

Virtuelle Welten – Neue Realitäten in der Digitalität

Herausforderungen für den (Grundschul-)Unterricht

AR/VR¹-Hype: bald auch im (Grundschul-)Unterricht?

Ob bei Unterhaltungsspielen, beim Einrichten des Wohnzimmers oder auch bei der Plakatwerbung an der nächsten Bushaltestelle: Augmented Reality (AR) oder Virtual Reality (VR) sind längst im Alltag – auch zunehmend von Schüler:innen der Primarstufe – angekommen: Spieleanwendungen wie Pokémon Go (AR), Minecraft oder SIMS (VR) werden bereits von jüngeren Kindern genutzt (vgl. KIM-Studie 2020 des mpfs) und sorgen für Faszination. Im Zuge ihres Lebens werden die Schüler:innen auch Echtzeit-Navigation auf ihren Mobilgeräten nutzen, virtuelle Museumsbesuche erleben oder in vielen Berufsfeldern mit AR oder VR umgehen (z. B. Echtzeit-Bildunterstützung bei chirurgischen Eingriffen). AR und VR weisen also für Schüler:innen der Primarstufe eine hohe Gegenwarts- und Zukunftsbedeutung (Irion, 2018, 4; Klafki, 2007, 15 ff.) auf.

Im Sinne der Bildung in der Digitalität (vgl. Irion, Peschel & Schmeinck in diesem Band) müssen Medienkompetenzen generell, aber auch Kompetenzen in Bezug auf AR/VR-Technologien sowie auf den Umgang mit den (Aus-) Wirkungen von virtuellen Anreicherungen oder Ersetzungen der Realität angebahnt werden. Dazu müssen entsprechende fachdidaktische Entwicklungen gefördert werden, z. B. durch die Gestaltung von virtuell-interaktiven Sachunterrichtsausstellungen (Cospaces, <http://flw.zentrum-fuer-medienbildung.de/kurse/virtuell-interaktive-welten-mit-cospaces-gestalten>). Für den Bildungsbereich können AR oder VR durch niedrigschwellige Entwicklungstools erschlossen werden, die keine oder kaum Programmierkenntnisse erfordern und als gebrauchsfertige Lehr-Lern-Angebote AR oder VR für den direkten Einsatz im Unterricht adaptieren.

Alle, die schon mal eine VR-Begehung spektakulärer Naturschauplätze gemacht haben, die das Potenzial von AR bei chemischen Prozessen erfahren

1) AR: „Augmented Reality“: Technologie zur Anreicherung der Realität mit virtuellen Inhalten. VR: „Virtual Reality“: Technologie, die das Eintauchen in vollständig virtuelle Umgebungen erlaubt. Eine begriffliche Präzisierung und Beispiele folgen in den weiteren Kapiteln.

haben, sind von VR bzw. AR und den Möglichkeiten für den Unterricht angehan. Wobei dies erst der Anfang ist, denn AR- und VR-spezifische fachdidaktische Entwicklungen befinden sich noch in den Kinderschuhen (insb. wegen bestehender technischer Hürden und Herausforderungen bei der Nutzung durch Kinder, siehe vorletztes Kapitel).

In der Unterrichtsforschung werden die Wirkungen, Chancen und Grenzen des Einsatzes von AR und VR seit mehreren Jahren verstärkt beforcht (Radianti et al. 2020, 22). Neben positiven Effekten auf Motivation und Interesse zeigt sich bezüglich der Verbesserung des Lernerfolgs durch AR oder VR allerdings eine inkonsistente Befundlage. Dennoch: AR, VR oder ähnliche Technologien eröffnen neue pädagogisch-didaktische Gestaltungsaspekte, die den Lehr-Lern-Prozess unterstützen oder bereichern könnten, wie ein Blick in die Historie für alle ehemals neuen Technologien und deren Adaptionen in den Unterricht zeigt.

Die Lehr-Lern-Forschung zeigt jedoch, dass der Orchestrierung (Prieto et al. 2011, 585 ff.) beim Einsatz digitaler Medien besondere Bedeutung zukommt. Es geht also weniger darum, ob mit AR/VR gearbeitet wird, sondern darum, wie die Technologie didaktisch genutzt wird, inwiefern sie zu einer besseren Strukturierung der Unterrichtsinhalte, zu einer Erhöhung der kognitiven Verarbeitungstiefe oder zu einer höheren Motivation führt. Die technischen Möglichkeiten zur Generierung neuer Repräsentationsformen an der Schnittstelle Realität, Virtualität und Abstraktion eröffnen Potenziale, denen wir in diesem Beitrag nachgehen wollen. Dabei soll hier auch exemplarisch aufgezeigt werden, wie sich die Grundschuldidaktik im Zuge ständiger technischer Innovation kritisch-konstruktiv positionieren kann.

An der Implementation von AR/VR im (Grundschul-)Unterricht besteht derzeit wachsendes Interesse – auch vonseiten der verschiedenen Fachdidaktiken oder Verlage für Unterrichtsmaterialien. Die Stärke von AR/VR liegt in der Ermöglichung einer Echtzeit-Interaktion zwischen Realität und Digitalität bzw. Virtualität; somit eröffnen AR bzw. VR neue Möglichkeiten der Individualisierung des Lehr-Lern-Prozesses durch Echtzeit-Anpassung von Fachinhalten an die Lernenden (Hughes et al. 2005, 24 ff.).

AR, VR ... – alles das Gleiche!?

