

Themenheft Nr. 47:

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

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

Die Erstellung einer Lernumgebung mit immersiver Virtual Reality für das Fach Sachunterricht nach dem M-iVR-L Modell

Silke Bakenhus¹ , Marisa Alena Holzapfel¹ , Nicolas Arndt¹  und Maja Brückmann¹ 

¹ Carl von Ossietzky Universität Oldenburg

Zusammenfassung

Digitalisierung sowie Lernen an und mit digitalen Medien sind nicht zuletzt durch die Corona-Pandemie noch stärker in den Fokus gerückt. Um derartiges Lernen zu ermöglichen, müssen schülergerechte Lerngelegenheiten geschaffen werden. Dazu müssen (angehende) Lehrkräfte in der Lage sein, digitale Lerngelegenheiten zu konzipieren und didaktisch aufzubereiten. Es hat sich in den vergangenen eineinhalb Jahren gezeigt, dass digitales Lernen nicht ausschliesslich für die Sekundarstufe gedacht werden kann, sondern bereits in der Primarstufe gute Konzepte zur Erstellung digitaler Lerngelegenheiten benötigt werden. Im vorliegenden Beitrag wird auf der Basis des Meaningful-immersive Virtual Reality-Learning framework (M-iVR-L Modell) von Mulders, Buchner und Kerres (2020) exemplarisch aufgezeigt, wie die Umsetzung einer Lerngelegenheit mit virtueller Realität (VR) für den Sachunterricht aussehen könnte. Am Beispiel bereits vorhandener 360°-Aufnahmen des Forschungsschiffs Sonne wird die theoretische Umsetzung der sechs Punkte des M-iVR-L Modells durchgespielt. Dabei wird ein Konzept mitgedacht, welches angehende Sachunterrichtslehrkräfte in die Gestaltung der VR-Lerngelegenheit einbezieht, um ihnen so direkt im Studium einen kompetenten und reflektierten Umgang mit digitalen Medien zu vermitteln. Zukünftig sollen auf dieser Basis VR-Lerngelegenheiten gemeinsam mit Sachunterrichtsstudierenden erstellt und evaluiert werden.

The Creation of a Learning Environment with Immersive Virtual Reality for Science Teaching in Primary School According to the M-iVR-L Framework

Abstract

Digitisation and learning with digital media have become even more important, not least because of the Covid-19 pandemic. To enable such learning, opportunities must be created that are appropriate for pupils. To this end, (future) teachers must be able to design digital learning opportunities and prepare them didactically. It has become clear over the past year and a half that digital learning cannot be thought of exclusively for secondary

schools. Good concepts are already needed for the primary level. In this article, based on the Meaningful-immersive Virtual Reality-Learning framework (M-iVR-L framework) by Mulders, Buchner, and Kerres (2020, 213), an example is given of what the implementation of a Virtual Reality (VR) learning opportunity could look like in science learning of primary school. Using the example of already existing 360°-images of the research vessel Sonne, the theoretical implementation of the six steps of the M-iVR-L framework are run through. In the process, a concept will be considered that involves future teachers of science education in primary school in the design of the VR learning opportunity in order to teach them a competent and reflective approach to digital media directly during their studies. In the future, VR learning opportunities are to be created and evaluated on this basis together with students of science teaching.

1. Einleitung

Digitale Medien wie Tablets oder Smartphones gehören für viele Kinder bereits zum Alltag. Sie schauen sich Filme an, spielen oder kommunizieren mit ihren Freunden. Die Kinder nehmen aktiv und selbstbestimmt an ihrer digitalen Lebenswelt mit ihren Möglichkeiten und Kompetenzen teil (Feierabend u. a. 2021). Virtuelle Lebenswelten, z. B. Minecraft o. ä. werden dabei von den Kindern selbstbestimmt und kreativ «erobert» (Callaghan 2016; Baek, Min, und Yun 2020, 7). Die Kinder lösen in diesen virtuellen Lebenswelten komplexe Probleme, experimentieren mit virtuellen Gegenständen oder entdecken viele unterschiedliche Phänomene. Sie sind motiviert, sich in diesen virtuellen Lernumgebungen auszutauschen, Erfahrungen zu machen und sich neues Wissen anzueignen (Cramariuc und Dan 2021, 58; Villena Taranilla et al. 2019). Dies sind erfolgversprechende Faktoren, um nachhaltige Lernprozesse zu initiieren, kindgerechte Erfahrungs- und Lerngelegenheiten in digitalen Lernumgebungen zugänglich zu machen und Kompetenzen in der digitalen Welt zu fördern (Best et al. 2019, 4).

