

Augmented und Virtual Reality

Josef Buchner, Markus Tatzgern, Ines Deibl und Miriam Mulders

Zusammenfassung

Trotz der technologischen Reife von Augmented Reality (AR) und Virtual Reality (VR) und der breiten Verfügbarkeit von AR/VR-Anwendungen ist deren Verwendung im Schulunterricht noch eher die Ausnahme. Dieses Buchkapitel zeigt Potenziale für den Einsatz von AR/VR im Unterricht auf, um die Nutzung dieser Technologien im Unterricht zu inspirieren und Hemmschwellen abzubauen. Die erarbeitete Umsetzungshilfe für AR/VR im Unterricht basiert dabei auf den Möglichkeiten aktueller Technologien bzw. dem Stand der aktuellen didaktischen Forschung. Statt bestehende Unterrichtsmethoden zu ersetzen, hat die Umsetzungshilfe das Ziel, AR/VR als Ergänzung und Unterstützung von bestehenden Lerninhalten in den Unterricht zu integrieren.

Abstract

Despite the technological maturity of Augmented Reality (AR) and Virtual Reality (VR) and the wide availability of AR/VR applications, their use in the classroom is more the exception rather than the rule. This book chapter shows potentials for the use of AR/VR in the classroom to inspire the use of these technologies in the classroom and to reduce inhibitions. Based on the possibilities of current technologies and the state of current didactic empirical findings, we developed an implementation guide for using AR/VR in the classroom. Instead of replacing existing teaching methods, the implementation guide aims to integrate AR/VR into lessons as a supplement and support to existing learning content.

1 Einleitung

Die Potentiale von Augmented Reality (AR) und Virtual Reality (VR) für Bildungsprozesse werden aktuell intensiv diskutiert. Das Ziel dieses Kapitels ist es, zunächst diese Diskussion anhand der nationalen und internationalen Forschung zusammenfassend darzustellen. Im Anschluss wird auf der Basis des Forschungsstandes eine Umsetzungshilfe vorgestellt, die Lehrpersonen beim Einsatz von AR/VR im Unterricht unterstützen soll. Wie die Umsetzungshilfe angewandt werden kann, wird anhand zweier *best practice* Beispiele demonstriert. Ein Fazit zu den Bildungspotentialen von AR und VR schließt dieses Kapitel ab.

2 Stand der Forschung

2.1 Augmented Reality

Bei AR-Anwendungen werden virtuelle Inhalte mit der realen Welt überlagert. Anders als in VR bleiben Nutzer*innen somit in der realen Welt verankert. Für Bildungs- und Trainingsanwendungen stellen virtuelle Inhalte eine Möglichkeit dar, den Lernprozess mit zusätzlichen digitalen Informationen zu unterstützen und diese Inhalte interaktiv erfahrbar zu machen.

Die am weitesten verbreiteten Plattformen für AR-Anwendungen sind Smartphones und Tablets, die AR-Technologien bereits größtenteils standardmäßig integrieren. Die Smartphonekamera ermöglicht die Erfassung der Umgebung, die als Video am Bildschirm angezeigt wird. Das Video wird mit virtuellen Inhalten überlagert, die durch eine integrierte

Positionsbestimmung der mobilen Geräte fest in der Welt verankert sind. Entsprechend bleiben Inhalte an der gleichen Stelle in der Welt überlagert, auch wenn sich das Gerät bewegt. Die Verankerung kann anhand eines bekannten Bezugspunktes erfolgen. Ein Bezugspunkt für AR-Lernanwendungen sind oftmals gedruckte Materialien wie Lernbücher, auf denen passend zum analogen Inhalt auch digitale Inhalte angezeigt werden. Moderne AR-Anwendungen können aber Ankerpunkte auch frei festlegen und benötigen somit keinen bekannten Bezugspunkt. Diese Variante kommt beispielsweise zum Einsatz, wenn Nutzer*innen 3D-Inhalte frei in ihrem physischen Raum platzieren können, wodurch AR-Anwendungen flexibler und mit wenig Vorbereitungszeit eingesetzt werden können. Mit Hilfe von Smartphones und Tablets können somit Fenster in die digitale Welt geschaffen werden (Mohr et al., 2017). Die Interaktion mit virtuellen Inhalten erfolgt oft über den Touch-Input direkt über das Smartphone/Tablet. Aktuelle, leistungsstarke Hardware bietet auch die Möglichkeit Kopfbewegungen und Augen von Nutzer*innen zu erfassen, die als zusätzliche Eingabemethode herangezogen werden können. Eine klare Limitierung von Smartphones und Tablets für AR ist die Notwendigkeit, das Gerät in den Händen halten zu müssen. Somit ist die Interaktion mit der realen Welt eingeschränkt. In einer AR-Anwendung, die ein Realexperiment der Physik mit zusätzlichen Informationen unterstützt, müssen Nutzer*innen bei der Interaktion mit physischen Elementen des Experiments das Gerät entweder zur Seite legen, oder nur mit einer Hand interagieren.

Eine Alternative zu Smartphones/Tablets sind AR-Brillen. Ähnlich zu VR-Brillen tragen Nutzer*innen dabei Bildschirme vor den Augen. Diese Bildschirme zeigen entweder ein Videobild der Umgebung an, oder sind transparent Bildschirme, die freie Sicht auf die Umgebung ermöglichen. Brillen haben den Vorteil, dass Nutzer*innen von AR-Anwendungen keine weiteren Geräte in den Händen halten müssen. Die Interaktion wird durch die Erfassung der Hände, Stimmerkennung und die Erfassung von Augenbewegungen ermöglicht. Beide Arten von Brillen sind aktuell jedoch nur für industrielle Anwendungen erschwinglich. Durch laufende Weiterentwicklung haben sie jedoch das Potenzial, in Zukunft Smartphones und Tablets für AR im Bildungsbereich, aber auch den Alltag, abzulösen bzw. können Smartphones/Tablets auch mit AR-Brillen kombiniert werden (Mohr et al., 2019). Aktuelle Hürden für Videobildschirme sind unter anderem deren relativ geringe Auflösung, mit der die reale Umgebung erfasst bzw. angezeigt wird, wodurch beispielsweise die Lesbarkeit von Text beeinflusst wird (Gattullo et al., 2015). AR-Brillen mit transparenten Bildschirmen ermöglichen freie Sicht auf die Umgebung, diese Technologie leidet jedoch unter einem kleinen Sichtfeld (z.B. Microsoft HoloLens 2 ca. 40 Grad horizontal), wodurch virtuelle Inhalte nur sehr eingeschränkt wahrgenommen werden. Außerdem sind transparente Bildschirme meist nicht leuchtstark, wodurch sich die Farben von Hintergrund und Display überlagern können und der damit entstehende schlechte Kontrast zwischen virtuellen Inhalten und realem Hintergrund die Wahrnehmung der Inhalte eingeschränkt (Gabbard et al., 2010). Dass sich der Einsatz von AR-Elementen im Bildungsbereich positiv auf die Leistung von Schüler*innen und Student*innen auswirken kann, belegen bisherige Metaanalysen (z.B. Garzón & Acevedo, 2019: $d = 0.64$; Tekedere & Göker, 2016: $d = 0.67$) und zeigt sich auch anhand vieler Einzelstudien, die in den letzten Jahren verstärkt publiziert wurden (z.B. Chen, 2020; Chen et al., 2016; Hung et al., 2017).

