. Ein derartiges Vorzeigeprojekt kann durch die mittels 360°-Aufnahmen und dem Autorensystem 3DVista erstellte virtuelle Exkursion als niedrigschwellig zugreifbares Demonstrationsobjekt eine hohe Reichweite bei geringsten Zugriffsaufwänden erreichen.

<b>Hauptverantwortung: UU</b>	<b>VRCreatIn</b>	HCI: Softwareentwicklung und Studierendurchführung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Texturierung von 3D Objekten in VR</li> </ul>	VRCreatIn ist ein Tool zur Erstellung von 3D-Inhalten in der virtuellen Realität (VR). Es unterstützt den gesamten Prozess der 3D-Szenengestaltung, von der ersten Idee über das Modellieren bis hin zur Beleuchtung und Texturierung. Dabei wird sowohl die Interaktion in der Luft als auch auf einer Oberfläche mit Stift und Tablet ermöglicht.	
	<b>LeARn At Home</b>	HCI: Softwareentwicklung und Studierendurchführung – Kooperation mit Universität Duisburg-Essen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verständnis über das Key-Stroke-Level-Model</li> </ul>	Die Anwendung des Systems in der Studie "LeARn at Home" ist ein Augmented-Reality-Tool für Remote-Tutoring. Es ermöglicht Tutoren, digitale Annotationen in Echtzeit auf die physischen Arbeitsblätter der Schüler zu projizieren und gleichzeitig ihre Videoübertragung direkt auf dem Tisch des Schülers zu zeigen.	
	<b>SpARKlingPaper</b>	HCI: Softwareentwicklung und Studierendurchführung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Erwerb der Schreibfertigkeit</li> <li>- Graphomotorische Fertigkeiten</li> </ul>	SpARKlingPaper ist ein augmentiertes Schreibsystem, das die haptischen Vorteile von Stift und Papier mit digitaler Unterstützung kombiniert. Kinder können mit einem Stift auf normalem Papier schreiben, während das Tablet von unten Feedback und Anleitungen bietet, um das Schreiben zu erleichtern und zu verbessern.	

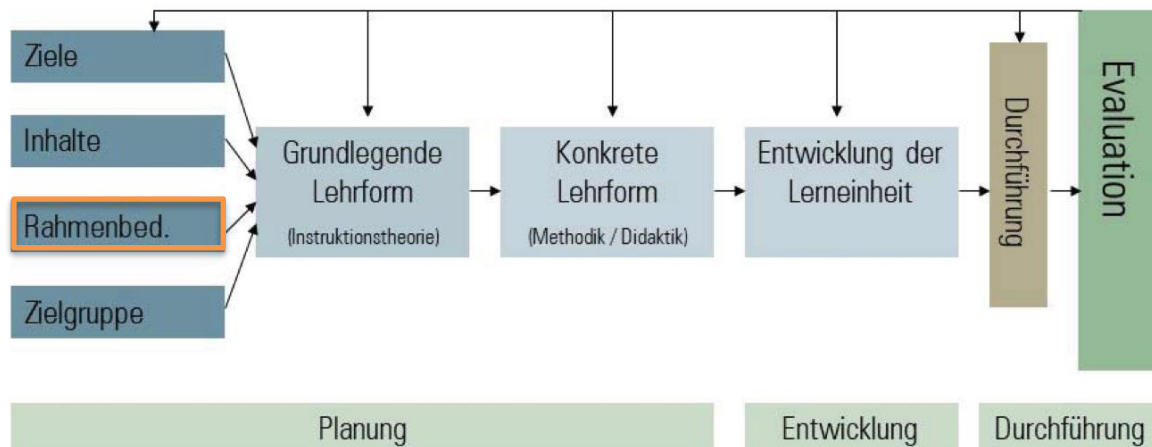
<b>VRSket- chin</b>	HCI: Software-entwicklung und Studiendurchführung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 3D-Skizzierung in VR</li> <li>- Stift- und Tabletinteraktion in VR</li> </ul>	<p>VRSketchn ist eine immersive Sketching-Anwendung, die die Kombination von 2D- und 3D-Skizziermethoden in virtuellen Umgebungen ermöglicht. Sie verwendet ein 6DoF-tracked Pen und Tablet, um sowohl konventionelles Zeichnen auf einer Oberfläche als auch freies 3D-Skizzieren zu unterstützen, was die Kreativität und das Verständnis von 3D-Volumen fördert</p> 
<b>WaldVR</b>	HCI: Software-entwicklung und Studiendurchführung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Auswirkungen von symmetrischen und asymmetrischen VR-Pair-Learning-Systemen</li> <li>- Merkmale von Wildtieren, einschließlich Rehen, Füchsen und Wildschweinen</li> </ul>	<p>WaldVR ermöglicht es Lernenden, in einer gemeinsamen virtuellen Umgebung zu interagieren und Wissen auszutauschen. Durch den Einsatz von symmetrischen und asymmetrischen Lernansätzen können Lehrer und Schüler effektiv zusammenarbeiten, um das Lernen zu fördern und die Motivation zu steigern</p> <p><a href="https://www.youtube.com/watch?v=_m32zfsjWcY">https://www.youtube.com/watch?v=_m32zfsjWcY</a></p>
<b>CellView</b>	VC: Vorbereitung der Software für Studie LLF: Studie Text / Audio	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Weiterentwicklung der grafischen Content-App "CellView" zu einer immersiven VR-App.</li> <li>- Entwicklung eines didaktischen Szenarios zur Führung durch die HIV mit Inhalten und Audio</li> <li>- Untersuchung des Medien-gestaltungs-prinzips "Redundanz-effekt" hinsichtlich Lernerfolg und kognitiver Belastung</li> </ul>	<p>In CellViewVR können die Lernenden eine faszinierende Reise durch eine HIV-Zelle in virtueller Realität unternehmen. Diese interaktive Anwendung ermöglicht es ihnen, die Zelle frei zu erkunden und tief in die Struktur der verschiedenen Proteine einzutauchen. Wenn die Lernenden ein Protein genauer betrachten und hineinzoomen, offenbart sich ihnen sogar die Mikrostruktur, was ein detailliertes Verständnis der molekularen Prozesse ermöglicht.</p> <p>Die Informationen werden dabei auf zwei Arten bereitgestellt: Die Lernenden können wählen, ob sie die Erklärungen als Text auf dem Bildschirm lesen oder sich auditiv durch die Inhalte führen lassen möchten.</p> 
<b>Meer- wasser VR</b>	Mozaik education: Entwicklung der Software* LLF: Planung, Durchführung und Auswertung der Studie	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Prozesse zur Gewinnung von Trinkwasser aus Meerwasser unter der Verwendung von Umkehrosmose, Destillationsanlagen und Elektrodialyse</li> </ul>	<p>Die Plattform Mozaik education bietet für unterschiedliche Lernbereiche hauptsächlich für die Sekundarstufe I und II Lernmodule als Web- oder VR-Applikation an. Bei dem Modul Meerwasser VR für den Erdkundeunterricht werden Nutzenden die Prozesse zur Gewinnung von Trinkwasser aus Meerwasser nähergebracht, u.a. werden Effekte der umgekehrten Osmose, die Nutzung von Destillationsanlagen</p>

				<p>sowie Elektrodialyse beigebracht.</p>
--	--	--	--	--

\* = nicht im Rahmen des Projekts entwickelt

### 3 Technische Rahmenbedingungen

Zuständige Projektpartner: **b.is (BUW)**, **VC**, **HCI (UU)**



Die Rahmenbedingungen für ein Instruktionsdesign spielen eine entscheidende Rolle bei der Entwicklung und Umsetzung effektiver Lehrangebote. Für die Entwicklung von Lehrangeboten sind zahlreiche Rahmenbedingungen relevant. Bezieht man dies auf die reine Entwicklung, betreffen diese die Medienausstattung, sowie die Zusammensetzung des Entwicklungsteams sowie finanzielle und zeitliche Ressourcen und Lizenzmodelle für die verwendeten Materialien und Software (z. B. Open Source, Freeware, Shareware oder kostenpflichtige Lizenzen).

Nutzende und Bildungseinrichtung bringen ebenfalls spezifische Rahmenbedingungen mit. Dazu gehören die Medienausstattung, auf die sie zugreifen können, sowie ihre räumliche Verteilung, falls das Lernangebot beispielsweise online stattfindet. Nicht zuletzt müssen rechtliche Vorgaben wie Datenschutzrichtlinien, Urheberrechtsbestimmungen oder Bildungsstandards beachtet werden.

Insgesamt ist die Berücksichtigung dieser Rahmenbedingungen essenziell, um ein Instruktionsdesign zu entwickeln, das sowohl den technischen und organisatorischen Voraussetzungen als auch den Bedürfnissen der Lernenden entspricht. Dies trägt dazu bei, die Effektivität und Akzeptanz des Lehrangebots zu maximieren. Für Lehrangebote in Mixed Reality sind hierbei folgende technologische Rahmenbedingungen von Bedeutung:

**VR (Virtuelle Realität):** Eine immersive Lernumgebung, die es den Nutzern ermöglicht, in eine komplett virtuelle Welt einzutauchen, wodurch realitätsnahe Szenarien und Simulationen geschaffen werden können. Notwendig sind VR-Headsets, leistungsstarke Computer oder Konsolen, spezialisierte VR-Software und eine stabile Internetverbindung.

**AR (Erweiterte Realität):** Kombiniert digitale Informationen mit der realen Welt, sodass Lerninhalte direkt in die physische Umgebung des Nutzers eingebettet werden können, um das Verständnis zu fördern. Erforderlich sind AR-fähige Geräte (Smartphones, Tablets oder AR-Brillen), spezielle AR-Apps und in manchen Fällen Marker oder QR-Codes.

**360°-Erfahrungen:** Bieten einen Rundumblick, der es den Lernenden ermöglicht, sich in einem virtuellen Raum umzusehen und so eine umfassendere Perspektive auf das Lernmaterial zu erhalten. Benötigt werden 360°-Kameras zur Erstellung von Inhalten, kompatible Geräte (Smartphones, VR-Headsets) und entsprechende Software oder Apps zur Wiedergabe.

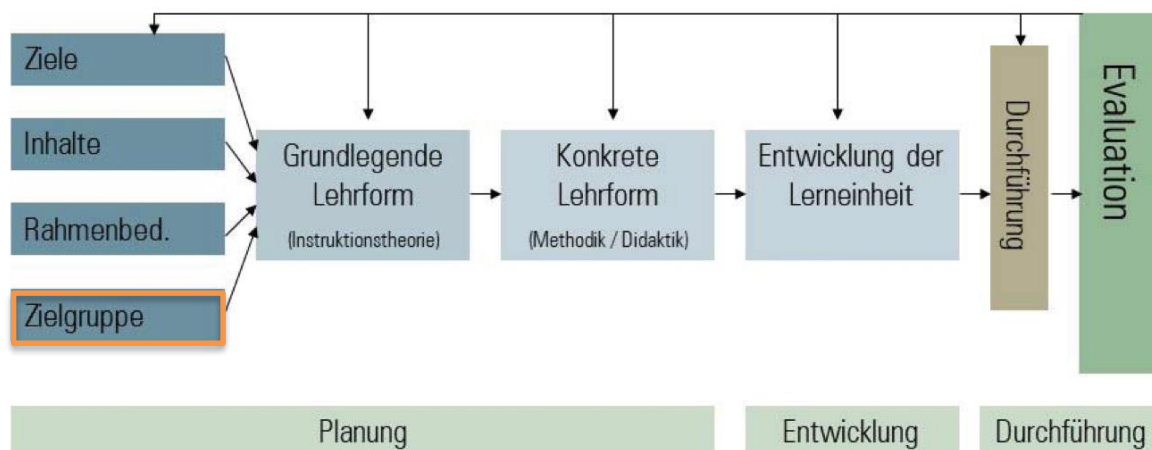
**Desktop:** Traditionelle computergestützte Lernumgebungen, die über Desktop-PCs oder Laptops zugänglich sind und eine breite Palette an interaktiven und multimedialen Inhalten bieten. Voraussetzung werden Desktop-PCs oder Laptops mit ausreichender Leistung, installierte Lernsoftware oder Zugang zu Online-Plattformen und eine Internetverbindung.

Diese Unterteilung hat weitere Dimensionen gerade vor dem Hintergrund von Mixed-Reality-Umgebungen. So sind auf einem Kontinuum VR und AR zu unterscheiden, die jeweils verschiedene weitere Kombinationen eingehen können. Komplette digitale Umgebung (VR) vs. digitale Ergänzung der realen Umgebung (AR) wird z.B. kombiniert in erweiterter virtueller Realität.

Weiterhin sind auch Immersive Lernumgebungen versus Desktopvariante (Grad der Immersion/technische Umsetzung der Immersion) voneinander zu unterscheiden und können auf einem Kontinuum ineinander übergehen.

## 4 Zielgruppe

Zuständige Projektpartner: ID (HSMS), LLF (UU)



Für das Instruktionsdesign ist es von zentraler Bedeutung, die Zielgruppen genau zu berücksichtigen. Verschiedene Faktoren beeinflussen die Gestaltung und Wirksamkeit des Lehrangebots. Im vorliegenden Projekt waren vor allem Faktoren wie Vorwissen, Motivation und Emotion als Zielgruppencharakteristiken bzw. Lernvoraussetzungen von Bedeutung.

Insgesamt ist die sorgfältige Analyse der Zielgruppenmerkmale unerlässlich, um ein Instruktionsdesign zu entwickeln, das den spezifischen Bedürfnissen und Voraussetzungen der Lernenden gerecht wird. Dies trägt dazu bei, die Effektivität des Lehrangebots zu maximieren und den Lernerfolg zu sichern. Im Folgenden werden relevante kognitive und motivationale Lernvoraussetzungen überblicksartig beschrieben, welche im Projekt mit ihren Auswirkungen auf den Lernprozess im Fokus standen.

### 4.1 Vorwissen

Vorwissen spielt eine entscheidende Rolle als Lernvoraussetzung und beeinflusst den gesamten Lernprozess erheblich (Hasselhorn & Gold, 2013). Es bezieht sich auf das Wissen und die Erfahrungen, die Lernende bereits vor Beginn eines neuen Lernabschnitts besitzen. Dies gilt auch für das Lernen in vir-

tuellen Lernumgebungen. Insbesondere hat das Vorwissen einen Einfluss darauf, wie effektiv sich Gestaltungsprinzipien auf Lernerfolg und Motivation auswirken. Dadurch ist es eine wesentliche Lernvoraussetzung, die den Lernprozess auf vielfältige Weise unterstützt. Es erleichtert das Verstehen und Einprägen neuer Informationen, fördert die Lernmotivation und Problemlösungsfähigkeit und trägt zur Entwicklung selbstregulierten Lernens bei. Pädagogen und Lehrkräfte sollten daher das Vorwissen der Lernenden berücksichtigen und aktivieren, um den Lernprozess optimal zu gestalten.

## 4.2 Räumliche Vorstellungsvermögen

Räumliches Vorstellungsvermögen ist die Fähigkeit, sich Objekte und deren räumliche Beziehungen zueinander im Geist vorzustellen, zu manipulieren und zu visualisieren. Es umfasst das Erkennen von Formen und Strukturen, das Drehen oder Transformieren von Objekten im Kopf sowie das Verständnis von Perspektiven und räumlichen Zusammenhängen. Diese Fähigkeit ist besonders wichtig in Bereichen wie Mathematik, Architektur, Ingenieurwesen und Kunst.

Insbesondere die mentale Rotation – also die Fähigkeit, sich ein Objekt im Geist vorzustellen und es gedanklich zu drehen, um es aus verschiedenen Blickwinkeln zu betrachten – ist ein wichtiger Teil des räumlichen Vorstellungsvermögens. Diese kognitive Fähigkeit ermöglicht es, die Orientierung von Objekten zu verändern und zu visualisieren, wie sie in unterschiedlichen Positionen aussehen würden, ohne sie physisch bewegen zu müssen. (Piri, Kaplan, Çagiltay, & Cagiltay, 2024)

Räumliche Fähigkeiten spielen beim Lernen in Mixed Reality eine wesentliche Rolle. Diese entscheiden sowohl in Bezug auf die Motivation und den Lernerfolg über die Qualität der Lernergebnisse. In Kombination mit den räumlichen Fähigkeiten bedingt auch das Geschlecht der Lernenden, wie in vielen Studien gezeigt werden konnte, die Verarbeitung räumlicher Informationen (Bildinformationen) und den Erfolg räumlicher Trainings. Insbesondere auch in Bezug auf das Training räumlicher Fähigkeiten in Mixed-Reality-Lernumgebungen haben räumliche Fähigkeiten und das Geschlecht des Lernenden sowie motivationale Faktoren einen wichtigen Einfluss.

## 4.3 Motivation

Neben den kognitiven Faktoren, welche im Lernprozess eine Rolle spielen, sind verschiedenen Formen der Lernmotivation ebenso bedeutend. Sie wirken sich als Lernvoraussetzungen auf den Lernprozess aus, verändern sich aber ebenso im Lernprozess auf der Basis der jeweils aktuellen Lerngegebenheiten und wirken dann auch dynamisch auf den Lernprozess.

Insgesamt bezeichnet Lernmotivation den inneren Antrieb und die Bereitschaft einer Person, sich mit neuen Inhalten auseinanderzusetzen, Wissen zu erwerben und Fertigkeiten zu entwickeln. Im Folgenden wird auf die Aspekte der Lernmotivation eingegangen, deren Einfluss auf das Lernen in Mixed Reality im Projekt untersucht wurde.

### Intrinsische Motivation (Isen & Reeve 2005)

Neben der „inneren“ Motivation, sich mit einem Thema zu beschäftigen, unterscheidet man auch die innere Motivation eine Tätigkeit um „der Freude an der Tätigkeit willen“ auszuführen (siehe hierzu auch Flowerleben: Csikszentmihalyi 1975,1985).

## Interesse

Wenn jemand interessiert lernt, so wird dies aufgrund einer besonderen Beziehung zu einem Gegenstandsfeld getan (Rheinberg und Vollmeyer 2012), Lernender wollen dann ihr Wissen erweitern und mehr darüber erfahren (Wild et al. 2001). Interesse stellt damit eine besondere Beziehung einer Person zu einem (Lern-)Gegenstand dar. Es ist dadurch gekennzeichnet, dass

- während der Lernhandlung positive emotionale Zustände erlebt,
- dem Interessengegenstand eine hohe subjektive Bedeutung beigemessen und
- die Lernhandlung als frei von äußeren Zwängen erlebt wird.

Üblicherweise werden zwei Hauptformen von Interesse unterschieden: situationales Interesse und individuelles Interesse. Situationales Interesse wird durch spezifische Merkmale (z.B. Gestaltungsprinzipien der Lernsituation oder des Lernmaterials) ausgelöst. Damit ist es oft nur flüchtig und hält lediglich so lange an, wie der anregende Kontext bestehen bleibt. Individuelles Interesse hingegen ist eine relativ stabile, persönliche Neigung oder Vorliebe für bestimmte Themen, Aktivitäten oder Wissensgebiete, die sich über längere Zeit durch positive Erfahrungen und tiefere Auseinandersetzung mit einem Thema entwickelt. Eine Kombination von situationalem und individuellem Interesse kann die Lernmotivation erheblich steigern, indem sie sowohl kurzfristige Anreize als auch langfristige Lernziele adressiert.

Interesse führt dazu, dass Lernende mehr Zeit und Ausdauer in die Auseinandersetzung mit einem Thema investieren und tiefere Lernstrategien einsetzen (Schiefele und Krapp, 1996). Sie beschäftigen sich mit fokussierter, andauernder und relativ anstrengungsfreier Aufmerksamkeit mit dem Lerngegenstand (Krapp, et al. 1992).

## Leistungsmotivation

Leistungsmotivation ist der Antrieb, eine Aufgabe erfolgreich zu bewältigen und dabei ein bestimmtes Leistungsniveau zu erreichen oder zu übertreffen. Sie basiert auf dem Streben nach Erfolg und dem Wunsch, Anerkennung für die eigene Leistung zu erhalten. Leistungsmotivation richtet sich auf die Bewertung der eigenen Fähigkeiten und die Auseinandersetzung mit Anforderungen, die als herausfordernd empfunden werden.

