

René Kockord¹, Nico Wiersig² & Oliver Bodensiek³

Lernförderlichkeit von Mixed Reality als innovative Bildungstechnologie in der Hochschullehre

Zusammenfassung

Die Integration innovativer Bildungstechnologien in die Hochschullehre transformiert das Lehren und Lernen kontinuierlich. Eine vielversprechende Option hierbei ist die Nutzung von Mixed Reality (MR) mit Head-Mounted Displays. Es werden dessen Auswirkungen auf die digitalen Kompetenzen, auf die kognitive Belastung und auf die intrinsische Motivation in der Hochschullehre am Beispiel eines Seminars mit MR untersucht. Im Ergebnis zeigen sich überwiegend wünschenswerte, signifikante Auswirkungen. Die digitalen Kompetenzen und die Motivation steigen, die kognitive Belastung sinkt. Darauf aufbauend wird eine Entwicklungsperspektive für den reflektierten Einsatz in der Hochschullehre gegeben.

Schlüsselwörter

Mixed Reality, Bildungstechnologie, Lernförderlichkeit, Digitale Kompetenzen, Innovative Hochschullehre

1 Corresponding Author; TU Braunschweig; r.kockord@tu-braunschweig.de; ORCID 0009-0005-4504-7712

2 TU Braunschweig; n.wiersig@tu-braunschweig.de

3 Universität Potsdam; oliver.bodensiek@uni-potsdam.de; ORCID 0000-0002-0778-5862

Learning benefits of mixed reality as an innovative educational technology in university teaching

Abstract

The integration of innovative educational technologies into university teaching is continuously transforming teaching and learning. One promising option here is the use of Mixed Reality (MR) with Head-Mounted Displays. In university teaching, its effects on digital competencies, cognitive load and intrinsic motivation are being investigated using the example of a seminar with MR. The results show predominantly desirable, significant effects. Digital competencies and intrinsic motivation increase, cognitive load decreases. Based on this, a development perspective for the reflected use in university teaching is given.

Keywords

mixed reality, educational technology, learning goals, digital literacy, innovation in higher education

1 Einleitung

Die Bildungslandschaft entwickelt sich durch digitale Transformation und technologischen Fortschritt rasant. Digitale Realitäten wie Augmented Reality (AR), Virtual Reality (VR) und Mixed Reality (MR) spielen dabei eine zentrale Rolle, indem sie die reale Umgebung mit virtuellen Inhalten erweitern oder vollständig überlagern. VR erzeugt vollständig virtuelle Umgebungen, in die Nutzende immersiv eintauchen, während AR die reale Welt um virtuelle Elemente mit begrenzter Interaktivität ergänzt. MR hingegen zeichnet sich durch ein physikalisch kohärentes Verhalten virtueller Objekte, hohe Interaktivität und enge Kopplung an reale Systeme aus (Speicher et al., 2019; Skarbez et al., 2021). Damit geht MR über die Möglichkeiten von VR und AR hinaus und ermöglicht interaktive Lernerfahrungen, die reale und digitale Welten verbinden.

So wie VR wird MR meist mit Head-Mounted Displays (HMD) genutzt. Neuere VR-HMDs bieten ebenfalls MR-Funktionen, was die Relevanz von MR weiter erhöht. AR, VR und MR werden bereits erfolgreich eingesetzt, um Informationsverarbeitung, Problemlösung und Wissenskonstruktion zu unterstützen (Buchner et al., 2023; Garzón et al., 2020; Müser et al., 2022; Wyss et al., 2022), allerdings bestehen weiterhin Forschungslücken, insbesondere hinsichtlich theoretischer Ansätze und empirischer Evidenz zu den Auswirkungen spezifischer Merkmale digitaler Realitäten auf den Lernerfolg (Buchner et al., 2022).

Die vorliegende Studie untersucht die Auswirkungen des Einsatzes HMD-basierter MR in der Hochschullehre über vier Semester hinweg. MR wird dabei als Bildungstechnologie in einem fächerübergreifenden Universitätsseminar erprobt, reflektiert und im Hinblick auf Potenziale und Herausforderungen diskutiert. Im Mittelpunkt der Wirksamkeitsuntersuchung stehen die kognitive Unterstützung bzw. Belastung durch MR, die Förderung intrinsischer Lernmotivation sowie der Erwerb digitaler Kompetenzen.

2 Lehren und Lernen in digitalen Realitäten

Für den MR-Begriff bestehen unterschiedliche Definitionen, die sich teils überschneiden oder widersprechen (Speicher et al., 2019). MR wird gelegentlich als Oberbegriff für das Reality-Virtuality-Continuum (Milgram et al., 1994) verwendet, der einen großen Bereich zwischen AR und VR umfasst. Andere Definitionen sehen MR als Kombination von AR und VR in derselben Anwendung oder auf demselben Gerät. Teilweise werden MR und AR synonym verwendet. Eine weitere Definition beschreibt MR als „stärkere“ Form von AR mit erweitertem Verständnis der physischen Umgebung (Speicher et al., 2019), was der hier verwendeten Auslegung entspricht. Da AR, MR und VR in aktuellen Taxonomien wesentliche technologische Dimensionen teilen (Skarbez et al., 2021), lassen sich theoretische und empirische Erkenntnisse zu AR und VR in Teilen auch auf MR übertragen.

Die Kombination realer und virtueller Elemente eröffnet innovative Ansätze zur Gestaltung von Lernprozessen in MR. Gestaltungsprinzipien der Cognitive Theory of Multimedia Learning (CTML) (Mayer & Moreno, 2005) wie räumlich-zeitliche Kontiguitätsprinzipien (Paas & Sweller, 2014) lassen sich auch auf kombinierte physische und digitale Lerninhalte anwenden (Sonntag & Bodensiek, 2022; Thees et al., 2022). MR fördert zudem situatives, erfahrungsbasiertes Lernen im Sinne konstruktivistischer Lerntheorien (Hellriegel & Cubela, 2018; Zender et al., 2018). Eine optimierte Gestaltung von Handlungsfähigkeit und Präsenzerleben ermöglicht schließlich die aktive Einbindung der Lernenden und unterstützt den Wissenserwerb und ein tieferes Verständnis der Lerninhalte: Im Cognitive-Affective Model of Immersive Learning (CAMIL) (Makransky & Petersen, 2021) werden durch diese Eigenschaften kognitive und affektive Faktoren wie situationales Interesse, intrinsische Motivation, Selbstwirksamkeit und kognitive Belastung beeinflusst. So können AR/VR/MR-Umgebungen Lernergebnisse beispielsweise durch erhöhte Motivation verbessern (Martín-Gutiérrez et al., 2017; Schweiger et al., 2022). Während fast alle genannten Konstrukte positiv mit den Lernergebnissen zusammenhängen, zeigt die kognitive Belastung eine negative Korrelation (Makransky & Petersen, 2021), was ihre Bedeutung für AR/MR/VR-Lernumgebungen unterstreicht. Obwohl sich das