Eine Vielzahl dieser Studien zu AR im Bildungssektor findet sich im Bereich der Naturwissenschaften und nimmt vor allem die Auswirkungen auf die Leistung und die Motivation der Schüler*innen in den Blick (z.B. Buchner, Buntins, et al., 2021; Buchner et al., 2022). Hung et al. (2017) verglichen etwa drei Varianten ihrer Lernunterlagen (2D Grafik: Bilderbuch, 3D Objekte: physische Interaktionen und 3D virtuelle Objekte: AR Grafikbuch) zum Thema Bakterien in Bezug auf die Leistung von 75 Schüler*innen der fünften Klasse. Die Ergebnisse zeigten, dass die AR-Unterlagen eine praktische und durchführbare Variante für die Schüler*innen waren, um über Bakterien zu lernen. Zusätzlich zeigte sich anhand von

Interviews, dass die AR-Materialien am beliebtesten bei den Schüler*innen waren. Zumbach et al. (2022) verglichen eine AR-Lernumgebung mit einer papierbasierten Lernumgebung zum selbstregulierten Lernen über das menschliche Verdauungssystem anhand von 81 Schüler*innen im Alter von 12 bis 16 Jahren. Hier zeigten sich allerdings ein signifikanter Haupteffekt zugunsten der papierbasierten Version im Vergleich zur AR-Lernumgebung ($\eta^2 = 0.44$). Weitere signifikante Effekte für die Kovariaten konnten nicht gefunden werden. Als sinnvoll erachtet wird oftmals eine Kombination von AR-Anwendung mit einem Game-based Learning Ansatz. Chen (2020) zeigte anhand einer 2x2-faktoriellen Studie mit 100 taiwanesischen Volksschüler*innen der 4ten Klasse, wie ein mit AR-Elementen angereichertes Lernspiel beim Lernen unterstützen kann. Der Medieneinsatz (mit und ohne AR) sowie das Lerndesign (mit und ohne Spielvariante) wurden variiert und diese vier Gruppe hinsichtlich ihrer Leistung und Motivation verglichen. Es zeigte sich kein Interaktionseffekt für das Lerndesign mit dem Medieneinsatz, aber ein signifikanter Effekt in Bezug auf das Lernspiel ($\eta^2 > 0.059$) zugunsten jener Gruppe, welche das Lernspiel gemeinsam mit AR-Elementen erhielt. Ein signifikanter Effekt für den Medienansatz konnte nicht nachgewiesen werden. In Bezug auf die Motivation konnten signifikante Effekte sowohl für den Medieneinsatz ($\eta^2 = 0.059$) als auch das Lerndesign ($\eta^2 = 0.064$), jedoch kein Interaktionseffekt der beiden Variablen, nachgewiesen werden.

In einer weiteren Studie konnte Chen (2020) zeigen, dass AR auch im Spracherwerb unterstützend eingesetzt werden kann. Es wurde ein mit AR integriertes Video zum Erwerb der englischen Sprache im Vergleich zu konventionellen Videolernprogrammen untersucht. Dabei wurden 97 Schüler*innen im Alter von 11-12 Jahren zufällig zwei Gruppen (Experimental und Kontrollgruppe) zugeteilt. Ergebnisse zeigen, dass jene Schüler*innen mit AR-Lernmaterialien im Nachtest bessere Ergebnisse erzielten als Schüler*innen mit dem Videomaterial ($\eta^2 = 0.042$). Die intrinsische Motivation gemessen im Nachtest war bei Schüler*innen mit den AR-Lernmaterialien höher als bei jenen Schüler*innen mit dem Videomaterial ($\eta^2 = 0.275$), bei der extrinsischen Motivation konnten keine signifikanten Unterschiede gefunden werden. Ebenfalls wurde die Zufriedenheit mit dem Lernmaterial bei den Schüler*innen in der Experimentalgruppe höher eingeschätzt als in der Kontrollgruppe ($d = 1.78$).

Unklar ist die Befundlage zur kognitiven Belastung bei AR-Lernumgebungen. Lai et al. (2019) etwa erstellten eine AR-Lernumgebung für den naturwissenschaftlichen Unterricht nach dem Kontiguitätsprinzip multimedialen Lernens. Anhand eines Kontrollgruppendedesigns mit 47 Schüler*innen im Alter von 10-11 Jahren zeigen die Ergebnisse, dass die Materialien Lernen fördert und die extrinsische Belastung beim Lernen mit digitalen Medien verringert werden konnte ($d = 0.62$). Es zeigte sich kein signifikanter Unterschied der beiden Gruppen in Bezug auf die intrinsische Belastung. Weiters zeigte sich, dass jene Schüler*innen mit AR bessere Leistungen im Nachtest erzielten als ihre Kolleg*innen ohne AR ($\eta^2 = 0.105$). Ebenfalls konnte zugunsten der AR-Lernumgebung ein signifikanter Effekt in Bezug auf die Motivation gezeigt werden ($d = 1.06$). Der Vergleich hinsichtlich der kognitiven Belastung durch AR-Anwendungen ist allerdings schwierig, da in der Vielzahl an publizierten Studien unterschiedlichste Forschungsansätze und Materialien mit AR verglichen wurden und werden. Betrachtet man eingeschränkt nur den Vergleich mit einer papierbasierten Version und AR, finden sich ebenso Studien, die wiederum von einer erhöhten kognitiven Belastung als auch von keinem Unterschied hinsichtlich der kognitiven Belastung berichten. Ein Literaturreview von Buchner et al. (2022) kommt zu dem Schluss, dass AR im Vergleich zu anderen Technologien, weniger kognitiv belastend ist und dadurch auch zu guten Leistungen bei Schüler*innen beitragen kann.

Gerade im Bereich des informellen Lernens finden zunehmend auch AR-Anwendungen ihre Berechtigung, etwa bei Museumsbesuchen. Sommerauer und Müller (2014) berichten in ihrer Studie zum informellen Mathematiklernen mit 101 Proband*innen auf einer

Mathematikexhibition, dass jene Besucher*innen welche die AR Erfahrung machten, besser beim Wissenstest ($r = 0.36$) und beim Behaltenstest ($r = 0.33$) abschnitten als jene ohne AR Erfahrung. Zusätzlich schätzten sie die AR-Elemente als wertvolle und erwünschte Zusatzmöglichkeit im Museum ein.

2.2 Virtual Reality

Eine optimale VR blendet die reale Umgebung einer Person komplett aus und ersetzt die Welt durch eine Simulation. Die Simulation stimuliert die menschlichen Sinne, sodass eine Person den Eindruck hat, sich in einer von der Realität unabhängigen, alternativen Umgebung zu befinden. Diese Sinnesstimulation führt dazu, dass eine Person die virtuelle Umgebung als die eigene Realität wahrnimmt. Der Grad, mit dem eine virtuelle Umgebung als die eigene wahrgenommen wird, wird oft durch den gemessenen Grad der subjektiven „Präsenz“ (engl. Presence) gemessen (Heeter, 1992). Beispielsweise beschreibt die räumliche Präsenz (Cummings & Bailenson, 2016), inwieweit Personen sich selbst als in der VR-Welt wahrnehmen, die soziale Präsenz (Oh et al., 2018), die Interaktionen mit anderen virtuellen Abbildungen von Menschen. Die Stärke des subjektiven Präsenzeindrucks wird in der Regel durch den Parameter der technischen Immersion beeinflusst, d.h. der Fähigkeit des technischen Systems eine überzeugende Realität für Personen zu schaffen. Verschiedene technische Faktoren haben unterschiedlich starke Auswirkungen auf die Präsenz. Eine Meta-Analyse von Cummings und Bailenson (2016) stellte fest, dass technische Faktoren der Simulation, wie die Möglichkeit der stereoskopischen Wahrnehmung der Umgebung, ein höherer Grad von Interaktivität und die Größe des Sichtfelds stärkeren Einfluss auf die räumliche Präsenz haben als Faktoren wie visueller Realismus und auditiv wahrnehmbare Inhalte.

Aktuell erhältliche VR-Brillen bestehen aus kleinen Bildschirmen, die vor den Augen getragen werden. Ein Linsensystem ermöglicht es den Nutzer*innen auf die Bildschirme zu fokussieren. VR-Brillen sind in Varianten erhältlich, die eine Verbindung zu einem PC benötigen, aber auch als autarke Geräte, die, ähnlich einem Mobiltelefon, ohne Zusatzgeräte auskommen. Aktuelle VR-Brillen setzen wesentliche Immersionsparameter wie ein großes Sichtfeld, Stereoskopie und Interaktivität erfolgreich um und bieten das Potenzial ein hohes Präsenzerleben zu erreichen. Eine aktuelle, marktübliche VR-Brille (z.B. Quest 2) hat ein horizontales Sichtfeld von ca. 100 Grad und ermöglicht stereoskopisches Sehen von dreidimensionalen, virtuellen Umgebungen. Die Übertragung von Positionen und Orientierung von Kopf und Händen von Nutzer*innen in die VR ermöglichen außerdem ein hohes Maß an Interaktivität, sodass Nutzer*innen sich natürlich in VR fortbewegen bzw. mit der Umgebung interagieren können. Die Manipulation der Umgebung erfolgt dabei durch jeweils einen Controller für jede Hand. Technisch weniger komplexe VR-Brillen (z.B. Cardboard) ermöglichen nur die Erfassung der Rotation von Kopf bzw. Händen, falls ein Controller vorhanden ist. Diese Art von VR-Hardware ist oft auf die Darstellung von 360-Grad Panoramas beschränkt bzw. können Nutzer*innen nur über Umwege durch die Szene navigieren und die Umgebung manipulieren.