Für die Leistungsmotivation ist entscheidend, wie Lernende ihre Fähigkeiten und Ressourcen einschätzen, eine Aufgabe bewältigen zu können. Dabei wird zwischen zwei Ausprägungen unterschieden:

- Erfolgswahrscheinlichkeit bezeichnet die Erwartung, bei einer Aufgabe erfolgreich zu sein und positive Ergebnisse zu erzielen,
- Misserfolgsbefürchtung hingegen meint die Angst, bei einer Aufgabe zu scheitern und negative Konsequenzen zu erfahren.

Je nachdem, wie Lernende die Herausforderung, die Erfolgswahrscheinlichkeit und die Misserfolgsbefürchtung bei der Bearbeitung einer Aufgabe wahrnehmen, ergibt sich die Stärke der Leistungsmotivation für diese bestimmte Aufgabe.

Für die Gestaltung von digitalen und Präsenz-Lernumgebungen können hieraus zahlreiche Schlüsse gezogen werden: Unter anderem sollten verschiedene Schwierigkeitsgrade angeboten (Herausforderung), Gestaltungsmerkmale, die das situationale Interesse wecken, sowie informative Feedbackstrategien genutzt werden.

Im Projekt wurde untersucht, welche Rolle Leistungsmotivation, Interesse und intrinsische Motivation für das Lernen in Mixed-Reality spielen. Die Ergebnisse sind im Bericht dargestellt. Hierbei wurde Motivation sowohl als Lernvoraussetzung als auch als Ergebnis des Lernens betrachtet.

## 4.4 Lern- und Leistungsemotionen

Lernemotionen beziehen sich auf die Gefühle, die während des eigentlichen Lernens auftreten. Dazu gehören beispielsweise Freude, Interesse, Stolz, aber auch Langeweile, Frustration oder Angst. Es wird angenommen, dass positive Emotionen das Lernen und die Leistung fördern, während negative Emotionen oft Hindernisse darstellen, die den Lernerfolg beeinträchtigen. Emotionen beeinflussen, wie Lernende an Aufgaben herangehen, wie gut sie Informationen aufnehmen und wie nachhaltig sie das Gelernte behalten.

- Positive Lernemotionen: Freude, Interesse, Neugier. Diese fördern in der Regel das Engagement und die tiefere Verarbeitung von Informationen.
- Negative Lernemotionen: Langeweile, Frustration, Verzweiflung. Diese können das Lernen behindern, indem sie die Motivation mindern und zu oberflächlicher Informationsverarbeitung führen.

Leistungsemotionen treten in Situationen auf, in denen es um die Bewertung von Leistung geht, wie z. B. bei Prüfungen, Tests oder Aufgaben, die beurteilt werden. Diese Emotionen sind eng mit der Erwartung und dem Erleben von Erfolg oder Misserfolg verbunden.

- Positive Leistungsemotionen: Stolz, Erleichterung, Freude über eine gute Leistung. Diese Emotionen können die Motivation und das Selbstbewusstsein stärken.
- Negative Leistungsemotionen: Prüfungsangst, Scham, Enttäuschung. Diese Emotionen können zu Stress und einer Verschlechterung der Leistung führen. (Pekrun et al., 2011)

Für das Lernen in Mixed Reality wurde in diesem Projekt unter anderem das Auftreten von Frustration und dessen Konsequenzen für den Lernprozess untersucht. Dabei wird Frustration in der Forschung häufig als ein emotionaler Zustand beschrieben, der auftritt, wenn eine Person auf Hindernisse stößt, die sie daran hindern, ihre Ziele zu erreichen. Im Kontext von Lernumgebungen, aber auch Spielen, kann Frustration negative Auswirkungen auf die Erfahrung haben, indem sie das Engagement und die Motivation verringert.

Die Strategien für ein emotionales und ein motivationales Design von Lernumgebungen überschneiden sich. So würden ähnlich wie bei den Motivationsstrategien informatives Feedback (bspw. für die Verringerung von Frustration), die ansprechende Aufgabengestaltung (bspw. um Neugier hervorzurufen) sowie die Bereitstellung von Aufgaben verschiedener Anspruchsniveaus (bspw. um das Stolzerleben zu erhöhen und Scham zu verringern) für die Förderung von Lern- und Leistungsemotion gleichermaßen gelten.

Im Projekt wurden Emotionen vor allem als Ergebnis und Begleiterscheinung von Lernprozessen in Mixed Reality untersucht.

## 4.5 Bedürfnisse

Ein Bedürfnis ist ein Zustand, der ein Gefühl des Mangels oder des Wunsches beschreibt, der durch das Fehlen oder den Mangel an etwas Wichtigem oder Angenehem entsteht. Bedürfnisse sind die treibenden Kräfte hinter menschlichem Verhalten und Handeln und können verschiedene Formen annehmen.

In unserem Projekt wurden lernrelevante Bedürfnisse und deren Auswirkungen auf den Umgang mit der Lernumgebung untersucht.

## Need for Touch

Der Need for Touch (NFT) ist ein psychologisches Konstrukt, das die individuelle Tendenz beschreibt, ein starkes Bedürfnis oder Verlangen nach haptischen Erlebnissen zu haben. Personen mit hohem NFT haben eine ausgeprägte Vorliebe dafür, Objekte und Materialien zu berühren und durch Tastsinn zu erkunden. Dieses Bedürfnis kann in verschiedenen Kontexten, insbesondere im Konsumverhalten und bei Lernaktivitäten, eine wesentliche Rolle spielen. (Büscher, Montag & Zander, in preparation; Erdmann, Montag, Büscher & Zander, in preparation)

## Need for Cognition

Unter dem Need for Cognition (NFC) versteht man ein psychologisches Konstrukt, das die individuelle Tendenz beschreibt, Freude und Interesse an kognitiven Aktivitäten und Denkvorgängen zu empfinden. Personen mit einem hohen Need for Cognition neigen dazu, intellektuelle Herausforderungen zu suchen und komplexe Problemlösungen zu genießen. Sie schätzen es, tief über Themen nachzudenken und komplexe Sachverhalte zu analysieren. (Jebb, Saef, Parrigon, & Woo, 2016)

Die wichtigsten Merkmale des Need for Cognition umfassen:

1. **Freude an Denkprozessen:** Menschen mit hohem NFC empfinden geistige Anstrengung und das Lösen von Problemen als angenehm und befriedigend.
2. **Vorliebe für Komplexität:** Sie bevorzugen komplexe und anspruchsvolle Aufgaben gegenüber einfachen und unkomplizierten.
3. **Neugier und Wissbegierde:** Sie sind stets bestrebt, ihr Wissen zu erweitern und neue Informationen zu erlangen.
4. **Kritisches Denken:** Personen mit hohem NFC hinterfragen Informationen und Sachverhalte kritisch und gründlich.

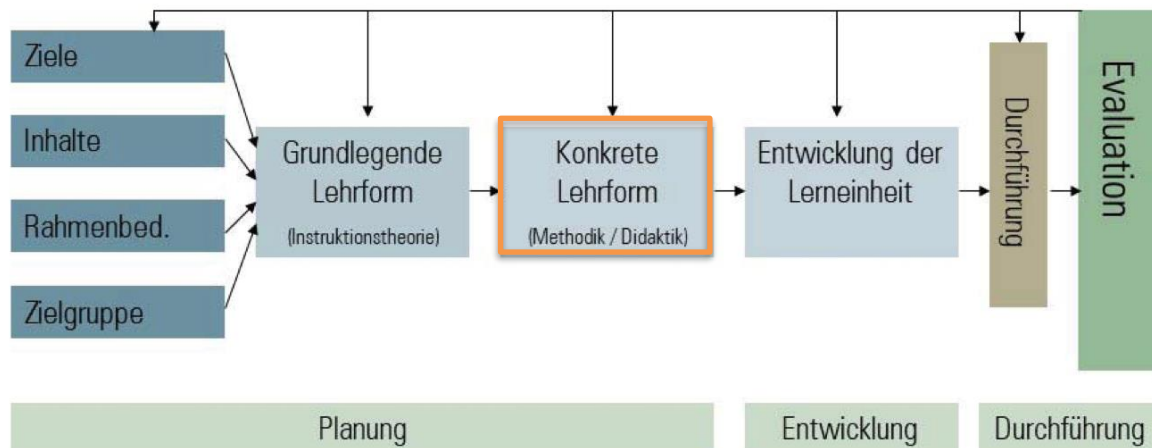
Der Need for Cognition hat verschiedene Auswirkungen auf das Verhalten und die Lernprozesse von Individuen. Personen mit hohem NFC sind oft motivierter, sich intensiv mit Lerninhalten auseinanderzusetzen und sich kritisch mit neuen Informationen auseinanderzusetzen. Sie neigen dazu, tiefere Lernstrategien zu verwenden und suchen nach einem umfassenden Verständnis der Themen, mit denen sie sich beschäftigen.

Im Gegensatz dazu könnten Personen mit niedrigem NFC dazu tendieren, einfache und schnelle Lösungen zu bevorzugen und vermeiden eher Situationen, die intensive kognitive Anstrengung erfordern. Sie könnten oberflächliche Lernstrategien anwenden und sich weniger intensiv mit komplexen Themen auseinandersetzen.

# 5 Lehrform, Mediendidaktik und -design

## 5.1 Evidenzbasierte Gestaltungsprinzipien

Bei der Gestaltung von Lehrangeboten müssen didaktische Entscheidungen auf verschiedenen Ebenen getroffen werden. Dabei spielen pädagogische, kognitionspsychologische und software-ergonomische Vorgaben eine entscheidende Rolle.



Für die Arbeiten in diesem Projekt sind vor allem die Modelle, theoretische Vorannahmen und empirische Befunden zu Gestaltungsprinzipien nach Richard Mayer & Logan Fiorella (2022) der Cognitive-Load-Theorie von entscheidender Bedeutung.

- **Dual-/Multi-channel assumption:** Nach Mayers Modell beziehungsweise der Erweiterung von Roxana Moreno verfügt der Mensch über mehrere Sinneskanäle für die Verarbeitung von Informationen. Informationen aus der Umwelt werden entsprechend ihrer Beschaffenheit (visuell, auditiv, haptisch, olfaktorisch, gustatorisch) über die verschiedenen Sinnesmodalitäten verarbeitet.
- **Limited-capacity assumption:** Darüber hinaus berücksichtigen die Annahmen von Mayer und Moreno die Begrenzung der Verarbeitungsressourcen im Arbeitsgedächtnis. Umgangssprachlich bedeutet dies, dass wir nur eine begrenzte Anzahl von Informationen zu einem bestimmten Zeitpunkt verarbeiten können.
- **Active-processing assumption:** Die dritte grundlegende Annahme ist, dass nachhaltige Informationsverarbeitung und Lernprozesse immer eine aktive Beteiligung der Lernenden voraussetzen.

Insgesamt sind diese didaktischen Entscheidungen essenziell, um ein effektives und ansprechendes Lehrangebot zu entwickeln, das den Bedürfnissen und Fähigkeiten der Lernenden gerecht wird und einen nachhaltigen, tiefen und transferierbaren Wissenserwerb ermöglicht.

Ausgehend von diesen Annahmen wurden unterschiedliche Prinzipien des multimedialen Lernens identifiziert (Für einen Überblick: Mayer & Fiorella, 2022). Diese Prinzipien wurden bisher hauptsächlich für audio-visuelle Medien untersucht. Im Projekt wurden zahlreiche Prinzipien auf Mixed-Reality-Umgebungen übertragen und hinsichtlich der Lernförderlichkeit getestet.

### Segmentierungsprinzip

Das Segmentierungsprinzip besagt, dass Lernergebnisse besser werden, wenn Informationen in überschaubare Abschnitte bzw. Segmente aufgeteilt werden. Zusätzlich können Schüler\*innen das Tempo selbst bestimmen.

### Allgemeine Umsetzungsmöglichkeiten

- Inhalt in überschaubaren, kohärenten Stücken organisieren
- Sicherstellen, dass eine Lektion, ein Modul oder eine Folie nicht zu viele Informationen enthält.
- Nutzenden ermöglichen, das Lerntempo über Schaltflächen oder Geschwindigkeitsregler zu steuern.

### Umsetzung im Projekt (b.is, LLF)

Die **Regen 360°**-App wurde als dreidimensionale Simulationsumgebung für die Prozesse des Regenwasser-Managements, wie Regenspende, Ableitung, Versickerung und Speicherung konzipiert. Die simulierbaren Prozesse und ihre Bedienung werden in der App erklärt. Diese Erklärungen wurden zum einen vollständig bereitgestellt und zum anderen sukzessive (“segmentiert”) den Lernenden angeboten.

In dieser Studie wurden zwei Varianten der Regen 360°-App verglichen, um zu prüfen, ob sich die segmentierte Variante förderlich auf Lernen und kognitive Belastung auswirkt.

Genutzt wurde die **Regen 360°**-Lerneinheit zum Thema Regenwassermanagement (N = 59). Die Teilnehmenden wurden randomisiert in beide Gruppen eingeteilt, sodass sie entweder der segmentierten Bedingung (Lerneinheit in Kapitel unterteilt) oder der unsegmentierten Bedingung (Lerneinheit ohne Kapitel - freie Exploration) zugewiesen wurden.

Es konnten keine positiven Effekte der Segmentierung auf den Lernerfolg nachgewiesen werden. Zudem zeigte die Segmentierung keinen Einfluss auf eine der drei Formen der kognitiven Belastung (Albus et al., 2021b).

Offen bleibt daher, unter welchen Bedingungen (z. B. Komplexität des Lernmaterials, Vorwissen der Lernenden) die Segmentierung in Mixed-Reality-Umgebungen sinnvoll eingesetzt werden kann.

## Modalitätsprinzip

Das Modalitätsprinzip besagt, dass es für das Lernen förderlicher ist, wenn visuelle Darstellungen mit einem gesprochenen – hörbaren – Text kombiniert werden, verglichen mit einem visuellen – zu lesenden – Text. Dies gilt vor allem für kürzere Textsequenzen (Transient Information Principle), da Menschen sich an lange hörbare Textpassagen nur bedingt erinnern und diese tief verarbeiten können.

### Allgemeine Umsetzungsmöglichkeiten

- Textinformationen sollten auditive (anhörbar) präsentiert werden, so dass dazugehörige Bilder/Animationen zeitgleich betrachtet werden können. Dies gilt vor allem für kürzere Sequenzen.

### Umsetzung im Projekt (LLF)

Wir fanden mit **CellViewVR** einen umgekehrten Modalitätseffekt in VR auf allen drei Lernerfolgsebenen (Albus et al., 2023). Dieser widerspricht Theorien über die Entlastung des visuellen Kanals und die Nutzung unabhängiger Kapazitäten.

Geschriebener Text unterstützt möglicherweise das eigenständige Erarbeiten und Wiederholen der Informationen und zeigt in VR-Umgebungen eine höhere Effektivität in Bezug auf das Lernergebnis

(Albus et al., 2021b). Dieser umgekehrte Modalitätseffekt wurde auch in einer weiteren VR-Studie festgestellt (Baceviciute et al., 2020).

## Signaling / Color Coding

In Lernmaterialien, welche aus Text und Bild bestehen, wird das Lernen verbessert, wenn Hinweise hinzugefügt werden, die die Aufmerksamkeit auf wichtige Informationen lenken. Dieses Prinzip ist bekannt als Signaling. Dies ist besonders sinnvoll für Lernende mit geringem Vorwissen, um die Orientierung im Lernmaterial zu erleichtern.

Color Coding - als eine besondere Form des Signalings - meint, dass zusammengehörige Informationen in Text und Bild in derselben Farbe markiert werden.

### Allgemeine Umsetzungsmöglichkeiten

- In das Lernmaterial sollten Hinweisreize eingearbeitet werden, welche die Aufmerksamkeit auf die wichtigen Inhalte lenken.
- Fettgedruckte/Hervorgehobene Worte, Piktogramme (Pfeile, Einkreisungen) oder Überschriften und Farbkodierungen sollten konsistent verwendet werden.

### Umsetzung im Projekt (LLF, ITD, ID)

Die folgende Studie wurde mit der **Meerwasser VR** durchgeführt. Signaling kann auch in VR eine Hilfe für die Selektion und Organisation während der Informationsverarbeitung sein, da relevante Inhalte hervorgehoben werden. In diesem Sinne kann Signaling das Behalten und das aktive Verstehen (Germane Cognitive Load) verbessern (Albus et al., 2021a, 2022). Dies stützt eine Meta-Analyse, welche insgesamt einen höheren Lernerfolg durch Signaling fand (Alpizar et al., 2020). Die Wirksamkeit von Signals ist besonders vielversprechend für Lernende mit niedriger intrinsischer Motivation, da die mangelnde Motivation durch Hinweisreize kompensiert werden kann (Vogt et al., 2021a).

Die Studien mit der Applikation **Tragwerk VR Desktop** untersuchen, ob Color Coding (mit oder ohne) und die Lernform (selbstgesteuert oder fremdgesteuert) den Lernerfolg, die Motivation und die kognitive Belastung des Lernenden beeinflusst. Die Ergebnisse der zwei Nutzerstudien (N=132) zeigen, dass in der selbstgesteuerten, farblich kodierten Variante im Durchschnitt ein signifikant höherer Lernerfolg erzielt wird als in der fremdgesteuerten, farblich kodierten Variante. Die intrinsische Motivation der Lernenden steigt in beiden Lernformen bei der Nutzung von Color Coding. Außerdem wirkt sich das Color Coding sowohl in der selbst- als auch fremdgesteuerten Variante auf die aktiven Verstehensprozesse (Germane Load) positiv aus.

## Prompts

Prompts sind gezielte Aufforderungen oder Hinweise, die den Lernenden dazu anregen, über das Gelernte nachzudenken oder es anzuwenden. Sie helfen, das Lernen zu vertiefen, indem sie den Lernenden zur aktiven Auseinandersetzung mit dem Material anregen. Prompts können Fragen, Aufforderungen zur Reflexion oder Hinweise zur Selbstüberprüfung beinhalten.

## Allgemeine Umsetzungsmöglichkeiten

- Verwendung von Fragen oder Aufgaben und Hinweise, welche die Lernenden dazu auffordern, das Lernmaterial zu reflektieren oder anzuwenden.
- Integration regelmäßiger Reflexionsfragen,
- Aufforderungen zur Selbstüberprüfung oder zur Überprüfung von Annahmen

## Umsetzung im Projekt (LLF)

In dieser Studie wurde die **Meerwasser VR** (Mozaik 3D) genutzt. Die Prompts in Form von Elaboration-Prompts wurden vor dem Bearbeiten der Lerneinheit zur Salzwasserbehandlung präsentiert. Elaborationsprompts fordern auf, das neu Gelernte mit dem Vorwissen zu verknüpfen. Diese Prompts haben sich positiv auf den Lernerfolg ausgewirkt (Vogt et al., 2021c). Es konnte bisher noch nicht genau geklärt werden, ob sich die Prompts eher auf das Behalten oder Anwenden auswirken (Vogt et al., 2021b),

Ebenfalls konnte für Prompts – in Form von Zusammenfassungen – in Kombination mit Segmentierung gezeigt werden, dass diese lernförderlich sind (Parong & Mayer, 2018).

## Redundanz

Das Redundanzprinzip besagt, dass das gleichzeitige Präsentieren derselben Information in mehreren Formaten (z. B. Text und gesprochene Worte) das Lernen beeinträchtigen kann.

Zu viel Redundanz kann zu kognitiver Überlastung führen, und das Verstehen erschweren, da Lernende unnötig Arbeitsgedächtnisressourcen einsetzen müssen, um zu identifizieren, ob die Informationen gleich sind und welche Informationen wichtig für das Verstehen sind.