CAMIL auf VR bezieht, sind die technologischen Faktoren teilweise auf MR übertragbar: Handlungsfähigkeit bleibt analog bestehen, während Präsenzerleben in MR objektbezogen definiert wird (Wienrich et al., 2021). Die Korrelationen zwischen objektbezogenem Präsenzerleben und kognitiven bzw. affektiven Faktoren sind jedoch bisher nicht erforscht. Zusammenfassend zeigt sich das Potenzial von AR/VR/MR, kognitive, metakognitive, affektive und motivationale Prozesse zu unterstützen und effektives Lernen zu fördern (Makransky & Petersen, 2021; Mulders et al., 2020). Lernförderlichkeit von MR fasst eine optimale Beeinflussung der vorgenannten Faktoren zusammen.

Der didaktische Mehrwert des AR/MR/VR-Einsatzes ist jedoch kritisch zu hinterfragen, da dieser im Bildungsbereich oft technologiegetrieben erfolgt (Mulders et al., 2020; Zender et al., 2018). Viele Lernumgebungen weisen didaktische und konzeptionelle Mängel auf (Hellriegel & Cubela, 2018; Przybylka, 2022; Schäfer et al., 2023). Die Implementierung erfordert meist hohen didaktischen Aufwand und ist für größere Gruppen oft ungeeignet (Zender et al., 2018). Technische und organisatorische Herausforderungen bestehen weiterhin (Przybylka, 2022), ebenso wie Probleme mit der Bedienbarkeit und Akzeptanz (Schäfer et al., 2023). Besonders bei HMD-MR als innovativere AR/VR/MR-Technologie treten anfängliche Interaktionsschwierigkeiten und kognitive Überlastungen aufgrund unbekannter Bedienweisen auf (Kockord & Bodensiek, 2022).

3 Pädagogisch-psychologische Grundlagen

Digitale Kompetenzen umfassen das Verständnis und den reflektierten Einsatz innovativer Technologien wie MR (Redecker et al., 2017). Dazu zählt neben technischen Fähigkeiten auch das Bewusstsein für Auswirkungen digitaler Medien auf Bildung, Beruf und Privatleben (Ehlers, 2020) und der Einsatz solcher Technologien im Studium ist entscheidend zur Förderung dieser Kompetenzen bei Studierenden (Händel et al., 2024).

Intrinsische Motivation beschreibt Verhaltensweisen, die aus Freude an der Tätigkeit resultieren, wobei die Handlung als spannend, interessant oder herausfordernd empfunden wird (Schiefele & Köller, 2006). Sie zeichnet sich durch Autonomie und Selbstbestimmung aus, auch wenn die Anregung von außen kommt, solange die Person sich selbstbestimmt erlebt (Deci & Ryan, 1985). Im Gegensatz dazu steht die extrinsische Motivation, die auf das Erreichen eines Ziels abzielt (Ryan & Deci, 2000). In der Praxis sind beide Formen oft schwer zu trennen, was die Komplexität des Motivationsbegriffs verdeutlicht (Rheinberg, 2006).

Die Cognitive Load Theory (CLT) beschreibt die begrenzte Kapazität des Arbeitsgedächtnisses, das nur eine begrenzte Menge an Informationen kurzzeitig speichern kann (Baddeley, 1998; Cowan, 2001; Miller, 1956; Sweller, 2003). Die Auslastung dieser Kapazität, die kognitive Belastung, beeinflusst die Bearbeitung kognitiver Aufgaben und die Effektivität von Lernprozessen (Paas & van Merriënboer, 1994; Sweller et al., 2019). Eine hohe Belastung kann trotz erfolgreicher Aufgabenbewältigung die Kapazität für Lernprozesse verringern (Sweller et al., 2011).

In Lernumgebungen werden drei Typen kognitiver Belastung unterschieden: Die intrinsische kognitive Belastung (ICL) entsteht durch die Komplexität der Aufgabe und die Anzahl der interagierenden Informationselemente. Sie hängt von der Aufgabe und der Expertise der Lernenden ab und kann nur durch Aufgabenanpassung beeinflusst werden (Sweller et al., 2011). Die extrinsische kognitive Belastung (ECL) resultiert aus vermeidbaren Prozessen und unnötigen Informationen, oft bedingt durch schlechtes Instruktionsdesign, wie redundante oder schlecht integrierte Inhalte (Ayres & Sweller, 2014; Kalyuga, 2010). Sie lässt sich durch optimierte Lernumgebungen reduzieren (de Jong, 2010). Die lernbezogene kognitive Belastung (GCL) umfasst Prozesse, die dem Aufbau und der Automatisierung von Schemastrukturen dienen, und sollte gefördert werden (Kalyuga, 2011; Schnotz & Kürschner, 2007).

4 Wirksamkeit von MR in der Hochschullehre

Zur Untersuchung der Wirksamkeit von MR in der Hochschullehre wurde zwischen 2021 und 2023 über vier Semester ein Universitätsseminar evaluiert, das MR als Schwerpunkt thematisiert. Das Seminar ist im überfachlichen Profildbereich Digitalisierung verortet und als Wahlfach konzipiert. Es erstreckt sich über ein Semester mit wöchentlichen Sitzungen, in denen sich Theorie- und Praxistermine abwechseln. Die Studierenden erwerben sowohl theoretisches Wissen als auch praktische Kompetenzen im Umgang mit MR als Bildungstechnologie.

Ein zentrales Ziel des Seminars ist der Erwerb digitaler Kompetenzen im Bereich MR. Es wird die Hypothese aufgestellt, dass diese Kompetenzen am Semesterende (Post-Erhebung) im Vergleich zum Semesterbeginn (Prä-Erhebung) signifikant und mit starkem Effekt zunehmen. Zudem wird erwartet, dass mit steigenden digitalen Kompetenzen auch die intrinsische Motivation zur Nutzung von MR wächst, begründet durch die erweiterte Wahrnehmung von Anwendungsmöglichkeiten sowie von Vor- und Nachteilen der Technologie.