VR hat großes Potenzial für den Bildungsbereich, da Nutzer*innen Lehrinhalte interaktiv erleben und erarbeiten können. Während interaktive 360-Grad Panoramas relativ schnell und einfach erstellt werden können, ist die Erstellung von interaktiven 3D-Simulationen (z.B. Chemielabor für Experimente) zeit- und kostenintensiv und muss von Expert*innen übernommen werden. Außerdem müssen technische Limitierungen bei der Erstellung von Inhalten berücksichtigt werden. Beispielsweise ist die Auflösung von marktüblichen VR-Brillen niedrig, wodurch vor allem die Textlesbarkeit in VR-Anwendungen eingeschränkt ist (Kojić et al., 2020). Text muss entsprechend der Auflösung in einer Mindestgröße dargestellt werden. Weiters ist die Umsetzung von virtuellen Avataren für Nutzer*innen, die den eigenen

Körper repräsentieren, noch sehr eingeschränkt. Im einfachsten Fall werden Kopf- und Handbewegungen in die virtuelle Welt übertragen, neuere VR-Brillen können aber auch Augenbewegungen und artikulierte Handbewegungen von Nutzer*innen erfassen. Diese Art von Bewegungserfassung ist aktuell aber noch fehleranfällig und kann für Interaktionen zu ungenau sein, sodass für Gesten auch einfache Approximationen genutzt werden (Tatzgern & Birgmann, 2021). Für die Erfassung weiterer Gliedmaßen (z.B. Beine, Arme) muss zusätzliche Hardware beschafft werden. Ebenso benötigt man zusätzliche Hardware, zur Simulation von physischem Widerstand in VR, sodass ein virtuelles Objekt tatsächlich als solide wahrgenommen wird. In Ermangelung von physischem Widerstand, kann man sogenanntes pseudohaptisches Feedback einsetzen (Lécuyer, 2009), das z.B. Vibrationen des Controllers nutzt, um Widerstand zu kommunizieren.

Die Effekte des Einsatzes von VR auf die Leistung von Schüler*innen und Student*innen hat sich in der bisherigen Forschung als kontrovers herausgestellt. So konnten etwa mehrere Studien nachweisen, dass der Einsatz von VR im Vergleich zu traditionellen Medien und Bildungstechnologien nicht besser geeignet ist, um deklaratives Wissen effektiv zu vermitteln. Parong und Mayer (2018) verglichen in ihrer Studie zwei Gruppen von Studierenden beim Erlernen biologischer Inhalte: Eine Gruppe lernte mithilfe klassischer Präsentationsfolien, die andere Gruppe nutzte eine VR-Brille, um eine simulierte Reise in das Innere des menschlichen Körpers zu unternehmen. Wie sich zeigte, wurden die Teilnehmenden von der Darstellung der VR-Simulation in einem hohen Maße abgelenkt, sodass diese Gruppe von Lernenden in einem Wissens-Nachtest signifikant schlechter abschnitt als die Kontrollgruppe. In einer weiteren Studie replizierten Parong und Mayer (2021) diese Befunde für das Lernen von historischen Inhalten: Im Vergleich zu einer Gruppe von Lernenden, die Videos nutzten, schnitt die VR-Gruppe signifikant schlechter bei im Anschluss durchgeführten Wissenstests ab. Der durch VR-Simulationen ausgelöste Ablenkungs-Effekt (engl.: *distraction effect*) zeigte sich ebenfalls in Studien aus den Bereichen Mikrobiologie und Laborsicherheit: Makransky et al. (2019) verglichen eine VR-Laborsimulation mit einer Desktop-basierten Laborsimulation. Wie sich herausstellte, zeigten die Lernenden der Desktop-Bedingung signifikante bessere Leistungen in nach der Intervention durchgeführten Tests. In Makransky et al. (2021) demonstrierten erneut die Lernenden einer Kontrollbedingung, die mithilfe von Videos lernten, signifikant bessere Leistungen in Wissenstest im Feld der Mikrobiologie im Vergleich zu jenen Lernenden, die sich per VR-Brille mit den Inhalten auseinandersetzen.

Anders verhält es sich, wenn VR zur Förderung prozeduralen Wissens, etwa spezifischen Fertigkeiten, herangezogen wird. Hier zeigen aktuelle Studien Vorteile für VR-Anwendungen im Vergleich zu herkömmlichen Bildungstechnologien. Zum Beispiel konnten Chittaro und Buttussi (2015) zeigen, dass ein VR Simulationsspiel besser dafür geeignet ist, Abläufe im Bereich der Flugsicherheit zu erlernen als der traditionelle Ansatz. Dieser Vorteil für die Teilnehmenden der VR-Bedingung konnte eine Woche nach der Intervention erneut nachgewiesen werden. Ebenso einen langfristigen Vorteil für das Trainieren von Fähigkeiten mithilfe von VR fanden Smith et al. (2018) in der Ausbildung von Pflegekräften. Makransky, Borre-Gude, et al. (2019) nutzten eine VR-Simulation, um Fähigkeiten in der Laborsicherheit zu fördern. Wie die Ergebnisse zeigen, erwies sich das Lernen mit VR als effektiver im Vergleich zum Erlernen der Inhalte mit einem Text. Ergänzend kann festgehalten werden, dass die Erweiterung von VR-Anwendungen um didaktische Elemente, etwa Lernstrategien, positiv auf die Förderung prozeduralen Wissens wirkt (Makransky et al., 2021). Generell wird von Forschenden darauf hingewiesen, dass VR insbesondere für das Trainieren solcher Fertigkeiten herangezogen werden sollte, die anders gar nicht oder nur sehr eingeschränkt trainiert werden könnten. Dazu zählen Trainingssituationen, die im echten Leben zu gefährlich wären; mit einem hohen Ressourcenaufwand verbunden sind; oder auch gar nicht in der Realität durchgeführt werden können, etwa Manipulationen von Naturgesetzen zur

Überprüfung der von Lernenden formulierten Hypothesen (z.B. Makransky, 2021; Mulders & Buchner, 2020; Zender et al., 2019, 2020).

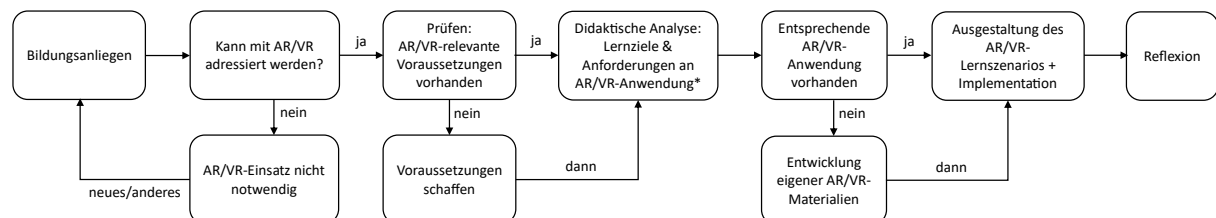
Hinsichtlich der Förderung affektiver Lernziele, etwa Motivation, Einstellung oder Emotionen, zeigt die bisherige Studienlage stets positive Effekte beim Einsatz von VR: So fühlen sich Teilnehmende in VR-Studien als Teil der simulierten Umwelten (“immersive Erfahrung”), berichten eine höhere Motivation zu lernen und zeigen positive Emotionen gegenüber fachlichen Inhalten (Jensen & Konradsen, 2018; Makransky, 2021). Zudem wurde nachgewiesen, dass der Einsatz von VR Einstellungen gegenüber geflüchteten Menschen verändern kann sowie zu einem höheren Erleben von Naturverbundenheit führen kann im Vergleich zu anderen Bildungsmedien (Shin, 2018; Spangenberg et al., 2022).

3 Umsetzungshilfe

Wie der im vorherigen Kapitel dargestellte Stand der Forschung zeigt, stellt der Einsatz von AR und VR in Lehr- und Lernkontexten komplexe Anforderungen an die Praxis. Diese Anforderungen betreffen nicht nur die Berücksichtigung der Voraussetzungen der Lernenden, etwa das Vorwissen, sondern die Organisation von (schulischer) Bildung, technische Rahmenbedingungen sowie räumliche Voraussetzungen (Dengel et al., 2021; Kerres, 2021). Um Lehrpersonen beim Einsatz von AR/VR zu unterstützen, wurde die in Abbildung 1 abgebildete Umsetzungshilfe entwickelt, die das Ziel hat, AR/VR unterstützend bzw. ergänzend zu bestehenden Lehrinhalten im Unterricht einsetzen zu können. Im Folgenden werden Details zur Umsetzungshilfe dargelegt.