Durch die digitale Technik „Augmented Reality“ (AR, Abb. 1a) kann die Wahrnehmung der realen Umgebung durch virtuelle Inhalte angereichert werden (Azuma et al. 2001, 34), während bei Virtual Reality (VR, Abb. 1b) die Realität vollständig durch eine virtuelle Umgebung ersetzt wird (Dörner et al. 2019, 7). Mit VR soll die Illusion einer virtuell erzeugten Umgebung simuliert werden (Slater 2009, 3549). Im Gegensatz dazu zeichnet sich AR durch eine Integration von Virtualität in die Realität (als Hauptbezugsebene)



Abb. 1: a) Augmented Reality (AR) zur Echtzeit-Navigation (Konzeptbild) (links),
b) Virtual Reality (VR) im Klassenzimmer (rechts)

mit zeitlicher, räumlicher oder semantischer Verschränkung beider Ebenen aus (Milgram & Kishino 1994, 283 f.).

Milgram und Kishino (1994, 283 f.) verorten Technologien, die Realität und Digitalität integrieren, auf einem Realitäts-Virtualitäts-Kontinuum (Abb. 2) und fassen diese unter „Mixed Reality“ zusammen. Die Grenzen zwischen Realität und Digitalität sind oft fließend und nicht mehr direkt bzw. konkret wahrnehmbar. So benutzen wir im Alltag immer virtuelle Anreicherungen, z. B., wenn wir Gesichtsfiler in Social Media verwenden oder wenn wir im Auto auf ein Navigations-Assistenzsystem (mit visuellen und/oder akustischen Informationen, bei neueren Fahrzeugen sogar direkt in der Windschutzscheibe) zurückgreifen.



Abb. 2: Realitäts-Virtualitäts-Kontinuum, adaptiert nach Milgram und Kishino 1994, 283 (eigene Darstellung)

Während viele VR-Anwendungen mittels auf dem Kopf getragener Brillen (Abb. 3a auf der folgenden Seite) realisiert werden, sind die meisten AR-Anwendungen derzeit für in der Hand gehaltene Display-Geräte (Tablets, Smartphones) ausgelegt. Das Potenzial durch AR-Brillen (Abb. 3b) wird bislang noch sehr wenig ausgeschöpft und es gibt nur wenige AR-Anwendungen für diese Brillen-Technologie (Akçayır & Akçayır 2017, 6).



Abb. 3: a) VR-Brille: Nimmt die Sicht vollkommen ein (links), b) AR-Brille: Transparente Gläser mit eingearbeiteten Displays erzeugen den Eindruck, dass sich virtuelle Objekte unmittelbar in der realen Umgebung befinden (rechts)

Die Nutzung solcher AR-Brillen – insbesondere aus fachdidaktischer Sicht – könnte aber zukünftig (bei technischer und wirtschaftlicher Anpassung und Vereinfachung, s. unten) in Lehr-Lern-Situationen von Vorteil sein: Durch die auf dem Kopf getragenen Brillen entsteht der Eindruck, dass virtuelle Informationen mit unmittelbarem Bezug zur Realität zusätzlich visualisiert werden. Vor allem aus fachdidaktischer Sicht ist dieser Unterschied zwischen einer (zusätzlichen) Visualisierung virtueller Informationen in der Realität und der Einblendung in der Kamerasicht eines Gerätes von essenzieller Bedeutung. Dieser Unterschied der Technik (Tablet vs. Brille) muss in Hinblick auf didaktische Szenarien und die Wirkung in Lehr-Lern-Situationen weiter erforscht werden. Außerdem erlauben Brillen (sowohl in AR als auch VR) gegenüber einem in der Hand gehaltenen (oder an einer fixen Position montierten) Display-Gerät die freie Bewegung im Raum sowie die Nutzung beider Hände (Evans et al. 2017, 179). Diese Freiheiten sind von besonderer Wichtigkeit bei physischen Aktivitäten wie dem Experimentieren (Kapp et al. 2020, 197) und dies fokussiert den Lerngegenstand, da das Medium hinter dem Inhalt zurücksteht.

AR/VR im (Grundschul-)Unterricht

Virtual Reality – Virtuelle Welten ohne Realität

Kinder kennen VR von diversen Spielekonsolen (Abb. 4a) oder haben schon einmal mit einem Smartphone und einer Karton-Schablone selbst eine VR-Brille gebastelt (Abb. 4b). VR eignet sich in Lehr-Lern-Situationen besonders zur Simulation möglichst realgetreuer Situationen (De Lange 2017, 8 ff.) und kommt deswegen vor allem bei antiken Ortsrekonstruktionen oder virtuellen Besichtigungen (z. B. bei einer virtuellen Reise ins Mittelalter im Landesmuseum Stuttgart, www.landmuseum-stuttgart.de/ausstellungen/vr-reise-ins-

mittelalter) zum Einsatz. VR scheint darüber hinaus besonders förderlich beim Erlernen von Bewegungsabläufen oder Verhalten zu sein und findet derzeit eher weniger Anwendung im Bereich der formellen Bildung (Fischer et al. 2021, 3305 f.). Es wird immer wieder berichtet, dass bei längerer Nutzung von VR Konzentrationsschwierigkeiten, kognitive Überlastung oder auch Schwindel oder Übelkeit auftreten können (Saredakis et al. 2020, 6). Eine (verstärkte) Nutzung von VR im Unterricht kann darüber hinaus die Interaktion zwischen den Lernenden einschränken (Kenwright 2018, 23), da die VR-Brille die direkte Kommunikation mit der Realwelt stark erschwert. Insgesamt scheint VR daher hauptsächlich für kurzzeitige Lehr-Lern-Angebote bei spezifischen Themen oder spezifischen pädagogisch-didaktischen Intentionen geeignet zu sein. Weniger immersive VR-Anwendungen gibt es auch ohne Brille, d. h. ein Tablet oder Smartphone wird als „Fenster in die Virtualität“ im Raum bewegt und dabei kann eine virtuelle Umgebung betrachtet werden. Der (fach-)didaktische Nutzen solcher VR-Anwendungen – auch im Vergleich zu Animationen oder Simulationen – ist allerdings noch zu klären.