Hinsichtlich der kognitiven Belastung wird angenommen, dass diese aufgrund des Kompetenzzuwachses im Prä-Post-Vergleich signifikant abnimmt, was ähnliche Studien bestätigen (Thees et al., 2022; Kockord & Bodensiek, 2021).

Aus diesen Hypothesen ergeben sich die folgenden Forschungsfragen, jeweils im Prä-Post-Vergleich bezüglich des Einsatzes von und des Lernens über MR:

1. *Inwiefern verändern sich die selbsteingeschätzten digitalen Kompetenzen der Studierenden?*
2. *Inwiefern verändert sich die Motivation der Studierenden?*
3. *Inwiefern verändert sich die kognitive Belastung der Studierenden?*

4.1 Methodik

Es handelt sich bei dieser Untersuchung um eine Gelegenheitsstichprobe von teilnehmenden Studierenden aus vier Semestern des beschriebenen Universitätsseminars der Technischen Universität Braunschweig. Es liegen $n = 210$ vollständige Datensätze vor. Es wird in jedem Semester sowohl eine Prä-Erhebung zum Semesterstart als auch eine Post-Erhebung zum Semesterende durchgeführt. Die Stichprobe hat zum Zeitpunkt der Prä-Erhebung ein Durchschnittsalter von $M = 22.73$ Jahren ($SD = 2.93$) und besteht aus $n = 188$ Bachelor- sowie $n = 21$ Masterstudierenden. Durchschnittlich befinden sich die Studierenden während des untersuchten Seminars im 4. Fachsemester. Es liegt eine große Fächervarianz vor, die am häufigsten genannten Studienfächer sind Germanistik (16 %) sowie Mathematik (14 %). Insgesamt studiert ein Anteil von 62 % ein MINT-Fach, die übrigen 38 % studieren kein Studienfach aus dem MINT-Bereich.

Alle Items werden auf einer Likert-Skala mit fünf verschiedenen Ausprägungen von „Stimmt gar nicht“ bis „Stimmt völlig“ bzw. von „Trifft nicht zu“ bis „Trifft völlig zu“ abgefragt. Die digitalen Kompetenzen der Studierenden werden anhand von sechs Items in Anlehnung an das etablierte Berliner Evaluationsinstrument für selbsteingeschätzte, studentische Kompetenzen (BEvaKomp) im ersten und letzten Seminartermin des jeweiligen Semesters freiwillig über das Online-Umfragetool Limesurvey erhoben und betrachten dabei die folgenden Dimensionen (Braun et al., 2008):

- Ich kann wichtige Begriffe und Sachverhalte bezüglich MR wiedergeben
- Ich kann einen guten Überblick über das Thema MR geben
- Ich kann komplizierte Sachverhalte zum Thema MR anschaulich darstellen
- Ich sehe mich in der Lage, eine typische Fragestellung zum Thema MR zu bearbeiten
- Ich kann Widersprüche und Ähnlichkeiten im Themenbereich MR (bspw. Widersprüche und Ähnlichkeiten zwischen VR, AR, MR) herausarbeiten
- Ich kann die Qualität von Fachartikeln zum Thema MR beurteilen

Die Motivation zum Umgang mit digitalen Anwendungen und Tools wird mit der Kurzskala intrinsische Motivation (KIM) erfasst (Wilde et al., 2009). Zur Beschreibung der Motivation werden neben dem Mittelwert aller Items auch vier Subkategorien mit jeweils drei Items erfasst:

Vergnügen	Wahlfreiheit
<p>Die Tätigkeit mit digitalen Tools macht mir Spaß.</p> <p>Von 1 = "stimmt gar nicht" bis 5 = "stimmt völlig"</p> <p><input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input checked="" type="radio"/> Keine Antwort</p>	<p>Ich kann die Tätigkeit mit digitalen Tools selbst steuern.</p> <p>Von 1 = "stimmt gar nicht" bis 5 = "stimmt völlig"</p> <p><input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input checked="" type="radio"/> Keine Antwort</p>
<p>Ich finde die Tätigkeit mit digitalen Tools sehr interessant.</p> <p>Von 1 = "stimmt gar nicht" bis 5 = "stimmt völlig"</p> <p><input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input checked="" type="radio"/> Keine Antwort</p>	<p>Bei der Tätigkeit mit digitalen Tools kann ich wählen, wie ich es mache.</p> <p>Von 1 = "stimmt gar nicht" bis 5 = "stimmt völlig"</p> <p><input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input checked="" type="radio"/> Keine Antwort</p>
<p>Die Tätigkeit mit digitalen Tools ist unterhaltsam.</p> <p>Von 1 = "stimmt gar nicht" bis 5 = "stimmt völlig"</p> <p><input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input checked="" type="radio"/> Keine Antwort</p>	<p>Bei der Tätigkeit mit digitalen Tools kann ich so vorgehen, wie ich es will.</p> <p>Von 1 = "stimmt gar nicht" bis 5 = "stimmt völlig"</p> <p><input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input checked="" type="radio"/> Keine Antwort</p>
Kompetenz	Druck
<p>Mit meiner Leistung mit digitalen Tools bin ich zufrieden.</p> <p>Von 1 = "stimmt gar nicht" bis 5 = "stimmt völlig"</p> <p><input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input checked="" type="radio"/> Keine Antwort</p>	<p>Bei der Tätigkeit mit digitalen Tools fühle ich mich unter Druck.</p> <p>Von 1 = "stimmt gar nicht" bis 5 = "stimmt völlig"</p> <p><input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input checked="" type="radio"/> Keine Antwort</p>
<p>Bei der Tätigkeit mit digitalen Tools stelle ich mich geschickt an.</p> <p>Von 1 = "stimmt gar nicht" bis 5 = "stimmt völlig"</p> <p><input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input checked="" type="radio"/> Keine Antwort</p>	<p>Bei der Tätigkeit mit digitalen Tools fühle ich mich angespannt.</p> <p>Von 1 = "stimmt gar nicht" bis 5 = "stimmt völlig"</p> <p><input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input checked="" type="radio"/> Keine Antwort</p>
<p>Ich glaube, ich bin bei der Tätigkeit mit digitalen Tools ziemlich gut.</p> <p>Von 1 = "stimmt gar nicht" bis 5 = "stimmt völlig"</p> <p><input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input checked="" type="radio"/> Keine Antwort</p>	<p>Ich habe Bedenken, ob ich die Tätigkeit mit digitalen Tools gut hinbekomme.</p> <p>Von 1 = "stimmt gar nicht" bis 5 = "stimmt völlig"</p> <p><input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input checked="" type="radio"/> Keine Antwort</p>

Abb. 1: Übersicht der Items nach Subkategorien in Limesurvey

4.2 Inhalte des Seminars

Das Seminar wechselt wöchentlich zwischen Theorie- und Praxisterminen. In den Theorieterminen werden Einsatzmöglichkeiten von MR im Bildungsbereich thematisiert und im Rahmen forschenden Lernens evaluiert. Grundlage bilden wissenschaftliche Theorien und Modelle wie die Cognitive Load Theory, die CTML und das CAMIL.