Doch wie können und müssen diese virtuellen Erfahrungs- und Lerngelegenheiten im Sachunterricht gestaltet sein, um den Kindern auch in ihrer digitalen Lebenswelt eine Orientierung zu geben? Und wie können digitale Medien zur Gestaltung neuer Lehr- und Lernprozesse genutzt werden, damit sich Möglichkeiten zur individuellen Kompetenzförderung ergeben?

Es ist die Aufgabe des Sachunterrichts in der Grundschule, den Kindern in ihrer Lebenswelt und in ihrem Alltag eine Orientierung zu geben und Lerngelegenheiten anzubieten, um vielfältige Kompetenzen zu erlangen (Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts 2013). Vorzugsweise eignen sich ausserschulische Lernorte besonders gut, um eine Lebenswelt für die Kinder erlebbar zu machen, die ihnen im Alltag nicht zugänglich ist, wie z. B. der Besuch in einer Backstube oder bei der Feuerwehr. Insbesondere durch die Pandemiebedingungen sind ausserschulische Lernorte in

Form von virtuellen Lebenswelten, z. B. *Google Expeditions*, in den Fokus gerückt. Der Einsatz dieser virtuellen Lebenswelten im Grundschulbereich ist wenig erforscht, obwohl verschiedene Autoren das Potenzial für ein gelingendes Lernen als hoch einschätzen (Buchner 2021; Hellriegel und Čubela 2018), denn die Auseinandersetzung in und mit der digitalen Lebenswelt ermöglicht vielfältige Erfahrungs- und Lerngelegenheiten, die sowohl ausserhalb wie auch innerhalb der Schule neue sowie inklusive Fördermöglichkeiten schaffen.

Dennoch stehen Lehramtsstudierende und Lehrkräfte hier vor einer besonderen Herausforderung, denn sie müssen die didaktischen und methodischen Möglichkeiten digitaler Medien sowie digitaler Lernumgebungen für den Lehr- und Lernprozess erkennen und nutzen können (Kultusministerkonferenz 2016). Doch auch in diesem Bereich gibt es bisher kaum Studien, die das Fachwissen und das fachdidaktische Wissen von Lehramtsstudierenden bzw. Lehrkräften erforscht haben.

Im Rahmen der technologischen Entwicklung haben Medien mit Virtual Reality (VR) das Potenzial, über das Fachwissen hinaus Kompetenzen und konstruktivistisches Lernen zu fördern. VR-Technologie wird zunehmend als vielversprechendes Instrument in verschiedenen Lernumgebungen eingesetzt, um komplexe Lernumgebungen zu reduzieren, und strukturiert und immersiv Realitäten abzubilden (Radianti et al. 2020, 26). Hellriegel und Čubela (2018, 68) stellen die vielfältigen Potenziale von VR anhand der Prinzipien eines gelingenden Lernens dar. Sie stellen heraus, dass u.a. ein aktivierender und konstruierender Prozess, der die Neugierde und die Motivation fördert und soziale Interaktionen ermöglicht, das Lernen mit VR fördern kann. Sie kommen unter anderem zu dem Fazit, dass eine Grundlage für eine Kompetenzförderung geschaffen wird, «welche über eine Vermittlung von Fachwissen hinausgeht». Dennoch, so merken die beiden Autoren an, müssen die VR-Anwendungen «durch die Lehrkräfte in einem didaktischen Setting gerahmt werden». Mulders, Buchner und Kerres (2020) schlagen das *Meaningful-immersive Virtual Reality-Learning framework* (M-iVR-L Modell) als Rahmen für ein didaktisches Setting bzw. als Instruktionsdesign vor. Dabei gehen die Autoren davon aus, dass Lernen im immersiven VR als Multimedia-Lernen verstanden werden muss und dass das Lernen mit immersiver Virtual Reality (iVR) als aktiver Lernprozess angelegt ist, der über die Wiederholung und die Reproduktion von Informationen oder zentralen Konzepten hinausgeht.