## Allgemeine Umsetzungsmöglichkeiten

- Die gleichzeitige Darstellung identischer Informationen in Text und Audio sollte vermieden werden.
- Für den Fall, dass visueller und auditiver Text notwendig ist, sollte der visuelle Text knapp und unterstützend sein, nicht redundant.

## Umsetzung im Projekt (LLF, ID)

Diese Studie wurde mit der **Hirn VR** (Desktop) durchgeführt. Dabei wurde der in der Umgebung angezeigte Text zur Funktionsweise verschiedener Teile des Gehirns ebenfalls auditiv gesprochen. Dies wurde mit einer Variante verglichen, die nur angezeigten Text enthielt.

Die redundante und visuelle Version der Hirn VR haben keine Unterschiede bezüglich des Lernerfolgs oder der kognitiven Belastung ergeben.

Andere Quellen weisen sogar darauf hin, dass ein gegenteiliger Redundanz-Effekt in VR gefunden werden kann (Liu et al., 2021). Anders als in herkömmlichen Medien scheinen also redundante Informationen in Mixed-Reality den Lernerfolg nicht zu beeinträchtigen und nach EEG-Messungen auch nicht zu einer erhöhten kognitiven Belastung zu führen (Baceviciute et al., 2021). Hierzu und zu den Bedingungen für diese Effekte fehlt weitere Forschung.

## Selbstgesteuert vs. Fremdgesteuert

Selbstgesteuert: Lernende haben die Kontrolle über ihr eigenes Lernen, indem sie selbst entscheiden, wann und wie sie die Lernmaterialien nutzen, was ein hohes Maß an Eigenverantwortung und eigenständiger Exploration. Die erforderliche Eigenständigkeit kann dabei variieren.

Erforderlich sind der Zugang zu den Lernmaterialien, eine intuitive Benutzeroberfläche, Ressourcen für Selbststudium und Zeitmanagementfähigkeiten der Lernenden.

Fremdgesteuert: Der Lernprozess wird durch Dozenten oder eine festgelegte Struktur der Lernmaterialien geführt, z. B. in einem traditionellen Kurs oder durch ein vorgegebenes Video, welches die Lernenden Schritt für Schritt durch das Material führt.

Notwendig sind klare Anweisungen und Struktur, regelmäßige Überprüfung und Unterstützung, sowie festgelegte Lernziele und -zeiten.

## Allgemeine Umsetzungsmöglichkeiten

### Selbstgesteuertes Lernen

- Interaktive Lernmodule: Lernstands- und Fortschrittsanzeigen, unterstützen Lernende dabei flexibel durch die Inhalte zu navigieren und ihr Lerntempo individuell anpassen.
- Selbstreflexionsfragen und Quizzes fördern das Reflektieren über das Gelernte und die Überprüfung des eigenen Wissensstands

### Fremdgesteuertes Lernen

- Blended-Learning-Ansätze: Kombination aus selbst- und fremdgesteuerten Lernphasen, z. B. selbstständige Online-Module und regelmäßige geführte Präsenz- oder Online-Sitzungen.
- Lehrendenvermittelte Kurse und Webinare: Der Lernprozess wird durch das Curriculum, die Reihenfolge und entsprechende Lernziele durch Dozenten oder durch die genutzte Plattform strukturiert, die den Lerninhalt steuern, Fragen beantworten und Feedback geben.

## Umsetzung im Projekt (b.is; ITD, LLF)

Es wurden zwei Studien zur Wirksamkeit von eigenständigem Lernen und geführtem Lernen in *Tragwerk VR* durchgeführt. Bei der geführten Variante haben die Teilnehmenden Videos der Lernumgebung angesehen und waren somit passiv, das heißt, sie haben die Inhalte nur beobachtet. In der eigenständigen Variante konnten die Lernenden die VR-Umgebung aktiv erkunden und die Inhalte selbstständig erarbeiten. Die Ergebnisse zeigen, dass das eigenständige Lernen insgesamt förderlicher für das Lernen ist. Besonders profitieren jedoch jene Lernenden, die ein starkes Bedürfnis nach anspruchsvollen, kognitiven Aufgaben und Inhalten haben (Need for Cognition).

Eine weitere Feldstudie wurde im *360°-Raum des Wasserwerks Tiefengruben* durchgeführt. In dieser Studie konnten die Studierenden den Raum entweder eigenständig erkunden oder mithilfe eines webbasierten Formulars angeleitet werden. Das Formular enthielt Erklärungen und Fragen und wurde als „niedrigschwelliger Escape-Room“ gestaltet, also eine Art Lernspiel, das die Inhalte spielerisch vermittelt.

Die Studie fand über zwei Semester statt: Im ersten Semester erkundeten die Studierenden den 360°-Raum selbstständig. Im zweiten Semester wurde eine neue Gruppe durch das webbasierte Formular begleitet. Die Ergebnisse zeigten, dass beide Varianten positiv auf die Lernbereitschaft und Motivation der Studierenden wirkten (Wolf et al. 2024). Es wurde jedoch festgestellt, dass einige Studierende bei der freien Erkundung eine geführte Variante bevorzugt hätten, während andere sich in der geführten Variante mehr Freiheit zum Erkunden gewünscht hätten. Daher wäre es sinnvoll, zukünftig beide Varianten anzubieten und den Studierenden die Wahl zu lassen, ob sie den virtuellen Raum frei oder mit Anleitung erkunden möchten.

## Lernen mit Modellen – visuell vs. haptisch

Beim „Lernen mit Modellen – visuell vs. haptisch“ geht es darum, ob man etwas besser lernt, indem man es nur anschaut (visuell) oder indem man es auch anfasst und spürt (haptisch). Wenn man ein Objekt berührt, wählt man bewusst aus, wie man es erkundet und handhabt. Diese Berührungen geben uns Informationen darüber, wie das Objekt beschaffen ist. Das Berühren und Erkunden liefert zudem zusätzliche Informationen über die Materialeigenschaften des Objekts, wie etwa seine Oberfläche oder sein Gewicht. Beim Lernen kann der Tastsinn hilfreich sein, weil er dabei unterstützt, eine Verbindung zwischen Anweisungen und den motorischen Anforderungen herzustellen, die notwendig sind, um das Objekt richtig zu benutzen (Minogue & Jones, 2006).

### Allgemeine Umsetzungsmöglichkeiten

#### Haptisch

- Lernmethoden, die den Tastsinn einbeziehen, z. B. durch physische Modelle, Werkzeuge oder Geräte, um ein praktisches Verständnis und eine tiefere Lernerfahrung zu fördern.

#### Nicht haptisch

- Lernmethoden, die sich hauptsächlich auf visuelle und auditive Informationen stützen, ohne den direkten Einsatz des Tastsinns, was insbesondere bei digitalen und theoretischen Inhalten der Fall ist.

### Umsetzung im Projekt (ID)

In der Studie **Heart & Spine** Modell lässt sich zeigen, dass das Lernen mit einem anatomischen Modell zu höherer intrinsischer Motivation und zu niedrigerer kognitiver Belastung beim Lernen mit dem Modell führen kann. Außerdem beeinflusst das empfundene Bedürfnis, Lernmaterialien haptisch wahrnehmen zu wollen (Need for Touch, s. a. Abschnitt Adaptivität), wie hoch diese Effekte ausfallen.

## Kohärenzbildungshilfen – mit vs. ohne haptische Instruktionen

Kohärenzbildung beschreibt den Prozess, bei dem Informationen aus einem Text und einem 3D- oder haptischen Modell miteinander verknüpft werden, sodass ein umfassendes und zusammenhängendes Verständnis entsteht. Verbale Hinweise zur Exploration helfen den Lernenden, gezielt Aspekte des Modells zu erkunden und dabei das Gelesene und das physische Modell miteinander in Einklang zu bringen und tragen als Kohärenzbildungshilfe zum Verständnis bei.

### Allgemeine Umsetzungsmöglichkeiten

#### Gesten- und Bewegungsanleitung für haptische Erkundung

- Gezielte Hinweise und Anleitung zur Erkundung eines Modells oder Umgebung durch bestimmte Bewegungen.

#### Multimodale Feedbacksysteme

- Kombinierte und synchronisierte visuelle und haptische Instruktionen zur verstärkten Verknüpfung von Informationen.

### Umsetzung im Projekt (ID)

In der Studie **Hirn Modell** wurde die Frage, ob eine zusätzliche Anregung (auditive Instruktion bzw. Prompt) zur haptischen Exploration eines Hirnmodells den kurz- und mittelfristigen Lernerfolg, die intrinsische Motivation sowie die kognitive Belastung positiv beeinflussen.

Es zeigt sich, dass die zusätzlichen auditiven Instruktionen in den Lerntexten die kognitive Belastung erhöhen. Zudem fallen die Ergebnisse des Lerntests in der Gruppe mit haptischen Instruktionen – direkt nach der Lernzeit gemessen – zunächst schlechter als in der Gruppe ohne zusätzliche Instruktionen aus. In einem Follow-Up-Lerntest (3 Wochen später) zeigt sich jedoch, dass die mittelfristige Erinnerungsfähigkeit bei den Versuchspersonen mit zusätzlichen Instruktionen besser ausfällt. Dies kann als Indiz gewertet werden, dass die kurzfristige erhöhte kognitive Belastung sich mittelfristig als lernförderlich erweist. Die Ergebnisse sollen in zukünftigen Mixed-Reality-Anwendungen zusätzlich überprüft werden

## Haptische Unterstützung

Haptisches Feedback und damit haptische Unterstützung entstehen, sobald physischer Kontakt zwischen System und Nutzer besteht. Klassischerweise zeigt sich dies etwa durch den Widerstand eines Knopfes, die Oberflächenbeschaffenheit von Objekten oder durch Vibrationen.

### Allgemeine Umsetzungsmöglichkeiten

#### Nutzung von Geräten mit haptischem Feedback

- Physische Modelle, haptische Geräte und AR/VR-Tools mit haptischem Feedback können verwendet werden, um abstrakte oder räumlich anspruchsvolle Konzepte greifbar zu machen. Durch Berührung und taktiles Feedback (z. B. Widerstand, Vibration) wird das Verständnis gefördert, da die Lernenden komplexe Inhalte realitätsnah erleben können.

#### Bereitstellung von Materialien mit verschiedenen Oberflächenstrukturen

- Lernende können durch haptische Unterschiede (z. B. rau, glatt, hart, weich) verschiedene Eigenschaften von Materialien erfahren und so ein besseres Verständnis für deren Anwendungen und Verarbeitung entwickeln.

### Umsetzung im Projekt (HCI, VC)

Mit der Anwendung **SpARKlingPaper** wird beim Erlernen des Schreibens untersucht, welchen Einfluss der Einsatz von haptischem Feedback in Form von augmentiertem realem Papier im Vergleich zu einem Stylus-auf-Tablet-Monitor-Ansatz hat. Das Hauptaugenmerk wurde dabei auf den Lernerfolg, die Motivation sowie die Benutzerfreundlichkeit gelegt. In beiden Szenarien bekamen die Versuchspersonen automatisiertes Feedback während des Lernprozesses.

In einer Vorstudie wurde den Versuchspersonen in einer Online-Befragung ein Video des Prototyps gezeigt, um erste Rückmeldungen zum Schreibtraining zu sammeln. Die Teilnehmenden bewerteten das Training anhand von Likert-Skalen und freiem Text, um Bedürfnisse und Meinungen zu erfassen.

Anschließend wurde in der Hauptstudie in einem *within-subject*-Design das augmentierte Papier mit einem Stylus-auf-Tablet-Ansatz verglichen (Drey et al., 2022). Die Teilnehmenden testeten beide Methoden, um die Hypothesen zu prüfen, dass *SpARKlingPaper* die Stifführung und den wahrgenommenen Lernerfolg beim Schreiben verbessert und die Benutzerfreundlichkeit sowie die Motivation beibehält. Die Ergebnisse zeigen, dass das haptische Feedback durch echtes Papier den Lerntransfer fördert und insgesamt besser abschneidet als der Ansatz mit Stylus auf Tablet-Bildschirm.

## Integration von traditionellen und digitalen Lernmethoden

Dieses Prinzip baut auf bewährten Lehrmethoden auf, wie z. B. das Arbeiten mit Stift und Papier, die durch moderne digitale Technologie angereichert werden, um die Lernerfahrung zu verbessern. Diese Integration kann durch verschiedene Ansätze erfolgen, wie z. B. die Verwendung von Augmented Reality (AR), um digitale Inhalte in physische Lernumgebungen zu projizieren, oder durch den Einsatz von interaktiven Plattformen, die den Zugang zu digitalen Ressourcen erleichtern.

### Allgemeine Umsetzungsmöglichkeiten

#### Verknüpfung von digitalen Annotationen mit physischen Lernobjekten

- Keine Notwendigkeit, zwischen verschiedenen Medien zu wechseln

### Umsetzung im Projekt (VC; HCI)

In der Studie **LeARn at Home** werden in einer Lernumgebung traditionelle und digitale Methoden miteinander kombiniert. Dabei hat die Lehrperson die Möglichkeit, digitale und individuelle Annotationen in Echtzeit auf die physischen Arbeitsblätter der Schüler zu projizieren.

Diese Integration von klassischen und digitalen Lernmethoden führt zu positiven Lernerfahrungen. Die qualitative Analyse der Benutzerstudie zeigt, dass die Teilnehmenden besonders die direkte Rückmeldung, die Anmerkungen direkt im Kontext und die gesteigerte Interaktivität schätzten. Dies deutet darauf hin, dass diese Integrationsstrategie effektiv ist und unterstützt die Annahme, dass die Kombination von analogen und digitalen Ansätzen die Lernergebnisse verbessern kann.

## Dynamisch vs. Statisch

Das Lernprinzip bezieht sich auf die Art und Weise, wie virtuelle Lernmaterialien und Objekte präsentiert und manipuliert werden können. Dabei wird zwischen statischen (unbeweglichen) und dynamischen (beweglichen) Repräsentationen unterschieden. Statische Repräsentationen erlauben Lernenden keine Manipulation oder Interaktion mit den Objekten. Im Gegensatz dazu können Objekte aktiv durch Drehen oder Verschieben bei dynamischen Repräsentationen beeinflusst werden.

### Allgemeine Umsetzungsmöglichkeiten

#### Vereinfachte Interaktionen für nicht erfahrene Lernende

- Anpassung der Repräsentationen an die Lernbedürfnisse sowie Lernendenvoraussetzungen. Statische Objekte schaffen das Grundverständnis für die Materie, während dynamische Objekte die Lernerfahrung vertiefen und die Motivation fördern können.

### Umsetzung im Projekt (ID)

In der Anwendung **Rotate It! Tablet** gibt es je nach Versuchsbedingung die Möglichkeit, Objekte durch Touchgesten zu manipulieren (dynamisch) oder die Objekte ohne Manipulationsmöglichkeiten lediglich zu betrachten (statisch).

Studien zur Nutzung von **Rotate It! Tablet** zeigen, dass das Alter der Kinder die Wirksamkeit des Lernprogramms beeinflusst. Jüngere Kinder im Grundschulalter (8–10 Jahre) lernen und bleiben motivierter, wenn sie zuerst mit den statischen Objekten arbeiten und erst danach die interaktiven Objekte nutzen.

Bei 12-14-Jährigen zeigt sich hingegen, dass sie direkt von den interaktiven Objekten profitieren, ohne vorher statische Aufgaben zu bearbeiten. Ein interessanter Unterschied zeigt sich hier zwischen

Mädchen und Jungen: Mädchen in dieser Altersgruppe haben nicht nur einen größeren Lerneffekt, sondern auch einen deutlichen Motivationsschub, wenn sie mit interaktiven Objekten arbeiten. Für die Jungen bleibt die Motivation unabhängig von der Darstellungsart auf ähnlichem Niveau.

## Fading Out

Das Fading-Out-Prinzip beschreibt den schrittweisen Rückzug von Hilfestellungen oder Interaktionsmöglichkeiten, um Lernende dazu anzuregen, kognitive Prozesse eigenständig anzuwenden und zu entwickeln. Durch die Reduktion der verfügbaren Unterstützung oder der Interaktionsmöglichkeiten müssen Lernende zunehmend auf ihr mentales Modell und ihre eigene Problemlösungsfähigkeit zurückgreifen. Dies fördert die Selbstständigkeit und kann zu einer tieferen Verankerung des Wissens führen.

### Allgemeine Umsetzungsmöglichkeiten

- Unterscheidung von gestaffelter Unterstützung, wie z. B. die Reduzierung der Hilfen im Lösungsprozess (bspw. in der Mathematik)
- Reduktion von Interaktionsmöglichkeiten mit Lernmaterialien, um die Unterstützung durch externe Visualisierung und Repräsentation auf interne Prozesse zu verlagern

### Umsetzung im Projekt (ID)

In einer weiteren Studie mit **Rotate It! Tablet** wurde untersucht, inwieweit die Beschränkung der Manipulationsmöglichkeiten das Lernen beeinflusst. Hierbei wurden in einer Trainingsstudie mit vier Messzeitpunkten zwei Gruppen verglichen, von denen eine Gruppe zu jedem Messzeitpunkt die Objekte frei rotieren konnte, während die andere Gruppe nach einer festgelegten Anzahl von Interaktionen keine weitere Möglichkeit zur Manipulation hat.

Das Vielversprechende an dieser Einschränkung war, dass dadurch die Fähigkeiten zur mentalen Rotation besser trainiert werden konnten. Dies konnte anhand der Interaktionsdaten und der Erfolgsrate gezeigt werden. Es zeigte sich, dass die Anzahl der Interaktionen in dieser Gruppe – trotz einer höheren Frustration in der Trainingsphase – gesunken sind. Dies dient als Indiz dafür, dass in der limitierten Gruppe mehr mentale Prozesse eingesetzt werden, um die Aufgaben zu lösen und weniger Unterstützung durch das Rotieren der Objekte genutzt wird.

## Serious Games

Gamification gilt als die Anwendung von Spielelementen auf Prozesse der realen Welt. Escape Rooms gelten als eigenes Spielgenre. Den Ansatz, einen 360°-Raum mit Hilfe eines web-basierten Formulars in einen niedrighwelligen Escape Room zu verwandeln, sehen wir entsprechend der entstehenden Mischform als Gamification an.

### Allgemeine Umsetzungsmöglichkeiten

- Spielelemente
- Lernfortschrittsanzeige
- Belohnungssysteme
- Abenteuer
- Web-Form-basierter Escape Room

### Umsetzung im Projekt (VC, HCI, b.is)

In der Anwendung **Klempner VR** ist es das Ziel, verschiedene Rohrstücke in räumlich verschobene, rotierte und skalierte Zielformen einzupassen. Dabei variieren die gleichzeitig ausführbaren Interaktionen (bspw. Rotation um jeweils eine Achse vs. Rotation um alle Achsen gleichzeitig) in den jeweiligen Durchgängen. Es zeigt sich, dass die unterschiedlichen Manipulationsformen für jeweils unterschiedliche Lernendenvoraussetzungen geeignet sind. So erzielen Versuchspersonen mit einem geringen räumlichen Vorstellungsvermögen präzisere und effizientere Ergebnisse, wenn sie nur wenige Manipulationsmöglichkeiten gleichzeitig nutzen können, während Versuchspersonen mit einem hohen räumlichen Vorstellungsvermögen auch mehr Manipulationsmöglichkeiten gleichzeitig bedienen können. Diese Erkenntnisse bilden die Grundlagen für eine adaptive Lernumgebung, die sich an das individuelle optimale Stuck Level anpassen kann, um weder zu einfach noch zu frustrierend sein kann (Drey et al. 2023).

Nachdem ein rein exploratives Vorgehen von einigen Lernenden als sehr aufwändig bezeichnet und eine geführte virtuelle Exkursion als lern-förderlicher betrachtet wurde, ist der **360°-Raum des Wasserwerks** um ein Web-basiertes Formular ergänzt worden. Dieses Formular enthält in fester Reihenfolge erklärende und motivierende Texte sowie die für einen Escape Room typischen Rätsel. Im Rahmen der Feldstudie wurde dann dieselben Daten erhoben, wie sie zuvor für die explorative Variante erhoben wurden.

