

Lernerfolg in der Schule durch Augmented und Virtual Reality? Eine quantitative Synopse von Wirkungsstudien zum Einsatz virtueller Realitäten in Grund- und weiterführenden Schulen

Moritz Schweiger, Jeffrey Wimmer, Maiyra Chaudhry, Beatriz Alves Siegle, Dianchu Xie

Angaben zur Veröffentlichung / Publication details:

Schweiger, Moritz, Jeffrey Wimmer, Maiyra Chaudhry, Beatriz Alves Siegle, and Dianchu Xie. 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*, no. 47: 1–25. <https://doi.org/10.21240/mpaed/47/2022.04.01.X>.


Themenheft Nr. 47:

Immersives Lehren und Lernen mit Augmented und Virtual Reality – Teil 1.

Herausgegeben von Josef Buchner, Miriam Mulders, Andreas Dengel und Raphael Zender

Lernerfolg in der Schule durch Augmented und Virtual Reality?

Eine quantitative Synopse von Wirkungsstudien zum Einsatz virtueller Realitäten in Grund- und weiterführenden Schulen

Moritz Schweiger¹ , Jeffrey Wimmer¹ , Maiyra Chaudhry¹ , Beatriz Alves Siegle¹ 
und Dianchu Xie¹ 

¹ Universität Augsburg

Zusammenfassung

Obgleich die Erforschung des pädagogischen Einsatzes von Augmented Reality (AR) und Virtual Reality (VR) an Schulen in den letzten Jahren zugenommen hat, sind systematische Analysen des Lernerfolgs in diesem Bereich spärlich gesät. Die quantitative Synopse wertet 30 aktuelle Studien aus verschiedenen Forschungsbereichen aus. Theoretischer Hintergrund der Studie sind die Modelle des Lernerfolgs nach Puentedura (2010) und Schlicht (2014) sowie das Modell der Medienkompetenz nach Baacke (1996). Die Synopse zeigt, wie AR- und VR-Anwendungen Schüler:innen und Lehrpersonal in diesen schwierigen Zeiten entlasten und zum Lernerfolg beizutragen können. Ihr Einsatz bietet zahlreiche Vorteile, die viele Herausforderungen des heutigen Bildungssystems mildern können. So kann z. B. eine immersive Erfahrung durch VR das Erinnerungsvermögen unterstützen, indem das Gelernte länger behalten und tiefgründiger verstanden wird als ohne den Einsatz von VR-Technologie.

Learning Success in School Through Augmented and Virtual Reality? A Quantitative Synopsis of Impact Studies on the Use of Virtual Realities in Primary and Secondary Schools

Abstract

Although research into the pedagogical use of AR and VR in schools has increased in recent years, systematic analyses of learning success in this area are sparse. The quantitative synopsis evaluates 30 current studies from different research areas. The theoretical background of the study are the models of learning success according to Puentedura (2010) and Schlicht (2014) as well as the model of media competence according to Baacke (1996). The synopsis shows that AR and VR applications can relieve students

and teachers in these difficult times – contact restrictions, home-schooling, poor school equipment – and contribute to learning success. Usage offers numerous advantages that can mitigate many of the challenges of today's global education system. For example, an immersive experience through VR can support memory by retaining learning longer and understanding it more deeply than without the use of VR technology. It thus allows for a multi-modal and situational learning experience that can fundamentally change the motivation of young students.

1. Einleitung

Die Corona-Pandemie hat den Alltag von Schüler:innen und Studierenden weltweit vor besondere Herausforderungen gestellt. Innerhalb weniger Wochen verlagerte sich die Präsenzlehre in virtuelle Unterrichtsräume, was mit drastischen sozialen und technischen Umstellungen für Lehrende und Lernende verbunden war. So gaben 42,1% der Befragten einer repräsentativen Online-Umfrage unter Studierenden an, aufgrund der höheren Arbeitsbelastung sowie pandemiebedingter Beeinträchtigungen ihrer sozialen und mentalen Zustände im Jahr 2020 weniger Studienveranstaltungen besucht zu haben (Taus et al. 2020, 18-22). Während die Pandemie die Lehre an Universitäten und Hochschulen stark belastete, stellten Schulschliessungen und virtuelle Lehre die Schüler:innen an Grund- und weiterführenden Schulen v. a. während den ersten Corona-Wellen vor noch grössere Herausforderungen, da hier die Fähigkeit zum selbstständigen Lernen weniger ausgeprägt ist als unter Studierenden (Bahn 2020). Der Einsatz realistischer Lernumgebungen mithilfe von Augmented Reality (AR) und Virtual Reality (VR) kann hier Abhilfe schaffen, da er einen orts- und zeitunabhängigen Unterricht ermöglicht und den Schüler:innen im Gegensatz zu Bildschirmanwendungen stärker das Gefühl vermittelt, trotz physischer Distanz vor Ort zu sein. Neben den pandemiebedingten Vorteilen für den Distanzunterricht bieten AR und VR zudem neue Möglichkeiten der interaktiven Wissensvermittlung und können so auch den Präsenzunterricht unter Normalbedingungen bereichern.

Obgleich die Erforschung des Einsatzes von AR und VR in Grund- und weiterführenden Schulen in den letzten Jahren zugenommen hat, sind wissenschaftliche Analysen des Lernerfolgs in diesem Bereich spärlich gesät. Meta-Studien und systematische Aufarbeitungen des Forschungsstandes, die sich ausschliesslich mit dem Einsatz von AR und VR in den unteren Schulfeldern befassen, sucht man ebenfalls vergeblich, was vor allem auf die starke Assoziation dieser Technologien mit höheren Bildungsstufen zurückzuführen ist. So behandeln beispielsweise zwei Drittel der von Tekedere und Göker (2016) analysierten Studien zu AR im Bildungsbereich den Einsatz in der Oberstufen- und Hochschullehre. Eine ähnliche Gewichtung lässt sich bei Meta-Studien zu VR feststellen (z. B. Merchant et al. 2013). Zwar kommen beide Studien zu dem Resümee, dass der Einsatz von AR bzw. VR einen gesteigerten Lernerfolg

zur Folge haben kann, können diese Aussage allerdings für Oberstufenschüler:innen oder Studierende treffen. Das grosse Potenzial erweiterter bzw. virtueller Realitäten für Kinder und Jugendliche der Grund-, Unter- oder Mittelstufe, die Lernmotivation zu steigern und komplexe Sachverhalte intuitiv und interaktiv zu veranschaulichen, wird in der Forschung weitestgehend ignoriert. Die nachfolgende Synopse möchte einen Beitrag leisten, diese Forschungslücke zu schliessen, und widmet sich der Forschungsfrage, *inwiefern der Einsatz von AR und VR an Grund- und weiterführenden Schulen zur Steigerung des Lernerfolgs beitragen kann*.

Zur Beantwortung dieser Frage wurde eine quantitative Synopse durchgeführt, in der 30 Studien aus verschiedenen Forschungsbereichen inhaltsanalytisch ausgewertet wurden. Ziel der Synopse ist eine systematische Kategorisierung der Studien anhand von technischen, pädagogischen, zeitlichen und psychologischen Kontexten des Lernerfolgs sowie der Vermittlung von Medienkompetenz. Sie kann damit einerseits eine Aussage darüber treffen, inwiefern sich AR und VR an Grund- und weiterführenden Schulen hinsichtlich ihrer technischen Umsetzung und erziehungswissenschaftlichen Ausrichtung sinnvoll einsetzen lassen. Andererseits kann die Kategorisierung als Ausgangspunkt für qualitative Studien dienen, um den konkreten Einfluss von AR und VR auf den Lernerfolg tiefergehend zu erforschen.

Bevor wir auf die Ergebnisse eingehen, soll zunächst der theoretische Hintergrund unserer Synopse erläutert werden (Abschnitt 2), allen voran die Modelle des Lernerfolgs nach Puentedura (2010) und Schlicht (2014) sowie das Modell der Medienkompetenz nach Baacke (1996). Im Anschluss stellen wir unser methodisches Vorgehen vor (Abschnitt 3). Die Ergebnisse werden in Abschnitt 4 präsentiert und diskutiert, bevor wir schliesslich in der Synopse die Ergebnisse zusammenfassen und Möglichkeiten für Anschlussstudien erläutern.

2. Theoretischer Hintergrund

2.1 Definition von AR und VR und ihr Potential für den Lernerfolg

Für eine valide und trennscharfe Synopse von Studien zum Einsatz von AR und VR gilt es zunächst, diese beiden unterschiedlichen Technologien sowie deren Anwendungsmöglichkeiten zu differenzieren. Dafür kann auf die grundlegende Definition von Azuma (1997, 355f.) zurückgegriffen werden:

«Augmented reality (AR) is a variation of virtual environments (VE), or virtual reality as it is more commonly called. VE technologies completely immerse a user inside a synthetic environment. While immersed, the user cannot see the real world around him. In contrast, AR allows the user to see the real world, with virtual objects super imposed upon or composited with the real world.» (Azuma 1997, 355f.)