Abb. 4: a) Kind mit VR-Brille für ein Videospiel (links), b) Do-It-Yourself-VR-Brille (rechts)

Weitere Beispiele für VR-Anwendungen (z.B. VR-Exkursionen in der Serengeti-Savanne) gibt es zum Beispiel bei Oculus: www.oculus.com/blog/celebrate-earth-day-in-vr-with-serengeti-river-crossing-earth-360-the-call-of-science-and-more/?locale=de_DE.

Augmented Reality – Realität – und mehr!

AR ermöglicht die gleichzeitige Wahrnehmung (und ggf. Interaktion) der realen Umgebung mit zusätzlichen virtuellen Objekten oder Informationen (Dunleavy 2014, 32) und eröffnet so neue Möglichkeiten der Individualisierung von Lehr-Lern-Prozessen durch Echtzeit-Anpassung der Lehr-Lern-Umgebung an die konkret-realen Handlungen der Lernenden (Anderson &

Anderson 2019, 85), wie zum Beispiel bei einer Echtzeit-Anzeige von Schaltsymboliken beim Bauen elektrischer Schaltungen (Abb. 5). Meistens wird AR allerdings (nur) genutzt, um Zusatzinformationen einzublenden (Dede 2009, 68) – wie bei der o. g. Autonavigation.

Mittels spezieller Visualisierungen an Realobjekten können aber auch Prozesse oder Phänomene sichtbar(er) gemacht werden, die mit dem bloßen Auge nicht oder nur teilweise wahrgenommen werden können (Dunleavy 2014, 32). So ist es z. B. möglich, einen Lithium-Ionen-Akku in AR auseinanderzubauen, einzelne Komponenten zu betrachten und die chemischen Vorgänge mittels modellhafter Visualisierungen nachzuvollziehen (Seibert et al. 2020a, 86 ff.). Insbesondere beim Lernen mit multiplen Repräsentationen weist AR großes Potenzial zur Unterstützung von Lehr-Lern-Prozessen auf (Radu & Schneider 2019, 1 f.): Durch Integration verschiedener (visueller) Informationskanäle im direkten Blickfeld der Lernenden in AR kann beispielsweise auch die kognitive Belastung der Lernenden reduziert werden (Altmeyer et al. 2020, 611).²

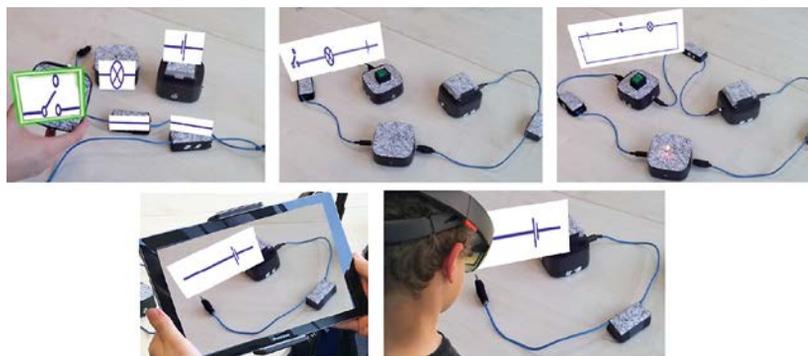


Abb. 5: Bauteile mit AR-Visualisierung von Schaltsymboliken und optischer Hervorhebung von Symbolen bei Berührung des Bauteils in einer Tablet- und einer Smartglasses-Variante. Entwicklung: AG Paul Lukowicz, DFKI Kaiserslautern (Peschel et al. 2022, 3)

Der praktische Einsatz von AR (besonders bei AR-Brillen) wird allerdings oft noch durch technische Probleme erschwert (Munoz-Cristobal et al. 2015, 86) und insbesondere AR-Brillen können auch zu einer kognitiven Überlastung der Lernenden führen (Buchner et al. 2021, 285). Diese Brillen sind aktuell eben nicht für die Schule oder für Kinder konstruiert und werden als Tech-

2) Insgesamt muss der Nutzen dieser verschiedenen Repräsentationen für Kinder im Grundschulalter – vor allem bzgl. des Verständnisses der visualisierten modellhaften Repräsentationen (Kopp & Martschinke 2010, 198) – insbesondere aus fachdidaktischer Sicht in AR weitergehend untersucht werden.

nologie zunächst grundlegend erforscht (dies war aber bei Pad und Phone genauso und diese haben mittlerweile Einzug – auch durch Corona – in nahezu jede Schule gefunden).

Implementierung von AR/VR in den (Grundschul-)Unterricht: Herausforderungen

Für AR/VR scheint insgesamt ein großes Potenzial zur Be- und Anreicherung von Lehr-Lern-Situationen im Unterricht zu bestehen. Allerdings gibt es auch noch einige Herausforderungen, die zur erfolgreichen und nachhaltigen Implementation von AR/VR in den (Grundschul-)Unterricht und zukünftig angegangen werden müssen. Diese werden nachfolgend dargelegt.