In den Praxisterminen üben die Studierenden zunächst den Umgang mit HMDs, bevor sie theoretisches Wissen in praktische Handlungskompetenzen überführen. Dazu werden MR-Apps exploriert, nach definierten Kriterien evaluiert und theoriegeleitete Verbesserungsvorschläge erarbeitet. Der Erstkontakt mit MR erfolgt über die selbstentwickelte „First Contact App“, bei der Würfelaufgaben mit Schaumstoff- und virtuellen Würfeln gelöst werden (Kockord, 2023; siehe Abbildung 2).

Durch diese Struktur erwerben die Studierenden sowohl theoriegestütztes Fachwissen als auch praktische Kompetenzen zur Nutzung von MR im Bildungskontext.

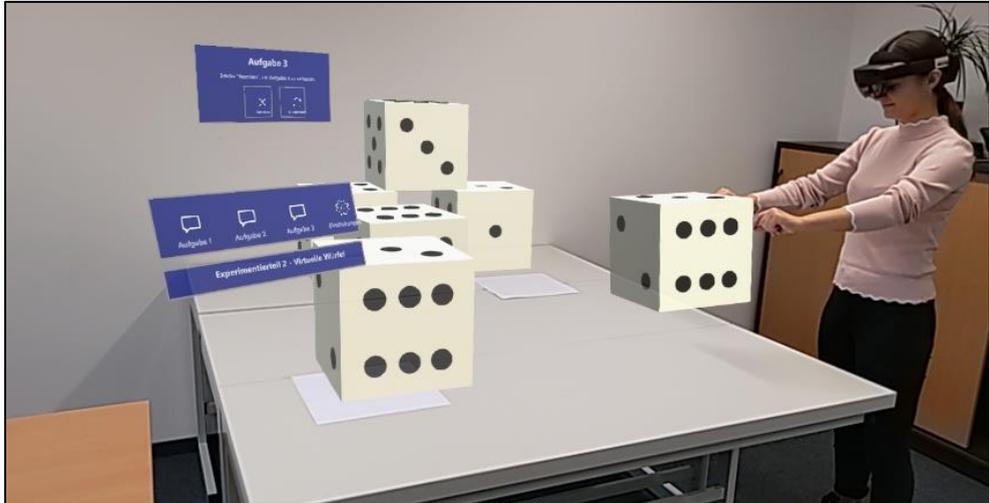


Abb. 2: Einstiegsanwendung für MR in der Hochschullehre

4.3 Auswirkungen auf Digitale Kompetenzen und Motivation

Alle verwendeten Skalen erreichen in der Erhebung eine Reliabilität von .80 oder höher (vgl. Tabelle 1), was jeweils für eine hohe interne Konsistenz spricht. In die Berechnung des Gesamtscores der Motivation fließen die Items der Subskala „Druck“ invertiert ein.

Tabelle 1
Reliabilitätskoeffizienten der verwendeten Skalen.

Skala	Anzahl Items	Fälle ausgewertet	Cronbachs α
Digitale Kompetenzen	6	195	.967
Motivation	12	166	.925
Vergnügen	3	207	.920
Kompetenz	3	199	.906
Wahlfreiheit	3	176	.911
Druck	3	198	.886

Die Prä-Post-Veränderungen werden für alle Variablen mithilfe eines t-Tests für abhängige Stichproben geprüft. Die im Folgenden berichteten p-Werte werden unter Bonferroni-Holm-Korrektur gegen Alphafehlerkummulierung bei acht gleichartigen Tests korrigiert. Die Ergebnisse sind Tabelle 2 sowie Abbildung 3 und Abbildung 4 zu entnehmen.