Unter VR versteht man somit das (fast) vollständige Eintauchen in eine virtuelle, von der realen Welt getrennte Umgebung, während AR die reale Welt mit virtuellen Inhalten überlagert. Beide Technologien können entlang des Mixed Reality Kontinuums nach Milgram et al. (1994) eingeordnet werden, welches die Bandbreite einer komplett realen Umgebung bis zu einer komplett virtuellen Umgebung beschreibt. Obgleich AR bzw. VR somit unterschiedliche Bereiche des Spektrums vermischter Realitäten abbilden, weisen sie dennoch Gemeinsamkeiten auf, die eine gebündelte Analyse im schulischen Kontext rechtfertigen. So ermöglichen beide Technologien eine dreidimensionale Darstellung virtueller Objekte im Raum, das Ausblendenden von Umwelteinflüssen und eine erweiterte Wahrnehmung. Ihre intuitive Bedienung durch Gestensteuerung sowie das hohe Mass an Interaktivität sind weitere Aspekte, durch die sich AR und VR auszeichnen und von anderen Lernmaterialien bzw. -technologien unterscheiden.

Das Potenzial von AR/VR als Visualisierungs-Technologie der Zukunft zeigt sich in einem steigenden Gesamtabsatz, der im Jahr 2023 voraussichtlich rund 69 Millionen AR/VR-Brillen erreichen wird (Tenzer 2019). Gemäss einer PwC-Analyse werden im Jahr 2030 rund 400.000 Menschen in Deutschland mit AR/VR-Anwendungen arbeiten (PricewaterhouseCoopers 2019). Ihre Einsatzmöglichkeit als zukünftige Lern-Technologie lässt sich derzeit am zunehmenden Erfolg von AR/VR im Tourismus erkennen. So sorgen beispielsweise AR-Stadt- und Museumsführer dafür, dass sich Stadtbewohnende oder Tourist:innen verstärkt mit den kulturell-historischen Gegebenheiten ihrer näheren Umgebung auseinandersetzen und somit spielerisch Kenntnisse vermittelt bekommen (Nóbrega et al. 2017). Obgleich Tourismus nur indirekt Erwachsenenbildung berührt, liefern diese Ergebnisse erste Hinweise auf das Potenzial, das AR/VR für den Bildungsbereich bietet. Dieses Potenzial soll durch die Konzeptualisierung des Lernerfolgs konkretisiert werden.

2.2 Die Konzeptualisierung des Lernerfolgs

Um die Auswirkungen der Verwendung von AR/VR im Unterricht fassen zu können, greifen wir auf zwei Theoriemodelle zurück, die Lernerfolg jeweils aus unterschiedlichen Perspektiven skizzieren.

Um die technischen Kontexte des Lernerfolgs zu erfassen, beziehen wir uns auf das SAMR-Modell nach Puentedura (2010). Es verdeutlicht, wie digitale Technologien zur Verbesserung der Gestaltung von Lernmethoden eingesetzt werden können (Tabelle 1). Obgleich es bis heute noch keinem vollständigen Peer-Review-Prozess unterzogen wurde, erweist es sich im Rahmen der Synopse als ein sinnvolles Analyseinstrument, da es die vielschichtige Transformation der traditionellen (analogen) Lehre zu einer digitalen auf vier Ebenen konzeptualisiert, wobei die Bedeutung digitaler Medien mit steigendem Niveau zunimmt. Während die unteren zwei Ebenen lediglich

zu einer Verbesserung herkömmlicher Lernmethoden beitragen, wird auf den oberen zwei Ebenen Lehr-Lernen grundlegend transformiert. Die unterste Ebene der Substitution beschreibt Lehrstrategien, in denen schulische Arbeitsmaterialien durch digitale Technologien lediglich ersetzt werden, die Lernmethode allerdings nicht verbessern (z. B. Substitution von Print- durch AR-Bücher). Augmentation hingegen beschreibt eine signifikante, funktionale Verbesserung von Lernabläufen durch die Integration digitaler Technologien (z. B. die dreidimensionale Visualisierung biologischer Prozesse in AR-Brillen). Beim Teilprozess der Modifikation handelt es sich um die radikale Umgestaltung von Lernmethoden durch digitale Technologien, die den Schüler:innen neue Lern- und Erfahrungsräume eröffnen (z. B. die personalisierte Anpassung des Schwierigkeitsgrads und des Lerntempos im Präsenzunterricht durch VR-Brillen). Die Ebene der Redefinition umfasst die Entwicklung völlig neuartiger Lernaufgaben und -umgebungen durch den Einsatz digitaler Technologien (z. B. die Wissensvermittlung in virtuellen Rundgängen durch historische Städte oder der Einsatz von Flipped Classroom-Lösungen in Kombination mit VR-Brillen) (ebd.).

R	<i>Redefinition:</i> Digitale Medien ermöglichen neuartige Aufgabenformate, die analog nicht denkbar sind.	Transformation
M	<i>Modifikation:</i> Digitale Medien ermöglichen eine bedeutsame Umgestaltung von Aufgaben.	
A	<i>Augmentation:</i> Digitale Werkzeuge sind ein direkter Ersatz für Arbeitsmittel mit zusätzlichen Möglichkeiten.	Erweiterung
S	<i>Substitution:</i> Digitale Medien sind ein direkter Ersatz für analoge Arbeitsmittel.	

Tab. 1: SAMR-Modell von Puentedura (2010).

Mit dem Strukturmodell zur Lernerfolgsanalyse von Schlicht (2014), das den substanziellen Lernerfolg aus der Perspektive der Schüler:innen fokussiert, werden die pädagogischen Kontexte des Lernerfolgs erfasst. Dabei wird Lernen als multidimensionales Phänomen betrachtet, das aus fünf Elementen besteht: Kenntnisse, Fähigkeiten, Fertigkeiten, Motivation und Einstellungen (ebd.). Kenntnisse, Fähigkeiten und Fertigkeiten beschreiben Handlungen in Verbindung mit Kognition, Sensorik, Metakognition und sozialen Prozessen (z. B. besseres Auswendiglernen durch AR/VR). Motivation umfasst Emotionen in Bezug auf Willen oder Absicht und den emotionalen Prozess der Handlungsanpassung (Schlicht 2014, 48f.). In unserer Synopse liegt das Hauptaugenmerk darauf, wie der Belohnungsmechanismus von AR/VR Schüler:innen ermöglicht, Motivationen zur Ausführung von Lernaufgaben zu erzeugen. Das letzte Element sind Einstellungen bzw. dauerhafte objekt- und situationsbezogene Werthaltungen in Bezug auf persönliche Ziele und Motive (Blisky 2005, 301): Sind Schüler:innen beispielsweise gegen die Anwendung der AR/VR-Technologie resistent? Sind sie in der Lage, sich den zukünftigen Einsatz der AR/VR-Technologie im Unterricht vorzustellen?

Um Lernerfolg darüber hinaus aus einem allgemeineren Kontext zu erfassen, entschlossen wir uns, die technische und pädagogische Perspektive unserer Synopse um einen zeitlichen und psychologischen Fokus zu erweitern. Dadurch kann berücksichtigt werden, inwiefern sich Lernerfolg durch AR/VR anhand kurz-, mittel- oder langfristiger Effekte bemerkbar macht und ob es eher das Denken (kognitiv), Fühlen (affektiv) oder Handeln (konativ) der Schüler:innen beeinflusst.

2.3 Die Konzeptualisierung von Medienkompetenz

Der Einbezug der Medienkompetenz ermöglicht uns zu untersuchen, inwieweit AR/VR weitere Handlungsmöglichkeiten erschliessen und den Erfahrungsraum der Schüler:innen erweitert (Baacke 1996, 114). Dabei kann Medienkompetenz als ein spezifischer Teilaspekt des Lernerfolgs-Modells nach Schlicht (2014) erachtet werden, da die Fähigkeit, mit neuen Medien kritisch umzugehen und sie entsprechend den eigenen Bedürfnissen zu nutzen, insbesondere von Schüler:innen der Grund- und weiterführenden Schulen zunächst erlernt werden muss. Baacke (ebd.) beschreibt Medienkompetenz als eine Anforderung an die Mitglieder moderner Gesellschaften, wenn es zur aktiven Teilnahme an der Mediengestaltung kommt und zugleich eine Förderung des medien- und nutzerkritischen Umgangs stattfinden soll. Es werden vier Elemente der Medienkompetenz differenziert: Medienkritik, Medienkunde, Mediennutzung und die Mediengestaltung. Die *Medienkritik* wird spezifisch in Bezug auf die Nutzung von AR/VR betrachtet: Wann sollte die Technologie genutzt werden und welche ethischen Grundlagen existieren hierfür? Die *Medienkunde* bringt nahe, wie AR/VR-Technologien bedient werden sollten und welches Vorwissen über die AR/VR-Industrie bei den Nutzenden vorhanden ist. Die *Mediennutzung* behandelt die Frage, ob die Schüler:innen kompetent genug sind, die AR/VR-Inhalte zu rezipieren und zu verarbeiten. Schliesslich betrachtet die *Mediengestaltung* die kreative Seite und das Gestalten eigener AR/VR-Inhalte.

3. Methodik

Zur Beantwortung unserer Forschungsfrage, inwiefern der Einsatz von AR/VR zum Lernerfolg an Grund- und weiterführenden Schulen beitragen kann, wurde eine quantitative Synopse des Forschungsstands durchgeführt. Dabei wurden sowohl formale als auch inhaltliche Kategorien definiert. Mithilfe von *formalen Kategorien* wurde bspw. die verwendete Technologie erfasst (VR oder AR), das behandelte Schulfach oder Limitationen, auf welche die Forschenden im Rahmen ihrer Studien hinwiesen.