Abbildung 1

Umsetzungshilfe für den Einsatz von AR/VR durch Lehrpersonen



Anmerkung: Modell angelehnt an Buchner und Zumbach (2020), Kerres (2018) und Mulders et al. (2020)

*siehe die Leitfragen in Tabelle 1

Bildungsanliegen adressieren

In Anlehnung an die von Kerres (2018) postulierte gestaltungsorientierte Mediendidaktik gilt es zu Beginn eines möglichen AR/VR-Lernszenarios zu überlegen, welches Bildungsanliegen mit dem Szenario adressiert werden soll. Typische Bildungsanliegen in AR/VR-Studien sind die Erhöhung der Motivation der Lernenden, das Bereitstellen von Trainingsmöglichkeiten sowie das Visualisieren schwer zu verstehender Prozesse. Zum Beispiel nutzten Buchner, Jeremias, et al. (2021) AR zur Darstellung von Satellitensignalen, um diese für Lernende zu veranschaulichen. Kann das bestehende Bildungsanliegen nicht mit AR/VR adressiert werden, sollte auf einen Einsatz von AR/VR verzichtet werden. In der Praxis treten üblicherweise immer wieder neue/andere Bildungsanliegen auf, für die folglich erneut untersucht werden kann, ob sich der Einsatz von AR/VR als Lösung für das Anliegen anbietet.

Kann das Bildungsanliegen mit AR/VR adressiert werden, müssen im nächsten Schritt AR/VR-relevante Voraussetzungen überprüft werden.

AR/VR-relevante Voraussetzungen

Der Einsatz von AR/VR ist an eine Vielzahl an Voraussetzungen gekoppelt, u.a. an das Vorhandensein von Hard- und/oder Software, Internetverbindung, Räumlichkeiten sowie ausreichend Zeit. Zum Beispiel berichten Southgate et al. (2019), dass für den Einsatz von VR in der Schule ausreichend Platz zur Verfügung gestellt werden muss, da ansonsten Körperbewegungen zu Verletzungen an Möbelstücken führen könnten. Auch sollte mehr Zeit eingeplant werden als für herkömmliche Unterrichtseinheiten. Sind diese Voraussetzungen nicht vorhanden, müssen Maßnahmen zur Schaffung ergriffen werden. Zum Beispiel können Lehrpersonen mit Kolleg*innen einen Stundentausch vereinbaren, sodass mehr Zeit für das AR/VR-Lernszenario zur Verfügung steht (z.B. Buchner, 2017a, 2017b). Hardware-Probleme können mithilfe von Elternvereinen gelöst werden, zum Beispiel indem kostengünstige Karton-VR-Brillen durch diese angekauft werden (Buchner & Aretz, 2020) oder für AR die Smartphones von Schüler*innen eingesetzt werden. Beim Einsatz digitaler Unterrichtsmittel muss auch auf ausreichende Akkuladungen bzw. auch entsprechende Lademöglichkeiten während des Unterrichts geachtet werden. Schutzhüllen für Smartphones/Tablets sind ebenfalls empfehlenswert. Andere Voraussetzungen, etwa eine gut funktionierende und stabile Internetverbindung, sind meist nicht direkt durch Lehrpersonen beeinflussbar. Schulträger und politische Bildungsverantwortliche müssen hier in die Pflicht genommen werden und entsprechende Voraussetzungen schaffen. Sind die grundlegenden Voraussetzungen für einen Einsatz von AR/VR vorhanden oder geschaffen worden, erfolgt im nächsten Schritt die didaktische Analyse.

Didaktische Analyse und Entscheidung

Im Rahmen der didaktischen Analyse erfolgt die Konkretisierung der Lernziele. Hier sollten sich Lehrpersonen fragen, ob der Erwerb von Wissen, das Trainieren von Fertigkeiten oder die Förderung affektiver Lernziele, etwa Einstellungen und Werte, durch das AR/VR-Lernszenario unterstützt bzw. angeregt werden soll. Die didaktische Analyse umfasst zudem die Auseinandersetzung mit vorhandenen AR/VR-Anwendungen bzw. auch die Berücksichtigung von Möglichkeiten, AR/VR mit existierenden Lehrmaterialien zu kombinieren.

Viele existierende Anwendungen werden von Unternehmen als Bildungsanwendungen ausgewiesen. Praktiker*innen kritisieren jedoch, dass diese nur bedingt für einen Einsatz in der Unterrichtspraxis geeignet sind. Zum Beispiel fehlt es meist an Interaktionsmöglichkeiten mit den virtuellen/digitalen Inhalten oder die in der jeweiligen Anwendung berücksichtigten Inhalte stimmen nicht mit curricularen Vorgaben überein (z.B. Alalwan et al., 2020). Lehrpersonen sollten daher vorab AR/VR-Anwendungen einer kritischen Analyse unterziehen. Als Orientierungshilfe dienen die in Tabelle 1 abgebildeten Leitfragen. Die Entscheidung für eine bestimmte AR/VR-Anwendung, die die didaktischen Ziele erreichen kann, ist grundsätzlich zweigeteilt: Zum einen ist es möglich, dass eine passende Anwendung gefunden wurde und zugänglich ist. In diesem Fall kann das AR/VR-Lernszenario unter Verwendung dieser Anwendung ausgestaltet und implementiert werden. Zum anderen wird es passieren, dass keine AR/VR-Anwendung gefunden wird, die zu den ausformulierten Lernzielen passt. In diesem Fall können Lehrpersonen eigene AR/VR-Inhalte erstellen.

Sammlungen von guten AR/VR-Anwendungen finden sich im Netz auf diversen Webseiten. An dieser Stelle sei auf die umfangreiche Sammlung von Erles et al. (2022) verwiesen. Weitere Beispiele mit didaktischen Überlegungen haben Jauch (2019) sowie Wörner und Buchner (2019) zusammengefasst. Auch als Ergebnisse diverser Forschungs- und Entwicklungsprojekte stehen frei zugängliche und speziell für den Einsatz im Unterricht konzipierte AR/VR-Anwendungen zur Verfügung; zum Beispiel für die Themen Umwelt und Nachhaltigkeit (Deibl et al., 2021; Grünberger et al., 2021; Heartwire, 2022), Informatik und

digitale Grundbildung (z.B. Buchner, Otto, et al., 2021) sowie Medienbildung (Polycular, 2020).

Zur Erstellung eigener AR/VR-Inhalte stehen mittlerweile viele, meist auch kostenfreie, Online-Tools zur Verfügung. Eine Übersicht findet sich bei Erles et al. (2022) in der Rubrik "AR/VR selbst erstellen". Nicht unerwähnt bleiben soll, dass die Erstellung einige Anforderungen an Lehrpersonen stellt. So müssen meist vorab Materialien produziert werden, die im Anschluss per AR oder VR angezeigt werden. Basiskenntnisse in den Bereichen Video- und Bilderstellung sowie -bearbeitung sind vorteilhaft. Für die Entwicklung von VR-Umwelten, z.B. mithilfe von CoSpaces Edu (DelighteX, 2021), sind grundlegende Programmierkenntnisse notwendig.

Im Anschluss an die Entscheidung für eine AR/VR-Anwendung oder die eigene Kreation von AR/VR-Inhalten, erfolgt die finale Ausgestaltung des Lernszenarios sowie dessen Implementation.