Entwicklung, Erprobung und Reflexion pädagogisch-didaktischer Lehr-Lern-Angebote

Aktuell zeigt die Forschung zum Einsatz von AR oder VR im Unterricht (s. vorherige Kapitel) noch keine klare Tendenz: Die beschriebenen Effekte bzw. Wirkungen variieren teils stark je nach zugrunde gelegter pädagogisch-didaktischer Intention der Implementation der Technologie (Fischer et al. 2021, 3309). Es ist unerlässlich, zukünftig theoretisch und empirisch zu prüfen, in welchen (pädagogisch-didaktischen) Situationen bzw. bei welchen Fachinhalten oder adressierten Kompetenzen die Implementation von Technologien wie AR oder VR einen Nutzen hat (Kerres et al. 2021, 1f.). Denn eine Technologie zeichnet sich in Lehr-Lern-Situationen durch charakteristische pädagogisch-didaktische Möglichkeiten der Gestaltung aus (Peschel, 2016, 7) und muss sich letztlich in der Praxis beweisen, ob sie tatsächlich einen Nutzen für Bildung und Unterricht hat.

Die Entwicklung von entsprechenden Lehr-Lern-Anwendungen mit AR oder VR geht aktuell noch eher experimentell vonstatten und orientiert sich mehr an den technischen Möglichkeiten als an pädagogisch-didaktischen Zielen (Radianti et al. 2020, 1). Für AR-Lehr-Lern-Angebote bedeutet dies oft, dass lediglich Zusatzinformationen visualisiert werden (Ibáñez & Delgado-Kloos 2018, 13 f.), ohne dass das (fachdidaktisch basierte) Lernen im Mittelpunkt steht, selbst unterstützt wird oder dass die Visualisierungen in AR von Lernenden noch als störend empfunden werden können (Bacca et al. 2014, 141).

Die pädagogisch-didaktische Einbettung der Technologie in Lehr-Lern-Situationen entscheidet maßgeblich über den Lernerfolg, nicht der Einsatz der Technologie selbst (Wu et al. 2013, 47 f.). Deswegen ist es unerlässlich, bei der Entwicklung von Lehr-Lern-Anwendungen für bildungsbezogene Forschung wie auch für den praktischen (Grundschul-)Unterricht mit AR oder VR von Fachinhalten und Kompetenzen auszugehen und eine geeignete Form

der technologischen Anreicherung fachlich-medial zu rekonstruieren (Kattmann et al. 1997, 4; Lauer & Peschel 2020, 64; Mulders et al. 2020, 214 ff.), anstatt von einer AR- oder VR-Anwendung auszugehen und zu überlegen, wie sie z. B. im Unterricht eingesetzt werden könnte. Es zeigt sich wiederum bzw. weiterhin, das Primat des Pädagogischen bzw. Primat der Didaktik beim fachdidaktischen Technologieeinsatz zu beherzigen.

Die Gesellschaft für Fachdidaktik (GFD 2018, 1 f.) fordert, dass neben der medialen Unterstützung fachlichen Lernens auch gleichzeitig die fachliche Grundlegung medialen Lernens erfolgen muss. Für den Bereich Grundschule, insbesondere für den Sachunterricht, spezifiziert die Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts (GDSU 2021, 2 ff.), dass bei dieser gleichzeitigen Adressierung des Lernens *mit* und *über* Medien (Peschel 2020, 341) das vielperspektivische, welterschließende Verständnis des Lernens im Sinne der ‚kindlichen Welterschließung‘ (GDSU 2013, 9) zu berücksichtigen ist.

(Weiter-)Entwicklung bzw. Adaption pädagogisch-didaktischer Begriffe und Modellierungen

Das deAR-Modell von Seibert et al. (2020b, 453) beschreibt die Planung, Konzeption, Durchführung und Reflexion von Lehr-Lern-Situationen mit AR im naturwissenschaftlichen Unterricht unter Berücksichtigung von technischen Spezifika sowie medienpädagogischen, mediendidaktischen und fachdidaktischen Aspekten von AR in Lehr-Lern-Situationen. Es liefert somit Ansätze für die konkrete Unterrichtsumsetzung moderner Technologien.

Für den Unterricht der Grundschule, speziell für den Sachunterricht muss vor allem der Unterschied zwischen dem *fachbezogenen* Einsatz von AR oder VR im Unterricht der Sekundarstufen und dem *sachunterrichtlichen* Einsatz in der Primarstufe beachtet werden: Daher besteht weiterhin die Problematik, dass auch Modellierungen wie das deAR-Modell nur begrenzt der Vielperspektivität des Sachunterrichts genügen (Lauer et al. 2020, 383). Eine entsprechende Weiterentwicklung sachunterrichtsspezifischer, auf AR oder VR anwendbarer Modellierungen, die die Unterstützung fachlichen Lernens *mit* digitalen Medien und gleichzeitig die fachliche Grundlegung des Lernens *über* digitale Medien im sachunterrichtlichen Verständnis erlaubt, findet sich in aktuellen Ansätzen (GDSU 2021, 3).

Pädagogisch-didaktische Nutzung von AR/VR als Gegenstand der Lehrkräfteaus- und -weiterbildung

Lehrkräfte nehmen bzgl. der Integration und Akzeptanz innovativer Technologien in schulischen Lehr-Lern-Situationen eine gewichtige Rolle ein (vgl. Petko & Döbeli Honegger 2011, 155 für Tablets), denn die Kompetenz

der Lehrkräfte bzgl. des Umgangs mit AR/VR und der pädagogisch-didaktischen Implementation von Technologien ist unerlässlich für einen nutzbringenden Einsatz der Technologie im Unterricht (Fransson et al. 2020, 3386). Die Aus- und Weiterbildung von Lehrkräften zur Erlangung entsprechender Kompetenzen ist insbesondere bei sich rasant weiterentwickelnden und im Alltag nur teilweise repräsentierten Technologien (bzgl. der technischen Realisierung) wie AR/VR ein lebenslanges Element, entwickelt sich doch die Technik immer weiter (Tzima et al. 2019, 1).