Die *inhaltlichen Kategorien* dienten der Analyse der skizzierten Kontexte des Lernerfolgs: Um die Merkmale des Lernerfolgs aus technischer Perspektive zu klassifizieren, diente das SAMR-Modell von Puentendura (2012), aus dem wir vier

Hauptkategorien ableiteten: Substitution, Augmentation, Modifikation und Redefinition. Zur Erfassung der pädagogischen Komponenten des Lernerfolgs wurde auf das Strukturmodell nach Schlicht (2014) zurückgegriffen und ebenfalls in vier Hauptkategorien operationalisiert: Kenntnisse, Fähigkeiten und Fertigkeiten,¹ Motivation sowie Einstellungen. Die durch den schulischen Einsatz von AR/VR geförderte Medienkompetenz kategorisierten wir in Anlehnung an Baacke (1996) anhand der Dimensionen Medienkritik, Medienkunde, Mediennutzung und Mediengestaltung.

Nach Durchführung des Pretests wurden die acht Hauptkategorien des Lernerfolgs u. a. durch induktiv gebildete Unterkategorien komplementiert, um eine hinreichend differenzierte Analyse des Lernerfolgs durch AR/VR zu gewährleisten. So wurden beispielsweise für die Hauptkategorie «Augmentation» folgende Spezifizierungen festgehalten: «Anschauliche Visualisierung fürs Plenum», «Entlastung der Lehrkraft», «Ansprechende Darstellung der Lernobjekte». Insgesamt ergaben sich zur Erfassung des Lernerfolgs acht Haupt- und 36 Unterkategorien. Zur Analyse der Medienkompetenz erwiesen sich die vier deduktiv abgeleiteten Hauptkategorien als ausreichend. Um die Effekte des Lernerfolgs hinsichtlich ihrer psychologischen und zeitlichen Komponenten zu erfassen, wurden die Studien ihrerseits nach kognitiven, affektiven, und konativen bzw. kurzfristigen-, mittelfristigen-, und langfristigen Wirkungen kategorisiert.

Als erster Schritt des Samplings wurde definiert, anhand welcher Kriterien wissenschaftliche Arbeiten für die Synopse ausgewählt werden sollen. Dabei wurde festgelegt, dass es sich ausschliesslich um Peer-Reviewed-Papers handeln sollte, die mindestens eine empirische Studie enthalten. Für die Literaturrecherche griffen wir auf die Datenbanken Taylor and Francis, Web of Science, JSTOR, SAGE, Springer Link und Google Scholar zurück, wobei sich unsere Forschungsfragen in folgenden Key Words widerspiegelten: «Virtual Reality» OR «Augmented Reality» AND «School» AND «Learning Success» AND «Experiment».

AR und VR wurden dabei entsprechend den Darlegungen von Azuma (1997, 355f.) definiert (vgl. Absatz 2.1). Da unser Fokus rein auf der Schulausbildung in Grund- und weiterführenden Schulen lag, wurde als weiteres Ausschlusskriterium festgelegt, Studien zum Lernerfolg Studierender bzw. Berufsauszubildender nicht zu berücksichtigen.

Im zweiten Schritt wurde anhand der vorab definierten Auswahlkriterien und Schlüsselbegriffe die Grundgesamtheit an Studien ermittelt, die den Forschungsstand abbilden. Tabelle 2 zeigt die Übersicht über die Studien und die Anzahl an Studien, die darin gefunden wurden. Die neun einschlägigsten Suchergebnisse der jeweiligen Datenbanken wurden anschliessend als Schlüsselstudien festgelegt und in einem dritten Schritt im Pretest codiert.

1 Aufgrund fehlender Trennschärfe wurden Fähigkeiten und Fertigkeiten zu einer Kategorie zusammengefasst.

Plattform	Anzahl der Studien
Taylor and Francis	20
Web of Science	139
JSTOR	108
SAGE	48
Springer Link	977
Google Scholar	127

Tab. 2: Genutzte Plattformen für die Ermittlung der Grundgesamtheit.

Nach dem Pretest orientiert sich die weitere Auswahl an Studien an der in der Grounded Theory etablierten Heuristik des Vergleichs (Glaser und Strauss 1968). Dabei wurden per Schneeballverfahren zunächst Arbeiten ausgewählt, die in minimaler Kontrastierung untereinander ähnliche Forschungsdesigns und -konzepte aufwiesen. Es zeigte sich, dass der Bereich der naturwissenschaftlichen Unterrichtsfächer das überwiegende Forschungsinteresse darstellt. Im Anschluss wurden in maximaler Kontrastierung Arbeiten selektiert, die sich grösstmöglich von den bisher codierten Studien unterschieden. Nun wurden auch Studien hinzugezogen, die sozialwissenschaftliche Unterrichtsfächer behandelten wie Sachkunde, Geschichte oder Sprachen. Dieses als Theoretical Sampling bezeichnete Vorgehen wurde fortgeführt, bis keine weitere Studie einen zusätzlichen Erkenntnisgewinn erbrachte und sich eine theoretische Sättigung ergab (ebd.). Diese wurde nach insgesamt 30 Studien erreicht, die im Zeitraum von April bis Juli 2020 analysiert wurden. Eine Übersicht des methodischen Vorgehens findet sich in Abbildung 1.

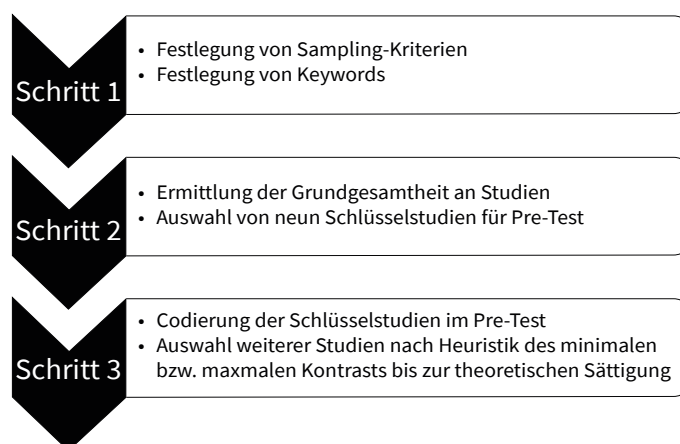


Abb. 1: Methodisches Vorgehen der Synopse.

Die Studien wurden anhand eines induktiv-deduktiv gebildeten Kategoriensystems durch insgesamt drei Kodiererinnen erfasst. Zur Sicherung der Inter-Coder-Reliabilität wurden im Zuge des Pretests zunächst neun Studien ausgewählt, von denen

jede Kodiererin drei Arbeiten codierte. Sowohl die Inhalte der Studien als auch deren Codierung wurden anschliessend in intensiven Gruppendiskussionen miteinander verglichen und besprochen, um ein gemeinsames, grundlegendes Verständnis für das Kategoriensystem zu schaffen. Im Zuge dieses Prozesses wurden die deduktiv gebildeten Kategorien um induktive Kategorien erweitert (Abschnitt 3.1). Auch hier erwies sich die Grounded Theory als zielführend, da sie im Vergleich zu anderen Heuristiken eine Kombination aus induktivem und deduktivem Vorgehen ermöglicht (Glaser und Strauss 1968). Dies ist vor allem ihrer hohen Flexibilität und theoretischen Offenheit geschuldet, wie Wolfswinkel et al. (2013) in ihren methodischen Ausführungen erläutern:

«Moreover, Grounded Theory is not about presenting raw data, theory testing, or word counts; rather, it enables the researcher to come up with a theory-based or concept-centric yet accurate review.» (Wolfswinkel et al. 2013, 47)

Die Auswahl der induktiv gebildeten Kategorien wurde zunächst im gemeinsamen Austausch besprochen und begründet. Dabei wurden prägnante Textpassagen aus den recherchierten Studien gesammelt, die als Schlüsselzitate den induktiven bzw. deduktiven Kategorien zugeordnet wurden und sie definierten. Diese Schlüsselzitate waren für alle Kodiererinnen während des Analyseprozesses zugänglich und wurden während des gesamten Projekts regelmässig überprüft und überarbeitet, bis die theoretische Sättigung erreicht war. Zusätzlich konnten durch die gemeinsame Bearbeitung und ständige Feedbackgespräche mögliche falsche Kodierungen ausgeschlossen werden.

4. Ergebnisse

Zur Beantwortung der Forschungsfrage werden die Ergebnisse unserer Synopse entlang unterschiedlicher Kategorien dargelegt. Zunächst sollen die Einsatzgebiete von AR/VR an Grund- und weiterführenden Schulen sowie Defizite der Forschung beleuchtet werden (Abschnitt 4.1), bevor wir uns den Kontexten des Lernerfolgs widmen: technischer Kontext, pädagogischer Kontext, Medienkompetenz-Kontext, sowie zeitlicher und psychologischer Kontext (Abschnitt 4.2).

4.1 Einsatzgebiete und Defizite der Forschung

Es lässt sich beobachten, dass sich die Mehrzahl der Studien ($n = 24$) mit naturwissenschaftlichen Fächern beschäftigt, insbesondere Physik, Mathematik und Biologie (Tabelle 3). Der Grund dafür könnte sein, dass viele der abstrakten Konzepte, die die Schüler:innen in den Naturfächern verstehen müssen, durch AR/VR-Technologien konkreter dargestellt werden können als durch traditionelle Lehrmethoden

und Lernergebnisse in kurzer Zeit verglichen werden können [4].² Die Geisteswissenschaften wie z. B. Geschichte oder Kunst tauchen hingegen in den Studien relativ selten auf (n = 7).