## 5.2 Kollaboration

Kollaboratives Lernen beschreibt einen Lernprozess, bei dem mehrere Personen gemeinsam arbeiten, um Wissen zu erwerben oder Problemlösungen zu entwickeln. In der Regel wird dieser Ansatz als besonders effektiv angesehen, da er soziale Interaktionen fördert, das Verständnis durch gegenseitige Erklärungen vertieft und das Engagement der Lernenden erhöht.

In Mixed Reality eröffnet kollaboratives Lernen neue Möglichkeiten, indem es immersive Umgebungen schafft, in denen Lernende in einer geteilten virtuellen Welt interagieren können. Solche Umgebungen können sowohl symmetrisch als auch asymmetrisch gestaltet sein. In einem symmetrischen System verwenden alle Teilnehmer dasselbe Gerät, z. B. VR-Headsets, um die virtuelle Umgebung zu erleben. In einem asymmetrischen System nutzen die Teilnehmer unterschiedliche Geräte, wie z. B. ein VR-Headset und ein Tablet, was ihnen verschiedene Perspektiven und Rollen innerhalb der virtuellen Umgebung ermöglicht.

### Einzelarbeit vs. Arbeit in Kleingruppen

**Einzelarbeit** bedeutet, dass Lernende allein an Aufgaben oder Projekten arbeiten, ohne direkte Unterstützung oder Interaktion mit anderen.

**Arbeit in Kleingruppen** bedeutet, dass Lernende in kleinen Gruppen zusammenarbeiten, meist bestehend aus 2 bis 5 Personen. Dabei werden Ideen ausgetauscht und Inhalte gemeinsam erarbeitet.

### Allgemeine Umsetzungsmöglichkeiten

- Einzelarbeit stärkt Eigenständigkeit und Selbstorganisation, hilft aber auch, das Wissen durch eine intensive Auseinandersetzung mit den Lerninhalten zu vertiefen. Einzelarbeit ist daher ideal für Aufgaben, die Reflexion und individuelles Lernen erfordern, und hilft, den individuellen Lernstand zu überprüfen.

- Kleingruppenarbeit fördert hingegen vor allem das Verständnis von Lernmaterialien und soziale Kompetenzen. Die Arbeit in kleinen Gruppen eignet sich gut für Diskussionen, Projekte und kreative Aufgaben, da die Lernenden durch Austausch und Zusammenarbeit voneinander profitieren und motiviert bleiben.

### Umsetzung im Projekt (b.is)

In der Studie **Wasserwerk 360°** erkundeten Studierende das 360°-Modell des Wasserwerks Tiefenruben. Die Exkursion fand in einem festgelegten Zeitraum außerhalb der Vorlesung statt, nachdem das Thema theoretisch behandelt worden war. Die Studierenden arbeiteten entweder allein (N=55) oder in Kleingruppen von etwa drei Personen (N=78). Zum Abschluss führten alle Studierenden allein (egal ob sie vorher bereits einzeln oder in Gruppen gearbeitet haben) eine abschließende Befragung durch. Die Ergebnisse befinden sich derzeit in der Auswertung

## Symmetrisch vs. asymmetrisch

**Symmetrische Systeme:** Alle Lernenden nutzen dieselben Geräte (z. B. VR-Headsets), was zu gleichen Lernbedingungen, intensiverem Eintauchen in die virtuelle Umgebung und einfacher Kommunikation führt. Diese Systeme eignen sich gut für kooperative Aufgaben, bei denen alle denselben Zugang und dieselbe Perspektive haben sollen.

**Asymmetrische Systeme:** Lernende verwenden verschiedene Geräte, z. B. ein VR-Headset und ein Tablet. Dadurch können sie unterschiedliche Rollen einnehmen, was besonders bei Projekten mit verschiedenen Perspektiven nützlich ist. Die intensivere Erfahrung der VR-Nutzer kann jedoch die Interaktion beeinflussen.

### Allgemeine Umsetzungsmöglichkeiten

- Symmetrisch
- Kooperative VR-Trainings: Alle Lernenden tragen VR-Headsets und arbeiten im selben virtuellen Raum zusammen, was sich gut für Arbeiten in Kleingruppen eignet.
- Virtuelle Labore: Lernende führen gemeinsam Experimente durch und haben dabei den gleichen Zugang zu allen Werkzeugen.
- Geschichtenerzählen und Rollenspiele: Alle Lernenden schlüpfen in vergleichbare Rollen in einer VR-Umgebung, was eine intensive Zusammenarbeit und die Immersion fördern.
- Asymmetrisch
- Lehrer-Schüler-Modell: Die Lehrperson gibt über ein Tablet Anweisungen, während eine Lernperson mit dem VR-Headset Aufgaben erledigt. So ist es der Lehrperson möglich, die Aktivitäten zu überwachen und Feedback zu geben.
- Forschungsteams mit unterschiedlichen Rollen: Ein Lernender arbeitet in der VR, ein anderer gibt Anweisungen oder protokolliert über ein Tablet – dies unterstützt eine realitätsnahe Arbeitsteilung.
- Virtuelle Präsentationen: Der Präsentierende trägt ein VR-Headset, während die Zuschauer über Tablet oder Laptop folgen und dadurch eine Gesamtübersicht erhalten.

### Umsetzung im Projekt (LLF)

Eine Studie mit der Anwendung **Wald VR** (N = 148) zeigte, dass es in Bezug auf die Lernergebnisse – also Wissen, Verständnis und Anwendung – keinen Unterschied zwischen symmetrischen und asymmetrischen VR-Systemen gab (Drey et al., 2022b). Beide Systeme können somit, wenn sie gut gestaltet sind, das Lernen in VR gleichermaßen unterstützen.

Jedoch zeigte sich, dass Lernende in asymmetrischen Systemen eine höhere kognitive Belastung erlebten. Das bedeutet, dass sie sich stärker anstrengen mussten, um die Aufgaben zu bewältigen,

wahrscheinlich weil sie im asymmetrischen System nicht die gleichen direkten visuellen und interaktiven Hinweise ihres Partners hatten. Dies kann zu einer intensiveren Nutzung von Denkprozessen führen.

Insgesamt bieten symmetrische Systeme in VR häufig ein stärkeres Gefühl von Präsenz und Immersion. Asymmetrische Systeme können jedoch ebenso effektiv sein, je nach Lernziel und gewünschter Art der Interaktion. Die Wahl des Systems sollte daher darauf basieren, was für das jeweilige Lernziel am besten geeignet ist.

In einer Studie zu kollaborativem Lernen arbeiteten Studierende in der Anwendung **Hirn VR** in Zweiergruppen zusammen. Eine Person erhielt ein Arbeitsblatt mit Fragen zum Gehirn und gab der anderen Person Hinweise, ohne selbst die VR-Inhalte zu sehen. Die zweite Person erkundete währenddessen ein interaktives, anatomisches Hirn-Modell in der VR-Anwendung anhand dieser Hinweise und berichtete die Ergebnisse zurück. Nach einer Weile tauschten die beiden ihre Rollen, so dass jede Person beide Perspektiven erleben konnte.

Die Studie befindet sich aktuell in der Auswertung. Erste Hinweise lassen darauf schließen, dass sich vor allem die anschauliche Darstellung in der VR-Umgebung, aber auch die kollaborative Arbeit mit anderen Studierenden motivationsfördernd ausgewirkt haben.

## (Virtualisierte) Virtuelle Exkursionen

**Virtuelle Exkursionen** ermöglichen es, ein Exkursionsziel digital zu besuchen, ohne tatsächlich dorthin zu reisen. Sie bieten den Vorteil, dass man jederzeit und von überall aus teilnehmen kann, ohne Reisezeit oder -kosten. Ein möglicher Nachteil ist, dass das Erlebnis weniger „echt“ wirkt als ein Besuch vor Ort. Eine einfache Möglichkeit für virtuelle Exkursionen sind 360°-Räume, die aus mehreren Rundum-Fotos zusammengestellt werden und wenig Aufwand erfordern.

**Virtualisierte virtuelle Exkursionen** (Virtualized Virtual Field Trips, kurz: VVFTs) sind virtuelle Exkursionen, die eine Gruppe gemeinsam erleben kann, ohne dass alle Mitglieder am selben Ort sein müssen. Die einfachste Umsetzung erfolgt über eine Videokonferenz: Eine Person teilt ihren Bildschirm und zeigt die virtuelle Exkursion, während sich alle anderen über das Gezeigte austauschen können.

Einige spezielle Programme, wie z. B. 3DVista Virtual Tour Pro, haben bereits eine integrierte Videokonferenzfunktion, was den Austausch erleichtert. Eine andere Möglichkeit ist die Nutzung von Social VR-Software, die 360°-Panoramen darstellen kann und das gemeinsame Erleben der virtuellen Umgebung in Echtzeit ermöglicht.

## Allgemeine Umsetzungsmöglichkeiten

- **Kulturelle und historische Entdeckungen:** Virtuelle Exkursionen ermöglichen Besuche in Museen, historischen Stätten und antiken Bauwerken, die Studierenden und Interessierten Einblicke in Kunst, Kultur und Geschichte bieten.
- **Natur- und Umweltforschung:** Lernende können virtuelle Touren durch Nationalparks, Meereswelten und naturwissenschaftliche Forschungsstationen unternehmen, um Flora, Fauna, Ökosysteme und wissenschaftliche Forschungen kennenzulernen.
- **Technische und wissenschaftliche Experimente und Industriebesichtigungen:** Virtuelle Exkursionen in Labore, Industrieanlagen und Infrastrukturprojekte geben Einblicke in technische Prozesse und wissenschaftliche Experimente, die in der Realität oft schwer zugänglich oder aufwendig sind.
- **Stadtplanung und moderne Bauweisen:** Virtuelle Rundgänge durch urbane und landwirtschaftliche Gebiete sowie moderne Bauprojekte ermöglichen es Architektur-, Ingenieur- und Agrarwissenschaftsstudierenden, Einblicke in aktuelle Entwicklungen und praktische Anwendungen zu gewinnen.

## Umsetzung im Projekt (b.is, ID)

### **Virtuelle Exkursionen: Wasserwerk 360° & Neues Bauen am Horn 360°**

Exkursionsziele aus verschiedenen Modulen zur Wasserwirtschaft wurden in 360°-Räume umgewandelt und in der Hochschullehre getestet. Zu den virtuellen Exkursionen gehören das Wasserwerk Tiefengruben, die Demonstrationstoilette P-Bank und das Wohngebiet „Neues Bauen am Horn“. Die Auswertungen zeigen, dass diese virtuellen Exkursionen von den Studierenden sehr positiv aufgenommen werden, da sie authentische Einblicke in spezifische Studieninhalte bieten. Oft wären solche Exkursionen in der Realität aus Zeit- und Kostengründen nicht möglich.

Im Vergleich zu realen Exkursionen schätzen die Studierenden den Informationsgehalt der virtuellen Exkursionen auf etwa 60 bis 70 %. Einige gaben sogar an, dass sie mehr durch die virtuellen Exkursionen lernen konnten, als in einem vergleichbaren realen Setting mitnehmen konnten, da sie die virtuellen Exkursionen zeitlich flexibel, ortsunabhängig und bei Bedarf mehrfach durchlaufen können.

### **Virtualisierte virtuelle Exkursionen: Neues Bauen am Horn 360°**

In der virtualisierten Exkursion *Neues Bauen am Horn 360°* arbeiteten Studierende (N=41) in Dreier- bzw. einer Zweiergruppe zusammen, um einen virtuellen Rundgang durch ein 360°-Modell des Wohnquartiers zu erleben. Der Ablauf fand online statt, wobei die Studierenden zunächst eine Einweisung bekamen und sich dann eigenständig in den virtuellen Rundgang begaben. Der Lehrende stand während der gesamten Zeit in einem separaten Online-Raum für Fragen zur Verfügung, die jedoch nur selten gestellt wurden. Spätere Rundgänge wurden daher auch als Hausaufgabe innerhalb eines festen Zeitrahmens durchgeführt. Die Studierenden schätzten das Szenario sehr, wobei einige Gruppen nicht online, sondern vor Ort gemeinsam an einem Gerät arbeiteten.

(vgl. auch Plattform 360° Bildung: <https://www.360-degree.education>)

## Escape-Room-Szenario

Ein Escape Room ist ein interaktives Spiel, bei dem die Lernenden durch Rätsel und Fragen motiviert werden Aufgaben zu lösen und dabei Inhalte im Rahmen einer Geschichte zu verstehen.

360°-Räume bieten eine Rundum-Ansicht und eignen sich daher als Grundlage für einen Escape Room. Eine einfache Möglichkeit ist, den Escape Room mit einem Online-Formular (z. B. über Google Forms) zu ergänzen. In diesem Formular finden die Teilnehmenden die Spielanleitung, die Geschichte des Spiels und die Rätsel, die gelöst werden müssen. Alternativ können auch spezielle Programme für die Gestaltung von Escape Rooms verwendet werden oder 2D-Räume wie Worked-venture oder Topuria mit den 360°-Räumen zu kombinieren, um das Erlebnis abwechslungsreicher zu gestalten.

### **Allgemeine Umsetzungsmöglichkeiten**

- Integrierte Wissensvermittlung in Form von Rätsel
- Zeitlich begrenztes Szenario

## Umsetzung im Projekt (b.is, ID)

Das Modell des **Wasserwerks 360°** wurde mit Aufgaben in einem webbasierten Formular ergänzt. Die Rätselkomponente innerhalb der Umgebung wird in Form eines Escape Rooms in die Lernumgebung integriert. Bei einer früheren Version der Lernumgebung zeigte sich, dass einige Studierende von der Möglichkeit zur freien Erkundung überfordert waren. Die Escape-Room-Elemente bieten eine geführte Interaktion und sollen somit diese Überforderung verringern. Die Lernumgebung wurde in einer Feldstudie mit 76 Teilnehmenden als Einzelpersonen evaluiert (Wolf et al. 2024). Das

Konzept erwies sich als funktionell und die Studierenden zeigten akzeptable Werte in Bezug auf Motivation und Emotion, was für erfolgreiches Lernen wichtig ist.

Eine wichtige Erkenntnis ist, dass einige Studierende lieber frei explorieren hätten. Zu den Konsequenzen zählen:

- Anbieten der Escape Room-Ergänzung als zusätzliche Option im Vergleich zum einfachen 360°-Raum
- Verbesserung der Spielmechaniken über Multiple-Choice-Fragen hinaus
- Weitere Studien, die die erwartbare Motivationswirkung und darauffolgend den Lernvorteil des Escape Rooms quantifizieren

## 5.3 Adaptivität: Lernvoraussetzungen in MR

Lernumgebungen sollen möglichst gut auf die individuellen Voraussetzungen der Nutzenden angepasst sein. Hierbei ist die Frage, welche Lernvoraussetzungen besonders relevant sind. Im Projekt wurden intrinsische Motivation, Emotion, räumliches Vorstellungsvermögen, Vorwissen und Need for Touch untersucht. Die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle dargestellt.

### Motivation & Emotion

Intrinsische Motivation ist das innere Interesse und die Freude an einer Tätigkeit, weil man sie aus sich heraus spannend und angenehm findet – ganz ohne äußere Belohnungen oder Druck von außen. Diese Motivation sorgt dafür, dass man sich länger und engagierter mit einer Aufgabe beschäftigt und dabei oft besser lernt und kreativer wird. Wenn die Motivation gering ist, sind zusätzliche Hilfen, wie erklärende Hinweise, besonders hilfreich, um den Lernprozess zu unterstützen. Daher sollte das Design von VR-Lernumgebungen die Motivation der Lernenden gezielt fördern und gegebenenfalls mit solchen Hilfen kombinieren. Besonders in Lernumgebungen, zum Beispiel in digitalen Lernplattformen, ist intrinsische Motivation wichtig, um erfolgreich zu sein. Sie hilft dabei, das Wesentliche schneller zu erkennen und die Lerninhalte tiefer zu verstehen, was das Lernen effektiver macht.

### Allgemeine Umsetzungsmöglichkeiten

- **Personalisierte Inhalte und Autonomie:** Inhalte, die an Interessen und Vorkenntnisse der Lernenden angepasst sind, sowie die Möglichkeit, den eigenen Lernweg selbst zu gestalten, fördern die Motivation. Wenn Lernende Kontrolle über Tempo und Themenauswahl haben, erhöht das ihr Engagement.
- **Adaptive Unterstützung und Feedback:** Dynamische Feedback-Systeme und situative Unterstützung wie hilfreiche Hinweise oder motivierendes Feedback helfen Lernenden, Herausforderungen optimal zu meistern. So erhalten motivierte Lernende gezielte Hinweise zur Vertiefung, während weniger motivierte Lernende zusätzliche Hilfestellungen bekommen.
- **Angemessene Herausforderung und spielerische Elemente:** Aufgaben, die sich am jeweiligen Kenntnisstand orientieren und durch spielerische Elemente ergänzt werden, halten das Lernniveau spannend und schaffen einen „Flow“-Zustand. So wird das Lernen als belohnend und ansprechend erlebt, was die intrinsische Motivation steigert.

### Umsetzung im Projekt (LLF, ID)

Eine Studie in einer VR-Lernumgebung zur **Meerwasserentsalzung** (Vogt et al., 2021) untersuchte, ob erklärende Hinweise in virtuellen Lernumgebungen den Lernerfolg steigern können. Es zeigte sich, dass die Hinweise allein keinen großen Einfluss auf das Ergebnis hatten. Allerdings hatten Lernende, die von sich aus schon sehr motiviert waren, mehr Nutzen von diesen Hinweisen. Dies deutet

darauf hin, dass intrinsisch motivierte Lernende durch Anmerkungen besser in ihrer Auswahl relevanter Informationen unterstützt werden, während weniger motivierte Lernende möglicherweise zusätzliche Unterstützung benötigen, um erfolgreich zu lernen.

In einer Studie zu **Rotate It! VR** wurde eine dynamische und eine statische Version des räumlichen Trainings dargeboten. Besonders in der Altersgruppe der 13-jährigen ist – wie oben bereits gezeigt – der Vorteil der dynamischen Version für die Mädchen höher als für die Jungen. Von besonderem Interesse ist hierbei, dass die dynamische Repräsentation für die Mädchen einen signifikanten Motivationsvorteil im Vergleich zur statischen Version bietet. Dieser Effekt findet sich für die Jungen nicht: Hier ist die Motivation unter dynamischer und statischer Bedingung gleich. Im Hinblick auf Lernvoraussetzungen ist das Ergebnis, dass die Mädchen im Vergleich zu den Jungen mit höherer Misserfolgsängstlichkeit und einer geringeren Erfolgserwartung in die Trainingsumgebung gestartet sind. Der Geschlechtereffekt lässt sich demzufolge hauptsächlich durch diese affektiv-motivationalen Ausgangsvoraussetzungen bei den Mädchen erklären.

Alle Studien zu **virtuellen Exkursionen** wurden als sogenannte Evaluationsstudien durchgeführt. Das bedeutet, es wurde überprüft, ob die virtuellen Exkursionen in den 360°-Räumen tatsächlich geeignet sind, um Wissen zu vermitteln.

## Räumliches Vorstellungsvermögen

Räumliches Vorstellungsvermögen ist die Fähigkeit, sich im Kopf vorzustellen, wie Objekte aussehen und wie sie im Raum zueinanderstehen. Es umfasst das Erkennen von Formen und Strukturen, das gedankliche Drehen oder Verändern von Objekten sowie das Verstehen von Perspektiven und räumlichen Zusammenhängen. Diese Fähigkeit ist besonders wichtig in Bereichen wie Mathematik, Architektur, Ingenieurwesen und Kunst.