Zum reflektierten pädagogisch-didaktischen Einsatz von AR/VR im Unterricht müssen Lehrkräfte über eine spezifische Schnittmenge aus fachlichem, pädagogisch(-didaktisch)em Wissen und speziellem technologischem (hier: AR/VR-bezogenem) Wissen sowie über Wissen um Vernetzungen zwischen diesen Wissensbereichen verfügen (vgl. TPACK-Modell, Harris & Hofer 2011, 211 ff.). Erste Untersuchungen zur Einschätzung des pädagogisch-didaktischen Nutzens von AR im Sachunterricht (Lauer & Peschel 2022, 1) zeigen beispielsweise für AR, dass Grundschullehrkräfte kaum pädagogisch-didaktische Charakteristika von AR im Allgemeinen oder AR-Technologien im Speziellen erkennen, benennen oder im Vergleich zu anderen Technologien abgrenzen können. Diese ersten Erkenntnisse unterstreichen die oben beschriebene Notwendigkeit zur (Weiter-)Qualifizierung von Lehrkräften in allen Phasen der Lehrkräftebildung.

„Nutzbarmachung“ der Technologie für Grundschul Kinder

Im Allgemeinen sind die Anschaffung und Wartung von AR- oder VR-Brillen und der hierfür geeigneten Anwendungen, aber auch die Entwicklung der Anwendungen bzw. Lernumgebungen mit hohen Kosten verbunden (Arici et al. 2019, 13; Cook et al. 2019, 25 f.). Diese übersteigen aktuell teilweise noch einen Jahresschuletat für Medien (wobei im Fall von VR-Brillen auch die Möglichkeit einer kostengünstigen Realisierung besteht, siehe Abb. 3b). All diese Faktoren führen dazu, dass in Schulen und schulnahen Bildungseinrichtungen aufgrund der Wirtschaftlichkeit wenig VR-Brillen und fast gar keine AR-Brillen eingesetzt werden können.³ Zusätzlich zur Nutzung technisch und finanziell aufwendig designer AR- und VR-Lehr-Lern-Anwendungen könnte in Zukunft auch das eigene Erstellen von AR- oder VR-Anwendungen (z. B. Zappar (www.zappar.com), Minecraft oder Cospaces) eine wichtige Rolle im Grundschulunterricht (insb. im Sachunterricht) einnehmen. Auch die Nutzung von Actionbound (<https://de.actionbound.com>) für digitale Schnitzeljagen im analogen Raum als komplexitätsreduzierte AR-Variante ist denkbar.

3) Eine aus wirtschaftlicher Sicht aktuell rentablere Möglichkeit bestünde auch in der Nutzung von AR- oder VR-Lehr-Lern-Anwendungen an außerschulischen Lernorten wie z. B. Museen.

Aus technischer Sicht entscheidet (zusätzlich zum pädagogisch-didaktisch sinnvollen Design) vor allem die Usability (= technische Benutzbarkeit) über den Erfolg der Implementation von digitalen Technologien in Lehr-Lern-Situationen (Ibáñez & Delgado-Kloos 2018, 12), da bei unzureichender Usability Probleme der Nutzung der Geräte oder der Interaktion in AR oder VR viele kognitive Ressourcen der Lernenden (und Lehrenden) vereinnahmen und so für den eigentlichen Lernprozess eher hinderlich sein können (Bourges-Waldegg et al. 2000, 5).⁴ Zusätzlich besteht vor allem bei der Nutzung von VR die Möglichkeit, dass Schwindelgefühle oder Unwohlsein auftreten können (Simulator Sickness, Kennedy et al., 1993, 203 ff.). Deswegen ist auch die Verbesserung der Usability von AR-/VR-Brillen insbesondere für die Zielgruppe „Grundschul Kinder“ von großer Bedeutung.

Fazit

Insgesamt eröffnet die nachhaltige Implementation von Cutting-Edge-Technologien wie AR und VR, also bahnbrechenden Entwicklungen – wie früher das Schulbuch, der Lehrfilm, der Computer oder das Tablet –, viele pädagogisch-didaktische Gestaltungsmöglichkeiten und bietet somit großes Potenzial für die fachdidaktische Anreicherung verschiedenster Lehr-Lern-Situationen. Da die Implementation von AR/VR aus (fach-/medien-)didaktischer Sicht aktuell noch am Anfang steht, müssen aktuelle Entwicklungen und Zukunftsszenarien weiterhin im Auge behalten werden. Allerdings müssen zur Implementierung noch viele Herausforderungen angegangen werden:

1. Zunächst müssen Lehr-Lern-Angebote mit AR oder VR vorrangig unter dem Gesichtspunkt des pädagogisch-didaktischen Nutzens entwickelt und beforscht werden und weniger mit dem Fokus auf der Förderung isolierter Aspekte wie Usability oder Motivation (Primat der Pädagogik). Forschungen und Entwicklungen zu bzw. mit AR/VR sollten sich auch an Prinzipien der allseitigen Bildung (GSV 2019, 1 f.) orientieren – insb. bzgl. der Stär-

4) Insbesondere bei auf dem Kopf getragenen Brillen kann die (Nicht-)Erkennung der zur Steuerung der Geräte bzw. Anwendungen erforderlichen Aktivitäten der Nutzer:innen die Usability beeinträchtigen, wenn ausgeführte Gesten- oder Sprachbefehle nicht (richtig) erkannt werden. Dieser Effekt tritt besonders zutage, wenn Kinder die Geräte bzw. Anwendungen nutzen, da ihre physischen Merkmale wie Armlänge, Stimmhöhe etc. sich stark von erwachsenen Nutzer:innen unterscheiden können (für die die Technologie meist kalibriert ist) (Radu & MacIntyre 2012, 227 f.). Hier zeigen aber neueste Usability-Untersuchungen mit Grundschulkindern einen deutlichen Trend zur besseren Verarbeitung von Kinderstimmen oder von mit Kinderhänden ausgeführten Gesten als bislang (z. B. für die AR-Brille HoloLens 2 von Microsoft, vgl. Lauer et al. 2021, 13).

kung des selbstständigen und kooperativen Lernens oder der Erschließung kultureller und ästhetischer Erfahrungen.