Da VR-Anwendungen im Sachunterrichtsstudium bisher kaum beachtet werden, soll dieser Beitrag insbesondere den Einsatz von immersivem VR in der Lehramtsausbildung in den Fokus nehmen. Konkret wird ein didaktisches Design zum «Lernen mit und über VR am Beispiel der Digitalisierung des Forschungsschiffs *Sonne* als virtueller, ausserschulischer Lernort» vorgestellt.

Zunächst wird im Folgenden das Lernen an ausserschulischen Lernorten im Sachunterricht am Beispiel des Forschungsschiffs *Sonne* aufgezeigt (2.). Anschließend wird das M-iVR-L Modell von Mulders, Buchner und Kerres (2020) in seinen

sechs Teilschritten dargestellt und als Instruktionsdesign für die Erarbeitung eines didaktischen Settings erörtert (3.). Im Anschluss werden Bedeutung und Einsatz auserschulischer Lernorte im Sachunterricht beschrieben sowie am Beispiel des Forschungsschiff *Sonne* die Einbettung von VR-Medien erläutert (4.). Das Potenzial von VR in Verbindung mit auserschulischen Lernorten wird in Hinsicht auf die Anwendung des M-iVR-L Modells aufgezeigt. Abschliessend werden forschungsmethodische Bedarfe und Einsatzmöglichkeiten benannt, die bei der Entwicklung der Lernumgebung durch Sachunterrichtsstudierende dazu genutzt werden sollen, spezielle digitale Assessments zur Erfassung von Studierendenvorstellungen zu VR zu entwickeln (5.).

2. Warum ist die Sonne als Forschungsschiff ein interessanter Lernort?

Die Aufgabe des Sachunterrichts besteht darin, Schüler:innen «darin zu unterstützen, ihre natürliche, kulturelle, soziale und technische Umwelt sachbezogen zu verstehen, [...] zu erschließen und sich darin zu orientieren» (Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts 2013, 9). Die Begegnung mit dem Lerngegenstand – «der Sache» – ist bei der Erschließung der Umwelt ein entscheidendes Moment und «hat nicht nur [...] motivierende, sondern eine bereits bildende Funktion» (Kahlert u. a. 2015, 442).

Im Gegensatz zu einer herausgelösten Bearbeitung von Teilaspekten des Lerngegenstands in der Schule bieten Besuche auserschulischer Lernorte die besondere Möglichkeit, Lerngegenstände ausserhalb des schulischen Kontextes an Originalorten und in originalen Zusammenhängen und damit in authentischen Situationen selbst zu erleben, zu erkunden und tätig zu werden (vgl. Brade und Dühlmeier 2015, 436). Durch die Begegnung mit den Lerngegenständen in authentischen Situationen wird der Entstehung verzerrter Grössenverhältnisse und der Fehleinschätzung von Verhältnissen entgegengewirkt; gleichzeitig werden individuelle Verknüpfungen und eine differenzierte Begriffsbildung ermöglicht (Somrei 1997, 270). Diese kindlichen Lernformen fördern durch emotionale Erfahrungen und Erlebnisse nicht nur Handlungsbereitschaft, sondern schaffen auch Grundlagen für die Entwicklung von Handlungskompetenzen (Somrei 1997, 270). Der handelnde Umgang mit den Lerngegenständen an auserschulischen Lernorten bildet schliesslich die Grundlage für den kindlichen Wissenserwerb und schafft somit eine – aus pädagogischer Sicht gewinnbringende – intensive Lernumgebung (Kahlert u. a. 2015, 437; Somrei 1997, 270).