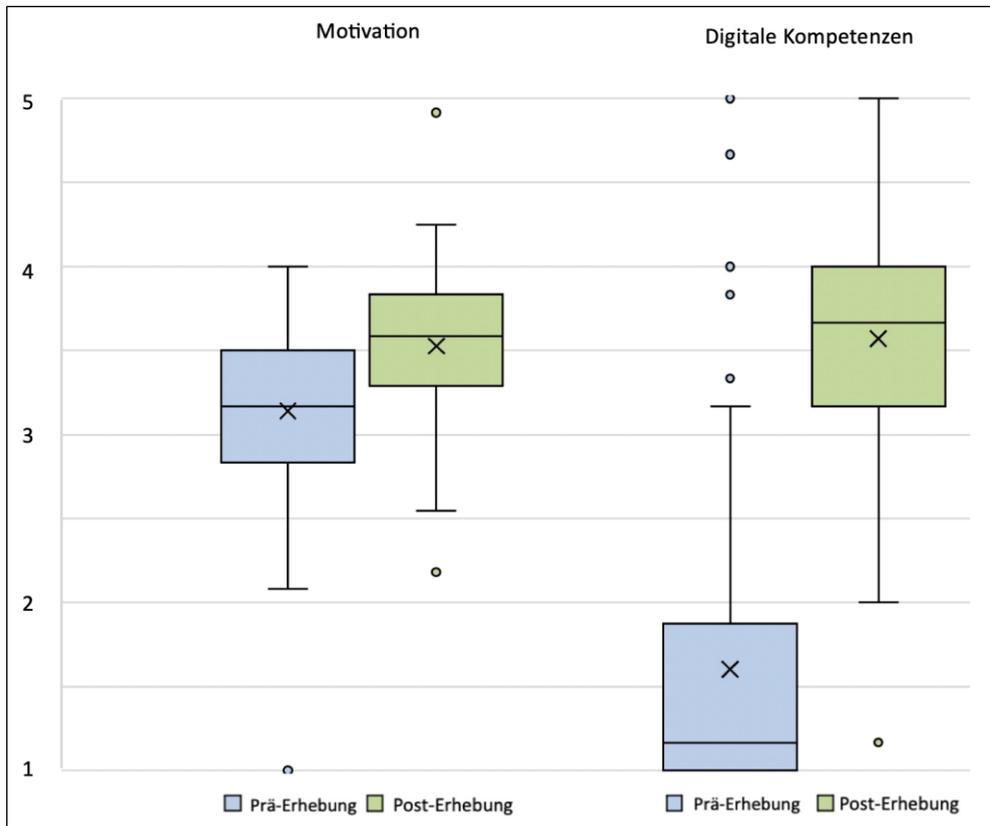


Abb. 3: Mittelwerte und 95 % Konfidenzintervalle der Skalen Motivation und Digitale Kompetenzen im Prä-Post-Vergleich

Die Selbsteinschätzung der Digitalen Kompetenzen der Teilnehmenden zu MR erhöht sich über das Seminar signifikant mit einem sehr starken Effekt nach Cohen (1988). Ebenso erhöht sich die Motivation zum Umgang mit digitalen Anwendungen und Tools ebenfalls signifikant mit starkem Effekt.

Tabelle 2
Ergebnisse des Prä-Post-Vergleichs für alle verwendeten Skalen.

Skala	<i>t</i>	<i>df</i>	<i>p</i>	<i>d</i>
Digitale Kompetenzen	22.89	72	< .001	2.68
Motivation	6.38	56	< .001	0.85
Vergnügen	5.03	80	< .001	0.56
Kompetenz	7.36	74	< .001	0.85
Wahlfreiheit	5.94	60	< .001	0.76
Druck	-1.69	73	.094	-0.20

Die Auswirkungen des Seminars auf die Motivation zum Umgang mit digitalen Anwendungen und Tools lässt sich zudem nach den Subkomponenten differenziert betrachten. Hierbei nehmen sowohl das wahrgenommene Vergnügen, die wahrgenommene Kompetenz sowie die Wahrnehmung der eigenen Wahlfreiheit beim Arbeiten mit digitalen Tools signifikant mit jeweils moderaten bis starken Effekten zu. Das Druckempfinden nimmt zwar mit schwachem Effekt ab, dieser fällt allerdings nicht statistisch signifikant aus.

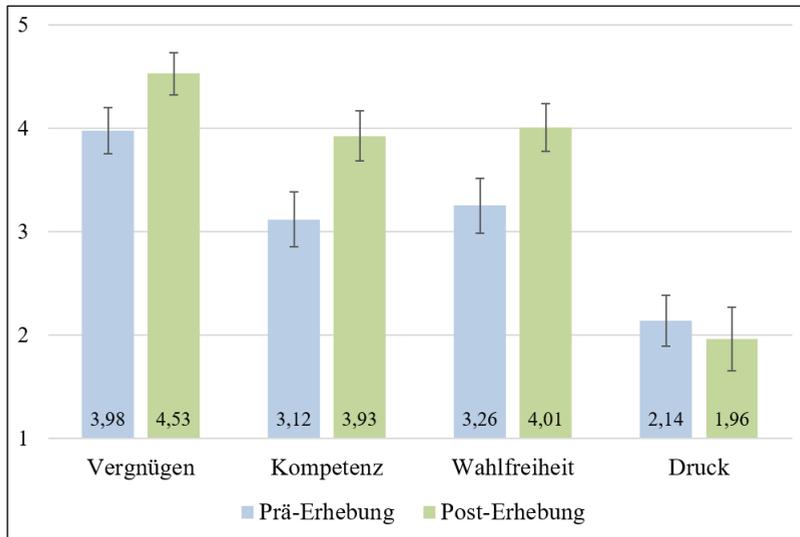


Abb. 4: Mittelwerte und 95 % Konfidenzintervalle der Skalen Vergnügen, Kompetenz, Wahlfreiheit und Druck im Prä-Post-Vergleich

Es wurden weiterhin die Auswirkungen von Alter, Geschlecht, Fachsemester und MINT-Profil der Teilnehmenden auf die Zuwächse hinsichtlich aller diskutierten Skalen untersucht. Für das Alter und die Fachsemesterzahlen erfolgte dies durch Betrachtung der Korrelation mit den Zuwachsvariablen, für Geschlecht und MINT-Profil werden die mittleren Zuwächse jeweils mittels eines t-Tests für unabhängige Stichproben zwischen männlichen und weiblichen Teilnehmenden sowie zwischen Studierenden mit mindestens einem MINT-Fach und Studierenden ohne MINT-Fach verglichen. Aufgrund teils unterschiedlicher Gruppengrößen wird jeweils die robuste Welch-Statistik interpretiert. Alle Signifikanzniveaus werden weiterhin unter Bonferroni-Holm-Korrektur betrachtet. Es ergibt sich hierbei in keinem Fall eine

signifikante Abhängigkeit der Zuwächse von Alter, Geschlecht, Fachsemester oder MINT-Profil.

4.4 Auswirkungen auf die kognitive Belastung

Zu beobachten ist auch eine Veränderung der kognitiven Belastung bei den Studierenden, die während des Einsatzes von MR entsteht. Die kognitive Gesamtbelastung verringert sich im Prä-Post-Vergleich hochsignifikant ($p < .001$) mit sehr starkem Effekt ($d = 1.7$). Das heißt, dass die Proband:innen zum Ende des Seminars beim Einsatz von MR eine deutlich geringere kognitive Gesamtbelastung aufweisen, als zu Beginn des Seminars.

Auffällig ist, dass die Spannweite der zurückgemeldeten kognitiven Belastung die gesamte Skalenweite umfasst, sich im Mittel jedoch jeweils in der niedrigeren Hälfte der Neunerskala befindet, wie Abbildung 4 zeigt.