Tabelle 1

Leitfragen für die didaktische Analyse von AR/VR-Anwendungen

Passen AR/VR-Inhalte zum Curriculum bzw. Lernziel?
<ul style="list-style-type: none"> • Interaktivität bzw. spielerische Elemente zur Steigerung der Motivation • Visualisierung von komplexen Lehrinhalten • Durchführen von prozeduralen Abläufen möglich • ...
Welches Zusatzmaterial ist vorhanden bzw. notwendig?
<ul style="list-style-type: none"> • Material für Ankerpunkt von AR-Anwendungen (z.B. Bücher, Poster, Ausdrucke) • Ergänzung von bestehenden Lernmaterialien (z.B. um Brücke zu AR/VR zu schaffen)
Ist Bewegung beim Einsatz der AR/VR-Anwendung möglich bzw. notwendig?
<ul style="list-style-type: none"> • Keine Bewegung, d.h. stehen oder sitzen am Platz möglich • Bewegung wird nur in kleinem Bereich durchgeführt (z.B. durch Teleportationsmöglichkeiten in der VR) • Physische Fortbewegung für Bewegung in VR notwendig
Welche Interaktionsmöglichkeiten sind vorhanden?
<ul style="list-style-type: none"> • Nur Betrachten möglich (z.B. virtueller 3D-Inhalt mit AR in Welt verankert; 360-Grad Bilder/Videos) • Auswahl/Navigation von Elementen z.B. für Zusatzinformation möglich (z.B. Navigation durch mehrere 360-Grad Panoramas in VR; Anzeigen von Text-/Bildinformation in AR/VR) • Manipulation/Konstruktion von digitalen Inhalten möglich (z.B. spielerische Aufbereitung; üben von Abläufen in VR möglich)
Welche Hardware für AR/VR-Anwendung notwendig?
<ul style="list-style-type: none"> • PC-gebundene Brille (z.B. Valve Index), die entsprechend Platz und Infrastruktur benötigt • Autarke VR-Brille (z.B. Meta Quest 2), die flexibel eingesetzt werden kann

- AR/VR am Mobiltelefon oder Tablet (z.B. Google Cardboard ermöglicht Einsatz von Telefonen von Schüler*innen); Schützhülle empfohlen
- Bei autarken Geräten auf Akkulaufzeit achten

Finale Gestaltung des AR/VR-Lernszenarios und Implementation

Die finale Gestaltung des AR/VR-Lernszenarios erfolgt auf der Grundlage der zuvor getroffenen Analysen und Entscheidungen. Im nächsten Kapitel werden zwei *Best Practices* dazu vorgestellt. Ist die Gestaltung abgeschlossen, wird das Lernszenario im Unterricht eingesetzt. Eine generelle Anmerkung zur Gestaltung von AR/VR-Lernszenarien ist, dass das jeweilige Lernszenario nicht als alleinstehende Lösung zur Erreichung der Lernziele, die in der Praxis meist komplex sind und sich nicht eindeutig nach Wissen oder Fertigkeiten trennen lassen, angenommen wird. Als Empfehlung kann daher ausgesprochen werden, bereits in der Planung des AR/VR-Szenario darüber nachzudenken, wie der festgelegte Inhalt in weiteren Unterrichtseinheiten weiter vertieft werden kann.

Nach der Implementation sollte der Prozess sowie der Ablauf des Lernszenarios reflektiert werden.

Reflexion

Den Abschluss des AR/VR-Lernszenario stellt eine Reflexion dar. Diese sollte zum einen als Selbstreflexion ausgeführt werden: Was hat in den verschiedenen Phasen gut funktioniert, wo gibt es Verbesserungsbedarf? Wie hat die Implementation funktioniert? Welche *lessons learned* nehme ich mit, um das nächste AR/VR-Lernszenario besser im Unterricht implementieren zu können?

Zum anderen bietet es sich an, mit den Schüler*innen über die jeweilige Technologie zu sprechen und kritisch zu reflektieren, welche Auswirkungen AR oder VR auf soziale, politische oder kulturelle Aspekte haben kann. Als Stichwort sei hier der kritische Umgang mit von Menschen geschaffenen virtuellen Welten und Inhalten genannt (vertiefend dazu u.a. Bunnenberg, 2018; Damberger, 2017).

4 Best practice

4.1 AR - Escape Fake

Das AR Spiel Escape Fake wurde vom österreichischen Softwareunternehmen Polycular (2020) entwickelt. Escape Fake nutzt Elemente klassischer Escape Room Spiele, um Lernende in eine spannende Story zu versetzen und Wissen und Fähigkeiten zum Umgang mit in den sozialen Netzwerken verbreiteten Informationen zu vermitteln (Paraschivoiu et al., 2021). Inhaltlich adressiert Escape Fake damit ein Thema, das in der Bildungsforschung und der Bildungspraxis als große Herausforderung betrachtet wird: den kritischen Umgang mit Informationen und das Erkennen von bewusst gestreuten Falschnachrichten: Fake News. In ersten Untersuchungen hat sich das Escape Fake Spiel als effektives und motivierendes Lernangebot herausgestellt (Buchner & Kerres, 2021; Paraschivoiu et al., 2021). Auf der Basis der Umsetzungshilfe werden in der Folge Empfehlungen für den Einsatz im Unterricht formuliert.

Bildungsanliegen

Escape Fake wurde entwickelt, um sowohl Wissen und Fähigkeiten zu vermitteln als auch eine kritische Haltung gegenüber im Netz gefundene Informationen zu fördern (Paraschivoiu et al., 2021). Zudem gelingt es dem Spiel, Lernende mithilfe von AR in eine spannende Story zu versetzen, die unabhängig von Zeit und Ort erlebt werden. Alle für das Spiel notwendigen

Materialien stehen online unter escapefake.org frei zur Verfügung. Die dazugehörige App "Escape Fake" kann kostenlos in gängigen App-Stores heruntergeladen werden. Escape Fake kann damit als ein AR-Angebot eingestuft werden, dass relevante Bildungsanliegen adressieren kann.

Voraussetzungen

Escape Fake ist ein Marker-basiertes AR Spiel. Dies bedeutet, dass zunächst Marker-Bilder von der Homepage heruntergeladen und ausgedruckt werden müssen. Die Bilder beinhalten alle für das Spiel relevanten Informationen und dienen dazu, verschiedene Räumlichkeiten des Escape Room zu simulieren. Als Hardware werden mobile Endgeräte mit Kamerafunktion, Smartphone oder Tablet-Computer, benötigt. Eine bestehende Internetverbindung wird empfohlen. In mehreren Praxiseinsätzen hat sich jedoch gezeigt, dass das Spiel auch ohne Internetverbindung einwandfrei funktioniert. Die technischen Voraussetzungen für den Praxiseinsatz können für Escape Fake als niederschwellig ausgewiesen werden.

Didaktische Analyse

Escape Room Spiele sind, wie andere Lernspiele, meist problembasierte und mit vielen Freiheitsgraden ausgestattete Lernumgebungen. Solche Lernumgebungen können Lernende überfordern und in der Folge effektives Lernen verhindern (z.B. Kirschner et al., 2006). In Escape Fake wurde diesem Problem begegnet, indem eine virtuelle Figur, Hannah Lee May, zur Unterstützung der Spieler*innen in das Gameplay integriert wurde. Hannah Lee May hilft bei der Bearbeitung der Rätsel, verrät Tipps zum weiteren Vorgehen und gibt Feedback, wenn Rätsel erfolgreich gelöst wurden. Technisch wurde dies mithilfe einer Chatbot-Funktion umgesetzt. Durch diese Gestaltung wird eine Überforderung der Lernenden verhindert und erfolgreiche Lernprozesse können stattfinden (Buchner, 2021). Hinsichtlich der Lernziele können sowohl kognitive als auch affektive Lernziele adressiert werden. Zum Beispiel zeigten Lernende nach dem Spielen von Escape Fake ein höheres Wissen darüber, woran Fake News von echten Nachrichten unterschieden werden können und berichteten eine kritischere Einstellung hinsichtlich der Notwendigkeit, im Netz gefundene Informationen erneut auf Richtigkeit zu überprüfen (Buchner, 2021). Escape Fake kann damit als Bildungsanwendung ausgewiesen werden, die verschiedene Lernziele adressieren kann.

Entwicklung von Materialien, Ausgestaltung und Implementation

Auch wenn Escape Fake grundsätzlich als Bildungsanwendung ausgewiesen werden kann, sollten Lehrpersonen dennoch weitere Materialien zur Vertiefung der im Spiel vermittelten Inhalte entwickeln. Zum Beispiel können fiktive (oder echte) Falschnachrichten bereitgestellt werden, die nach dem Spielen von den Lernenden bewertet werden.