2. Gleichzeitig müssen Begrifflichkeiten und Modellierungen des (Medialen) Lernens angesichts der semantischen (und damit auch begrifflichen) Verschmelzung realer und virtueller Lehr-Lern-Situationen überarbeitet bzw. entsprechend adaptiert werden.
3. Außerdem müssen auch Lehrkräfte (in allen Phasen der Lehrkräfteaus- und -weiterbildung) für die technische Bedienung, aber auch für den pädagogisch-didaktisch reflektierten Einsatz von AR/VR in Lehr-Lern-Situationen sensibilisiert und geschult werden. Eine Weiterentwicklung der Lernumgebungen bzgl. des fachdidaktischen Einsatzes in Schule und Unterricht bietet sich entsprechend in kooperativen Design-Based-Research-Ansätzen an.
4. Eine letzte Herausforderung besteht in der (wirtschaftlichen und) technischen Nutzbarmachung der AR- oder VR-Geräte, die in der Regel für erwachsene Nutzer:innen designt sind.

Dennoch: Auch wenn derzeit noch viele Herausforderungen zu bewältigen sind, könnten AR- und VR-Lehr-Lern-Anwendungen zukünftig aufgrund ihres pädagogisch-didaktischen Innovationspotenzials Einzug in den Unterricht an (Grund-)Schulen finden, so wie aktuell auch Tablets implementiert werden – sinnhafte fachdidaktische Lernumgebungen vorausgesetzt.

Literatur

- Altmeyer, K., Kapp, S., Thees, M., Malone, S., Kuhn, J. & Brünken, R. (2020):* The use of augmented reality to foster conceptual knowledge acquisition in STEM laboratory courses – Theoretical background and empirical results. In: *British Journal of Educational Technology*, 51, 611–628. DOI: <https://doi.org/10.1111/bjjet.12900>.
- Akçayır, M. & Akçayır, G. (2017):* Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review of the literature. In: *Educational Research Review*, 20, 1–11. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2016.11.002>.
- Anderson, C. L. & Anderson, K. M. (2019):* Wearable Technology: Meeting the Needs of Individuals with Disabilities and Its Applications to Education. In: I. Buchem, R. Klamma & F. Wild (Hrsg.): *Perspectives on Wearable Enhanced Learning (WELL)* 59–77. Springer International Publishing. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-64301-4_3.
- Arici, F., Yildirim, P., Caliklar, S. & Yilmaz, R. M. (2019):* Research Trends in the Use of Augmented Reality in Science Education: Content and Bibliometric Mapping Analysis. In: *Computers & Education* 142, 103647. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103647>.
- Azuma, R., Bailiot, Y., Behringer, R., Feiner, S., Julier, S. & MacIntyre, B. (2001):* Recent advances in augmented reality. In: *IEEE Computer Graphics and Applications*, 21 (6), 34–47. DOI: <https://doi.org/10.1109/38.963459>.
- Bacca, J., Baldiris, S., Fabregat, R., Graf, S. & Kinshuk (2014):* Augmented reality trends in education: A systematic review of research and applications. In: *Educational Technology & Society*, 17(4), 133–149. www.jstor.org/stable/10.2307/jeductechsoci.17.4.133.

- Bourges-Waldegg, P., Moreno, L. & Rojano, T. (2000): The role of usability on the implementation and evaluation of educational technology. In: Proceedings of the 33rd Annual Hawaii International Conference on System Sciences, 1, 1–7. DOI: <https://doi.org/10.1109/HICSS.2000.926722>.
- Buchner, J., Buntins, K. & Kerres, M. (2021): The Impact of Augmented Reality on Cognitive Load and Performance: A Systematic Review. In: Journal of Computer Assisted Learning 38 (1), 285–303. DOI: <https://doi.org/10.1111/jcal.12617>.
- Cook, M., Lischer-Katz, Z., Hall, N., Hardesty, J., Johnson, J., McDonald, R. & Carlisle, T. (2019): Challenges and Strategies for Educational Virtual Reality. In: Information Technology and Libraries, 38(4), 25–48. DOI: <https://doi.org/10.6017/ital.v38i4.11075>.
- De Lange, R. & Lodewijk, M. (2017): Virtual Reality & Augmented Reality in primary education. A literature review and exploratory research. Zugriff am 30.06.2022 via www.academia.edu/34870015/Virtual_Reality_and_Augmented_Reality_in_primary_education.
- Dede, C. (2009): Immersive Interfaces for Engagement and Learning. In: Science, 323 (5910), 66–69. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1167311>.
- Dörner, R., Broll, W., Grimm, P. & Jung, B. (2019): Virtual und Augmented Reality (VR/AR): Grundlagen und Methoden der Virtuellen und Augmentierten Realität. Berlin: Springer Nature. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-662-58861-1>.
- Dunleavy, M. (2014): Design Principles for Augmented Reality Learning. In: TechTrends, 58 (1), 2834.
- Fischer, H., Arnold, M., Philippe, S., Dyrna, J. & Jung, S. (2021): VR-Based Learning and Teaching. A Framework for Implementation of Virtual Reality in Formal Education. In: INTED2021 Proceedings, 3304–3314. DOI: <https://doi.org/10.21125/inted.2021.0694>.
- Fransson, G., Holmberg, J. & Westelius, C. (2020): The challenges of using head mounted virtual reality in K-12 schools from a teacher perspective. In: Education and Information Technologies, 25(4), 3383–3404. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10639-020-10119-1>.
- Evans, G., Miller, J., Iglesias Pena, M., MacAllister, A. & Winer, E. (2017): Evaluating the Microsoft HoloLens through an augmented reality assembly application. In: J. N. Sanders-Reed & J. Arthur (Hrsg.): SPIE Defense + Security, 101970V. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.2262626>.
- Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts (GDSU) (2013): Perspektivrahmen Sachunterricht. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts (GDSU) (2021): Sachunterricht und Digitalisierung. Zugriff am 30.06.2022 via https://gdsu.de/sites/default/files/PDF/GDSU_2021_Positionspapier_Sachunterricht_und_Digitalisierung_deutsch_de.pdf.
- Gesellschaft für Fachdidaktik (GFD) (2018): Fachliche Bildung in der digitalen Welt – Positionspapier der Gesellschaft für Fachdidaktik. Zugriff am 30.06.2022 via www.fachdidaktik.org/wordpress/wp-content/uploads/2018/07/GFD-Positionspapier-Fachliche-Bildung-in-der-digitalen-Welt-2018-FINAL-HP-Version.pdf.
- Grundschulverband (GSV) (2019): Anforderungen an eine zukunftsfähige Grundschule. Zugriff am 16.09.2022 via <https://grundschulverband.de/wp-content/uploads/2020/08/GSV-Anforderungen-zukunftsf%C3%A4hige-Grundschule.pdf>.
- Harris, J. & Hofer, M. J. (2011): Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) in action: A descriptive study of secondary teachers' curriculum-based, technology-related instructional planning. In: Journal of Research on Technology and Education, 43(3), 211–229. DOI: <https://doi.org/10.1080/15391523.2011.10782570>.