	Schulfach	Studien
Naturwissenschaftliches Gebiet	Mathematik	[2], [3], [12], [23], [25], [30]
	Biologie	[4], [6], [24], [29]
	Chemie	[5], [18]
	Physik	[7], [8], [14], [19], [21], [27], [28]
	Geografie	[11]
	Naturwissenschaft	[15], [20], [22]
	Astronomie	[16]
Geisteswissenschaftliches Gebiet	Sachkunde	[1], [10]
	Geschichte	[9]
	Englisch	[13], [17]
	Kunst	[26]

Tab. 3: Fokussierte Schulfächer.

Was die Limitationen der Studien angeht, wird von den Forschenden am häufigsten das *Fehlen einer Kontrollgruppe* genannt (n = 5) und bspw. auf administrative Beschränkungen an Schulen zurückgeführt [26], was die Reliabilität der Studienergebnisse beeinträchtigen könnte. Darüber hinaus muss auch die Qualität der *Effekte von Lerngegenständen*, die durch AR/VR präsentiert werden, verbessert werden (n = 5), z. B. die Qualität von virtuellen 3D-Objekten [6]. Ausserdem gehören ein zu kurzer Untersuchungszeitraum und fehlende pädagogische Unterstützungen durch die Lehrkräfte – z. B. bei der Entwicklung von Lernprozessen und digitalen Lernmaterialien [20] – zu den Forschungs- und pädagogisch-didaktischen Limitationen (Tabelle 4).

Relevante Aspekte	Studien
Keine Kontrollgruppe	[9], [11], [12], [21], [26]
Qualität der Objekte in der virtuellen Lernumgebung muss verbessert werden	[3], [5], [7], [15], [22]
Untersuchungszeitraum zu gering	[6], [18], [21], [28]
Fehlende pädagogische Unterstützung durch die Lehrkraft	[2], [3], [20]

Tab. 4: Limitationen der Studien.

Darüber hinaus sollte festgehalten werden, dass es sich aufgrund der Neuartigkeit der Technologie bei einem Grossteil der Untersuchten um Schüler:innen um Erstnutzende handelte, die zum ersten Mal eine AR/VR-Brille nutzen durften. Ob sich

² Eine übersichtliche Nummerierung der analysierten Studien findet sich im Anhang.

AR/VR auch im Dauerbetrieb als motivierendes Lerninstrument durchsetzen wird, kann erst nach einer dauerhaften Etablierung der Technologie im Schulsystem bewertet werden.

4.2 Die vier Kontexte des Lernerfolgs durch AR/VR

4.2.1 Der technische Kontext

Hinsichtlich des technischen Kontexts des Lernerfolgs muss zunächst festgehalten werden, dass sich die Zuordnung der Studien bzw. der darin verwendeten AR/VR-Technologien nach dem SAMR-Modell jeweils auf ihr analoges Pendant bezieht. Der Einsatz von AR/VR führte in diesen Studien somit zu einer Substitution, Augmentation, Modifikation oder Redefinition der jeweiligen Unterrichtssituation in einer (zu-)vor) nicht augmentierten bzw. virtuellen Realität. Dies sollte bei der Einschätzung der Ergebnisse berücksichtigt werden.

Lernerfolg durch Substitution: Viele traditionelle Lernmaterialien und -methoden im schulischen Unterricht können durch AR/VR-Technologien ersetzt werden (Tabelle 5). Dabei sind Lehrbücher (n = 20) und Arbeitsblätter (n = 13) die am häufigsten durch AR/VR substituierten Medien. Ordner, Rechentafeln und Audios als traditionelle Lehrmedien lassen sich dagegen nur in sehr wenigen Studien durch Materialien aus der AR/VR-Technologie einsetzen (n = 4). Das Lehren und Lernen mit AR/VR ist nicht nur interessanter als das Lernen aus einem Buch [11], sondern ermöglicht den Schüler:innen auch, sich Kenntnisse aktiv anzueignen, statt sie passiv aufzunehmen [25]. Ausserdem vermittelt die virtuelle Lernumgebung den Schüler:innen ein realistisches Verständnis der Konzepte in einem eingebetteten Kontext [10].

Medium	Studien
Lehrbücher	[1], [2], [5], [6], [7], [8], [9], [11], [12], [13], [14], [15], [18], [19], [20], [22], [23], [24], [27], [30]
Arbeitsblätter/-hefte	[1], [2], [5], [6], [10], [12], [19], [20], [22], [23], [24], [29], [30]
Bilder/Bilderbuch	[1], [4], [5], [6], [10], [11], [22], [26]
Overhead-Projektor, Tafel	[1], [9], [21], [25], [26], [27]
Video	[6], [24], [28]
Partnerarbeit	[2], [6], [9]
Haptisches Lernmittel	[4], [16], [27]
Ordner	[1], [2]
Rechentafeln	[2]
Audio	[17]

Tab. 5: Lernerfolg durch Substitution.

Lernerfolg durch Augmentation: Fast alle Studien zeigen, dass die AR/VR-Technologie eine funktionale Erweiterung des Lernens mit sich bringt, indem sie die Visualisierung und Skalierung von abstrakten Lernobjekten ermöglicht (n = 28) (Tabelle 6). Beispiele sind die Darstellung von geologischen Strukturen, die in realen Umgebungen mit blossen Auge nicht zu erkennen sind [11] oder biologische Präparate, die durch AR/VR-Technologien «aktiviert» werden können [29]. Ausserdem werden die Lerninhalte nicht mehr traditionell durch die Lehrkraft vermittelt, sondern durch den Einsatz der Multimedia-Technologie, was die Belastung der Kapazitäten der Lehrkräfte reduziert. Zum Beispiel kann die VR-Technologie die erstmalige Führung der Schüler:innen durch eine Bibliothek durch Lehrpersonal ersetzen [10] oder die Schüler:innen können durch AR-Anwendungen unabhängig und interaktiv in kleinen Gruppen lernen, ohne dass Lehrende in den Lernprozess involviert sind [23]. Da die Lerninhalte über solche Geräte jedem:r Lernenden individuell präsentiert werden können, ist die Darstellung der Lerninhalte, einschliesslich Schriftart, Bildschirmgrösse und Farbe, für die Schüler:innen optimal. Dies regt auch deren Kreativität besser an und ermöglicht ihnen, ihr eigenes einzigartiges Projekt durch AR/VR-Technologie zu kreieren und zu präsentieren [1].

Funktionale Verbesserung	Studien
Visualisierung und Skalierung abstrakter Lernobjekte	[1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [14], [15], [16], [18], [19], [20], [21], [22], [23], [24], [25], [26], [27], [28], [29], [30]
Entlastung der Lehrkraft	[1], [2], [3], [4], [5], [7], [8], [9], [10], [12], [13], [19], [22], [23], [24], [25], [26]
Individuelle Visualisierung fürs Plenum	[1], [2], [3], [4], [6], [7], [8], [13], [14], [15], [16], [17], [18], [27]

Tab. 6: Lernerfolg durch Augmentation.

Lernerfolg durch Modifikation: In der Analyse der Modifikation lassen sich zwei wichtige Aspekte der Neugestaltung und Erweiterung des Lernprozesses durch AR/VR-Technologie erkennen (Tabelle 7). So bietet die als *Mash-up Media* bezeichnete Kombination von AR/VR-Anwendungen mit vorhandenen Medieneingabegeräten für Lernprojekte grosse Potenziale, um immersive Lernerfahrungen mit digitalen, spielbasierten Lernkonzepten zu schaffen (z. B. die Kombination von Smartphones und AR-Applikationen) [3]. Ebenso kann Mash-up Media genutzt werden, um den Standort der Schüler:innen in einer virtuellen Lernumgebung per GPS-Tracking zu erkennen und die entsprechenden Lernaufgaben und Lernmaterialien besser zu präsentieren [15]. Ein weiterer wichtiger Aspekt der Modifikation ist die Implementierung individuellen Lernens, was bedeutet, dass die Schüler:innen das Tempo und den Zeitraum des Lernens entsprechend ihrem Wissensstand anpassen können. Auf

diese Weise können sie nicht nur leichter explorativ lernen und ihr Verständnis für den Lerngegenstand erhöhen, sondern auch Teamwork-Fähigkeiten entwickeln und die Problemlösung im Lernprozess erleichtern [20].

Umsetzung	Studien
Mash-up Media	[1], [2], [3], [4], [7], [8], [9], [10], [13], [14], [15], [17], [18], [19], [20], [22], [23], [24], [26]
Individualisierung (nach Leistung & Zeit)	[1], [2], [3], [6], [7], [8], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22], [24], [25], [26], [27], [28], [29], [30]

Tab. 7: Analyse der Modifikation.

Lernerfolg durch Redefinition: Der Einsatz von AR/VR-Technologie hat nicht nur traditionelle Methoden des Lernens verändert, sondern auch neue Möglichkeiten in diesem Bereich geschaffen (Tabelle 8). Eine der Besonderheiten ist, dass Schüler:innen ohne die Beschränkungen von Zeit und Ort asynchron lernen können. Zum Beispiel können sie virtuelle Laboratorien individuell und in ihrer freien Zeit erkunden [21] oder nach dem «Flipped Classroom»-Modell zu Hause lernen und ihre Kenntnisse im Unterricht gezielt anwenden und vertiefen [13]. Ein weiterer Ansatz der Redefinition ist die virtuelle Exkursion, die den Lernort in eine virtuelle Umgebung verlegt. Beispielsweise erhalten Schüler:innen die Aufgabe, mathematische Brüche in einer virtuellen Spielwelt zu lösen, die als Spielplatz kreiert wurde. Darüber hinaus werden solche virtuellen Umgebungen wegen ihrer Einzigartigkeit und ihres Spassfaktors im Allgemeinen vor allem von leistungsfähigeren Schüler:innen genutzt [21].