Als auserschulischer Lernort können zunächst einmal «alle Orte ausserhalb des Klassenzimmers bzw. Schulgeländes [verstanden werden], die Lernprozesse bei Kindern anregen, ergänzen und abrunden können» (Somrei 1997, 269). Die in der Literatur häufige duale Unterscheidung auserschulischer Lernorte anhand ihrer Art in primäre – eigens für das Lernen eingerichtete Orte – und sekundäre Lernorte – mit

vorrangig anderen Aufgaben – ist jedoch genauso unpräzise wie eine Unterscheidung ob des Vorhandenseins eines spezifischen pädagogischen Angebots in *Orte mit* an ihren *Bildungsauftrag* gebundenen Programmen wie z. B. Museen, Theater, botanische Gärten, Science Center oder Schülerlabore und Umweltzentren vs. *Orte der Lebenswelt* wie z. B. Wald, Betriebe oder Strassen ohne spezifischen Bildungsauftrag und pädagogische Programme (Baar und Schönknecht 2018, 16).

Sinnvoller erscheint eine Unterscheidung ausserschulischer Lernorte hinsichtlich ihres Potenzials, Bezüge zum schulischen Bildungs- und Erziehungsauftrag und damit zu den Inhalten, Zielen und Kompetenzen herzustellen (Baar und Schönknecht 2018, 21; Kahlert u. a. 2015, 437). Zur Erschließung dieses Potenzials schlagen Brade und Dühlmeier (Kahlert u. a. 2015, 438) unter Bezugnahme auf bestehende Klassifizierungen sowie den Perspektivrahmen der GDSU (2013) fünf Kategorien vor: Lernorte der *Naturwelt*, Lernorte der *Kulturwelt*, Lernorte der *sozialen und politischen Welt*, Lernorte der *Arbeits- und Wirtschaftswelt*, Lernorte der *Welt der Wissenschaft und Technik*.

Diese Kategorisierung ist jedoch nicht immer trennscharf möglich, und so lässt sich das 2014 in Dienst gestellte Forschungsschiff *Sonne* mehreren Kategorien zuordnen, da im Rahmen der Forschung auf der *Sonne* Fragen «vor allem hinsichtlich der Versorgung mit marinen Rohstoffen und des Eingreifens des Menschen in die Ökosysteme» (Bundesministerium für Bildung und Forschung 2018) beantwortet werden sollen. Die Frage nach dem Verhältnis zwischen Mensch und Natur findet sich ebenfalls im Perspektivrahmen der GDSU im perspektivbezogenen Themenbereich (5) *Lebende Natur – Entwicklungs- und Lebensbedingungen von Lebewesen* wo die Schüler:innen «die Verantwortung des Menschen für den Schutz der natürlichen Lebensbedingungen der Wildpflanzen und -tiere [...] ableiten» (Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts 2013, 45), und im niedersächsischen Kerncurriculum Sachunterricht im Themenbereich Pflanzen und Tiere der Perspektive Natur in dem es heisst «die Schülerinnen und Schüler diskutieren die Verantwortung des Menschen für den Schutz von Ökosystemen und reflektieren Möglichkeiten und Grenzen der eigenen Einflussnahme» (Niedersächsisches Kultusministerium 2017, 21). Damit lässt sich das Forschungsschiff den Lernorten in der Naturwelt zuordnen.

Darüber hinaus lässt sich die *Sonne* auch den Lernorten in der Welt der Wissenschaft und Technik zuordnen, an denen Schüler:innen sich reflektiert mit Errungenschaften aus Wissenschaft und Technik auseinandersetzen können. Auch hier lässt sich eine Verknüpfung zu den Kompetenzen und Inhalten der unterschiedlichen Perspektiven im Sachunterricht herstellen. So lassen sich die bei Schiffen relevanten physikalischen Vorgängen wie Verdrängung, Schwimmen und Sinken in der naturwissenschaftlichen Perspektive (GDSU 2013, 44) bzw. in Bau und Bewertung von Modellen aus der technischen Perspektive (Niedersächsisches Kultusministerium 2017, 19; Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts 2013, 69) ebenso thematisieren