### Allgemeine Umsetzungsmöglichkeiten

- **Anpassung von Aufgaben und Unterstützung:** Virtuelle Lernanwendungen passen die Schwierigkeit der Aufgaben und die Unterstützung individuell an das räumliche Vorstellungsvermögen der Lernenden an. Dazu gehören schrittweiser Aufgabenaufbau, visuelle Hilfen wie Animationen und Perspektivenwechsel sowie Echtzeit-Feedback.
- **Interaktive und haptische Erlebnisse:** Durch Manipulation von 3D-Modellen und den Einsatz von haptischem Feedback können Lernende räumliche Zusammenhänge aktiv erkunden und besser „begreifen“. Realistische Simulationen und praktische Szenarien fördern das praktische Verständnis.

### Umsetzung im Projekt (HCI, VC, ID)

In der Anwendung **Klempner VR** ist es das Ziel, mehrfach gewinkelte Rohrstücke in eine bestimmte Zielposition einzupassen. Dafür wurden verschiedene Arten der Steuerung angeboten, die sich darin unterscheiden, wie viele Eigenschaften der Rohre (Position, Drehung, Größe) gleichzeitig verändert werden können.

Die Anwendung zeigt, wie wichtig die räumliche Vorstellungskraft für solche Aufgaben ist und wie verschiedene Steuerungsarten helfen können, wenn diese Fähigkeit weniger stark ausgeprägt ist. In einer Studie (N=56) wurde festgestellt, dass Personen mit geringerer räumlicher Vorstellungskraft besser mit Steuerungen zurechtkamen, die weniger komplexe Anpassungen erlauben. Bei komplexeren Steuerungsvarianten hatten sie dagegen Schwierigkeiten, die Aufgabe effizient zu lösen.

In der Anwendung **Rotate It! VR** wurde ein virtuelles VR-Training zur Förderung des räumlichen Vorstellungsvermögens entwickelt, um zu untersuchen, ob bestimmte Lernvoraussetzungen, wie das

räumliche Vorstellungsvermögen, die Wirksamkeit des Trainings beeinflussen. Ein besonderes Augenmerk wird dabei darauf gelegt, wie die Teilnehmenden mit den virtuellen Objekten interagieren und wie dieses Verhalten mit ihren Lernvoraussetzungen und -ergebnissen zusammenhängt.

Erste Analysen deuten darauf hin, dass die Lernpräferenzen “konkrete Erfahrungen” und “aktives Experimentieren” sowie die Arbeitsgedächtniskapazität eine höhere Zahl verschiedener Interaktionen zeigen. Die Ergebnisse sind bedeutsam für die adaptive Gestaltung virtueller Trainings.

## Need for Touch

Der Need for Touch beschreibt das Bedürfnis, Lerninhalte durch Berührung – also haptisch – zu erleben. Dies kann abstrakt geschehen oder durch konkrete Modelle, wie z. B. eine Zelle, ein Organ oder eine mechanische Vorrichtung. Durch diese zusätzliche Möglichkeit, Inhalte haptisch wahrzunehmen, werden mehrere Sinne angesprochen, was das Lernen erleichtern und das Verständnis („begreifen“) verbessern kann.

### Allgemeine Umsetzungsmöglichkeiten

- **Verwendung von physischen Modellen:** Um komplexe oder schwer zugängliche Inhalte greifbarer zu machen, können den Lernenden entsprechende 3D-(gedruckte) Modelle zum Anfassen und Erkunden bereitgestellt werden.
- **Integration von haptischem Feedback:** Durch Controllervibration oder Datenhandschuhe kann haptisches Feedback in digitalen Lernumgebungen genutzt werden, um Personen mit einem hohen Bedürfnis nach haptischer Erfahrung ein individuell besseres Lernerlebnis zu ermöglichen.

### Umsetzung im Projekt (ID)

Die Ergebnisse der Studie **Heart & Spine** zum Einfluss des Need for Touch auf das Lernen mit haptischen anatomischen Modellen haben gezeigt, dass die Ausprägung des Need for Touch die Art und Weise des Lernens beeinflusst. Konkret bedeutet dies: Je höher der Need for Touch ausfällt, desto höher ist die intrinsische Motivation beim Lernen mit Modellen, wohingegen die wahrgenommene kognitive Belastung sinkt. Beides sind sehr wichtige Voraussetzungen für einen erfolgreichen und nachhaltigen Lernprozess.

## Präsenz / Immersion

Präsenz beschreibt das Gefühl, wirklich in einer virtuellen Umgebung zu sein – also das Empfinden, im „Hier und Jetzt“ dieser Welt zu leben. Es ist die subjektive Wahrnehmung, dass die virtuelle Welt real wirkt und man sich in ihr bewegt.

Immersion dagegen bezieht sich auf die technischen und sensorischen Elemente, die dieses Eintauchen ermöglichen. Dazu gehören visuelle, auditive oder auch haptische Reize, die dafür sorgen, dass Nutzer vollständig in die virtuelle Welt hineingezogen werden.

### Allgemeine Umsetzungsmöglichkeiten (LLF, VC, HCI)

- **Personalisierte Sinnes- und Umgebungsanpassung:** Die virtuelle Umgebung kann dynamisch an die individuellen Bedürfnisse der Lernenden angepasst werden, z. B. durch visuelle, auditive und haptische Reize. Lernende können die Umgebung selbst gestalten oder die Umgebung passt sich automatisch an Überforderung oder Unterforderung an. Dies umfasst auch kontextsensitives Feedback wie visuelle Fortschrittsanzeigen oder immersive Rückmeldungen.
- **Interaktive und soziale Präsenz fördern:** Die Nutzung von realistischen Avataren für Lehrende und Lernende sowie die Einbindung sozialer Interaktionen steigert das Gefühl von Präsenz.

Adaptive Verhaltens-weisen der Avatare, wie personalisierte Hilfestellungen oder motivierende Interaktionen, können die Immersion und das Engagement verbessern.

### Umsetzung im Projekt (LLF, HCI, VC)

Die Anwendung **Wald VR** bietet eine VR-Lernumgebung, in welcher der Lernprozess durch eine Lehrperson sowohl synchron als auch asynchron angeleitet werden kann. Die realistische Darstellung einer Waldumgebung mit passenden Bild- und Tonelementen trug dazu bei, die virtuelle Erfahrung zu verbessern. Zudem stärkte der Einsatz von Avataren für Lehrende und Lernende das Gefühl der Präsenz und Immersion, da die Teilnehmenden sich stärker mit der virtuellen Welt verbunden fühlten. Präsenz und Immersion waren dabei signifikant höher, wenn die Lehrperson in der virtuellen Umgebung sichtbar war, was die Interaktion und das Engagement der Schüler förderten. Die Ergebnisse zeigen außerdem, dass die kognitive Belastung für die Lehrer in einer symmetrischen Anordnung statistisch signifikant geringer war.

## 5.4 Adaptivität: Messverfahren / Prozessdaten

Zuständige Projektpartner: **b.is** (Wasserwerk, 360°-Anwendungen), **ITD** (Tragwerk), **ID** (Hirn VR), **LLF, VC, HCI**

Um auch während der Nutzung von virtuellen Lernumgebungen auf die individuellen Bedürfnisse der Lernenden adaptiv reagieren zu können, sind Prozessdaten – also Interaktionsdaten, die während des Lernprozesses gemessen werden – von großer Bedeutung. Diese können vorab mit selbst eingeschätzten Daten aus unterschiedlichen Skalen bzw. Fragebögen abgeglichen werden, um auf unterschiedliche Zustände wie Ängstlichkeit, niedrige Motivation oder eine hohe kognitive Belastung situativ reagieren zu können. In den Anwendungen, die im Projekt entwickelt und beforscht wurden, sind die folgenden Parameter gemessen und untersucht worden:

*Tabelle 2: Übersicht über die Prozessdaten, die innerhalb des Projekts genutzt wurden*

Art der Prozessdaten	Parameter
Zeitspannen	Bearbeitungszeit Interaktionszeit Zeit bis zur ersten Interaktion
Interaktionen	Interaktion mit Objekten Interaktion mit Schaltflächen Interaktion mit der Lernumgebung
Blick- und Kopfbewegung, -neigung	Blickrichtung Position des HMD im Raum Rotation des HMD
Hand- und Controllerbewegungen	Position des Controllers im Raum Rotation des Controllers
Geschwindigkeit (Objektmanipulation)	Zeit, bis ein Objekt unter Miteinbeziehung eines Schwellwertes in ein Zielobjekt passt.

Akkuratheit (Objektmanipulation)	Distanz zum Ziel im Hinblick auf Translation, Rotation und Skalierung auf Basis von Fitts's Law (Stoelen and Akin 2010)
-------------------------------------	---

## Implementierung in den Anwendungen

### Rotate It! VR

Unter *Rotate It! VR* werden virtuelle Trainingsvarianten und der Einfluss von Lernvoraussetzungen wie Ängstlichkeit, Arbeitsgedächtniskapazität oder Lernpräferenzen im Hinblick auf die Erfolgsrate, intrinsische Motivation und die kognitive Belastung beim Lösen der Aufgaben in virtueller Realität untersucht. Von besonderer Bedeutung ist das Interaktionsverhalten mit virtuellen Objekten und dessen Relation zu Lernvoraussetzungen und -ergebnissen.

Erste Analysen deuten darauf hin, dass die Lernpräferenzen "konkrete Erfahrungen" und "aktives Experimentieren" sowie eine niedrigere Arbeitsgedächtniskapazität eine höhere Zahl von Interaktionsformen zeigen. Die Ergebnisse sind bedeutsam für die adaptive Gestaltung virtueller Trainings.

### Klempner VR

Die Studie von *Klempner VR* unterscheidet zwischen drei Interaktionstechniken:

1-DOF-Gizmos: Diese Technik ermöglicht die Manipulation eines Objekts entlang einer einzigen Achse (z. B. nur Translation, Rotation oder Skalierung). Dies erfordert, dass komplexe Manipulationen in mehrere Schritte unterteilt werden.

3-DOF-Gizmos: Hier können die Teilnehmer gleichzeitig in drei Dimensionen (Translation, Rotation und Skalierung) manipulieren, was eine höhere Flexibilität bietet.

7-DOF-Handle-Bar: Diese Technik erlaubt die gleichzeitige Manipulation in allen sieben Freiheitsgraden (3 für Translation, 3 für Rotation und 1 für Skalierung), was eine umfassende Kontrolle über das Objekt ermöglicht, ohne dass die Manipulation in mehrere Schritte unterteilt werden muss.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Interaktionstechnik einen signifikanten Einfluss auf die Bearbeitungszeit und die Genauigkeit der Aufgaben hat. Insbesondere wurde festgestellt, dass die Verwendung von Techniken mit mehr gleichzeitig manipulierbaren Freiheitsgraden (wie die 7 DOF Handle Bar) zu schnelleren Bearbeitungszeiten und einer höheren Benutzerfreundlichkeit führt.

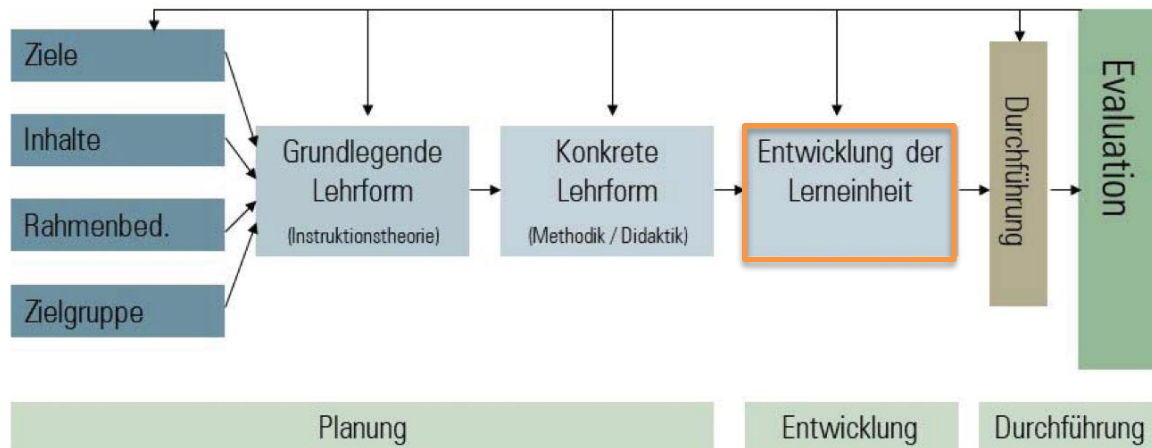
Zusätzlich wurde in der Studie festgestellt, dass die individuelle räumliche Fähigkeit der Teilnehmer die Interaktionsdaten beeinflusst, wobei Teilnehmer mit höheren räumlichen Fähigkeiten tendenziell schneller und gezielter arbeiten konnten.

### Tragwerk

Tragwerk Desktop/VR unterscheidet zwischen zwei Interaktionsmöglichkeiten: Direkte und indirekte Objektmanipulation. Bei der direkten Interaktion wird der Controller als direkte Erweiterung des Users benutzt. Um mit den in der Szene vorliegenden Objekten zu agieren, muss der Nutzende zu den Objekten hinlaufen und die aktiv aufheben/loslassen. Diese Technik hat das Potential als Messmethode für die Registrierung von Interaktionsdaten genutzt zu werden. Dies bildet die Grundlage für daraus resultierende Forschung.

## 6 Entwicklung / Authoring

Zuständige Projektpartner: **b.is** (Wasserwerk, 360°-Anwendungen), **ITD** (Tragwerk), **ID** (Hirn VR), **LLF, VC, HCI**



In Erweiterung der bisher dargestellten Schritte im Instruktionsdesign werden zusätzlich Entscheidungen zur technischen Umsetzung getroffen. Diese sind überblicksartig für das hier beschriebene Projekt in der folgenden Tabelle dargestellt.

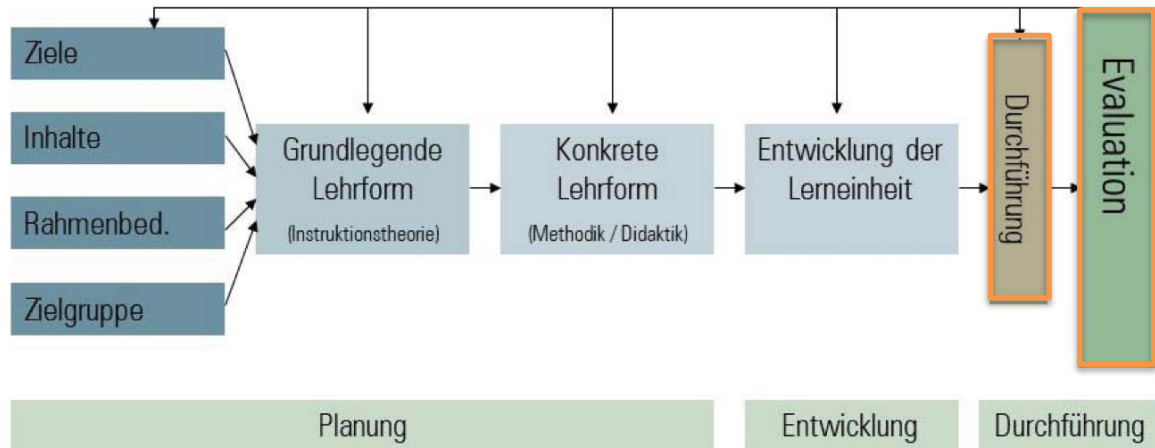
Tabelle 3 Überblick über technik- und authoringbezogene Entscheidungen im Projekt

Digitales Format / Umsetzungsform	Vorteile	Nachteile	Entwicklungstools	Anwendungen aus dem Projekt
<b>Browserbasiert</b>	Die Anwendungen können unabhängig vom jeweiligen Betriebssystem (Windows, macOS, Linux) genutzt werden. Dadurch wird auch der Entwicklungsaufwand geringer, da nicht für jedes Betriebssystem eigene Anpassungen vorgenommen werden müssen. Für die Lernenden gestaltet sich der Zugang zur jeweiligen Lernanwendung sehr einfach, weil diese nicht vorher installiert werden muss, sondern sofort startklar ist.	Die u. a. visuellen Gestaltungsmöglichkeiten bei browserbasierten Anwendungen sind begrenzt und durch den zur Verfügung stehenden Arbeitsspeicher eingeschränkt. Dadurch sind hier nur weniger immersive Anwendungen umsetzbar im Vergleich zu Desktop-Anwendungen oder MR-Anwendungen.	Unity	Regenwasser Desktop
<b>Desktop</b>	Anwendungen können ohne zusätzliche Hardware oder Training in der Lehre eingesetzt werden.	Statische Inhalte bleiben unverändert und werden nicht regelmäßig bearbeitet.	Unity	Regenwasser Desktop Tragwerk Desktop
<b>360°-Plattformen</b>	Inhalte können mit relativ geringer Aufwand mittels Panoramakamera aufgezeichnet und durch genannte Services der Plattform zusammengebaut (Stitching) werden um in der Anwendung zu verwenden.	Keine dreidimensionale Darstellung möglich. Je nach Plattform werden die Daten auf kommerzielle Cloudserver gespeichert und können auch Abokosten mit sich bringen	Threlte.js, Matterport, Pano2VR	Panorama Viewer 360° VVFT 360° Escape Room 360° Wasserwerk 360° Neues Bauen am Horn 360°
<b>Mobile Endgeräte</b>	Mobile Endgeräte sind kostengünstig zu beschaffen oder gar schon bei den Lernenden vorhanden. Die Geräte sind ortsunabhängig benutzbar und	Keine dreidimensionale Darstellung möglich. Im Vergleich zu anderen Technologien ist bei	Swift	Rotate It!

	durch die gestenbasierte Steuerung intuitiv bedienbar.	mobilen Endgeräten ein weniger immersives Lernerlebnis möglich.		
<b>Augmented Reality</b>	Durch die häufig zu findende erhöhte Interaktion innerhalb der Lernumgebungen, gibt es ein schnelleres Feedback (oft in Echtzeit) für den Nutzenden.	Für den	Unity, OpenCV	Holographic Structural Analysis SpARKlingPaper Turbine MR SAR (Spatial Augmented Reality) LeARn@Home Brücke MR
<b>Virtual Reality</b>	Durch das geschlossene Setting in virtueller Realität gibt es einen hohen Grad an Immersion, weniger Ablenkung von äußeren Einflüssen und häufig eine erhöhte Motivation für die Lernenden. Die 3-dimensionale Darstellung in VR eignet sich besonders für Lerneinheiten, die ein hoher Grad an räumliche Orientierung und Beziehungen erfordern. Durch die häufig zu findende erhöhte direkte sowie indirekte Interaktion mit Objekten innerhalb der Lernumgebungen, gibt es ein schnelleres Feedback für den Nutzenden.	Spezielle Hardware wie Head Mounted Displays (HMD) oder Projektoren sind notwendig. Statische Inhalte bleiben unverändert und werden nicht regelmäßig bearbeitet.	Unity	Regenwasser VR Tragwerk VR VRSketchin Wald VR Klempner VR Hirn VRf Rotate It! VR

# 7 Durchführung & Evaluation

Zuständige Projektpartner: **b.is** (VVFT, Escape Rooms, Wasserwerk), **ITD** (Tragwerk Desktop), **ID** (Hirn VR, Rotate It!)



Die entwickelten Mixed-Reality-Umgebungen wurden in zahlreichen Lehrveranstaltungen eingesetzt. Ein Überblick über Studiengänge, Lehrveranstaltungen und Anlass des Einsatzes sowie der Anzahl der Studierenden, die in der Implementierungsphase mitwirkten, befindet sich in der folgenden Tabelle.