Neue Möglichkeiten	Studien
Asynchrones Lernen und Flipped Classroom	[1], [2], [3], [4], [6], [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15], [17], [18], [21], [22], [23], [24], [27], [28], [29], [30]
Virtuelle Exkursion	[1], [2], [6], [10], [11], [20], [26]

Tab. 8: Analyse der Redefinition.

4.2.2 Der pädagogische Kontext

Auch hinsichtlich des pädagogischen Kontexts des Lernerfolgs muss berücksichtigt werden, dass die Ergebnisse der Studien zu AR/VR nicht losgelöst vom analogen Unterricht betrachtet werden können. Sie untersuchen die Förderung von Kenntnissen, Fähigkeiten, Motivation oder Einstellungen jeweils im Vergleich zu nicht augmentierten bzw. virtualisierten Lehrmethoden und kommen dabei zu folgenden Ergebnissen.

Lernerfolg durch Kenntnisse: Der Einsatz von AR/VR im schulischen Bereich kann zu einem pädagogischen Lernerfolg durch den Erwerb von Kenntnissen beitragen (Tabelle 9). Kenntnisse können dabei nach Puenteadura (2010) in die Wissensformen prozedurales, deklaratives und strategisches Wissen untergliedert werden, wobei

sich auch Überschneidungen innerhalb einer Studie feststellen liessen.³ Prozedurales Wissen über Methoden und Techniken bzw. Aufgaben- und Problemlösungen wurde in zahlreichen Studien durch den Einsatz von AR/VR gefördert (n = 27). Rossano et al. 2020 [23] stellen dazu in ihrer Analyse von AR/VR im Geometrie-Unterricht fest, dass

«the AR application acted as a reinforcing tool for concepts that pupils have already well acquired. But it is worth noticing that it has effectively supported pupils in learning concepts related to solid dimensions, vertices, edges and faces» (Rossano et al. 2020, 107777).

Es zeigt sich, dass der Erwerb von prozeduralem Wissen effektiv durch die Nutzung dieser neuen Technologie unterstützt wird. Das gleiche gilt für deklaratives Wissen über Begriffe, Zustände und Ereignisse (n = 23). Dabei werden beispielsweise mithilfe von AR/VR gesetzmässige Zusammenhänge verstanden, etwa schwer visualisierbare Konzepte der Physik [8]. Zuletzt trägt AR/VR zu einem Kenntniserwerb in Form von strategischem Wissen bei, z. B. Handlungskonsequenzen, allgemeines Bewusstsein für den gesamten Prozess und zur Verwendung des AR/VR-Geräts. Schüler:innen haben die Möglichkeit, das neue Medium zu benutzen und kennenzulernen und sich somit neue Kenntnisse anzueignen, indem sie die Nutzung kritisch hinterfragen [1]. Ausserdem erweitern sie ihr strategisches Wissen, indem sie vor neue Herausforderungen gestellt und zum Nachdenken gebracht werden, ihre eigenen Handlungen hinterfragen und sich weitere Strategien überlegen [2].

Erworbene Kenntnisse	Studien
Prozedurales Wissen	[1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22], [23], [24], [25], [26], [27], [28]
Deklaratives Wissen	[1], [2], [3], [4], [6], [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [18], [19], [20], [23], [24], [25], [26], [27], [29]
Strategisches Wissen	[2], [3], [6], [11], [13], [15], [16], [17], [24], [28], [30]

Tab. 9: Lernerfolg durch Kenntnisse.

Lernerfolg durch Fähigkeiten: Mithilfe von AR und VR können Schüler:innen im Unterricht neue Fähigkeiten erlernen oder sich bestehender Begabungen bewusstwerden (Tabelle 10). So fördert beispielsweise die Wahrnehmung neuartiger visueller, auditiver und teilweise auch taktiler Reize in AR/VR multi-sensorische Fähigkeiten [14]. Ebenso ermöglichen AR-Anwendungen den Lernenden, unterschiedliche kognitive Funktionen auszuüben und ihre Wahrnehmungsressourcen mit den eigenen

³ Hinsichtlich der Kategorisierung ist festzuhalten, dass eine Studie ausschliesslich einer Wissensform zugeordnet wurde, wenn der Anteil der durch die AR/VR-Anwendung geförderten Wissensform im Vergleich zu den anderen beiden Wissensformen mehr als 50 Prozent betrug. Bei einem Anteil von unter 50 Prozent waren Mehrfach-Zuordnungen innerhalb einer Studie möglich (s. Tabelle 9).

körperlichen Handlungen zu koordinieren [4]. In einer Analyse des Einsatzes von AR im Astronomieunterricht an Grundschulen resümieren Fleck und Simon (2013) [13]: «pupils benefit from a reduced complexity to construct a scientific comprehension of phenomena» (7). Ausserdem unterstützt eine immersive Erfahrung durch VR das Erinnerungsvermögen, indem das Gelernte länger behalten und tiefgründiger verstanden wird als ohne den Einsatz von VR-Technologie [18]. Dabei wird auch das reflexive Denken begünstigt, also die Fähigkeit, den Lernprozess nach dem Lernen durch den Einsatz von AR/VR-Geräten zu reflektieren und zusammenzufassen. Diese Diskussionen und Reflexionen helfen den Schüler:innen, das eigene Bestandswissen mit den zusätzlich erworbenen Kenntnissen zu verknüpfen, was den Lernprozess unterstützt [20]. Weitere Fähigkeiten, die in den Studien nachgewiesen wurden, waren die Möglichkeit, in Gruppen zu arbeiten (synchron [16] als auch asynchron, online [20]) oder das Basteln von eigenen AR/VR- Brillen, die die Motivation der Schüler:innen für das Gelernte steigert [3].

Angewendete Fähigkeiten/Erworbenne Begabungen	Studien
Multisensorische-Fähigkeiten	[1], [2], [3], [4], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [14], [13], [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22], [23], [24], [25], [26], [27], [28], [30]
Erinnerungsvermögen	[2], [4], [5], [6], [7], [9], [14], [15], [18], [19], [20], [22], [23], [24], [25], [26], [27]
Reflexive Fähigkeiten	[1], [2], [6], [8], [12], [13], [15], [17], [20], [22], [25], [28], [29], [30]
Herstellung eigener AR/VR-Brillen	[1], [2], [3], [5], [6], [12], [15], [25], [28], [29], [30]
Soziale Interaktion	[1], [2], [3], [4], [6], [16], [20], [21], [23], [30]

Tab. 10: Analyse der Fähigkeiten.

Lernerfolg durch Motivation: Nicht weniger relevant für den Lernerfolg ist die Motivation zum Lernen, die massgeblich durch AR/VR gefördert werden kann (Tabelle 11). Dies umfasst willensbezogene sowie emotionale Prozesse der Handlungsregulation, um Lernende regelmässig zum Lernen zu motivieren. Allein die Nutzung von AR/VR kann als Motivationsfaktor für schulisches Lernen erachtet werden [7]. Daneben werden meistens Punktesysteme eingesetzt (n = 11), um Schüler:innen während eines AR-Spiels zu schnelleren Antworten anzuspornen [15]. Ebenso können herausfordernde Lernaufgaben mit personalisiertem Schwierigkeitsgrad oder spezielle Levels in AR/VR-Anwendungen die Lernenden zu einer spielerischen Auseinandersetzung mit Lerninhalten motivieren [3]. Sowohl klar vorgegebene Lernziele als auch direktes, durch AR/VR-Technologie vermitteltes Feedback helfen den Lernenden, Aufgaben besser zu verstehen und ihre Lernziele einfacher zu erreichen.

Belohnungssystem	Studien
Punkte/Noten	[3], [6], [7], [8], [9], [15], [18], [20], [21], [23], [24]
Herausforderung	[2], [3], [8], [13], [14], [15], [17], [28], [30]
Levels	[1], [2], [3], [12], [17], [25]
Klare Ziele	[1], [2], [3], [4], [15], [16], [18], [20]
Feedback	[1], [2], [3], [4], [6], [8], [14], [17], [18]
Belohnungen	[2], [3]
Kein Belohnungssystem	[5], [10], [11], [19], [22], [26], [27], [29]

Tab. 11: Analyse der Motivation.

Lernerfolg durch Einstellungen: Die Einstellung der Schüler:innen gegenüber AR/VR-Technologien sowie deren Akzeptanz im Lernkontext kann durchgehend als positiv eingestuft werden (Tabelle 12). Dabei lässt sich allgemein eine unterstützende Haltung der AR/VR-Lernanwendungen bei Schüler:innen erkennen (n = 25) – die Bedienbarkeit der Technologie und deren Beitrag zur Verbesserung der Lerneffizienz werden dabei durchweg als positiv wahrgenommen [7, 29]. Ausserdem kann der Spassfaktor von AR/VR-Anwendungen die Lernmotivation verbessern und als Hauptursache für die Nutzung dieser Technologie im schulischen Kontext gelten (n = 26). Die meisten Schüler:innen gaben an, sehr zufrieden mit der Lernerfahrung durch AR/VR zu sein und auch ihren Freunden vom Einsatz dieser Technologie im Schulkontext erzählen zu wollen [8]. Es lässt sich somit eine überwiegend positive Einstellung gegenüber der Nutzung von VR und AR in schulischen Kontext erkennen.