wie die Navigation von Schiffen in der Perspektive Raum, indem sich Schüler:innen «mithilfe von analogen und/oder digitalen Orientierungsmitteln» (Niedersächsisches Kultusministerium 2017, 23) wie Kompass oder Navigationssystemen orientieren. Schliesslich lassen sich in der geografischen Perspektive «räumliche Referenzpunkte (z. B. Himmelsrichtungen, zentrale «Landmarken») zeichnerisch festhalten und für die Orientierung im Raum anwenden» (Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts 2013, 50) «wichtige Darstellungsmittel (z. B. Signaturen, Massstabsangaben auf Balken, Richtungsangaben, Koordinatenmuster) auf Karten lesen und beschreiben» (ebd.) oder «auf Weltkarten und Globen bzw. mithilfe elektronischer Darstellungsmittel (wie z. B. Satellitenbilder, *Google Earth*) grundlegende räumliche Merkmale auffinden und beschreiben» (ebd.).

Ein Besuch des Forschungsschiffs *Sonne* als ausserschulischer Lernort bietet durch seine vielen Anknüpfungspunkte die Möglichkeit, die jeweiligen Lerngegenstände vor Ort in authentischen Situationen selbst zu entdecken, zu erfahren und selbst vor Ort tätig zu werden. Der Besuch ausserschulischer Lernorte ist jedoch stets mit einem hohen zeitlichen und organisatorischen Aufwand verbunden (Brade und Dühlmeier 2015, 437; Baar und Schönknecht 2018, 164). So müssen in der Vorbereitungsphase durch die Lehrperson zunächst das didaktische Potenzial und die Handlungsmöglichkeiten am Lernort erschlossen werden. Anschliessend müssen unter Berücksichtigung von Erwartungen, Ideen, Wünschen, Vorkenntnissen und Vorstellungen der Schüler:innen Materialien für die Vermittlung der erforderlichen Sachinformationen erstellt werden. Während des Besuchs gilt es, weitgehend selbstständiges, handlungsorientiertes, entdeckend-forschendes Lernen zu organisieren und in der Nachbereitung das Lernen vor Ort zu reflektieren, offene Fragen zu formulieren und das am Lernort Erarbeitete zu dokumentieren und ggf. zu präsentieren (Brade und Dühlmeier 2015, 439f.). Mit dieser komplexen Didaktik ausserschulischen Unterrichts sind jedoch nicht alle Lehrpersonen vertraut, weswegen Lernorte, z. B. aufgrund unzureichender Vorbereitung, eine Überforderung der Kinder darstellen können (Brade und Dühlmeier 2015, 437). Im Hinblick auf das Forschungsschiff *Sonne* als ausserschulischen Lernort kommt zudem hinzu, dass «Hafentage, an denen das Forschungsschiff besichtigt werden kann, [...] rar» (Bundesministerium für Bildung und Forschung und Projektgruppe Wissenschaftsjahr 16*17 2018) sind und ein Besuch daher nur im Rahmen eines virtuellen Rundgangs realistisch ist. Daher ist es sinnvoll, eine schülergerechte virtuelle Lerngelegenheit des Forschungsschiffs *Sonne* zu gestalten.

3. Das M-iVR-L Modell in Theorie und Anwendung

Mulders, Buchner und Kerres (2020) beschreiben im M-iVR-L Modell ein Instruktionsdesign mit sechs Teilschritten zum Einsatz der iVR-Technologie als Lerngelegenheit. Die Instruktionen dieses Modells wurden als Basis zur Erstellung einer – im didaktischen Sinne gewinnbringenden – virtuellen Lernumgebung für den Sachunterricht genutzt.

3.1 *Erst lernen, dann eintauchen*

Der Kern der iVR-Lernumgebung ist es, in eine virtuelle Welt einzutauchen, die es Lernenden ermöglicht, sich umzusehen und mit der virtuellen Welt zu interagieren. So könnten auch schwer oder gar nicht zugängliche Orte, wie beispielsweise das Forschungsschiff *Sonne*, erlebt und als Lernort genutzt werden. Das Eintauchen in iVR-Umgebungen ist jedoch mit einer sehr hohen kognitiven Belastung (Cognitive Load) durch die Verarbeitung dieser virtuellen Welt verbunden (vgl. Richards und Taylor 2015). Wird eine solche iVR-Umgebung daher zum Lernen eingesetzt, muss also darauf geachtet werden, dass der Grad der Immersion so detailliert wie nötig ist, aber Lernende dabei nicht gleichzeitig vom Wesentlichen – dem jeweiligen Lerngegenstand – abgelenkt werden.