Tabelle 4 Überblick über die Lehrveranstaltungen, Studiengänge und Anzahl der Studierenden, welche in die Implementierung der Lehrmaterialien in MR einbezogen wurden

Anwendung	Rahmenbedingungen (Studiengang, Modul, Lehrveranstaltung)	Anzahl der Studierenden	Studiengänge	Kurzbeschreibung der Implementierungsmaßnahme und Ziele
<b>Klempner VR (Beispiel)</b>	Forschungspraktikum in der Allgemeinen Psychologie	66	Rehabilitationspsychologie	Kennenlernen von Forschungsmethoden
<b>Hirn VR</b>	Vorlesung Allgemeine Psychologie	82	Rehabilitationspsychologie	Kennenlernen der Struktur und der Funktionsweise des Gehirns
<b>Tragwerk Desktop</b>	Übung Mechanik I und Statik I	103	Bauingenieurwesen	Kennenlernen von Lastenwirkungen auf Balken-tragwerke mit unterschiedlichen Materialparameter und Querschnitte.
<b>Wasserwerk 360°-Modell</b>	Seminar (Bachelor): Stadttechnik Wasser ab SoSe2022 Bauhaus-Universität Weimar	>= 186	Urbanistik, Bauingenieurwesen, Umweltingenieurwissenschaften, Management	Verstehen des Aufbaus und der Funktionsweise eines Wasserwerks.
	Seminar (Bachelor): Siedlungswasserwirtschaft jeweils im Wintersemester ab WiSe2022; Bauhaus-Universität Weimar	41	Umweltingenieurwissenschaften	
	Weiterbildung: WW58 Wasserversorgungstechnik SoSe2023, Bauhaus-Universität Weimar	25	WW58 Wasserversorgungstechnik	
<b>360°-Rundgang Jenfelder Au</b>	Seminar (Bachelor): Stadttechnik Wasser WiSe2022, SoSe2023, WiSe2023,	186	Urbanistik, Bauingenieurwesen, Umweltingenieurwissenschaften, Management	Kennenlernen und Verstehen des Abwasserteilstromkonzepts in der Jenfelder Au. Die Veranstaltung fand jeweils in einem der folgenden zwei Formate statt:

	SoSe2024; Bauhaus-Universität Weimar			Rein virtuell, Lernende an eigenen Computern, der Lehrende führt durch den virtuellen Rundgang und teilt seinen Bildschirm in einem digitalen Konferenzraum mit allen Lernenden In Präsenz, der Lehrende führt durch den virtuellen Rundgang im Hörsaal.
	Seminar (Bachelor): Siedlungswasserwirtschaft WiSe2023; Bauhaus-Universität Weimar	24	Umweltingenieurwissenschaften	
	Vorlesung (Master): Integrated water systems for sustainable urban development SoSe2023, SoSe2024; Bauhaus-Universität Weimar	37	Integrated Urban Development and Design	
	Vorlesung (Master): Urban Water Management, WiSe2022, WiSe2023, Fachhochschule Erfurt	39	Sustainable Engineering of Infrastructure	
	Seminar (Bachelor): Siedlungswasserwirtschaft I SoSe2023, Fachhochschule Erfurt	8	Stadt- und Raumplanung, Bauingenieurwesen	
	Vorlesung (Master): Integrated Water Resources Management SoSe 2022, WiSe 2023; Fachhochschule Hof	33	Sustainable Water Management and Engineering	
<b>Neues Bauen am Horn 360°-Rundgang</b>	Seminar (Bachelor): Stadttechnik Wasser WiSe2022, Bauhaus-Universität Weimar	35	Urbanistik, Bauingenieurwesen, Umweltingenieurwissenschaften, Management	Erkennen und Verstehen der Entwässerungssituation eines innerstädtischen Neubaugebiets mit dem Ziel, für dieses ein Entwässerungskonzept zu entwerfen. Sowohl der virtuelle Rundgang als auch die Planungsleistung erfolgen in Kleingruppen von ca. 3 Studierenden.
	Seminar (Master): Siedlungswasserwirtschaft II WiSe2022, WiSe2023, Fachhochschule Erfurt	17	Bauingenieurwesen	
<b>Gemeinde Rohrbach 360°-Rundgang</b>	Seminar (Bachelor): Siedlungswasserwirtschaft WiSe 2022, WiSe 2023; Bauhaus-Universität Weimar	41	Umweltingenieurwissenschaften	Erkennen und Verstehen der Entwässerungssituation einer ländlichen Gemeinde mit dem Ziel, für diese ein Entwässerungskonzept zu entwerfen. Sowohl der virtuelle Rundgang als auch die Planungsleistung erfolgen in Kleingruppen von ca. 3 Studierenden.
	Weiterbildung: WW92 Neuartige Sanitärsysteme SoSe2022, SoSe2023; Bauhaus-Universität Weimar	31	WW92 Neuartige Sanitärsysteme	
	Seminar (Bachelor): Siedlungswasserwirtschaft I SoSe2023, Fachhochschule Erfurt	8	Bauingenieurwesen	
<b>Kompostierungsanlage</b>	Anaerobtechnik ab WiSe2023; Bauhaus-Universität Weimar	8	Bauingenieurwesen, Umweltingenieurwissenschaften	Verstehen von Behandlungsverfahren für biogenen Hausmüll. In einem hybriden Lernraums stellen Lehrende eine Kompostierungsanlage digital vor.
<b>Panorama Viewer</b>	Seminar (Bachelor): Betrieb und Instandsetzung von Abwassersystemen (ab WiSe2023, Bauhaus-Universität Weimar)	11	Umweltingenieurwissenschaften	Kennenlernen und Verstehen eines Regenüberlaufbeckens. TeilnehmerInnen nehmen vom eigenen Laptop in einer Vorlesung im Hörsaal an virtueller Exkursion mit eigenständig zu steuernden Avataren teil, Lehrende erläutert Inhalte.

In einem Instructional-Design-Modell spielt die Evaluation eine entscheidende Rolle, und zu beurteilen, wie effektiv das Lehrangebot insgesamt war. Im Projekt wurde weitgehend summativ evaluiert. Die Wirksamkeit der Materialien wurde hinsichtlich der Auswirkungen auf die Erreichung von Lernzielen, Motivation und Emotion erforscht. Die Ergebnisse sind in den obigen Kapiteln dargestellt. An dieser Stelle wird ein Überblick über die von den Projektteams eingesetzten Instrumenten gegeben.

Tabelle 5 Überblick über die eingesetzten Messinstrumente, die vor allem durch die Synergien im Projekt zahlreiche Anwendung fanden

Konstrukt / Variable	Messinstrument	Subskalen	Beispiel-Items
Motivation	Intrinsic Motivation Scale (Isen & Reeve, 2005)	keine Subskalen	“Ich fühle mich motiviert, diese Aufgabe zu erledigen.”
	Fragebogen zur aktuellen Motivation (FAM) (Rheinberg, Vollmeyer & Burns, 2001)	Interesse	“Ich mag solche Rätsel und Knobeleyen.”
		Herausforderung	“Die Aufgabe ist eine richtige Herausforderung für mich.”
		Misserfolgsbefürchtung	“Ich fühle mich unter Druck, bei der Aufgabe gut abschneiden zu müssen.”
		Erfolgserwartung	“Ich glaube, der Schwierigkeit dieser Aufgabe gewachsen zu sein.
Cognitive Load	Messinstrument (Klepsch & Seufert 2021)	active cognitive load	<u>Active CL</u> : “ich habe mich angestrengt”
		passive cognitive load	<u>Passive CL</u> : es war anstrengend”
	Messinstrument (Klepsch et al. 2017)	intrinsic cognitive load	<u>ICL</u> : “Diese Aufgabe war sehr komplex.“
		extraneous cognitive load	<u>ECL</u> : “Bei dieser Aufgabe ist es schwer, die zentralen Inhalte miteinander in Verbindung zu bringen.”
		germane cognitive load	<u>GCL</u> : “Bei dieser Aufgabe musste ich selbst ganz aktiv nachdenken.”
Emotion	Achievement Emotions Questionnaire (AEQ) (Pekrun et al. 2011, Bieleke et al. 2021)	Je Emotion: Vor / während / nach dem Lernen	“Die Auseinandersetzung mit dem Lernstoff macht mir Freude.”
		Je Emotion: Vor / während / nach dem Unterricht	“Wenn ich mich beim Lernen als unfähig empfinde, schäme ich mich”
		Je Emotion: Vor / während / nach der Leistungssituation	“Mein Mangel an Zuversicht lässt mich schon vor dem Lernen müde werden.”
Befindlichkeit	Aktuelle Stimmungsskala (Dalbert 2002)	Trauer	“unglücklich”
		Hoffnungslosigkeit	“entmutigt”
		Müdigkeit	“erschöpft”
		Positive Stimmung	“fröhlich”
		Zorn	“wütend”
Vorwissens- und Lerntests	selbst entwickelte Fragen	Behalten Verstehen Anwenden Transfer	Single Choice Multiple Choice Freitextantworten Zuordnungsaufgaben
Systemevaluation SpARKlingpaper	Selbst entwickelte Frage für Kinder	keine Subskalen	“Wie einfach war es für dich, mit deinem eigenen Stift zu schreiben?” auf einer 1-3 Likert Scale “gut” bis “schlecht”
Präsenz und Immersion	Presence Questionnaire (PQ) (Witmer & Singer 1998)	involvement/control	“How much were you able to control events?”
		resolution	“How closely were you able to examine objects?”
		interface quality	“How much did the control devices interfere with the performance of

			assigned tasks or with other activities?"
		auditory	"How much did the auditory aspects of the environment involve you?"
		natural	'How natural did your interactions with the environment seem?'
	Immersive Experience Questionnaire (IEQ) (Jennett et al. 2008)	challenge	"How much effort did you put into playing the game?"
		control	"At any point did you find yourself become so involved that you were unaware you were even using controls?"
		real world dissociation	"To what extent did you feel consciously aware of being in the real world whilst playing?"
emotional involvement		"To what extent did you feel emotionally attached to the game?"	
	cognitive involvement	"How much did you want to "win" the game?"	
Spielerlebnis	Player Experience Inventory (Abeele, et al. 2020).	Audiovisuelle Anziehung (PXI - AUDVIS)	"I liked the look and feel of the game."
		Ziele und Regeln (PXI - GOAL)	"The goals of the game were clear to me."
Gebrauchstauglichkeit	System Usability Scale (SUS) (Brooke 1996)		"Ich kann mir gut vorstellen, das System regelmäßig zu nutzen."
Räumliche Fähigkeiten	Mental Rotation Test (Vandenberg & Kuse 1978)	<i>keine Subskalen</i>	Abbildungen von rotierten Objekten und Zuordnung zu korrektem Original.
	Cube Comparison Test (Ekstrom, French, Harman & Dermen, 1976)	<i>keine Subskalen</i>	Abbildungen von zwei räumlich verdrehten Würfeln mit er Frage, ob diese identisch sein können oder nicht
Selbstbewertung der Genauigkeit	Likert-Scale 1-5	<i>keine Subskalen</i>	
User Experience	QUX (Müller et al. 2012)	Emotionale User Reaktionen	Ich habe mich fröhlich gefühlt
		Nicht-instrumentelle Qualitäten	Einschätzung zwischen zwei Polen: Ich finde die Website spannend . . . . . langweilig
		Instrumentelle Qualitäten	Ich fühle mich sicher, bei der Bedienung der Website.
		Gesamturteil (Globale Bewertung und Nutzungsintension)	Die Website spricht mich an.

# Danksagung

Mit dem vorgelegten Abschlussbericht präsentieren wir zahlreiche Forschungsergebnisse zur allgemeinen Gestaltung, aber vor allem auch zur adaptiven und kollaborativen Umsetzung von MR in verschiedenen Fachdisziplinen der Hochschullehre. Der Abschlussbericht zeigt die vielfältigen, im Laufe des Projekts entstandenen Synergien zwischen den beteiligten Disziplinen Informatik, Lehr-Lern-Forschung und Bauingenieurwesen. Wir möchten uns für die Förderung sehr herzlich bedanken. Diese hat sowohl den Senior- als auch den Junior-Forschenden vielfältige Erkenntnisse, Karrierewege und Kooperationen innerhalb sowie außerhalb des Projektteams ermöglicht und so dazu beigetragen die evidenzbasierte Gestaltung von MR mit Vorträgen, Workshops, Veröffentlichungen und nicht zuletzt den daraus entstandenen Dissertationen voranzubringen. Wir blicken auf sechs erkenntnis- und ereignisreiche Jahre voller spannender Erfahrungen und Forschungsfreude zurück.

Freundliche Grüße

Das Projektteam von AuCity 3

# 8 Verwertungsplan

## Kurzfristige Verwertung

- Knowhow-Transfer: z. B. in interdisziplinäre Bereiche
- Anschlussfähigkeit an weitere Forschungs- und Entwicklungsvorhaben
- Implementierung von Anwendungen und Knowhow in die Lehre des Bauingenieurwesens (BUW) und in die Lehramtsausbildung (FSU Jena)

## Mittelfristige Verwertung

- Ausgehend von der BUW und der FSU Jena: Durchführung verschiedener Workshops für unterschiedliche Zielgruppen (Schüler und Schülerinnen, Erwachsene sowie Fachleute aus dem städtischen Bauwesen)
- VR Learning Days als interaktives Format zur Förderung von Virtual Reality (VR) in der Lehre wird weiterhin von den Projektmitgliedern organisiert
- Zahlreiche Präsentationen auf wissenschaftlichen Konferenzen, um Erkenntnisse und Projektergebnisse einem breiten akademischen Publikum zugänglich zu machen
- Erstellung einer niedrigschwelligen Handreichung für Hochschullehrende, die den Einsatz von MR in der Lehre erleichtert (hierfür wurde die Basis bereits mit der Struktur des Abschlussberichts gelegt)
- Erste Evaluation der Workshops und Handreichungen durch gezielte Feedback-Umfragen zur Ermittlung von Optimierungspotenzialen
- Aktive Verbreitung der Handreichung an weitere Hochschullehrende durch gezielte Kommunikationskampagnen und Kooperationen mit Bildungseinrichtungen.
- Überarbeitung des Designs der Handreichung durch Fachexperten, um sicherzustellen, dass die Inhalte visuell ansprechend und leicht verständlich für die Zielgruppe aufbereitet werden.

## Langfristige Verwertung

- Ausbau und Konsolidierung der entstandenen Netzwerke zu Mixed Reality (MR) in der Hochschullehre, um eine stärkere Vernetzung und Kooperation zwischen den Institutionen zu fördern.
- Entwicklung eines umfassenden Workshopkonzepts für AnwenderInnen von MR in der Lehre, das sowohl technische als auch pädagogische Aspekte abdeckt.
- Erweiterung der Zielgruppen auf schulische Bildungseinrichtungen und Erwachsenenbildung, um die Erkenntnisse aus dem Projekt auch im formalen und non-formalen Bildungsbereich zu verankern.
- Langfristige Begleitung dieser Zielgruppen durch Experten, um nachhaltige Implementierungen zu gewährleisten.
- Weiterführende Exploration technologischer und didaktischer Herausforderungen beim kollaborativen Lernen mit VR, insbesondere im Hinblick auf Lernprozesse & Usability.

- Erstellung weiterer Förderanträge auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse, um offene Forschungsfragen wie z. B. den Einsatz von VR zur Förderung kollaborativen Lernens oder das Lernen in immersiven Umgebungen vertieft zu untersuchen.
- Entwicklung von Fortbildungen für Lehrende und Multiplikatoren, die als Multiplikatoren agieren und die Nutzung von MR-Technologien weiterverbreiten können.
- Vernetzung mit Industriepartnern zur Erprobung und Skalierung der entwickelten Konzepte in kommerziellen Kontexten, insbesondere im Bereich der beruflichen Weiterbildung.

## **9 Erfolgskontrollbericht**

### **9.1 Wissenschaftlicher und/oder technischer Erfolg des Vorhabens, erreichte Nebenergebnisse und gesammelte wesentliche Erfahrungen**

Die Projekte AuCity 2 & AuCity 3 trugen zu einer Vielzahl an Ergebnissen bei, die unser Verständnis für die Gestaltung von lern- und motivationsförderlichen MR-Umgebungen in der Hochschullehre wesentlich vorangebracht haben. Insbesondere zu benennen sind hierbei (1) zahlreiche wiederverwendbare Lernumgebungen für verschiedene Fachdisziplinen, (2) evidenzbasierte Gestaltungsprinzipien für MR-Szenarien und (3) technische Lösungsansätze:

1. Konkret wurde dabei eine Vielzahl von MR-Anwendungen entwickelt. Unter anderem waren dies: Regen VR, Tragwerk VR, Klempner VR, Hirn VR, Wald360, WaldVR, CellViewVR, Rotate-It Tablet/VR, Holographic Structural Analysis, Neues Bauen am Horn 360°-Rundgang, Klärwerk Leipzig 360°-Rundgang, Ländliche Gemeinde - konventionell 360°-Rundgang, Ländliche Gemeinde - innovativ 360°-Rundgang, Informelle Siedlung Bangladesch 360°-Rundgang, Kompostierungsanlage Umpferstedt 360°-Rundgang, Wasserwerk 360°-Modell, P-Bank, 360°-Modell, Versuchsanlage zur Photokatalyse 360°-Modell.
2. Es wurden unterschiedliche Gestaltungsprinzipien hinsichtlich ihrer Wirksamkeit in MR-Umgebungen untersucht und national sowie international veröffentlicht. Darunter befinden sich generelle Gestaltungsprinzipien (Signaling-, Segmentierungs-, Pre-Trainings-, Redundanz- und Modalitätsprinzip) sowie Prinzipien zur Gestaltung von kollaborativen (Einzel- vs. Gruppensettings, symmetrische vs. asymmetrische Settings, Virtualisierte virtuelle Exkursionen und Escape-Room-Szenarios) und adaptiven Lernumgebungen (Motivation, Emotion, räumliches Vorstellungsvermögen und Geschlecht).
3. Zudem wurden zahlreiche technische Lösungsansätze für MR-Anwendungen untersucht und erprobt (z. B. Sparkling Paper und VRSketchIn).

Zudem sind MR-spezifische Messinstrumente entwickelt und validiert worden. Hunderte Studierende und Lehrende wurden in der Implementierungsphase direkt in der Hochschullehre in die Nutzung der entwickelten Lernapps eingebunden. Zudem sind zahlreiche Kooperationen mit regionalen und akademischen Projektpartnern aus verschiedensten Fachgebieten entstanden.

### **9.2 Vom Zuwendungsempfänger oder von am Vorhaben Beteiligten gemachte oder in Anspruch genommene Erfindungen, Schutzrechtsanmeldungen und erteilten Schutzrechte sowie deren Verwertung**

Das Projektvorhaben zielt auf offen und frei zur Verfügung stehende Informationen und Lernwerkzeuge ab. Daher wurden keine Schutzrechtsanmeldungen vorgenommen.

### **9.3 Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende (mit Zeithorizont) - z.B. funktionale/ wirtschaftliche Vorteile gegenüber Konkurrenzlösungen, Nutzen für verschiedene Anwendergruppen, Umsetzungs- und Transferstrategien**

Die wirtschaftlichen Erfolgsaussichten in Bezug auf die Projektergebnisse hingen unter anderem vom weiteren Verlauf des Vorhabens in der zweiten Förderphase (AuCity 3) ab. Nun, nach Abschluss des Projekts AuCity 3, werden die aus beiden Förderphasen gewonnenen Erkenntnisse in einem Kurs der *School of Advanced Professional Studies* (SAPS) der Universität Ulm aufbereitet und der Öffentlichkeit frei zur Verfügung gestellt. Teilnehmende können bei erfolgreichem Abschluss dieses Kurses ECTS Punkte erhalten, die in inhaltlich verwandten weiterbildenden Studiengängen der SAPS anrechenbar sind. Darüber hinaus wurden Teile der Inhalte dieses Kurses auch in andere weiterbildende Studiengänge der SAPS mit aufgenommen. Nach Abschluss der Förderphase sollen die Kurse nun wirtschaftlich verwertet und somit ins Programm des Master-Studiengangs Instruktionsdesign integriert werden.

### **9.4 Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende (mit Zeithorizont), u.a. wie die geplanten Ergebnisse in anderer Weise genutzt werden können**

Die zahlreichen im Projekt entwickelten MR-Anwendungen, Messmethoden und technischen Lösungsansätze stehen fast ausschließlich kostenneutral der breiten Öffentlichkeit zur Verfügung. Hier bleibt die Aufgabe, Lehrende hinsichtlich des technischen und lernförderlichen Einsatzes zu schulen. Dies kann zum Teil unter Punkt 7 genannten Kursblöcke sowie Lehrveranstaltungen und Seminare der im Projekt involvierten Lehrenden geschehen. Die Ergebnisse werden aktuell an der Friedrich-Schiller-Universität Jena (neuer Standort ID) in den Grundlagen der Lehramtsausbildung integriert.