Relevante Aspekte	Studien
Hohe Akzeptanz von AR/VR als Lerntechnologie	[1], [2], [3], [4], [5], [6], [8], [9], [11], [12], [13], [14], [16], [17], [18], [19], [20], [22], [23], [24], [25], [26], [27], [28], [29]
Lernen mit AR/VR macht Spass	[1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13], [16], [17], [18], [20], [21], [22], [23], [24], [25], [26], [27], [28], [30]

Tab. 12: Analyse der Einstellungen.

4.2.3 Der Medienkompetenz-Kontext

Durch den Einsatz von AR/VR im schulischen Umfeld kann die Medienkompetenz der Kinder und Jugendlichen im Umgang mit der Technologie in mehreren Aspekten gefördert werden (Tabelle 13). Als Teil der Medienkunde wird den Schüler:innen beispielsweise beigebracht, was AR/VR als Technologien ausmacht, wie diese sich unterscheiden und welche Bedeutung sie für die zukünftige Medienlandschaft spielen könnten [23, 24].

Ebenso werden sie in der Mediennutzung geschult – der konkreten Bedienung von AR/VR – was für viele Jugendliche den ersten direkten Kontakt mit der Technologie darstellt. So mussten in einer Studie bspw. Zweierteams je eine VR-Brille teilen, wobei der Nicht-User den User bei Schwindelgefühlen stützen und in Gefahrensituationen

eingreifen sollte [1]. Somit wird neben den individuellen Nutzungsmodalitäten auch der Umgang mit anderen VR-Usern gefördert sowie die Fähigkeit, vorzusehen und die Technologie für sich und andere sicher in die reale Umgebung des Alltags zu integrieren.

Medienkritik als die Fähigkeit zu entscheiden, wann und wie AR/VR einzusetzen ist, wird in den Studien nur indirekt thematisiert und weniger im schulischen Kontext erforscht. Zum Teil wird Schüler:innen zwar angeboten, verschiedene Anwendungsmöglichkeiten kennenzulernen [16], aber die eigenen kritischen Fähigkeiten in Bezug auf die Nutzungsentscheidungen gegenüber AR/VR wurden selten gefördert und kontrolliert, da sie in den Entscheidungsprozessen häufig übergangen werden.

Mit der Mediengestaltung, also der Kreation neuer AR/VR-Anwendungen oder Umgebungen, befassen sich nur wenige Studien ([11], [25]). Dabei lassen sich keine eindeutigen Ergebnisse feststellen, inwiefern dieser Teilaspekt der Medienkompetenz durch den Einsatz an Grund- und weiterführenden Schulen gefördert wird. Der Hauptfokus der Untersuchungen im schulischen Kontext liegt somit nicht auf der kreativen Weiterentwicklung der Technologie, sondern bisher grösstenteils auf deren Rezeption und Wirkung.

Komponente	Studien
Medienkunde	[1], [6], [7], [11], [23], [24], [25], [27]
Mediennutzung	[1], [3], [8], [13], [23], [24], [26]
Medienkritik	[6], [9], [16], [17], [23]
Mediengestaltung	[11], [25]

Tab. 13: Analyse der Medienkompetenz.

4.3 Der zeitliche und psychologische Kontext

Die Differenzierung der Ergebnisse nach zeitlichen und psychologischen Kontexten zeigt, wie der Einsatz von AR/VR an Grund- und weiterführenden Schulen auch nach allgemeinen Aspekten des Lernerfolgs eingeordnet werden kann (Tabelle 14). So stellen wir fest, dass wissenschaftliche Untersuchungen AR/VR im schulischen Kontext überwiegend kurzfristige Wirkungen attestieren (n = 14) – zumeist in Form von Beobachtungen oder Interviews direkt im Anschluss an die Nutzung. Nur selten werden langfristige Wirkungen diagnostiziert (n = 6). So hatten die Probanden einer Studie von Southgate (2019) [6] die Möglichkeit, die schulische VR-Anwendung für acht Wochen zu nutzen und somit detaillierter Aussagen über die Langzeiteffekte der Nutzung zu formulieren. Dabei gaben die Schüler:innen an, sich durch die Langzeitnutzung von VR besser an den gelernten Inhalt erinnern zu können, neue Lösungen für technische Schwierigkeiten zu finden und sich kritisch mit Lerninhalten auseinanderzusetzen ([6], 1637).

Aus psychologischer Perspektive ist festzuhalten, dass überwiegend kognitive Wirkungen identifiziert wurden (n = 29), was aufgrund des Fokus der Synopse auf Lernerfolg nicht verwunderlich ist. Darüber hinaus konnten teilweise aber auch affektive Wirkungen bei Schüler:innen festgestellt werden (n = 17), sowohl positiv in Form von Spasserleben [1] als auch negativ in Form von Schwindelgefühlen und Abneigung als Folge der VR-Nutzung [4]. Eine Veränderung von Handlungsmotiven und Verhalten durch AR/VR als Form konativer Wirkungen wurde nur in wenigen Studien (n = 13) nachgewiesen [17].

Wirkungsdimensionen	Relevante Aspekte	Studien
Zeitliche Dimension	Kurzfristige Wirkungen	[1], [2], [3], [5], [8], [10], [11], [12], [13], [21], [25], [26], [28], [30]
	Mittelfristige Wirkungen	[4], [9], [14], [15], [16], [17], [20], [22], [27], [29]
	Langfristige Wirkungen	[6], [7], [18], [19], [23], [24]
Psychologische Dimension	Kognitive Wirkungen	[1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [18], [19], [20], [21], [22], [23], [24], [25], [26], [27], [28], [29], [30]
	Affektive Wirkungen	[1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [18], [22], [23], [24], [29]
	Konative Wirkungen	[3], [4], [5], [7], [8], [11], [13], [14], [15], [16], [17], [18], [25]

Tab. 14: Analyse der Wirkungen.

5. Fazit und Ausblick

Der Einsatz digitaler Technologien im Lehr- und Lerngeschehen ist im Zeitalter von Corona notwendiger denn je. Selbst nach der erfolgreichen Bekämpfung von Covid-19 können weitere Pandemien, Kontaktbeschränkungen und Schulschliessungen in einer offenen und globalisierten Gesellschaft nicht mehr ausgeschlossen werden. Die Erfahrungen von Schüler:innen, Lehrkräften und Eltern im Home-Schooling in den vergangenen Monaten haben gezeigt, dass Bildschirmanwendungen den Präsenzunterricht nur bedingt ersetzen können und aufgrund fehlender Möglichkeiten zur Interaktion und Verbundenheit oft einen Motivationsverlust zur Folge haben (Thorell et al. 2021). Die Ergebnisse der Synopse verdeutlichen, dass AR/VR Schüler:innen und Lehrkräfte in diesen schwierigen Zeiten entlasten kann und durch ihr hohes Motivations- und Interaktionspotenzial zum Lernerfolg beiträgt. Darüber hinaus bietet ihr Einsatz auch im schulischen Normalbetrieb zahlreiche Vorteile, die vielen Herausforderungen des heutigen Bildungssystems zu mildern, z. B. durch die Inklusion von körperlich oder geistig beeinträchtigten Schüler:innen (de Oliveira Malaquias et al. 2016). So kann durch die Visualisierung von und Interaktion mit Lerninhalten eine

tieferer Ebene des Verständnisses geschaffen und Aufmerksamkeits- wie Motivationsdefiziten entgegengewirkt werden.

Dabei zeigt sich in bisherigen Studien, dass der Einsatz von AR/VR-Technologie v. a. im Kontext sozialwissenschaftlicher Fächer (Geschichte, Politik) untersucht wird und dabei auch positive Effekte aufweist. Auf der anderen Seite können AR/VR auch zur Vermittlung von Naturwissenschaften und Mathematik beitragen, indem beispielsweise per AR virtuelle Geraden und Flächengleichungen im dreidimensionalen Koordinatensystem direkt auf einer Schulbank im nahen Blickfeld der Schüler:innen visualisiert werden. Als häufigste Limitation der Studien wird von den Forschern selbstkritisch das Fehlen von Kontrollgruppen und ein zu geringer Untersuchungszeitraum genannt.

Hinsichtlich der technischen Kontexte des Lernerfolgs lässt sich festhalten, dass AR/VR im Klassenzimmer traditionelle Lehrmedien wie Schul- und Arbeitsbücher gut ersetzen können (Substitution). Dies trägt dazu bei, den Unterricht interessanter zu machen und kann den Schüler:innen helfen, Konzepte in einem virtuellen Kontext besser zu verstehen. Durch die Visualisierung und Skalierung abstrakter Lernobjekte kann die Technologie ausserdem zu einer funktionalen Erweiterung bestehender Lehrmethoden beitragen, z. B. durch die dynamische Visualisierung geologischer Strukturen oder biologischer Präparate (= Augmentation). Dies kann sowohl die Belastung der Lehrkräfte reduzieren als auch die Kreativität der Schüler:innen anregen. Weiterhin bietet AR/VR das Potenzial, den traditionellen Lernprozess neu zu gestalten, indem verschiedene Medienanwendungen integrativ kombiniert und individualisierte Lernmethoden gefördert werden. So genannte Mash-up Media wie z. B. die Kombination von AR/VR-Technologie und Smartphones nutzen dabei vorhandene Medianausgabegeräte, um immersive Lernerfahrungen und digitale spielbasierte Lernkonzepte für das Lernen zu schaffen. Individualisiertes Lernen ermöglicht den Schüler:innen, das Lerntempo an ihren Wissensstand anzupassen und den Lernprozess zu erleichtern (= Modifikation). Der letzte Aspekt des technischen Kontexte des Lernerfolgs liegt darin begründet, dass die Anwendung von AR/VR-Technologie neue Möglichkeiten für das Lernen schafft, indem sie die Grenzen von Zeit und Raum aufbricht und die Lehre an Grund- und weiterführenden Schulen von Grund auf neu definieren kann (= Redefinition).