- Hughes, C. E., Stapleton, C. B., Hughes, D. E. & Smith, E. M. (2005): Mixed reality in education, entertainment, and training. In: IEEE Computer Graphics and Applications, 25(6), 24–30. DOI: <https://doi.org/10.1109/MCG.2005.139>.
- Ibáñez, M.-B. & Delgado-Kloos, C. (2018): Augmented reality for STEM learning: A systematic review. In: Computers & Education, 123, 109–123. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.05.002>.
- Irion, T. (2018): Wozu digitale Medien in der Grundschule? Grundschule aktuell, 152, 3–7.
- Kapp, S., Thees, M., Beil, F., Weatherby, T., Burde, J.-P., Wilhelm, T. & Kuhn, J. (2020): The Effects of Augmented Reality: A Comparative Study in an Undergraduate Physics Laboratory Course. In: 12th International Conference on Computer Supported Education, 197–206. DOI: <https://doi.org/10.5220/0009793001970206>.
- Kattmann, U., Duit, R., Gropengießer, H. & Komorek, M. (1997): Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion – Ein Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 3(3), 3–18.
- Kenwright, B. (2018): Virtual reality: Ethical challenges and dangers. In: IEEE Technology and Society Magazine 37(4), 20–25. Zugriff am 30.06.2022 via <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&number=8558774>.
- Kerres, M., Buchner, J. & Mulders, M. (2021): Immersives Lernen? Didaktisches Design für Augmented / Virtual Reality und reaktive Objekte / Umwelten. In: K. Wilbers (Hrsg.): Handbuch E-Learning. Köln: Deutscher Wirtschaftsdienst, Wolter Kluwers [preprint]. Zugriff am 30.06.2022 via www.researchgate.net/publication/351034644_Immersives_Lernen_Didaktisches_Design_fur_Augmented_Virtual_Reality_und_reaktive_Objekte_Umwelten.
- Klafki, W. (2007): Neue Studien zur Bildungstheorie und Didaktik. Weinheim und Basel: Beltz.
- Kopp, B. & Martschinke, S. (2010): Lernvoraussetzungen zum Thema Magnetismus. In: K.-H. Arnold, K. Hauenschild, B. Schmidt & B. Ziegenmeyer (Hrsg.): Zwischen Fachdidaktik und Stufendidaktik, 189–192. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-531-92475-5_37.
- Lauer, L. & Peschel, M. (2020): Gestaltung von Lehr-Lernumgebungen mit Augmented Reality (AR). In: C. Maurer, K. Rincke & M. Hemmer (Hrsg.): Fachliche Bildung und digitale Transformation – Fachdidaktische Forschung und Diskurse. Fachtagung der Gesellschaft für Fachdidaktik 2020, 64–67. pedocs. Zugriff am 30.06.2022 via www.pedocs.de/frontdoor.php?source_opus=21659.
- Lauer, L., Peschel, M., Bach, S. & Seibert, J. (2020): Modellierungen Medialen Lernens. In: K. Kaspar, M. Becker-Mrotzek, S. Hofhues, J. König & D. Schmeinck (Hrsg.): Bildung, Schule, Digitalisierung, 382–387. Münster: Waxmann. Zugriff am 30.11.2022 via www.researchgate.net/publication/344656686_Modellierungen_Medialen_Lernens.
- Lauer, L., Altmeyer, K., Malone, S., Barz, M., Brünken, R., Sonntag, D. & Peschel, M. (2021): Investigating the Usability of a Head-Mounted Display Augmented Reality Device in Elementary School Children. In: Sensors, 21(19), 6623. DOI: <https://doi.org/10.3390/s21196623>.
- Lauer, L. & Peschel, M. (2022): „Pedagogical Usability„ von Augmented Reality zum Thema Elektrizität. Eine qualitative Studie zum Potential des Einsatzes von AR im (naturwissenschaftlich-orientierten) Sachunterricht der Primarstufe. In: Medienpädagogik (im Review).
- Kennedy, R. S., Lane, N. E., Berbaum, K. S. & Lilienthal, M. G. (1993): Simulator Sickness Questionnaire: An Enhanced Method for Quantifying Simulator Sickness. The International Journal of Aviation Psychology, 3(3), 203–220. DOI: https://doi.org/10.1207/s15327108ijap0303_3.

- Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest (mpfs) (2020): KIM-Studie 2020 – Kindheit, Internet, Medien. Basisuntersuchung zum Medienumgang 6- bis 13-Jähriger. Zugriff am 16.09.2022 via www.mpfs.de/fileadmin/files/Studien/KIM/2020/KIM-Studie2020_WEB_final.pdf.*
- Milgram, P. & Kishino, F. (1994): A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays. In: IEICE Transactions on Information Systems, E77-D (12), 1–15. Zugriff am 30.06.2022 via <https://tinyurl.com/ua9dce>.*
- Mulders, M., Buchner, J. & Kerres, M. (2020): A Framework for the Use of Immersive Virtual Reality in Learning Environments. In: International Journal of Emerging Technologies in Learning (ijET), 15(24), 208. DOI: <https://doi.org/10.3991/ijet.v15i24.16615>.*
- Munoz-Cristobal, J. A., Jorriñ-Abellan, I. M., Asensio-Perez, J. I., Martinez-Mones, A., Prieto, L. P. & Dimitriadis, Y. (2015): Supporting Teacher Orchestration in Ubiquitous Learning Environments: A Study in Primary Education. In: IEEE Transactions on Learning Technologies 8(1), 83–97. DOI: <https://doi.org/10.1109/TLT.2014.2370634>.*
- Peschel, M. (2016): Mediales Lernen – Eine Modellierung als Einleitung. In: M. Peschel (Hrsg.): Mediales Lernen – Beispiele für inklusive Mediendidaktik, 7–16. Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren.*
- Peschel, M. (2020): Welterschließung als sachunterrichtliches Lernen mit und über digitale Medien – Lernen mit und über digitale Medien als Ausgangspunkt einer umfassenden Sachbildung. In: M. Thumel, R. Kammerl & T. Irion (Hrsg.): Digitale Bildung im Grundschulalter – Grundsatzfragen zum Primat des Pädagogischen, 341–355. München: kopaed.*
- Peschel, M., Seibert, J. & Lauer, L. (2022): Fach-Mediales Lernen – Augmented Reality (AR) im Chemie- und Sachunterricht. In: S. Habig (Hrsg.): Unsicherheit als Element von naturwissenschaftsbezogenen Bildungsprozessen. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Online-Jahrestagung 2021. Duisburg: Universität Duisburg-Essen. Zugriff am 30.06.2022 via www.gdcp-ev.de/wp-content/tb2022/TB2022_416_Peschel.pdf.*
- Petko, D. & Döbeli Honegger, B. (2011): Digitale Medien in der schweizerischen Lehrerinnen- und Lehrerbildung: Hintergründe, Ansätze und Perspektiven. In: Beiträge zur Lehrerbildung, 29(2), 155–171. DOI: <https://doi.org/10.25656/01:13775>.*
- Prieto, L. P., Holenko Dlab, M., Gutiérrez, I., Abdulwahed, M. & Balid, W. (2011): Orchestrating technology enhanced learning: A literature review and a conceptual framework. Int. J. Technology Enhanced Learning, 3(6), 583–598. DOI: <https://doi.org/10.1504/IJTEL.2011.045449>.*
- Radianti, J., Majchrzak, T. A., Fromm, J. & Wohlgenannt, I. (2020): A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda. In: Computers & Education, 147, 103778. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103778>.*
- Radu, I. & Schneider, B. (2019): What Can We Learn from Augmented Reality (AR)? Benefits and Drawbacks of AR for Inquiry-Based Learning of Physics. In: Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 1–12. Glasgow Scotland Uk: ACM. DOI: <https://doi.org/10.1145/3290605.3300774>.*
- Radu, I. & MacIntyre, B. (2012): Using children's developmental psychology to guide augmented-reality design and usability. In: 2012 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR), 227–236. DOI: <https://doi.org/10.1109/ISMAR.2012.6402561>.*

- Saredakis, D., Szpak, A., Birkhead, B., Keage, H. A. D., Rizzo, A. & Loetscher, T. (2020): Factors Associated With Virtual Reality Sickness in Head-Mounted Displays: A Systematic Review and Meta-Analysis. In: *Frontiers in Human Neuroscience*, 14, 96. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.00096>.
- Seibert, J., Marquardt, M., Lang, V., Kay, C. & Huwer, J. (2020a): Reale und digitale Inhalte verknüpfen – Den Aufbau eines Lithium-Ionen-Akkus mit Augmented Reality verstehen. In: *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 177/178, 86-91.
- Seibert, J., Lauer, L., Marquardt, M., Peschel, M. & Kay, C. W. M. (2020b): deAR: didaktisch eingebettete Augmented Reality. In: K. Kaspar, M. Becker-Mrotzek, S. Hofhues, J. König & D. Schmeinck (Hrsg.): *Bildung, Schule, Digitalisierung*, 451–456. Münster: Waxmann.
- Slater, M. (2009): Place illusion and plausibility can lead to realistic behaviour in immersive virtual environments. In: *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1535), 3549–3557. DOI: <https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0138>.
- Tzima, S., Styliaras, G. & Bassounas, A. (2019): Augmented Reality Applications in Education: Teachers Point of View. In: *Education Sciences*, 9(2), 99. DOI: <https://doi.org/10.3390/educsci9020099>.
- Wu, H.-K., Lee, S. W.-Y., Chang, H.-Y. & Liang, J.-C. (2013): Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education. In: *Computers & Education*, 62, 41–49. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.10.024>.