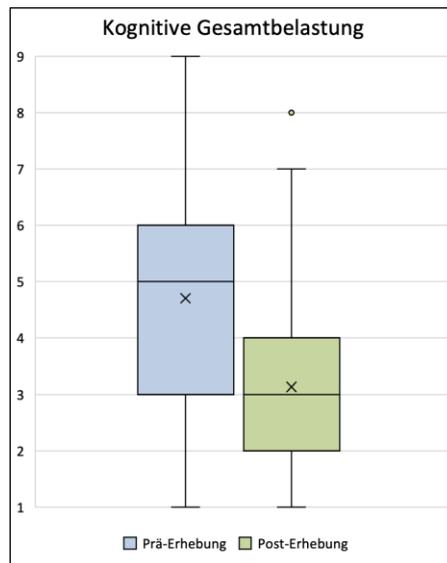


Abb. 5: Kognitive Gesamtbelastung

Bei Betrachtung der einzelnen Subkategorien der kognitiven Belastung in Abbildung 5 wird deutlich, dass die Verringerung der kognitiven Gesamtbelastung im Wesentlichen auf den ICL zurückzuführen ist. Da die Aufgaben in der Prä- und Post-Erhebung identisch und zu beiden Zeitpunkten bereits bekannt sind, ist die signifikante Verringerung des ICL ($p < .001$) mit starkem Effekt ($d = 1.2$) auf einen Zuwachs an Vorwissen zurückzuführen. Da die Proband:innen bei der Prä-Erhebung noch kein Vorwissen zum Umgang mit MR besitzen, jedoch bei der Post-Erhebung auf die erworbenen Kompetenzen zurückgreifen können, ist diese Verringerung plausibel. Sie bedeutet allerdings auch, dass der Umgang mit MR als Aufgabeninhalt wahrgenommen worden sein muss und die tatsächlichen Aufgabenstellungen, nämlich die Interaktionen mit den Alltagsgegenständen, in den Hintergrund gerückt sind. Dementsprechend ist hier eine Verschiebung des Aufgabeninhalts (*shift of task content*) festzustellen.

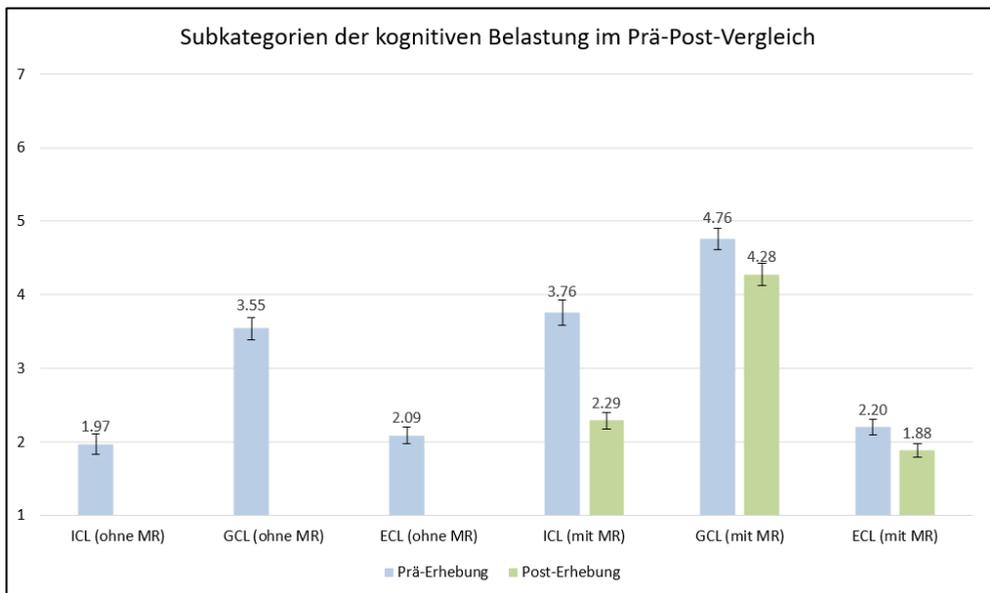


Abb. 6: Subkategorien der kognitiven Belastung im Prä-Post-Vergleich

5 Diskussion

Der Einsatz von MR im untersuchten Seminar zeigt signifikante Auswirkungen auf die digitalen Kompetenzen und auf die Motivation der Studierenden zum Einsatz digitaler Tools, jeweils mit starkem Effekt. Vergnügen und Wahlfreiheit als Motivationsdimensionen steigen ebenfalls signifikant, jedoch mit mittleren Effekten, während die Kompetenz mit starkem Effekt zunimmt. Der Druck im Umgang mit digitalen Tools bleibt unverändert. Diese Ergebnisse sind in der Hochschullehre wünschenswert, da sowohl die Steigerung digitaler Kompetenzen als auch der Motivation bezüglich der Seminarinhalte als erstrebenswert gelten. Die präsentierten Erkenntnisse basieren jedoch auf kurzfristigen Daten (6 Monate), sodass langfristige Untersuchungen weiterhin notwendig sind.

Personenbezogene Variablen wie Alter, Geschlecht und Fachsemester haben keinen signifikanten Einfluss auf den Kompetenzzuwachs. Dies ist positiv im Hinblick auf Zugänglichkeit und Bildungsgerechtigkeit für diverse Studierendengruppen. Es besteht jedoch die Möglichkeit, dass die Fachrichtung Auswirkungen haben kann. In der Untersuchung zeigen sich bei der Unterscheidung zwischen MINT- und Nicht-MINT-Fächern moderate bis starke, aber nicht signifikante Effekte. Dies könnte an der Datengrundlage und Stichprobengröße liegen und sollte weiter untersucht werden. Eine fächerübergreifende sowie fächerspezifische Integration von MR in Curricula sollte kritisch geprüft werden.

Die kognitive Belastung sinkt mit starkem Effekt, was auf eine geringere Belastung nach dem Aufbau digitaler Kompetenzen hinweist. Zu Beginn erfordert der Umgang mit MR zwar mehr Anstrengung, nach dem Kompetenzerwerb nimmt diese jedoch deutlich ab. In der Literatur wird MR besonders für komplexe Problemstellungen in den Naturwissenschaften empfohlen (Garzón et al., 2020; Buchner et al., 2022). Um eine Überlastung zu vermeiden, sollte der Einsatz von MR mit einem Einstiegstraining beginnen, bevor komplexe Aufgaben folgen. Ähnliche Ergebnisse zeigen sich ebenfalls in anderen Studien (siehe Kapitel 2).

Ein weiteres Phänomen ist die Verschiebung des wahrgenommenen Aufgabeninhalts: Zu Beginn wird der Umgang mit MR als Hauptaufgabe gesehen, nicht der eigentliche Aufgabeninhalt im Sinne des ICL. Studierende müssen sich zunächst auf die Interaktion mit MR konzentrieren, bevor sie sich komplexeren Inhalten widmen können.