Hinsichtlich der pädagogischen Kontexte des Lernerfolgs können durch den Einsatz von AR/VR im schulischen Kontext drei Arten von Kenntnissen bzw. Wissen gefördert werden: (1) das Erlernen von prozeduralem Wissen bzw. Problemlösungsmethoden und -techniken; (2) das Erlernen von deklarativem Wissen über Konzepte, Zustände, Ereignisse und rechtliche Beziehungen, wie z. B. physikalische Abstraktionen; (3) das Erlernen strategischen Wissens wie das Abwägen und Reflektieren von Aktionen und Strategien in AR/VR-Spielen. Ebenso ermöglicht der Einsatz von AR/VR den Schüler:innen, neue Fähigkeiten zu erlernen, etwa multisensorische Fähigkeiten,

körperliche Koordinationsfähigkeiten und die Fähigkeit, Lerninhalte effektiver abzurufen. Darüber hinaus können AR/VR die Motivation von Schüler:innen durch Belohnungssysteme steigern und Lernziele besser verdeutlichen. Schüler:innen und Lehrende besitzen in den von uns analysierten Studien deshalb grösstenteils eine positive Einstellung gegenüber AR/VR, woraus sich eine hohe Akzeptanz im schulischen Kontext ableiten lässt. Dazu gehören eine positive Wahrnehmung der Machbarkeit oder Nutzbarkeit von AR/VR-Geräten sowie die subjektive Wahrnehmung einer erhöhten Lerneffizienz.

Zudem kann der Einsatz von AR/VR die Medienkompetenz von Schüler:innen positiv beeinflussen. Grundlegend ermöglicht er den Schüler:innen, die Charakteristika und Potenziale dieser neuartigen Technologie kennenzulernen (= Medienkunde). Darüber hinaus werden die konkrete Bedienung von und der Umgang mit der Technologie (= Mediennutzung) sowie die Anwendungsmöglichkeiten, die sich im Alltag bieten (= Medienkritik), erlernt.

Neben den technischen und pädagogischen Kontexten des Lernerfolgs sowie im Lichte der Medienkompetenz lässt sich die Erforschung von AR/VR an Grund- und weiterführenden Schulen auch nach zeitlichen und psychologischen Aspekten klassifizieren. Dabei ist festzuhalten, dass in bisherigen Studien hauptsächlich kurzfristige Wirkungen nachgewiesen werden konnten, eine tiefgründige Analyse der langfristigen Effekte des Einsatzes von AR/VR steht bei vielen Analysen noch aus. Aufgrund der Materialauswahl der Synopse lassen sich grösstenteils kognitive Wirkungen in Form von Wissenserwerb feststellen, wobei sich teilweise auch affektive Wirkungen wie Spass erleben im Umgang mit AR/VR nachweisen lassen.

Trotz steigender Popularität und Anwendungsmöglichkeiten wird der Einsatz von AR/VR an Grund- und weiterführenden Schulen von den Bildungswissenschaften weitestgehend ignoriert. Diese Synopse trägt dazu bei, die unübersichtliche Forschungslandschaft zu klassifizieren und Studienergebnisse aus unterschiedlichen Forschungsbereichen einem einheitlichen Raster zu unterwerfen. Dabei konnten wir zeigen, dass augmentierte bzw. virtuelle Realitäten in sehr unterschiedlichen Kontexten zu einer Steigerung des Lernerfolgs beitragen können und mittlerweile einen nicht zu unterschätzenden Faktor in der Unterrichtsgestaltung und Wissensvermittlung einnehmen (können).

Literatur

- Azuma, Ronald. 1997. «A Survey of Augmented Reality». *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* 6 (4): 355–85. <https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.4.355>.
- Baacke, Dieter. 1996. «Medienkompetenz–Begrifflichkeit und sozialer Wandel». In *Medienkompetenz als Schlüsselbegriff*, herausgegeben von Antje von Rein. 112–24. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Bahn, Geon Ho. 2020. «Coronavirus Disease 2019, School Closures, and Children’s Mental Health». *Journal of the Korean Academy of Child and Adolescent Psychiatry* 31 (2): 74. <https://doi.org/10.5765/jkacap.200010>.
- Blisky, Wolfgang. 2005. «Werte und Werthaltungen. Values and Value Orientations». In: *Handbuch der Persönlichkeitspsychologie und Differentiellen Psychologie*, herausgegeben von: Hannelore Weber, und Thomas Rammsayer. 298–304. Göttingen: Hogrefe.
- de Oliveira Malaquias, Fernanda Francielle, und Rodrigo Fernandes Malaquias. 2016. «The Role of Virtual Reality in the Learning Process of Individuals with Intellectual Disabilities». *Technology and Disability* 28 (4): 133–8. <https://doi.org/10.3233/TAD-160454>.
- Glaser, Barney, G., und Anselm L. Strauss. 1968. *The Discovery of Grounded Theory: Strategies for Qualitative Research*. New Brunswick: Aldine Transaction.
- Merchant, Zahira, Ernest T. Goetz, Lauren Cifuentes, Wendy Keeney-Kennicutt, und Trina J. Davis. 2014. «Effectiveness of Virtual Reality-Based Instruction on Students’ Learning Outcomes in K-12 and Higher Education. A Meta-Analysis». *Computers & Education* 70 (c): 29–40. <https://dl.acm.org/doi/abs/10.5555/2753872.2753891>.
- Milgram, Paul, Haruo Takemura, Akira Utsumi, und Fumio Kishino. 1994. «Augmented reality: A Class of Displays on the Reality-Virtuality Continuum». *Telemanipulator and Telepresence Technologies* 2351: 282–92. <https://doi.org/10.1117/12.197321>.
- Nóbrega, Rui, João Jacob, António Coelho, Jessika Weber, João Ribeiro, und Soraia Ferreira. 2017. «Mobile Location-Based Augmented Reality Applications for Urban Tourism Storytelling». In *24º Encontro Português de Computação Gráfica e Interação (EPCGI)*, 1–8. <https://doi.org/10.1109/EPCGI.2017.8124314>.
- Pricewaterhouse Coopers. 2019. «2030 werden in Deutschland 400.000 Menschen mit AR/VR arbeiten». <https://www.pwc.de/de/pressemitteilungen/2019/2030-werden-in-deutschland-400000-menschen-mit-ar-vr-arbeiten.html#:~:text=PwC%2DAnalyse%20bezieht%20das%20wirtschaftliche,VR%20arbeiten%2C%20weltweit%2023%20Millionen>.
- Puentedura, Ruben. 2010. «SAMR and TPACK: Intro to Advanced Practice». http://hippasus.com/resources/sweden2010/SAMR_TPACK_IntroToAdvancedPractice.pdf.
- Schlicht, Juliana. 2014. «Wie können Lernerfolge sichtbar gemacht werden und was sind sie wert?». *Berufsbildung in Wissenschaft und Praxis* 43 (3): 48–50. <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0035-bwp-14348-0>.
- Tekedere, Hakan, und Hanife Göker. 2016. «Examining the Effectiveness of Augmented Reality Applications in Education: A Meta-Analysis». *International Journal of Environmental and Science Education* 11 (16): 9469–9481. <http://www.ijese.net/makale/1181.html>.

- Tenzer, F. 2019. «Virtual Reality – Prognose zum Headset-Absatz weltweit 2023». *Statista*. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/539653/umfrage/prognose-zum-absatz-von-virtual-reality-hardware/>.
- Thorell, Lisa B., Charlotte Skoglund, Almudena Giménez de la Peña, Dieter Baeyens, Anselm B. M. Fuermaier, Madeleine J. Groom, Irene C. Mammarella, u. a. 2021. «Parental Experiences of Homeschooling during the COVID-19 Pandemic: Differences between Seven European Countries and between Children with and without Mental Health Conditions». *European Child & Adolescent Psychiatry*, Januar. <https://doi.org/10.1007/s00787-020-01706-1>.
- Traus, Anna, Katharina Höffken, Severine Thomas, Katharina Mangold, und Wolfgang Schröer. 2020. «Stu.di.Co. – Studieren digital in Zeiten von Corona». *Erste Ergebnisse der bundesweiten Studie Stu.di.Co.* Universitätsverlag Hildesheim. <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:gbv:hil2-opus4-11578>.
- Wolfswinkel, Joost F., Elfi Furtmueller, und Celeste Wilderom. 2013. «Using Grounded Theory as a Method for Rigorously Reviewing Literature». *European Journal of Information Systems* 22 (1): 45–55. <https://doi.org/10.1057/ejis.2011.51>.