### **9.5 Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit für eine mögliche nächste Phase bzw. die nächsten innovatorischen Schritte**

Die in den Teilprojekten gewonnenen Erkenntnisse bieten eine Grundlage für mögliche Weiterentwicklungen von MR-Anwendungen. Sowohl für ingenieurwissenschaftliche, informationstechnische und gesundheitliche Studiengänge als auch für die Ausbildung von Lehrkräften im schulischen und hochschulischen Bereich können die Ergebnisse eine hervorragende Grundlage für weitere Forschung und Entwicklungsvorhaben bilden. Ebenso bilden die Ergebnisse zu technischen Lösungsansätzen aufgrund ihres Innovationsgrades eine weitere Grundlage für technische Forschung und Entwicklung. Die Ergebnisse für die evidenzbasierten Gestaltungsprinzipien können ebenfalls in wirtschaftlich genutzten Seminaren und Workshops im Bereich digitaler Bildung verwendet werden.

## 9.6 Arbeiten, die zu keiner Lösung führten

Einige der Annahmen des Antrags für das Projektvorhaben stellten sich als zu optimistisch bzw. falsch heraus. Entsprechend wurde der Projektplan, wie im Folgenden beschrieben, angepasst:

### Allgemeingültiges Framework für MR-Autorensysteme

In der ursprünglichen Planung war die Erstellung eines Frameworks zum Authoring von MR-Lernanwendungen vorgesehen. Im Laufe des Projektverlaufes stellte sich heraus, dass die Erstellung eines solchen Frameworks aufgrund der technischen Vielfältigkeit und Schnelllebigkeit eine im Projektverlauf nicht darstellbare Komplexität besitzt und entsprechende Evaluationen auf keinen Fall im Laufe des Projektes hätten durchgeführt werden können. Entsprechend wurden die Planungen angepasst und Authoring-Umgebungen mit klar definiertem technischem und fachlichem Leistungsumfang entworfen. Mit Hilfe dieser Authoring-Umgebungen konnten die Forschungsfragen schließlich bearbeitet werden.

### Lernziel-gerechte Repräsentationsformen

In der ursprünglichen Planung war vorgesehen, dieselben Lernziele mit unterschiedlichen Repräsentationsformen, z. B. modellbasiertes VR, 360°-basiertes VR, ortsabhängiges AR, oder ortsunabhängiges AR, zu untersuchen. Im frühen Projektverlauf stellte sich jedoch heraus, dass die Wahl der Repräsentationsform den Lernzielen folgen sollte. Daher wurden für die einzelnen Repräsentationsformen jeweils geeignete Lernziele identifiziert. Auf Basis dieser Lernziel-Repräsentationsform Kombination wurden dann eine Vielzahl von Studien zur Beantwortung der Forschungsfragen durchgeführt.

### Adaptive Lernumgebungen

In Bezug auf die Adaptivität (z. B. Immersion, Need for Touch) sollten auch Gestaltungsprinzipien im Zusammenhang mit dem Einsatz von Datenhandschuhen (haptische Interaktion im digitalen Lernraum) untersucht werden. Dies ist zunächst an der Kopplung der Datenhandschuhe an die Hirn VR und dem Reifegrad der Handschuhe gescheitert und bleibt ein Ziel für zukünftige Forschung, die auf den bisherigen Projektergebnissen aufbaut.

## 9.7 Einhaltung des Finanzierungs- und Zeitplans (ggf. Erläuterung von Abweichungen)

Während des Projekts wurde der Zeitplan aus verschiedenen Gründen teilweise angepasst. Zu den notwendigen Anpassungen gehörten:

- **Corona-Pandemie:** Die Corona-Pandemie selbst sowie auch die Zeit nach der Pandemie erlaubten es nicht bzw. nur eingeschränkt VR-Studien im vorgesehenen Umfang durchzuführen. Stattdessen wurden Desktop-Versionen der Anwendungen in Onlinestudien genutzt, um einen Großteil der Untersuchungsziele zu erreichen. Weitere Maßnahme war die Erstellung von Hygienekonzepten. Teilweise war eine Anpassung der didaktischen Konzepte sowie von Untersuchungsfragen notwendig.
- **Allgemeingültiges Framework für MR-Autorensysteme:** s.o.
- **Lernziel-gerechte Repräsentationsformen:** s.o.

- **Adaptive Lernumgebungen:** s. o.

Insgesamt konnte jedoch der Zeitpläne beider Projektphasen sehr gut eingehalten werden. Neben den ursprünglich geplanten Studien sind durch die im Forschungsprojekt entstandenen Synergien und Kollaborationen mit anderen Forschungseinrichtungen zahlreiche Studien und Anwendungen entstanden, die ursprünglich noch nicht im Projektplan vorgesehen waren.

# Referenzen

- Abeebe, M. M. P. (2020). The social consequences of phubbing: A framework and a research agenda. In R. Ling, G. Goggin, L. Fortunati, S. S. Lim, & Y. Li (Eds.), *Handbook of Mobile Communication, Culture, and Information* (pp. 158–174). Oxford University Press.
- Albus, P., Vogt, A., & Seufert, T. (2021a). Signaling in virtual reality influences learning outcome and cognitive load. *Computers & Education*, *166*, Article 104154. doi.org/10.1016/j.compedu.2021.104154
- Albus, P., Vogt, A., & Seufert, T. (2021b, September 14-16). Effekte von Segmentierung und Color Coding in nicht-immersiven Virtual-Reality-Lernumgebungen. In C. Hartmann & M. Bannert (Chairs), *Lernen mit VR- und AR-Technologie: Konzeptuelle Grundlagen und empirische Befunde* [Symposium]. PaePsy 2021, Heidelberg, Germany.
- Albus, P., & Seufert, T. (2022). Signaling in 360° Desktop Virtual Reality Influences Learning Outcome and Cognitive Load. *Frontiers Educational Psychology*, *7*, Article 916105. doi.org/10.3389/feduc.2022.916105
- Albus, P., Seufert, T. The modality effect reverses in a virtual reality learning environment and influences cognitive load. *Instructional Science* (2023). doi.org/10.1007/s11251-022-09611-7
- Alpizar, D., Adesope, O. O., & Wong, L. (2020). The effects of seductive details in instructional materials: A meta-analysis. *Educational Psychology Review*, *32*(3), 707–734. https://doi.org/10.1007/s10648-020-09524-7
- Atkinson, J. W. (1964). *An Introduction to Motivation*. Van Nostrand.
- Baceviciute, S., Lucas, G., Terkildsen, T., & Makransky, G. (2021). Investigating the redundancy principle in immersive virtual reality environments: An eye-tracking and EEG study. *Journal of Computer Assisted Learning*, *37*, 1-17. https://doi.org/10.1111/jcal.12595
- Baceviciute, S., Mottelson, A., Terkildsen, T., & Makransky, G. (2020). Investigating representation of text and audio in educational VR using learning outcomes and EEG. In Bernhaupt, R., Mueller, F., Verweij, D., Andres, Baddeley, A. D., & Hitch, G. (1974). Working memory. In G. A. Bower (Ed.), *The Psychology of Learning and Motivation: Advances in Research and Theory* (Vol. 8, pp. 47–89). Academic Press.
- Bieleke, M., Gogol, K., Goetz, T., Daniels, L., & Pekrun, R. (2021). The AEQ-S: A short version of the Achievement Emotions Questionnaire. *Contemporary Educational Psychology*, *65*, 101940. https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2020.101940
- Bloom, B. S. (1956). *Taxonomy of Educational Objectives: The Classification of Educational Goals*. Longmans, Green.
- Brooke, J. (1996). SUS: A 'quick and dirty' usability scale. In P. W. Jordan, B. Thomas, B. A. Weerdmeester, & A. L. McClelland (Eds.), *Usability Evaluation in Industry* (pp. 189–194). Taylor & Francis.
- Büscher, L., Montag, M. & Zander, S. (in preparation). Gripping and Grasping. Cognitive, emotional and motivational effects of haptic instructions on learning with anatomical models.
- Csikszentmihalyi, M. (1975). *Beyond Boredom and Anxiety: Experiencing Flow in Work and Play*. Jossey-Bass.
- Csikszentmihalyi, M. (1985). Emergent Motivation and the Evolution of the Self. In D. A. Kleiber & M. L. Maehr (Eds.), *Advances in Motivation and Achievement* (Vol. 4, pp. 93–119). JAI Press.
- Dalbert, C. (2002). Belief in a just world as a buffer against anger. *Social Justice Research*, *15*(2), 123–145. https://doi.org/10.1023/A:1019919822628
- Deutsches Institut für Normung e.V. (2010). *Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 210: Prozess zur Gestaltung gebrauchstauglicher interaktiver Systeme (ISO 9241-210:2010)*. Beuth Verlag.
- Drey, T., Janek, J., Lang, J., Puschmann, D., Rietzler, M., & Rukzio, E. (2022a). SpARklingPaper: enhancing common pen-and paper-based handwriting training for children by digitally augmenting papers using a tablet screen. *Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies*, *6*(3), 1-29.
- Drey, T., Albus, P., der Kinderen, S., Milo, M., Segschneider, T., Chanzab, L., Rietzler, M., Seufert, T., & Rukzio, E. (2022b). Towards Collaborative Learning in Virtual Reality: A Comparison of Co-Located Symmetric and

- Asymmetric Pair-Learning. In Proceedings of the 2022 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '22). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Article 610, 1–19. doi.org/10.1145/3491102.3517641
- Drey, T., Montag, M., Vogt, A., Rixen, N., Seufert, T., Zander, S., ... & Rukzio, E. (2023, April). Investigating the effects of individual spatial abilities on virtual reality object manipulation. In Proceedings of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (pp. 1-24).
- Ekstrom, R. B., French, J. W., Harman, H. H., & Dermen, D. (1976). Manual for kit of factor-referenced cognitive tests. Educational Testing Service.
- Hasselhorn, M., & Gold, A. (2013). Pädagogische Psychologie: Erfolgreiches Lernen und Lehren. Kohlhammer.
- Isen, A. M., & Reeve, J. (2005). The influence of positive affect on intrinsic and extrinsic motivation: Facilitating enjoyment of play, responsible work behavior, and self-control. *Motivation and Emotion*, 29(4), 295–323. https://doi.org/10.1007/s11031-006-9019-8
- Jebb, A., Saef, R., Parrigon, S., & Woo, S. (2016). The Need for Cognition: Key Concepts, Assessment, and Role in Educational Outcomes. , 115-132. https://doi.org/10.1007/978-3-319-28606-8\_5.
- Jennett, C., Cox, A. L., Cairns, P., Dhoparee, S., Epps, A., Tijs, T., & Walton, A. (2008). Measuring and defining the experience of immersion in games. *International Journal of Human-Computer Studies*, 66(9), 641–661. https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2008.04.004
- Klepsch, M., & Seufert, T. (2021). Making an effort versus experiencing load. In *Frontiers in Education* (Vol. 6, p. 645284). Frontiers Media SA.
- Klepsch, M., Schmitz, F., & Seufert, T. (2017). Development and validation of two instruments measuring intrinsic, extraneous, and germane cognitive load. *Frontline Learning Research*, 5(2), 12–25. https://doi.org/10.14786/flr.v5i2.266
- Kolb, D. A. (2007). *The Kolb Learning Style Inventory—Version 3.1: Self Scoring and Interpretation Booklet*. Hay Group.
- Krapp, A., Hidi, S., & Renninger, K. A. (1992). Interest, Learning and Development. In K. A. Renninger, S. Hidi, & A. Krapp (Eds.), *The Role of Interest in Learning and Development* (pp. 3–25). Lawrence Erlbaum Associates.
- Liu, T. C., Lin, Y. C., Wang, T. N., Yeh, S. C., & Kalyuga, S. (2021). Studying the effect of redundancy in a virtual reality classroom. *Educational Technology Research and Development*, 69(2), 1183-1200. https://doi.org/10.1007/s11423-021-09991-6
- Mahlke, S. (2008). User Experience of Interaction with Technical Systems. In A. Holzinger (Ed.), *HCI and Usability for Education and Work* (pp. 63–76). Springer.
- Mayer, R. E., & Fiorella, L. (2022). *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (3rd ed.). Cambridge University Press.
- Meyer, O. A., Omdahl, M. K., & Makransky, G. (2019). Investigating the effect of pre-training when learning through immersive virtual reality and video: A media and methods experiment. *Computers & Education*, 140, 103603. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103603
- Minogue, J., & Jones, M. G. (2006). Haptics in education: Exploring an untapped sensory modality. *Review of Educational Research*, 76(3), 317–348. https://doi.org/10.3102/00346543076003317
- Müller, J., Heidig, S., & Niegemann, H. M. (2012). Evoking Emotional Dimensions in HCI – Development of the Questionnaire User Experience (QUX). In Paper presented at the Annual Meeting of The American Educational Research Association (AERA), April 13th - 17th, Vancouver, Canada. Vancouver, Canada.
- Parong, J., & Mayer, R. E. (2018). Cognitive and affective processes for learning science in immersive virtual reality. *Journal of Computer Assisted Learning*, 34(6), 722–729. https://doi.org/10.1111/jcal.12482
- Pekrun, R., Goetz, T., Titz, W., & Perry, R. P. (2011). Academic emotions in students' self-regulated learning and achievement: A program of qualitative and quantitative research. *Educational Psychologist*, 37(2), 91–105. https://doi.org/10.1207/S15326985EP3702\_4

- Petersen, G. B., Klingenberg, S., Mayer, R. E., & Makransky, G. (2020). The virtual field trip: Investigating how to optimize immersive virtual learning in climate change education. *British Journal of Educational Technology*, 51(6), 2099-2115. <https://doi.org/10.1111/jcal.12595>
- Piri, Z., Kaplan, G., Çağiltay, B., & Çağiltay, K. (2024). Holomental: Improving Mental Rotation Ability with Mixed Reality. Proceedings of the 2024 International Conference on Advanced Visual Interfaces. <https://doi.org/10.1145/3656650.3656707>
- Rheinberg, F., & Vollmeyer, R. (2012). Motivation. Kohlhammer.
- Rheinberg, F., Vollmeyer, R., & Burns, B. D. (2001). FAM: Ein Fragebogen zur Erfassung aktueller Motivation in Lern- und Leistungssituationen. *Diagnostica*, 47(2), 57–66.
- Schiefele, U., & Krapp, A. (1996). Theories of Interest in Learning and Development. In L. Hoffmann, A. Krapp, K. A. Renninger, & J. Baumert (Eds.), *Interest and Learning: Proceedings of the Seon Conference on Interest and Gender* (pp. 3–22). IPN.
- Vandenberg, S. G., & Kuse, A. R. (1985). Mental rotations, a group test of three-dimensional spatial visualization. *Perceptual and Motor Skills*, 60(2), 343–350.
- Vogt, A., Albus, P., & Seufert, T. (2021a). Learning in virtual reality: Bridging the motivation gap by adding annotations. *Frontiers in Psychology*, 12, Artikel 645032. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.645032>
- Vogt, A., Babel, F., Hock, P., Baumann, M., & Seufert, T. (2021b). Immersive virtual reality or auditory text first? Effects of adequate sequencing and prompting on learning outcome. *British Journal of Educational Technology*, 52(5), 2058-2076. <https://doi.org/10.1111/bjet.13104>
- Vogt, A., Babel, F., Hock, P., Baumann, M., & Seufert, T. (2021c). Prompting in-depth learning in immersive virtual reality: Impact of an elaboration prompt on developing a mental model. *Computers & Education*, 171, Artikel 104235. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2021.104235>
- Wild, K. P., Krapp, A., & Schiefele, U. (2001). Selbstbestimmung und Interesse im Lernprozess. In D. H. Rost (Ed.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (pp. 399–408). Beltz.
- Witmer, B. G., & Singer, M. J. (1998). Measuring presence in virtual environments: A presence questionnaire. *Presence*, 7(3), 225-240.
- Wolf, M., Montag, M., Söbke, H., Wehking, F., & Springer, C. (2024). Low-Threshold Digital Educational Escape Rooms Based on 360VR and Web-based Forms. *Electronic Journal of E-Learning*, 22(4), 1–18. <https://doi.org/10.34190/ejel.21.7.3156>
- Zander, S., & Heidig, S. (2020). Motivationsdesign bei der Konzeption multimedialer Lernumgebungen. *Handbuch Bildungstechnologie: Konzeption und Einsatz digitaler Lernumgebungen*, 393-415.

## Projektergebnisse (in umgekehrter Reihenfolge der Veröffentlichung)

### Dissertationen

- Drey, T. (2023). Towards mixed reality in education: Overcoming challenges of teaching, learning, and authoring (Dissertation). Universität Ulm.
- Albus, P. (2023). Virtual reality in education: Impact of instructional design on learning outcomes and cognitive load (Dissertation). Universität Ulm.
- Vogt, A. (2022). Fostering deep learning in immersive virtual reality: Interplay of learner's characteristics with internal and external support (Dissertation). Universität Ulm.