Aufgrund der positiven Auswirkungen von MR in der Hochschullehre sollten weitere lernförderliche Einsatzmöglichkeiten erforscht und der Einsatz kritisch reflektiert werden. Ein Einführungsstraining ist sinnvoll, da der Einstieg eine kognitive Herausforderung darstellt. Der Einsatz von MR lohnt sich sowohl zur Förderung der Rezeption der Studieninhalte als auch zur Entwicklung digitaler Kompetenzen.

Literaturverzeichnis

- Ayres, P. & Sweller, J. (2014). The split-attention principle in multimedia learning. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (2. Aufl., S. 206–226). Cambridge University Press.
- Baddeley, A. (1998). Recent developments in working memory. *Current Opinion in Neurobiology*, 8(2), 234–238. [https://doi.org/10.1016/S0959-4388\(98\)80145-1](https://doi.org/10.1016/S0959-4388(98)80145-1)
- Braun, E., Gusy, B., Leidner, B., & Hannover, B. (2008). Kompetenzorientierte Lehrevaluation – Das Berliner Evaluationsinstrument für selbsteingeschätzte, studentische Kompetenzen (BEvaKomp). *Diagnostica*, 54(1), 30–43.
- Buchner, J., Buntins, K., & Kerres, M. (2022). The impact of augmented reality on cognitive load and performance: A systematic review. *Journal of Computer Assisted Learning*, 38(1), 285–303. <https://doi.org/10.1111/jcal.12617>
- Buchner, J., Mulders, M., Dengel, A., & Zender, R. (2022). Editorial: Immersives Lehren und Lernen mit Augmented und Virtual Reality – Teil 1: Didaktische Designs, Konzepte und theoretische Positionen. *MedienPädagogik. Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung*, 47(AR/VR – Part 1), i–x. <https://doi.org/10.21240/mpaed/47/2022.11.28.X>
- Buchner, J., Tatzgern, M., Deibl, I., & Mulders, M. (2023). Augmented und virtual reality. In J. Zumbach, L. von Kotzebue, C. Trültzsch-Wijnen & I. Deibl (Hrsg.), *Digitale Medienbildung: Pädagogik – Didaktik – Fachdidaktik* (S. 214–232). Waxmann.

- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2. Aufl.). Lawrence Erlbaum Associates.
- Cowan, N. (2001). The magical number 4 in short-term memory: A reconsideration of mental storage capacity. *Behavioral and Brain Sciences*, 24(1), 87–114. <https://doi.org/10.1017/S0140525X01003922>
- de Jong, T. (2010). Cognitive load theory, educational research, and instructional design: Some food for thought. *Instructional Science*, 38(2), 105–134. <https://doi.org/10.1007/s11251-009-9110-0>
- Deci, E. L., & Ryan, R. M. (1985). *Intrinsic motivation and self-determination in human behavior*. Springer US. <https://doi.org/10.1007/978-1-4899-2271-7>
- Ehlers, U.-D. (2020). *Future skills. Lernen der Zukunft – Hochschule der Zukunft*. Springer VS.
- Garzón, J., Kinshuk, Baldiris, S., Gutiérrez, J., & Pavón, J. (2020). How do pedagogical approaches affect the impact of augmented reality on education? A meta-analysis and research synthesis. *Educational Research Review*, 31. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2020.100334>
- Händel, M., Fritzsche, E. S., & Bedenlier, S. (2024). Digitale Kompetenzen zum Studienstart als Gelingensfaktor im ersten Semester? *Zeitschrift für Hochschulentwicklung*, 19(1), 25–43. <https://doi.org/10.21240/zfhe/19-01/02>
- Hejna, U., Hainke, C., Seeling, S., & Pfeiffer, T. (2022). Welche Merkmale zeigt eine voll-immersive Mehrpersonen-VR-Simulation im Vergleich zum Einsatz von Videokonferenzsoftware in Gruppenarbeitsprozessen? *MedienPädagogik. Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung*, 47(AR/VR – Part 1), 220–245. <https://doi.org/10.21240/mpaed/47/2022.04.11.X>
- Hellriegel, J., & Cubela, D. (2018). Das Potenzial von Virtual Reality für den schulischen Unterricht. Eine konstruktivistische Sicht. *MedienPädagogik. Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung*, Dezember, 58–80. <https://doi.org/10.21240/mpaed/00/2018.12.11.X>
- Kalyuga, S. (2010). Schema acquisition and sources of cognitive load. In J. L. Plass, R. Moreno & R. Brünken (Hrsg.), *Cognitive load theory* (S. 48–64). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511844744.005>

- Kalyuga, S. (2011). Cognitive load theory: How many types of load does it really need? *Educational Psychology Review*, 23(1), 1–19. <https://doi.org/10.1007/s10648-010-9150-7>
- Kockord, R. (2023). Empirische Untersuchung des Einstiegs in Mixed Reality mit Head-Mounted Displays in der Hochschullehre [Universitätsbibliothek Braunschweig]. <https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202308111148-0>
- Kockord, R., & Bodensiek, O. (2021). Cognitive load during first contact with mixed reality learning environments. *Mensch und Computer 2021 (MuC '21)*. Association for Computing Machinery, New York, USA, 260–264. <https://doi.org/10.1145/3473856.3474003>
- Kockord, R., & Bodensiek, O. (2022). Replication on cognitive load during first contact with mixed reality using head-mounted displays. In L. Gómez Chova, A. López Martínez & I. Candel Torres (Hrsg.), *ICERI 2022 Proceedings* (S. 3668–3677). IATED. <https://doi.org/10.21125/iceri.2022.0892>
- Makransky, G., & Petersen, G. B. (2021). The cognitive affective model of immersive learning (CAMIL): A theoretical research-based model of learning in immersive virtual reality. *Educational Psychology Review*, 33, 937–958. <https://doi.org/10.1007/s10648-020-09586-2>
- Martín-Gutiérrez, J., Mora, C. E., Añorbe-Díaz, B., & González-Marrero, A. (2017). Virtual technologies trends in education. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 13(2), 469–486.
- Mayer, R. E., & Moreno, R. (2005). A Cognitive Theory of Multimedia Learning: Implications for Design Principles. *Multimedia Learning*, 91, 1–10.
- Milgram, P., Takemura, H., Utsumi, A., & Kishino, F. (1994). Augmented reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. *Proceedings of SPIE*, 2351, 282–292. <https://doi.org/10.1117/12.197321>
- Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63(2), 81–97. <https://doi.org/10.1037/h0043158>
- Mulders, M., Buchner, J., & Kerres, M. (2020). A framework for the use of immersive virtual reality in learning environments. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 15(24), 208. <https://doi.org/10.3991/ijet.v15i24.16615>
- Müser, S., & Fehling, C. D. (2022). AR/VR.nrw – Augmented und Virtual Reality in der Hochschullehre. *HMD*, 59, 122–141. <https://doi.org/10.1365/s40702-021-00815-y>