Für die zu gestaltende Lernumgebung der *Sonne* bedeutet dies, dass für das Thema *Navigation auf dem Wasser* irrelevante Bereiche des Schiffs, wie beispielsweise die Kabinen oder Forschungslabore, nicht eingebunden werden und sich nur auf die Brücke beschränkt wird. Eine realistische 3DNachbildung der Brücke mit interaktiven animierten Geräten wäre nicht nur in der Erstellung zeit- und kostenintensiv, sondern würde bei der Benutzung leistungsfähige Endgeräte voraussetzen und zudem ebenfalls vom Wesentlichen ablenken. Bei der hier vorgestellten Lernumgebung wurden daher 360°-Aufnahmen genutzt, welche im Rahmen des Wissenschaftsjahrs 2016-17 im Hafen von Yokohama (Japan) gemacht wurden (s. Abb. 1).

3.2 *Lernrelevante Interaktionen anbieten*

Es wurde bereits nachgewiesen, dass sich lernrelevante körperliche Aktivitäten positiv auf den Erwerb von deklarativem Wissen auswirken (Fiorella und Mayer 2016), was auch für das Lernen mit VR-Umgebungen, in denen man mit der Hand oder einem Controller Aktivitäten in der virtuellen Welt vornehmen kann, teilweise bestätigt werden konnte (Scheiter, Brucker, und Ainsworth 2020). Dennoch empfehlen Mulders, Buchner und Kerres (2020) für die Gestaltung einer guten iVRLernumgebung, nicht uneingeschränkt auf die Interaktion zu setzen, sondern geben vor, zwei Dinge zu beachten: Die Bewegung sollte ausschliesslich dann möglich sein, wenn sie lernrelevant ist und die Lernenden sollten, bevor sie sich eigenständig in der virtuellen Welt bewegen, darin geschult werden, wie die Interaktion gesteuert wird.

Um die bestehenden 360°-Aufnahmen der Brücke zu einem virtuellen Rundgang zu verbinden, gibt es unterschiedliche Softwarelösungen. Allen gemein ist die Möglichkeit, die einzelnen Aufnahmen zu einem virtuellen Rundgang zusammenzustellen, durch den sich Nutzende anschliessend ähnlich wie bei *Google Streetview* durch Klicken oder Fokussierung sogenannter Hotspots bewegen können (s. Abb. 1). Mithilfe dieser Hotspots ist es zudem möglich, die für das Thema *Navigation auf dem Wasser* relevanten Elemente der Brücke mit zusätzlichen Informationen wie z. B. Texten, Bildern oder Videos zu erweitern.

3.3 Komplexe Aufgaben in kleinere Einheiten aufteilen

Die iVR-Lernumgebungen können sehr komplex sein, was schnell zu einer Überforderung der Lernenden führen kann. Um dem entgegenzusteuern, sollte die iVR-Lerngelegenheit in verschiedene kleinere Sequenzen unterteilt werden. Studien konnten hierzu bereits nachweisen, dass durch Scaffolding, eine Lernstrategie als Gerüst zur Hilfestellung, der Cognitive Load reduziert werden kann und das Lernen verbessert wird (Parong und Mayer 2018).