## Veröffentlichungen

- Tasliarmut, F., Mirboland, M., Koch, C. (2024). "A Framework for Adaptive Learning and Teaching in Higher Education in Engineering". Proceedings of the 20th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering (ICCCBE 2024).
- Wittig, N., Drey, T., Wettig, T., Auda, J., Koelle, M., Goedicke, D., & Schneegass, S. (2024). LeARn at home: Comparing augmented reality and video conferencing remote tutoring. In Proceedings of the International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia (pp. 255-263).
- Drey, T., Rixen, N., Karlbauer, J., & Rukzio, E. (2024). VRCreatIn: Taking in-situ pen and tablet interaction beyond ideation to 3D modeling lighting and texturing. In Proceedings of the International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia (pp. 24-35).
- Wolf, M., Riyad, P., Söbke, H., Mellenthin Filardo, M., Oehler, D. A., Melzner, J., & Kraft, E. (2024). Metaverse-based approach in urban planning: Enhancing wastewater infrastructure planning using augmented reality. In *Augmented and Virtual Reality in the Metaverse* (pp. 311-338). Cham: Springer Nature Switzerland.
- Laato, S., Söbke, H., & Baer, M. (2024). Augmented future: Tracing the trajectory of location-based augmented reality gaming for the next ten years. *i-com*, 23(2), 189-203.
- Wehking, F., Wolf, M., & Söbke, H. (2024). 360° Bildung Portal, Weissenberge VR, Kompostierungsanlage Umpferstedt VR. In P. Bothe, M. Dannemann, C. Schon, & B. Walter (Eds.), *xR und Lehre – Dokumentation zur Veranstaltung Augmented und Virtual Reality in der Aus- und Weiterbildung*. Hochschule Anhalt, Dessau.
- Khairtdinov, M., Tasliarmut, F., Koch, C. (2023). Concept and Implementation of BIM-to-World Co-registration for Mixed Reality Applications. In: Skatulla, S., Beushausen, H. (eds) *Advances in Information Technology in Civil and Building Engineering. ICCCBE 2022. Lecture Notes in Civil Engineering*, vol 358. Springer, Cham. doi: 10.1007/978-3-031-32515-1\_19
- Wolf, M., Wehking, F., Söbke, H., Montag, M., Zander, S., & Springer, C. (2023). Virtualized Virtual Field Trips in Environmental Engineering Higher Education. *European Journal of Engineering Education*, 48(6), 1312–1334. <https://doi.org/10.1080/03043797.2023.2291693>
- Wolf, M., Wehking, F., Söbke, H., Montag, M., Zander, S., & Springer, C. (2023). Virtualised virtual field trips in environmental engineering higher education. *European Journal of Engineering Education*, 1–23.
- Söbke, H., Göbl, B., Baalsrud Hauge, J., & Stefan, I. (2023). Serious Game Aging. In *Workshop Towards Sustainable Serious Games at International Conference on Entertainment Computing*, Bologna, Italy, Nov. 15, 2023.
- Göbl, B., Baalsrud Hauge, J., Stefan, I. A., & Söbke, H. (2023). Towards sustainable serious games. In P. Ciancarini, A. Di Iorio, H. Hlavacs, & F. Poggi (Eds.), *Entertainment Computing – ICEC 2023* (pp. 389–396). Singapore: Springer Nature Singapore.
- Söbke, H., & Zender, R. (2023). Wettbewerbsband AVRiL 2023. Gesellschaft für Informatik e.V. DOI: 10.18420/avril2023\_00.
- Zender, R., Söbke, H., & Mulders, M. (2023). 6. Workshop VR/AR-Learning – Aktuelle Entwicklungen, Herausforderungen und Trends zu Lehr- und Lernszenarien mit VR/AR. *Workshops der 21. Fachtagung Bildungstechnologien (DELFI)* (pp. 51-53). DOI: 10.18420/wsdelfi2023-20.
- Charbonneau-Gowdy, P., Cubric, M., Pechenkina, K., Dyer, R., Pyper, A., Söbke, H., & Spangenberg, P. (2023). EJEL Editorial 2023: Trends and research gaps in e-learning. *Electronic Journal of E-Learning*, 21(3), 248–257.
- Söbke, H., Wehking, F., Wolf, M., & Kraft, E. (2023). 360° VR spaces in teaching: Creation and application. *Conference eLSE - eLearning and Software for Education Conference*, April 27-28, 2023.
- Drey, T., Montag, M., Vogt, A., Rixen, N., Seufert, T., Zander, S., Rietzler, M., & Rukzio, E. (2023). Investigating the effects of individual spatial abilities on virtual reality object manipulation. In *Proceedings of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '23)*. ACM. <https://doi.org/10.1145/3544548.3581004>

- Mirboland, M., Tasliarmut, F., Abrahamczyk, L., & Koch, C. (2022). A mixed reality application for holo-graphic structural analysis experiments. *Proceedings of the 2022 European Conference on Computing in Construction*. DOI: 10.35490/EC3.2022.206.
- Tasliarmut, F., Vogt, A., Montag, M., Zander, S., & Koch, C. (2022). Conducting user studies in engineering education during the COVID-19 pandemic. *Proceedings of the 2022 European Conference on Computing in Construction*. DOI: 10.35490/EC3.2022.207.
- Wehking, F., Wolf, M., & Söbke, H. (2022). Authoring educational 360° models: Experiences from higher education in environmental engineering. *Proceedings of DELFI Workshops 2022*. Karlsruhe: Gesellschaft für Informatik e.V.
- Drey, T., Janek, J., Lang, J., Puschmann, D., Rietzler, M., & Rukzio, E. (2022). SpARKlingPaper: Enhancing common pen-and-paper-based handwriting training for children by digitally augmenting papers using a tablet screen. *Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies*, 6(3), Article 113. <https://doi.org/10.1145/3550337>
- Hartwig, S., Schelling, M., Onzenoodt, C. V., Vázquez, P. P., Hermosilla, P., & Ropinski, T. (2022). Learning human viewpoint preferences from sparsely annotated models. *Computer Graphics Forum*.
- Drey, T., Albus, P., der Kinderen, S., Milo, M., Segschneider, T., Chanzab, L., Rietzler, M., Seufert, T., & Rukzio, E. (2022). Towards collaborative learning in virtual reality: A comparison of co-located symmetric and asymmetric pair-learning. In *CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '22)*, April 29–May 5, 2022, New Orleans, LA, USA. ACM. <https://doi.org/10.1145/3491102.3517641>
- Drey, T., Fischbach, F., Jansen, P., Frommel, J., Rietzler, P., & Rukzio, E. (2021). To be or not to be stuck, or is it a continuum?: A systematic literature review on the concept of being stuck in games. *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction*, 5(CHI PLAY), Article 229.
- Söbke, H., & Weise, M. (2021). AVRiL 2021 - Gelungene VR/AR-Lernszenarien. In H. Söbke & M. Weise (Eds.), *Wettbewerbsband AVRiL 2021* (pp. 1–3). Bonn: Gesellschaft für Informatik e.V. [https://doi.org/10.18420/avril2021\\_00](https://doi.org/10.18420/avril2021_00)
- Söbke, H., Baalsrud Hauge, J., Pechenkina, E., Gagnon, D. J., & Nienaus, M. (Eds.). (2021). Serious location-based games. In *Article Collection in Frontiers in Education*. Frontiers.
- Wolf, M., Hörnlein, S., Wehking, F., & Söbke, H. (2021). Exploratory Study of a 360-degree Model in Environmental Engineering Education. In *Proceedings of the 20th European Conference on e-Learning, ECEL 2021* (pp. 546–556). ACIL. <https://doi.org/10.34190/EEL.21.121>
- Wolf, M., Wehking, F., Montag, M., & Söbke, H. (2021). 360°-Based Virtual Field Trips to Waterworks in Higher Education. *Computers*, 10(9). <https://doi.org/10.3390/computers10090118>
- Guth, L., Söbke, H., Hornecker, E., & Londong, J. (2021). An augmented reality-supported facility model in vocational training. In *Proceedings of DELFI Workshops 2021* (p. 72).
- Vogt, A., Albus, P., Montag, M., Drey, T., Hartwig, S., Tasliarmut, F., & Wolf, M. (2021). Effekte von Segmentierung und Color Coding in nicht-immersiven Virtual-Reality-Lernumgebungen. In *Symposium zum Lernen mit AR/VR auf der PAEPSY 2021*.
- Wolf, M., Wehking, F., Söbke, H., & Londong, J. (2021). 360°-Modelle als Lernwerkzeug in der Siedlungswasserwirtschaft. *Landesverbandstagung Sachsen/Thüringen Das Klima wandelt sich!*
- Vogt, A., Babel, F., Hock, P., Baumann, M., & Seufert, T. (2021). Prompting in-depth learning in immersive virtual reality: Impact of an elaboration prompt on developing a mental model. *Computers & Education*, 171, 104235.
- Söbke, H., Weise, M., Kruse, R., Richert, A., & Zender, R. (2021). MR-Lernwerkzeuge: Ergebnisse einer Online-Umfrage des Arbeitskreises VR/AR-Learning.
- Albus, P., Vogt, A., & Seufert, T. (2021). Signaling in virtual reality influences learning outcome and cognitive load. *Computers & Education*, 166, Article 104154. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2021.104154>

- Vogt, A., Albus, P., & Seufert, T. (2021). Learning in virtual reality: Bridging the motivation gap by adding annotations. *Frontiers in Psychology*, 12, Article 645032. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.645032>
- Vogt, A., Babel, F., Hock, P., Baumann, M., & Seufert, T. (2021). Immersive virtual reality or auditory text first? Effects of adequate sequencing and prompting on learning outcome. *British Journal of Educational Technology*. <https://doi.org/10.1111/bjet.13104>
- Akcayir, G., Pellas, N., Söbke, H., & Wen, Y. (2021). Special issue „Theoretical and pedagogical perspectives on augmented reality“. *Multimodal Technologies and Interaction*.
- Montag, M., Bertel, S., de Koning, B. B., & Zander, S. (2021). Exploration vs. limitation – An investigation of instructional design techniques for spatial ability training on mobile devices. *Computers in Human Behavior*, 118, 106678.
- Söbke, H., & Reichelt, M. (2021). Digitalisierung in der Lehre: Die Sicht der Lehrenden. In W. Wilke, L. Lehmann, & D. Engelhardt (Eds.), *Kompetenzen für die digitale Transformation 2020*. Springer Nature.
- Söbke, H., Wehking, F., Wolf, M., & Londong, J. (2021). Niedrigschwellige mixed reality-Bildungswerkzeuge in der Siedlungswasserwirtschaft. *KA Korrespondenz Abwasser Abfall*, 68(2), 1-6. <https://doi.org/10.3242/kae2021.02.007>
- Albus, P., Vogt, A., & Seufert, T. (2021). Signaling in virtual reality influences learning outcome and cognitive load. *Computers & Education*, 166, Artikel 104154. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2021.104154>
- Vogt, A., Klepsch, M., Baetge, I., & Seufert, T. (2020). Learning from multiple representations: Prior knowledge moderates the beneficial effects of signals and abstract graphics. *Frontiers in Psychology*, 11, 601125. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.601125>
- Baalsrud Hauge, J., Söbke, H., Stefan, I. A., & Stefan, A. (2020). Applying and facilitating serious location-based games. In N. J. Nunes, L. Ma, M. Wang, N. Correia, & Z. Pan (Eds.), *Entertainment Computing – ICEC 2020*. Springer.
- Yepes-Serna, V., Wolf, M., Söbke, H., & Zander, S. (2020). Design principles for educational mixed reality: Adaptations of the design recommendations of multimedia learning. In G. Akcayir & C. Demmans Epp (Eds.), *Designing, deploying, and evaluating virtual and augmented reality in education*. IGI Global.
- Wehking, F., Söbke, H., & Wolf, M. (2020). 360° models in environmental engineering education: Virtualizing a field trip. In *University: Future Festival 2020*, October 7, 2020.
- Wolf, M., Söbke, H., Wehking, F., & Hörnlein, S. (2020). 360-degree models in environmental engineering education: An explorative case study. In R. Zender, D. Ifenthaler, T. Leonhardt, & C. Schumacher (Eds.), *DELFI 2020 – Die 18. Fachtagung Bildungstechnologien der Gesellschaft für Informatik e.V.* (pp. 353-354). Bonn: Gesellschaft für Informatik e.V.
- Springer, C., Wehking, F., Wolf, M., & Söbke, H. (2020). Virtualization of Virtual Field Trips: A Case Study from Higher Education in Environmental Engineering. In H. Söbke, J. Baalsrud Hauge, M. Wolf, & F. Wehking (Eds.), *Proceedings of DELbA 2020 - Workshop on Designing and Facilitating Educational Location-based Applications co-located with the Fifteenth European Conference on Technology Enhanced Learning (EC-TEL 2020) Heidelberg, Germany, Online, September 15, 2020 (Vol. 2685)*. CEUR Workshop Proceedings. Retrieved from <http://ceur-ws.org/Vol-2685/paper6.pdf>
- Wolf, M., Wehking, F., Söbke, H., & Londong, J. (2020). Location-based apps in environmental engineering higher education: A case study in technical infrastructure planning. In H. Söbke, J. Baalsrud Hauge, M. Wolf, & F. Wehking (Eds.), *Proceedings of DELbA 2020 - Workshop on Designing and Facilitating Educational Location-based Applications*. CEUR Workshop Proceedings.
- Söbke, H., Baalsrud Hauge, J., Wolf, M., & Wehking, F. (2020). DELbA 2020 - Designing and facilitating educational location-based applications. In *Proceedings of DELbA 2020 - Workshop on Designing and Facilitating Educational Location-based Applications*. CEUR Workshop Proceedings.
- Zander, S., Montag, M., Wetzels, S., & Bertel, S. (2020). A gender issue? How touch-based interactions with dynamic spatial objects support performance and motivation of secondary school students. *Computers & Education*, 143, 103677.

- Wetzel, S., Bertel, S., & Zander, S. (2020). Spatial task solving on tablets: Analysing mental and physical rotation processes of 12–13-year-olds. *Educational Technology Research and Development*, 68(1), 363–381.
- Söbke, H., Wehking, F., & Wolf, M. (2020). 360°-Videos, 360°-Modelle und ortsbezogene Apps: Mixed Reality-Medien als niedrigschwellige Werkzeuge in der räumlichen Planung. *PLANERIN*, 4, 58–59.
- Albus, P., Vogt, A., & Seufert, T. (2020). Virtual reality in classrooms. In EARLI SIG 6 & 7 Conference in Tübingen, Germany (Online), August 2020.
- Vogt, A., Babel, F., Hock, P., Baumann, M., & Seufert, T. (2020, August). Learning about robotics in virtual reality. In EARLI SIG 6 & 7 Conference in Tübingen, Germany (Online), August 2020.
- Krischler, J., Vogt, A., Albus, P., & Koch, C. (2020, August). Design principles affecting motivational and cognitive requirements for VR learning environments in engineering education. In *International Conference on Computing in Civil and Building Engineering* (pp. 1175–1186). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-51295-8\\_82](https://doi.org/10.1007/978-3-030-51295-8_82)
- Wolf, M. (2020). Summaery Auftaktveranstaltung 2020 „Let’s talk about Summaery“. Vimeo, 30.07.2020.
- Wolf, M., Söbke, H., & Baalsrud Hauge, J. (2020). Designing augmented reality applications as learning activity. In V. Geroimenko (Ed.), *Augmented Reality in Education: A New Technology for Teaching and Learning* (pp. 23–43). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-42156-4\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-030-42156-4_2)
- Drey, T., Gugenheimer, J., Karlbauer, J., Milo, M., & Rukzio, E. (2020). VRSketchIn: Exploring the design space of pen and tablet interaction for 3D sketching in virtual reality. In *Proceedings of CHI 2020 (SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems)*. ACM.
- Drey, T., & Rukzio, E. (2020). Discussing the risks of adaptive virtual environments for user autonomy. In *CHI 2020 Workshop - Exploring Potentially Abusive Ethical, Social and Political Implications of Mixed Reality Research in HCI*.
- Drey, T., Jansen, P., Fischbach, F., Fromme, J., & Rukzio, E. (2020). Towards progress assessment for adaptive hints in educational virtual reality games. In *Extended Abstracts of CHI 2020 (SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems)*. ACM.
- Wehking, F., & Wolf, M. (2020). 360°-Modelle für angehende Umweltingenieure\*innen. *Hochschulforum Digitalisierung Blog*, 14. April 2020.
- Wolf, M., Söbke, H., & Wehking, F. (2020). Mixed reality media-enabled public participation in urban planning. In T. Jung, M. C. tom Dieck, & P. A. Rauschnabel (Eds.), *Augmented Reality and Virtual Reality, Changing Realities in a Dynamic World* (pp. 125–138). Springer.
- Albus, P., Vogt, A., & Seufert, T. (2020). Lernen der Zukunft – Welchen Einfluss haben Gestaltungsprinzipien in Virtual Reality auf Lernerfolg und Cognitive Load? In *8th GEBF Conference Symposium, Potsdam, Germany*.
- Vogt, A., Albus, P., Schüle, M., & Seufert, T. (2020, March). Lernen in der virtuellen Realität: Wie beeinflussen Motivation und Gestaltungsvarianten den Lernerfolg? In *8th GEBF Conference, Potsdam, Germany*.
- Albus, P., & Vogt, A. (2020). Lernen in virtual reality. Presentation at GöMaEr et al. Symposium, February 2020, Essen, Germany.
- Söbke, H., & Wolf, M. (2020). Augmented reality in der Hochschullehre für Bauingenieur\*innen: Ein leichtgewichtiger Ansatz. *Hochschulforum Digitalisierung Blog*, 12. Januar 2020.
- Söbke, H., Baalsrud Hauge, J., Stefan, I. A., & Stefan, A. (2019). Using a location-based AR game in environmental engineering. In *Entertainment Computing and Serious Games - ICEC -JCSG 2019*. Springer.
- Baalsrud Hauge, J., Söbke, H., Stefan, I. A., & Stefan, A. (2019). Designing serious mobile location-based games. In *Entertainment Computing and Serious Games - ICEC -JCSG 2019*. Springer.
- Wehking, F., Wolf, M., Söbke, H., & Londong, J. (2019). How to record 360-degree videos of field trips for education in civil engineering. In *Proceedings of DELFI Workshops 2019* (pp. 177–188). Bonn: Gesellschaft für Informatik e.V. <https://doi.org/10.18420/delfi2019-ws-120>

- Wolf, M., Wehking, F., Söbke, H., & Londong, J. (2019). Mixed reality zur Qualifikation in der räumlichen Planung. In Proceedings of DELFI Workshops 2019 (p. 199). Bonn: Gesellschaft für Informatik e.V. <https://doi.org/10.18420/delfi2019-ws-121>
- Zender, R., Söbke, H., Weise, M., & Richert, A. (2019). 3. Workshop VR/AR-Learning. In Proceedings of DELFI Workshops 2019. Bonn: Gesellschaft für Informatik e.V.
- Krischler, J. (2019). Mixed reality in der universitären Tragwerkslehre. In 31. Forum Bauinformatik. Universitätsverlag der TU Berlin.
- Albus, P., & Seufert, T. (2019). Is your imagination sufficient? Effects of mental images on learning outcome and cognitive load. In 18th Biennial EARLI Conference, Aachen, Germany.
- Vogt, A., & Seufert, T. (2019). Fostering learning strategies to support self-regulated learning: A multilevel analysis. In 18th Biennial EARLI Conference, Aachen, Germany.
- Montag, M., Bertel, S., De Koning, B., & Zander, S. (2019). The Powerbar – Effects of a resource-restricting tool while solving spatial tasks on mobile devices. In 18th Biennial EARLI Conference, Aachen, Germany.
- Yepes-Serna, V., Montag, M., & Zander, S. (2019). For whom and how? – Effects of digital tools for spatial task solving. In 18th Biennial EARLI Conference, Aachen, Germany.
- Montag, M., Bertel, S., De Koning, B., & Zander, S. (2019). The Powerbar – Effects of a resource-restricting tool while solving spatial tasks on mobile devices. In ICLTC 2019, Maastricht, Netherlands.
- Yepes, V., Söbke, H., Montag, M., & Zander, S. (2019). Direct and indirect interactions while solving mental rotation tasks in virtual reality environments. In 12th International Cognitive Load Theory Conference, Maastricht, Belgium.
- Söbke, H., Zender, R., Weise, M., & Richert, A. (2019). Chances and challenges of VR/AR-based learning approaches. In 5th International AR & VR Conference, Munich, Germany.
- Söbke, H., Zander, S., Yepes, V. (2019). Mit dem Navigationssystem lernt man nicht!? Entwurfsprinzipien für Benutzerschnittstellen von AR-basierten Lernwerkzeugen. Vortrag auf LEARNTEC 2019, AR / VR Forum, Karlsruhe, Germany.

## Transferaktivitäten

- e-teaching.org (2024, 16. Oktober). Erfahrungsbericht 360° Bildung – eine Plattform für virtuelle Exkursionen [Bericht]. In XR in der Hochschullehre – was leisten immersive Technologien?
- VR/AR Learning Days 2024 (2024, 20. März). Kollaborative VR-Lernszenarien [Workshop], online.
- Projekt „xR & Lehre – Augmented & Virtual Reality in Aus- und Weiterbildung“ (2023, 28. September). Showroom für AuCity 3 und Bildung 360°-Inhalte [Workshop und Messe], Dessau.
- VR/AR Learning Days 2023 (2023, 27. April). Vorstellung des Projekts AuCity 3 [Workshop], online.
- Future 4 Now. (2023, 20. April) VR für Akteure der Wohnungswirtschaft [Vortrag], Berlin.
- IFIP WG 14.8 Serious Games (2023, 19. April). A Virtual Field Trip to a Composting Plant: How to gamify spatial digital learning environments? [Online-Seminar].
- eTeach-Netzwerk Thüringen (2023, 16. März). Vom 360°-Raum zum niedrighschwelligem Escape Room: Potentiale und Herausforderungen [Vortrag].
- Bauhaus-Universität Weimar (2023, 22. Februar). Messestand im Rahmen des Regionalwettbewerbs "Jugend forscht" [Ausstellung].
- Bauhaus-Universität Weimar (2022, 10. Juni). 360 Bildung: Virtuell Vor-Ort Lernen [Workshop], Ideenlabor 2022.
- VR-Workshop (2022, 17. Juni). VR-Workshop für die Kommunalverwaltung einer mittelgroßen süddeutschen Stadt [Workshop], online.
- VR/AR Learning Days 2022 (2022, 9. Juni). 360 Bildung [Workshop], online.

Seufert, T. (2022, 7. Juni) Effektiv Lernen mit VR/AR? Die Perspektive der Lehr-Lernforschung [Keynote], VR/AR Learning Days 2022, online.