- Paas, F., & Sweller, J. (2014). Implications of cognitive load theory for multimedia learning. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (2. Aufl., S. 27–42). Cambridge University Press.
- Paas, F., & van Merriënboer, J. J. G. (1994). Instructional control of cognitive load in the training of complex cognitive tasks. *Educational Psychology Review*, 6(4), 351–371. <https://doi.org/10.1007/BF02213420>
- Przybylka, N. (2022). Wer versetzt wen oder was wohin – und wozu? Eine kritische Auseinandersetzung mit Augmented und Virtual Reality in schulischen Bildungsangeboten. *MedienPädagogik. Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung*, 18, 441–467. <https://www.medienpaed.com/article/view/1298>
- Redecker, C., & Punie, Y., European Commission: Joint Research Centre (2017). *European framework for the digital competence of educators: DigCompEdu*. Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2760/159770>
- Rheinberg, F. (2006). Intrinsische Motivation und Flow-Erleben. In J. Heckhausen & H. Heckhausen (Hrsg.), *Motivation und Handeln* (3. Aufl., S. 331–392). Springer.
- Ryan, R. M., & Deci, E.L. (2000): Intrinsic and Extrinsic Motivations: Classic Definitions and New Directions. *Contemporary Educational Psychology*, 25, 54–67. <https://doi.org/10.1006/ceps.1999.1020>
- Schäfer, C., Rohse, D., Gittinger, M., & Wiesche, D. (2023). Virtual Reality in der Schule: Bedenken und Potenziale aus Sicht der Akteur:innen in interdisziplinären Ratingkonferenzen. *MedienPädagogik. Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung*, 51, 1–24. <https://www.medienpaed.com/article/view/1574>
- Schnotz, W., & Kürschner, C. (2007). A reconsideration of cognitive load theory. *Educational Psychology Review*, 19(4), 469–508. <https://doi.org/10.1007/s10648-007-9053-4>
- Schiefele, U., & Köller, O. (2006). Intrinsische und extrinsische Motivation. In D. H. Rost (Hrsg.), *Handwörterbuch pädagogische Psychologie* (3., überarb. und erw. Aufl., S. 303–310). Beltz PVU.
- Schweiger, M., Wimmer, J., Chaudhry, M., Siegle, B. A., & Xie, D. (2022). Lernerfolg in der Schule durch Augmented und Virtual Reality? Eine quantitative Synopse von Wirkungsstudien zum Einsatz virtueller Realitäten in Grund- und weiterführenden Schulen.

Medienpädagogik. Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung, 47, 1–25.
<https://doi.org/10.21240/mpaed/47/2022.04.01.X>

Skarbez, R., Smith, M., & Whitton, M. C. (2021). Revisiting Milgram and Kishino's reality-virtuality continuum. *Frontiers in Virtual Reality*, 2.
<https://doi.org/10.3389/frvir.2021.647997>

Sonntag, D., & Bodensiek, O. (2022). Eye-Tracking-basierte Gestaltung und Evaluation von Mixed Reality Experimentierumgebungen. *PhyDid B – Didaktik der Physik: Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*.

Speicher, M., Hall, B. D., & Nebeling, M. (2019). What is mixed reality? In S. Brewster, G. Fitzpatrick, A. Cox & V. Kostakos (Hrsg.), *CHI 2019: Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, May 4–9, Glasgow, Scotland UK* (S. 1–15). ACM. <https://doi.org/10.1145/3290605.3300767>

Sweller, J. (2003). Evolution of human cognitive architecture. In B. H. Ross (Hrsg.), *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory* (S. 215–266). Academic Press.

Sweller, J., Ayres, P., & Kalyuga, S. (2011). *Cognitive load theory*. Springer.

Sweller, J., & Chandler, P. (1994). Why some material is difficult to learn. *Cognition and Instruction*, 12(3), 185–233. https://doi.org/10.1207/s1532690xci1203_1

Sweller, J., van Merriënboer, J. J. G., & Paas, F. (2019). Cognitive architecture and instructional design: 20 years later. *Educational Psychology Review*, 31(2), 261–292.
<https://doi.org/10.1007/s10648-019-09465-5>

Thees, M., Altmeyer, K., Kapp, S., Rexigel, E., Beil, F., Klein, P., Malone, S., Brünken, R., & Kuhn, J. (2022). Augmented reality for presenting real-time data during students' laboratory work: Comparing a head-mounted display with a separate display. *Frontiers in Psychology*, 13, 804742. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.804742>

Wienrich, C., Komma, P., Vogt, S., & Latoschik, M. E. (2021). Spatial Presence in Mixed Realities – Considerations About the Concept, Measures, Design, and Experiments. *Frontiers in Virtual Reality*, 2. <https://www.frontiersin.org/journals/virtual-reality/articles/10.3389/frvir.2021.694315>

Wilde, M., Bätz, K., Kovaleva, A., & Urhahne, D. (2009). Überprüfung einer Kurzsкала intrinsischer Motivation (KIM). *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 15, 31–45. <https://www.fachportal-paedagogik.de/literatur/vollanzeige.html?FID=3102769>

Wyss, C., Furrer, F., Degonda, A., & Bühler, W. (2022). Augmented Reality in der Hochschullehre: Überlegungen zu einer zukunftsweisenden Ausbildung von Lehrpersonen. *MedienPädagogik. Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung*, 47(AR/VR – Part 1), 118–137. <https://doi.org/10.21240/mpaed/47/2022.04.06.X>

Zender, R., Weise, M., von der Heyde, M., & Söbke, H. (2018). Lehren und Lernen mit VR und AR – Was wird erwartet? Was funktioniert? Conference: Proceedings der Pre-Conference-Workshops der 16. E-Learning Fachtagung Informatik (DeLFI 2018), Frankfurt, Germany, September 10, 2018.