Die hier vorgestellte Gesamtlerneinheit *Navigation auf dem Wasser* wurde daher in acht kleinere Sequenzen unterteilt und im Sinne eines Stationenlernens als Rallye aufgebaut. Dadurch soll gewährleistet werden, dass alle markierten Gegenstände der virtuellen Umgebung gefunden werden und keiner übersehen wird. Die Schüler:innen erhalten einen Laufzettel, auf dem sie das Lösungswort «Navigation» erarbeiten sollen. Nach erfolgreichem Bearbeiten einer Sequenz erhalten sie einen Lösungsbuchstaben. Um das Lösungswort zu erarbeiten, müssen sie alle acht Sequenzen lösen. Die einzelnen Sequenzen bestehen jeweils aus einer Lerngelegenheit zu einem Gegenstand im Raum. In welcher Reihenfolge dieses Unterrichtsmaterial bearbeitet wird, ist nicht relevant. Die Abfolge wird durch den virtuellen Rundgang durch den Lernenden selbst festgelegt. Die Lernenden bewegen sich durch den virtuellen Raum und finden dort verschiedene markierte Gegenstände vor. Fokussieren sie einen dieser Gegenstände, öffnet sich ein Fenster, in dem der Gegenstand vergrößert wird. Der Raum wird blass im Hintergrund dargestellt. Zusätzlich erscheinen weitere Informationen zu dem Gegenstand sowie der Hinweis zur jeweiligen manuellen Lerngelegenheit. Diese bearbeiten die Schüler:innen dann gemeinsam in Partnertandems manuell ausserhalb der iVR. Nach der Bearbeitung erhalten sie einen Lösungsbuchstaben und setzen ihren virtuellen Rundgang fort, um weitere Lösungsbuchstaben zu sammeln. Konzipiert wurde diese thematische Sequenz für Grundschulkindern der vierten Klasse von Studierenden im Rahmen eines Seminars.

Die einzelnen thematischen Sequenzen verbergen sich jeweils hinter einem markierten Gegenstand in der virtuellen Lernumgebung. Diese Auflistung kann selbstverständlich je nach Lernumgebung und Anzahl der Gegenstände beliebig angepasst

werden. Für den exemplarisch dargestellten virtuellen Lernort der Schiffsbrücke (s. Abb. 1) wird der Themenbereich *Navigation auf dem Wasser* mit folgenden Gegenständen und dazugehörigen kleineren Sequenzen gewählt:

1. (elektronische) Seekarte
2. Steuersystem mit Joystick
3. (Magnet-)Kompass
4. Radar
5. Alarmhupe
6. Telefon
7. Steuerhebel für Propeller
8. Logbuch

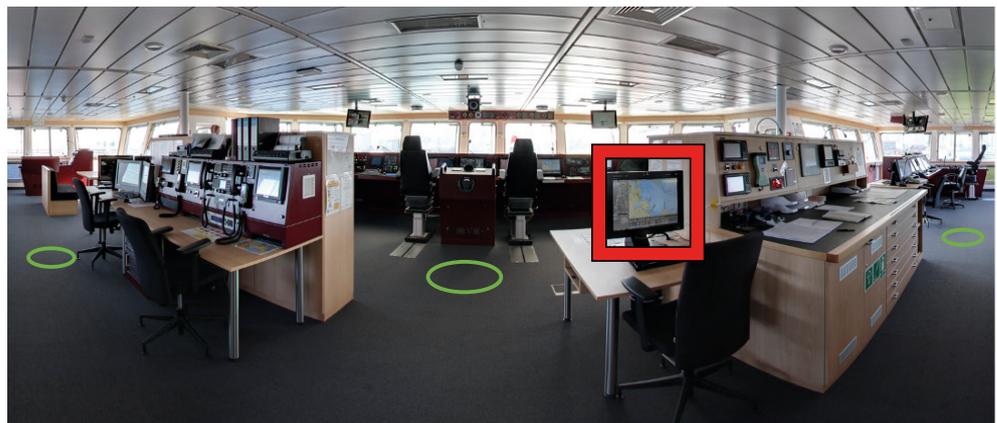


Abb. 1: Ausschnitt der Brücke von der *Sonne* mit zusätzlicher Markierung der elektronischen Seekarte (Bundesministerium für Bildung und Forschung, Projektgruppe Wissenschaftsjahr 16*17 2018).