Anhang: Studien der Synopse

Studie	Quelle
[1]	Buchner, Josef, und Diane Aretz. 2020. «Lernen mit immersiver Virtual Reality: Didaktisches Design und Lessons Learned». Herausgegeben von Klaus Rummeler, Ilka Koppel, Sandra Aßmann, Patrick Bettinger, und Karsten D. Wolf. <i>MedienPädagogik: Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung, Jahrbuch Medienpädagogik</i> , 17 (Jahrbuch Medienpädagogik): 195–216. https://doi.org/10.21240/mpaed/jb17/2020.05.01.X .
[2]	Roussou, Maria. 2009. «A VR Playground for Learning Abstract Mathematics Concepts». <i>IEEE Computer Graphics and Applications</i> 29 (1): 82–5. https://doi.org/10.1109/mcg.2009.1 .
[3]	Sternig, Christof, Michael Spitzer, und Martin Ebner, 2018. «Learning in a Virtual Environment». <i>Virtual and Augmented Reality</i> : 1288–312. https://doi.org/10.4018/978-1-5225-5469-1.ch062 .
[4]	Hung, Yu-Hsiu, Chien-Hsu Chen, und Shu-Wie Huang. 2016. «Applying Augmented Reality to Enhance Learning: a Study of Different Teaching Materials». <i>Journal of Computer Assisted Learning</i> 33 (3): 252–266. https://doi.org/10.1111/jcal.12173 .
[5]	Saritas, Mustafa Tuncay. 2015. «Chemistry Teacher Candidates Acceptance and Opinions About Virtual Reality Technology for Molecular Geometry». <i>Educational Research and Reviews</i> 10 (20): 2745–57. https://doi.org/10.5897/err2015.2525 .
[6]	Southgate, Erica. 2019. «Virtual Reality for Deeper Learning: An Exemplar from High School Science». In <i>2019 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)</i> , 1633–9. https://doi.org/10.1109/vr.2019.8797841 .

Studie	Quelle
[7]	Cai, Su, Feng-Kuang Chiang und Xu Wang. 2013. «Using the Augmented Reality 3D Technique for a Convex Imaging Experiment in a Physics Course». <i>International Journal of Engineering Education</i> 29 (4): 856-865. http://www.ijee.ie/latestissues/Vol29-4/09_ijee2737ns.pdf .
[8]	Amelia, Riski, Rahmah Salamah Nur Azizah, Ami Rahmawati Suwandi, Irma Fitria Amalia, und Ali Ismail. 2020. «Application Of Augmented Reality To Physics Practicum To Enhance Students' Understanding Of Concepts». <i>International Journal of Scientific and Technology Research</i> 9 (3): 1128-31. https://www.ijstr.org/final-print/mar2020/Application-Of-Augmented-Reality-To-Physics-Practicum-To-Enhance-Students-Understanding-Of-Concepts.pdf .
[9]	Buchner, Josef. 2017. «Offener Unterricht mit Augmented Reality». <i>Medienimpulse</i> 55 (1): 1-8. https://doi.org/10.21243/medienimpulse.2016.4.1061 .
[10]	Lund, Brady, und Ting Wang. 2019. «Effect of Virtual Reality on Learning Motivation and Academic Performance: What Value May VR Have for Library Instruction?» In <i>Kansas Library Association College and University Libraries Section Proceedings</i> 9 (1). https://doi.org/10.4148/2160-942x.1073 .
[11]	Chenrai, Piyaphong, und Sukonmeth Jitmahantakul. 2019. «Applying Virtual Reality Technology to Geoscience Classrooms.» <i>Review of International Geographical Education Online</i> 9 (3): 577-90. https://doi.org/10.33403/rigeo.592771 .
[12]	Hsu, Yi-Chen. 2020. «Exploring the Learning Motivation and Effectiveness of Applying Virtual Reality to High School Mathematics» <i>Universal Journal of Educational Research</i> 8 (2): 438-44. https://doi.org/10.13189/ujer.2020.080214 .
[13]	Mahadzir, Nor Nashirah. 2013. «The Use of Augmented Reality Pop-Up Book to Increase Motivation in English Language Learning For National Primary School». <i>IOSR Journal of Research and Method in Education</i> 1 (1): 26-38. https://doi.org/10.9790/7388-0112638 .
[14]	Hsieh, Min-Chai, Koong Lin, und Hao-Chiang. 2011. «A Conceptual Study for Augmented Reality E-learning System Based on Usability Evaluation». <i>Communications in Information Science and Management Engineering</i> 1 (8): 5-7. https://doi.org/10.5963/cisme0108002 .
[15]	Hwang, Gwo-Jen, Po-Han Wu, Chen Chi-Chang und Tu Nien-Ting. 2015. «Effects of an Augmented Reality-Based Educational Game on Students' Learning Achievements and Attitudes in Real-World Observations». <i>Interactive Learning Environments</i> 24 (8): 1895-1906. https://doi.org/10.1080/10494820.2015.1057747 .
[16]	Fleck, Stéphanie, und Simon Gilles. 2013. «An Augmented Reality Environment for Astronomy Learning in Elementary Grades». In <i>Proceedings of the 25th ICME Conference Francophone on l'Interaction Homme-Machine - IHM '13</i> . https://doi.org/10.1145/2534903.2534907 .

Studie	Quelle
[17]	Pinto, Darque, Bruno Peixoto, Aliane Krassmann, Miguel Melo, Luciana Cabral, und Maximo Bessa. 2019. «Virtual Reality in Education: Learning a Foreign Language». <i>Advances in Intelligent Systems and Computing</i> , 589–97. https://doi.org/10.1007/978-3-030-16187-3_57 .
[18]	Nersesian, Eric, Adam Spryszynski, und Michael Lee. 2019. «Integration of Virtual Reality in Secondary STEM Education». In <i>Proceedings of the 2019 IEEE Integrated STEM Education Conference (ISEC)</i> . https://doi.org/10.1109/isecon.2019.8882070 .
[19]	Özüağ, Mehmet, Ismael Cantürk, und Lale Özyilmaz. 2019. «A New Perspective To Electrical Circuit Simulation with Augmented Reality». <i>International Journal of Electrical and Electronic Engineering and Telecommunications</i> 8 (1): 9–13. https://doi.org/10.18178/ijeetc.8.1.9-13 .
[20]	Chiang, Tosti, Stephen Yang, und Gwo-Jen Hwang. 2014. «An Augmented Reality-based Mobile Learning System to Improve Students' Learning Achievements and Motivations in Natural Science Inquiry Activities». <i>Educational Technology and Society</i> 17 (4): 352–65. https://drive.google.com/file/d/1UoXcALKOMC0qesxZPm5QxNEoOkuWjF5N/view .
[21]	Crosier, Joanna, Cobb, Sue, und Wilson, John. 2000. «Experimental Comparison of Virtual Reality with Traditional Teaching Methods for Teaching Radioactivity». <i>Education and Information Technologies</i> 5 (4): 329–43. https://doi.org/110.1023/A:1012009725532 .
[22]	Zakaria, Megat Aman Zahiri Megat, Hassan Abuhassna, und Ravindaran. Kavipriya. 2020. «Virtual Reality Acceptance in Classrooms: A Case Study in Teaching Science». <i>International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering</i> 9 (2): 1280–94. https://doi.org/10.30534/ijatcse/2020/58922020 .
[23]	Rossano, Veronica, Rosa Lanzilotti, Antonio Cazzolla, und Teresa Roselli. 2020. «Augmented Reality to Support Geometry Learning». <i>IEEE Access</i> 8: 107772–780. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3000990 .
[24]	Contero, Manuel, und David López. 2013. «Delivering Educational Multimedia Contents Through an Augmented Reality Application: A Case Study on its Impact on Knowledge Acquisition and Retention». <i>Turkish Online Journal of Educational Technology</i> 12 (4): 19–28. http://www.tojet.net/articles/v12i4/1243.pdf .
[25]	Leitão, Rui, Joao Rodrigues, und Adérito Marcos. 2014. «Game-Based Learning: Augmented Reality in the Teaching of Geometric Solids». <i>International Journal of Art, Culture and Design Technologies</i> 4 (1): 63–75. https://doi.org/10.4018/ijacdt.2014010105 .
[26]	Di Serio, Ángela, María Blanca Ibáñez, und Carlos Delgado Kloos. 2013. «Impact of an Augmented Reality System on Students' Motivation for a Visual Art Course». <i>Computers and Education</i> 68: 586–96. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.03.002 .

Studie	Quelle
[27]	Civelek, Turhan, Erdem Ucar, Hakan Ustunel, und Mehmet Kermal Aydın,. 2014. «Effects of a Haptic Augmented Simulation on K-12 Students' Achievement and their Attitudes towards Physics». <i>Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education</i> 10 (6): 565–74. https://doi.org/10.12973/eurasia.2014.1122a .
[28]	Han, Yu, Yyining Shi, Juanjuan Wang, Yue Liu, und Yongtian Wang. 2020. «First-Person Perspective Physics Learning Platform Based on Virtual Reality». In <i>Learning and Collaboration Technologies. Human and Technology Ecosystems</i> , herausgegeben von Panayiotis ZaphirisAndri and Ioannou, 435–47. https://doi.org/10.1007/978-3-030-50506-6_30 .
[29]	Lee, Elinda Ai-Lim, Chun Che Fung, und Kok Wai Wong. 2010. «Learning with Virtual Reality: Its Effects on Students with Different Learning Styles». In <i>Transactions on Edutainment IV. Lecture Notes in Computer Science</i> , herausgegeben von Zhigeng Pan, Adrian David Cheok, Wolfgang Müller, Xiaopeng Zhang, und Kevin Wong, 79–90. https://doi.org/10.1007/978-3-642-14484-4_8 .
[30]	Price, Sara, Nikoleta Yiannoutsou, and Yyonne Vezzoli. 2020. «Making the Body Tangible: Elementary Geometry Learning through VR». <i>Digital Experiences in Mathematics Education</i> 6: 213–232. https://doi.org/10.1007/s40751-020-00071-7 .