Methodisch kann empfohlen werden, Escape Fake kollaborativ spielen zu lassen. Dies hat sich in einer Studie als effektiver erwiesen im Vergleich zu individuellem Lernen mit Escape Fake (Buchner & Kerres, 2021). Zudem sollte nach dem Spielen eine Nachbesprechung der Inhalte, schriftlich oder mündlich, stattfinden. Dies hat sich für Escape Fake, aber auch grundsätzlich für Escape Room Spiele mit Bildungsabsicht, als lernförderlich herausgestellt (z.B. Veldkamp et al., 2020)

Reflexion

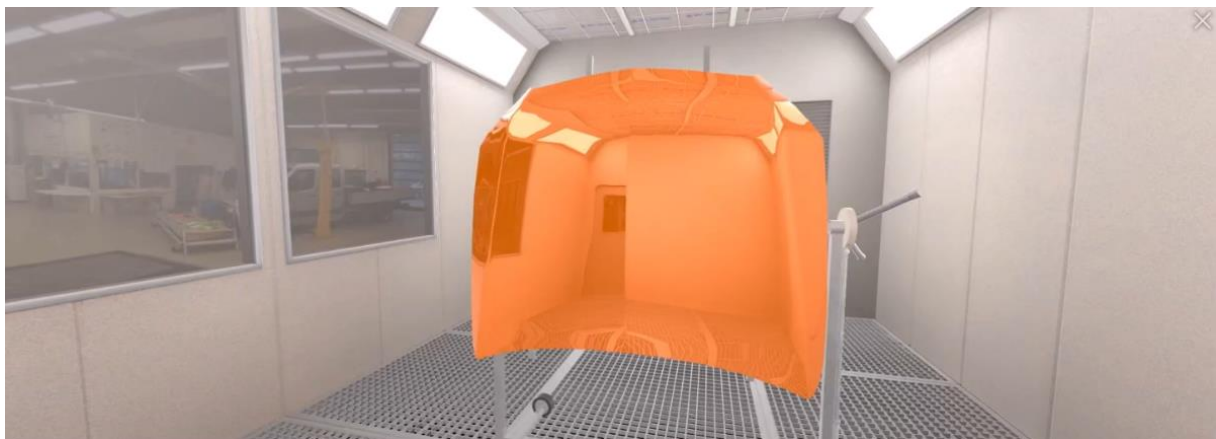
Beim Einsatz von Escape Fake kann sich die Reflexion sowohl auf AR als auch den Inhalt der Anwendung beziehen. So könnte mit Schülerinnen und Schülern diskutiert werden, ob AR tatsächlich in der Lage ist, Räume zu simulieren. Inhaltlich gilt es zu reflektieren, welche Auswirkungen die Verbreitung von Fake News auf das gesellschaftliche Zusammenleben haben kann.

4.2 VR – HandLeVR

Im Forschungsprojekt *HandLeVR* (handlevr.de) wurde eine Lernanwendung mit authentischen Übungsaufgaben für den Bereich des Fahrzeuglackierens entwickelt, um handlungsorientiertes Lernen in dieser Berufsausbildung zu ermöglichen. Die VR-Trainingsanwendung bietet Auszubildenden eine Auswahl an Lernaufgaben an, die sich anhand diverser Parameter (z. B. Art des Werkstücks) sowie der Komplexität voneinander unterscheiden (van Merriënboer & Kirschner, 2018). Dazu befindet sich der Auszubildende in einer virtuellen Lackierwerkstatt (siehe Abb. 2). Flankiert wird das VR-Lernsystem von einem Autorentool und einem Reflexionswerkzeug. Das Autorentool dient der Erstellung konkreter Lerneinheiten durch Ausbildungsverantwortliche. Die während des Lackiervorgangs erfassten Daten (z. B. Materialverbrauch) sind die Grundlage der Reflexionsanwendung (Zender et al., 2020). Auf der Basis der Umsetzungshilfe werden nachfolgend Empfehlungen für den Einsatz an beruflichen und schulischen Ausbildungsstandorten formuliert.

Abbildung 2

Die virtuelle Lackierkabine



Bildungsanliegen

Die Entwicklung der VR-Trainingsanwendung war bedingt durch ein im Berufssektor des Fahrzeuglackierens vorherrschendes Bildungsproblem, das den Erwerb beruflicher Handlungskompetenz hemmt: In der Ausbildung zum/zur Fahrzeuglackierer/in sind nämlich Trainingsmöglichkeiten durch wirtschaftliche (z. B. Materialkosten), ökologische (z. B. umweltschädliche Materialien) und soziale Faktoren (z. B. begrenzte Zeit für Anweisungen) sehr selten. VR bietet eine Lösungsansatz, indem den Auszubildenden vielfältige Lernszenarien angeboten werden. Inhaltlich adressiert die VR-Trainingsanwendung berufsrelevante Aufgabenfelder wie Neuteil- oder Reparaturlackierungen. Variabilität hinsichtlich der Werkstücke, Farben und weiterer Parameter ermöglichen vielfaches Üben, wie es der Erwerb routinierter Fertigkeiten bedarf, und den Transfer in die Praxis. Erste Untersuchungen mit Prototypen der Anwendung deuten darauf hin, dass die VR-Lackierwerkstatt Lernprozesse bedeutsam fördert (Mulders et al., 2021). Letztere Befunde sind besonders relevant, da alternative Trainingsmöglichkeit mit dem Ziel motorische Lackierfertigkeiten zu festigen, ob virtuell oder real, nicht vorhanden sind.

Voraussetzungen

Sämtliche für die Anwendung notwendige Software steht online unter github.com/HandLeVR frei zur Verfügung. An Hardware wird ein Gaming-PC, ein HMD, dazugehörige Controller und eine im 3D-Druck erstellte Lackierpistole benötigt. Die Pistole lässt sich über einen externen Anbieter ordern. Die technischen Voraussetzungen für den Praxiseinsatz sind relativ hoch, scheinen jedoch angesichts kaum vorhandener Trainingsgelegenheiten in der Berufspraxis legitim zu sein und sich über mehrere Ausbildungsjahrgänge auch finanziell zu lohnen.

Didaktische Analyse

Die VR-Lackierwerkstatt adressiert vor allem den Erwerb motorischer Fertigkeiten. Zur Vermittlung solcher liegt der Anwendung als Instruktionsmodell das evidenzbasierte 4C/ID-Modell von van Merriënboer und Kirschner (2018) zugrunde. Die vier Komponenten des Modells beinhalten *Lernaufgaben* (z. B. umgekehrter Fall) und übergeordnete Aufgabenklassen (z. B. Reparaturalackierung). Lernaufgaben bilden eine vollständige Handlung in Form eines Kundenauftrags ab. Innerhalb der Lernaufgaben helfen *unterstützende Informationen* den Auszubildenden. Wissens Elemente zu ausgewählten Aspekten (z.B. Lackmischprozess) werden vermittelt über Erklärvideos, Drag-and-drop-Aufgaben oder über einen virtuellen Ausbildungsmeister. Zusätzlich werden die Auszubildenden durch *Just-in-Time-Informationen* unterstützt. Sie bieten den Auszubildenden genau dann Hilfestellung an, wenn sie benötigt wird. Dies geschieht beispielsweise in Form eines Strahls, der den idealen Abstand zum Werkstück indiziert. In *Part-Task-Practices* üben die Auszubildenden zusätzlich immer wiederkehrende Fertigkeiten, die Routine erfordern (z. B. Einhalten des Winkels zwischen Pistole und Werkstück).

Entwicklung von Materialien, Ausgestaltung und Implementation

Zusätzlich zu Soft- und Hardware lieferte das HandLeVR-Projekt eine Reihe an Leitfäden (für Lehrkräfte, Auszubildende usw.), die die Implementation in praktische Settings erleichtern sollen. Zudem liegt eine Reihe bereits erstellter Lernaufgaben vor, die den Auszubildenden sofort zur Verfügung gestellt werden können. Dennoch sollten Lehrkräfte weitere Lernaufgaben selbst erstellen. So können eigene Materialien eingebunden werden. Im Lackierbereich werden oft Materialien unterschiedlicher Hersteller genutzt. Herstellerabhängige Datenblätter müssen ggf. ausgetauscht werden. Darüber hinaus könnten Lehrkräfte Lernszenarien auf die Bedürfnisse der Auszubildenden anpassen, in ihrer Schwierigkeit variieren und so angemessen auf Prüfungen hinleiten.

Reflexion

Wie oberhalb erwähnt, besteht die VR-Lackierwerkstatt neben der VR-Trainingsanwendung und dem Autorentool aus einem Reflexionswerkzeug. Es bietet den Lehrkräften und den Auszubildenden die Möglichkeit, bearbeitete Lernaufgaben zu besprechen, Lernschwierigkeiten aufzudecken und zukünftige Lernaktivitäten zu planen. Auch Lernverlaufskurven über die gesamte Dauer einer Ausbildung hinweg erscheinen lernförderlich und können motivierend eingesetzt werden.

5 Fazit

AR und VR sind zuallererst als Visualisierungstechnologien auszuweisen, nicht a priori als Bildungstechnologien. Wie der in diesem Kapitel präsentierte Stand der Forschung zeigt, entscheidet das didaktische Design ob und was mithilfe von AR/VR-Technologien gelernt werden kann. Mit der vorgestellten Umsetzungshilfe wird diesem Umstand Rechnung getragen: Lehrpersonen können sich an den formulierten Schritten orientieren und unter

Einbezug (medien)didaktischer Analysen und Entscheidungen effektive AR/VR-Unterrichtsszenarien gestalten.

Literatur

- Alalwan, N., Cheng, L., Al-Samarraie, H., Yousef, R., Ibrahim Alzahrani, A., & Sarsam, S. M. (2020). Challenges and Prospects of Virtual Reality and Augmented Reality Utilization among Primary School Teachers: A Developing Country Perspective. *Studies in Educational Evaluation*, 66, 100876. <https://doi.org/10.1016/j.stueduc.2020.100876>
- Buchner, J. (2017a). Offener Geschichtsunterricht mit Augmented Reality. *Medienimpulse*, 1, 1–8. <http://www.medienimpulse.at/articles/view/1061?navi=1>
- Buchner, J. (2017b). Offener Unterricht mit Augmented Reality. *Erziehung Und Unterricht*, 167(7–8), 68–73. https://eeducation.at/fileadmin/downloads/e_u_7-8_17_digital.pdf#page=70
- Buchner, J. (2021). *Lernen mit Escape Room Games (!?)*. Ed Tech Research Forum 2021, Online. <https://learninglab.uni-due.de/publikationen/14413>
- Buchner, J., & Aretz, D. (2020). Lernen mit immersiver Virtual Reality: Didaktisches Design und Lessons Learned. *MedienPädagogik: Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung*, 17, 195–216. <https://doi.org/10.21240/mpaed/jb17/2020.05.01.X>
- Buchner, J., Buntins, K., & Kerres, M. (2021). A systematic map of research characteristics in studies on augmented reality and cognitive load. *Computers and Education Open*, 2, 100036. <https://doi.org/10.1016/j.caeo.2021.100036>
- 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., Jeremias, P. M., Kobzare, N., König, L., Oberreiter, S., Reiter, S., & Resch, B. (2021). An Augmented Reality Learning Environment for Informal Geoinformatics Education. *GI_Forum*, 9(2), 3–17. https://doi.org/10.1553/giscience2021_02_s3
- Buchner, J., & Kerres, M. (2021). *Collaborative and individual learning in an augmented reality escape room game*. EARLI 2021, online. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.33420.44169>
- Buchner, J., Otto, D., & Kerres, M. (2021). PCBuildAR: Die Entwicklung von Augmented Reality Karten für den Informatikunterricht als partizipativer Designprozess. *Medienimpulse*, 59(4), 1–27. <https://doi.org/10.21243/mi-04-21-12>
- Buchner, J., & Zumbach, J. (2020). Augmented Reality in Teacher Education: A Framework to support Teachers' Technological Pedagogical Content Knowledge. *Italian Journal of Educational Technology*, 28(2). <https://doi.org/10.17471/2499-4324/1151>
- Bunnenberg, C. (2018). Virtual Time Travels? Public History and Virtual Reality. *Public History Weekly*. <https://doi.org/dx.doi.org/10.1515/phw-2018-10896>
- Chen, C. (2020). AR videos as scaffolding to foster students' learning achievements and motivation in EFL learning. *British Journal of Educational Technology*, 51(3), 657–672. <https://doi.org/10.1111/bjet.12902>
- Chen, C.-H. (2020). Impacts of augmented reality and a digital game on students' science learning with reflection prompts in multimedia learning. *Educational Technology Research and Development*, 68(6), 3057–3076. <https://doi.org/10.1007/s11423-020-09834-w>
- Chen, C.-H., Lee, I.-J., & Lin, L.-Y. (2016). Augmented reality-based video-modeling storybook of nonverbal facial cues for children with autism spectrum disorder to improve their perceptions and judgments of facial expressions and emotions. *Computers in Human Behavior*, 55, 477–485. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2015.09.033>
- Chittaro, L., & Buttussi, F. (2015). Assessing Knowledge Retention of an Immersive Serious Game vs. A Traditional Education Method in Aviation Safety. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 21(4), 529–538. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2015.2391853>
- Cummings, J. J., & Bailenson, J. N. (2016). How Immersive Is Enough? A Meta-Analysis of the Effect of Immersive Technology on User Presence. *Media Psychology*, 19(2), 272–309. <https://doi.org/10.1080/15213269.2015.1015740>
- Damberger, T. (2017). Bildungsreise in digitale Welten. *Pädagogische Rundschau*, 20.

- Deibl, I., Moser, S., Zumbach, J., Czermak, S., Edlinger, R., Zwingenberger, G., Prudky, L., & Eibl, C. (2021). AR im Klassenzimmer. Wie Schülerinnen und Schüler sowie Lehrkräfte im Rahmen eines Citizen Science Projekts den Klimawandel (be-)greifbar machen. *Medienimpulse*, 59(4), 1–31. <https://doi.org/10.21243/mi-04-21-14>
- DelighteX. (2021). *CoSpaces Edu*. <https://cospaces.io/edu/index.html>
- Dengel, A., Buchner, J., Mulders, M., & Pirker, J. (2021). Beyond the Horizon: Integrating Immersive Learning Environments in the Everyday Classroom. *Proceedings of 7th International Conference of the Immersive Learning Research Network (ILRN 2021)*, 380–384. <https://immersivelrn.org/ilrn2021/ilrn-2021-proceedings/>
- Erles, T., Strauss, S., & Hartwig, J. (2022). *Augmented Reality (AR) & 360°, (VR)* [Kollaborative Sammlung]. <https://padlet.com/strsa/ar>
- Gabbard, J. L., Swan, J. E., Zedlitz, J., & Winchester, W. W. (2010). More than meets the eye: An engineering study to empirically examine the blending of real and virtual color spaces. *2010 IEEE Virtual Reality Conference (VR)*, 79–86. <https://doi.org/10.1109/VR.2010.5444808>
- Garzón, J., & Acevedo, J. (2019). Meta-analysis of the impact of Augmented Reality on students' learning gains. *Educational Research Review*, 27, 244–260. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2019.04.001>
- Gattullo, M., Uva, A. E., Fiorentino, M., & Monno, G. (2015). Effect of Text Outline and Contrast Polarity on AR Text Readability in Industrial Lighting. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 21(5), 638–651. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2014.2385056>
- Grünberger, N., Himpl-Gutermann, K., Szucsich, P., Schirmer, K., Sankofi, M., Frick, K., & Döbrentey-Hawlik, B. (2021). Partizipation, Nachhaltigkeit und Offenheit als Leitlinien medienpädagogischer Projekte. Reflexion über das gestaltungsorientierte, partizipative Projekt „ÖHA! - Ökologisches Medienhandeln in Schule und darüber hinaus“. *Medienimpulse*, 59(4), 1–30. <https://doi.org/10.21243/mi-04-21-15>
- Heartwire. (2022). *The shape of us*. <https://www.theshapeofus.de>
- Heeter, C. (1992). Being There: The Subjective Experience of Presence. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 1(2), 262–271. <https://doi.org/10.1162/pres.1992.1.2.262>
- Hung, Y.-H., Chen, C.-H., & Huang, S.-W. (2017). Applying augmented reality to enhance learning: A study of different teaching materials. *Journal of Computer Assisted Learning*, 33(3), 252–266. <https://doi.org/10.1111/jcal.12173>
- Jauch, S. (2019). *Virtual und Augmented Reality im Klassenraum? Ein Überblick bildungsrelevanter Angebote*. <https://www.bpb.de/lernen/digitale-bildung/werkstatt/298516/virtual-und-augmented-reality-im-klassenraum-ein-ueberblick-bildungsrelevanter-angebote/>
- Jensen, L., & Konradsen, F. (2018). A review of the use of virtual reality head-mounted displays in education and training. *Education and Information Technologies*, 23(4), 1515–1529. <https://doi.org/10.1007/s10639-017-9676-0>
- Kerres, M. (2018). *Mediendidaktik: Konzeption und Entwicklung mediengestützter Lernangebote* (5. Auflage). De Gruyter Oldenbourg Verlag.
- Kerres, M. (2021). *Didaktik. Lernangebote gestalten*. Waxmann. <https://www.utb.de/doi/10.36198/9783838557182>
- Kirschner, P. A., Sweller, J., & Clark, R. E. (2006). Why Minimal Guidance During Instruction Does Not Work: An Analysis of the Failure of Constructivist, Discovery, Problem-Based, Experiential, and Inquiry-Based Teaching. *Educational Psychologist*, 41(2), 75–86. https://doi.org/10.1207/s15326985ep4102_1
- Kojić, T., Ali, D., Greinacher, R., Möller, S., & Voigt-Antons, J.-N. (2020). User Experience of Reading in Virtual Reality—Finding Values for Text Distance, Size and Contrast. *2020 Twelfth International Conference on Quality of Multimedia Experience (QoMEX)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/QoMEX48832.2020.9123091>
- Lai, A.-F., Chen, C.-H., & Lee, G.-Y. (2019). An augmented reality-based learning approach to enhancing students' science reading performances from the perspective of the cognitive load theory. *British Journal of Educational Technology*, 50(1), 232–247. <https://doi.org/10.1111/bjet.12716>
- Lécuyer, A. (2009). Simulating Haptic Feedback Using Vision: A Survey of Research and Applications of Pseudo-Haptic Feedback. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 18(1), 39–53. <https://doi.org/10.1162/pres.18.1.39>

- Makransky, G. (2021). The Immersion Principle in Multimedia Learning. In R. E. Mayer & L. Fiorella (Eds.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (3rd ed., pp. 296–303). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108894333.031>
- Makransky, G., Andreasen, N., Baceviciute, S., & Mayer, R. E. (2021). Immersive virtual reality increases liking but not learning with a science simulation and generative learning strategies promote learning in immersive virtual reality. *Journal of Educational Psychology*, *113*(4), 719–735. <https://doi.org/10.1037/edu0000473>
- Makransky, G., Borre-Gude, S., & Mayer, R. E. (2019). Motivational and cognitive benefits of training in immersive virtual reality based on multiple assessments. *Journal of Computer Assisted Learning*, *35*(6), 691–707. <https://doi.org/10.1111/jcal.12375>
- Makransky, G., Terkildsen, T. S., & Mayer, R. E. (2019). Adding immersive virtual reality to a science lab simulation causes more presence but less learning. *Learning and Instruction*, *60*, 225–236. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2017.12.007>
- Mohr, P., Tatzgern, M., Grubert, J., Schmalstieg, D., & Kalkofen, D. (2017). Adaptive user perspective rendering for Handheld Augmented Reality. *2017 IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI)*, 176–181. <https://doi.org/10.1109/3DUI.2017.7893336>
- Mohr, P., Tatzgern, M., Langlotz, T., Lang, A., Schmalstieg, D., & Kalkofen, D. (2019). TrackCap: Enabling Smartphones for 3D Interaction on Mobile Head-Mounted Displays. *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 1–11. <https://doi.org/10.1145/3290605.3300815>
- Mulders, M., & Buchner, J. (2020). Lernen in immersiven virtuellen Welten aus der Perspektive der Mediendidaktik. *Medienimpulse*, *58*(2), 1–23. <https://doi.org/doi:10.21243/mi-02-20-22>
- Mulders, M., Buchner, J., & Kerres, M. (2020). A Framework for the Use of Immersive Virtual Reality in Learning Environments. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (IJET)*, *15*(24), 208. <https://doi.org/10.3991/ijet.v15i24.16615>
- Mulders, M., Schmitz, A., Weise, M., & Zender, R. (2021). Evaluierung einer VR-Lackierwerkstatt im agilen Projektvorgehen. *Die 19. Fachtagung Bildungstechnologien (DELFI)*, 1–6.
- Oh, C. S., Bailenson, J. N., & Welch, G. F. (2018). A Systematic Review of Social Presence: Definition, Antecedents, and Implications. *Frontiers in Robotics and AI*, *5*. <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/frobt.2018.00114>
- Paraschivoiu, I., Buchner, J., Praxmarer, R., & Layer-Wagner, T. (2021). Escape the Fake: Development and Evaluation of an Augmented Reality Escape Room Game for Fighting Fake News. *Extended Abstracts of the 2021 Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play*, 320–325. <https://doi.org/10.1145/3450337.3483454>
- Parong, J., & Mayer, R. E. (2018). Learning science in immersive virtual reality. *Journal of Educational Psychology*, *110*(6), 785–797. <https://doi.org/10.1037/edu0000241>
- Parong, J., & Mayer, R. E. (2021). Learning about history in immersive virtual reality: Does immersion facilitate learning? *Educational Technology Research and Development*, 1–19. <https://doi.org/10.1007/s11423-021-09999-y>
- Polycular. (2020). *Escape Fake – Fight Fake News with a Game*. <https://escapefake.org/>
- Shin, D. (2018). Empathy and embodied experience in virtual environment: To what extent can virtual reality stimulate empathy and embodied experience? *Computers in Human Behavior*, *78*, 64–73. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2017.09.012>
- Smith, S. J., Farra, S. L., Ulrich, D. L., Hodgson, E., Nicely, S., & Mickle, A. (2018). Effectiveness of Two Varying Levels of Virtual Reality Simulation. *Nursing Education Perspectives*, *39*(6), E10–E15. <https://doi.org/10.1097/01.NEP.0000000000000369>
- Sommerauer, P., & Müller, O. (2014). Augmented reality in informal learning environments: A field experiment in a mathematics exhibition. *Computers & Education*, *79*, 59–68. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2014.07.013>
- Southgate, E., Smith, S. P., Cividino, C., Saxby, S., Kilham, J., Eather, G., Scevak, J., Summerville, D., Buchanan, R., & Bergin, C. (2019). Embedding immersive virtual reality in classrooms: Ethical, organisational and educational lessons in bridging research and practice. *International Journal of Child-Computer Interaction*, *19*, 19–29. <https://doi.org/10.1016/j.ijcci.2018.10.002>
- Spangenberg, P., Geiger, S. M., & Freytag, S.-C. (2022). Becoming nature: Effects of embodying a tree in immersive virtual reality on nature relatedness. *Scientific Reports*, *12*(1), 1311. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-05184-0>

- Tatzgern, M., & Birgmann, C. (2021). Exploring Input Approximations for Control Panels in Virtual Reality. *2021 IEEE Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, 1–9. <https://doi.org/10.1109/VR50410.2021.00092>
- Tekedere, H., & Göker, H. (2016). Examining the Effectiveness of Augmented Reality Applications in Education: A Meta-Analysis. *International Journal of Environmental and Science Education*, *11*(16), 9469–9481.
- van Merriënboer, J. J. G., & Kirschner, P. A. (2018). 4C/ID in the Context of Instructional Design and the Learning Sciences. In *International Handbook of the Learning Sciences* (pp. 169–189). Routledge.
- Veldkamp, A., van de Grint, L., Knippels, M.-C. P. J., & van Joolingen, W. R. (2020). Escape education: A systematic review on escape rooms in education. *Educational Research Review*, *31*, 100364. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2020.100364>
- Wörner, K., & Buchner, J. (2019). *Realität 2.0. Virtuelle Lernwelten, didaktische Ansätze und praktische Durchführung*. Handouts für Lehrerinnen und Lehrer für den Unterricht mit digitalen Medien. <https://www.dropbox.com/s/7oxkcl25k5w13yr/Realit%C3%83%C2%A4t%202.0.pdf?dl=0>
- Zender, R., Sander, P., Weise, M., Mulders, M., Lucke, U., & Kerres, M. (2020). HandLeVR: Action-Oriented Learning in a VR Painting Simulator. In E. Popescu, T. Hao, T.-C. Hsu, H. Xie, M. Temperini, & W. Chen (Eds.), *Emerging Technologies for Education* (Vol. 11984, pp. 46–51). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-38778-5_6
- Zender, R., Weise, M., & Lucke, U. (2019). Handlungsorientiertes Lernen in der VR-Lackierwerkstatt. In N. Pinkwart & J. Konert (Eds.), *DeLFI 2019—Die 17. E-Learning Fachtagung Informatik*. https://handlevr.de/wp-content/uploads/2019/09/HandLeVR-Poster_DeLFI_2019_v3.pdf
- Zumbach, J., von Kotzebue, L., & Pirklbauer, C. (2022). Does Augmented Reality Also Augment Knowledge Acquisition? Augmented Reality Compared to Reading in Learning About the Human Digestive System? *Journal of Educational Computing Research, Online First*. <https://doi.org/10.1177/07356331211062945>