Abbildung 2 zeigt eine elektronische Seekarte auf einem Bildschirm. Dieser Ausschnitt ist der Sequenz 1 elektronische Seekarte zugeordnet und beinhaltet thematisch den Masstab und die Legende einer Seekarte. Es sind folgende Arbeitsaufträge und Impulsfrage denkbar:

- 1a) Beschreibe den Bildausschnitt mit eigenen Worten.
 - b) Welche Farben kannst du auf dem Bildschirm sehen?
 - c) Was bedeuten die Farben? Tipp: Beachte die Legende links am Rand.
 - d) Kannst du erkennen, wo sich das Schiff auf der Karte befindet? Tipp: Die Karte zeigt auch den Schiffsweg als Linie.
 - e) Überlege, wofür eine Seekarte benötigt wird und stelle Vermutungen an.
- 2a) Welchen Masstab hat die Seekarte? Tipp: Beachte die Legende.
 - b) Wozu ist ein Masstab auf der Karte angegeben?



Abb. 2: Bildausschnitt der elektronischen Seekarte (Bundesministerium für Bildung und Forschung, Projektgruppe Wissenschaftsjahr 16*17 2018).

3.4 Immersives Lernen anleiten

Der Cognitive Load kann ebenfalls reduziert werden durch eine gezielte und gut instruierte Anleitung. Diese Anleitung kann auf unterschiedliche Weise erfolgen. Pädagogische Agenten können durch die Umgebung führen und stellen so eine Strukturierungshilfe dar. Alternativ können wichtige Informationen hervorgehoben oder Just-in-time-Informationen gezielt dort eingeblendet werden, wo sie benötigt werden. Diese Hilfen könnten so gestaltet werden, dass sie zunächst automatisch erscheinen und im Verlauf des Arbeitens in der iVR-Lernumgebung ausgeblendet und nur noch bei Bedarf von den Lernenden aktiviert werden (Mulders, Buchner, und Kerres 2020).

Der Aspekt des Anleitens bezieht sich zum einen, unabhängig von dem thematischen Inhalt, auf die Transparenz der Methode und beinhaltet beispielsweise den Einsatz von und Umgang mit den benötigten Brillen und der Technik. Kritisch angemerkt sei in diesem Zuge, dass hierbei auch auf mögliche gesundheitliche Unverträglichkeiten wie Motion Sickness in Form von Schwindel oder Übelkeit geachtet werden sollte. Eine Studie von Buchner und Aretz (2020, 208) entkräftet diese Sorge, da in der praktischen Anwendung keine Unverträglichkeit festgestellt wurde.

Andererseits bedarf es auch der Hilfe zur Orientierung innerhalb der iVR-Lernumgebung, weshalb *Kapitän Nautik* den Lernenden als pädagogischer Agent vorgestellt wird, der einen Überblick über sein Schiff gibt und als begleitender Führer dient. Als Einstieg spannt er die Rahmung dieser Lerneinheit auf, stellt sich selbst als Kapitän und sein Schiff kurz vor und lädt zu einem gemeinsamen Rundgang ein. Dabei erklärt er beispielsweise, auf welchem Deck sich die Lernenden grade befinden und welche

Aufgaben auf sie zukommen. Er stellt sich als Experte für die Führung eines Schiffes, die Schifffahrt, ihre Hilfsmittel und die speziellen Instrumente in der Schifffahrt vor. Dieser pädagogische Agent wird als ständiger Begleiter Tipps und Hilfestellungen z. B. in Form von kurzen Just-in-time-Informationen, Erklärungen von Begriffen oder interessanten historischen Entwicklungen geben, die eingeblendet werden können und danach wieder verblassen. Zudem führt er Überleitungen ein, dass beispielsweise im weiteren Verlauf analoge Aufgaben zu bearbeiten sind. Darüber hinaus kann er auch als Lehrender fungieren und die Richtigkeit der gelösten Aufgaben an den Lernenden zurückmelden, loben oder motivieren, es bei einem fehlerhaften Aufgabenergebnis ein weiteres Mal zu versuchen.

3.5 Auf vorhandenem Wissen aufbauen

Nach Huang, Rauch und Liaw (2010) sollten Lernaktivitäten, insbesondere beim Lernen mit VR, an bereits vorhandenes Wissen anknüpfen, um so Über- oder Unterforderung zu vermeiden. Es ist anzunehmen, dass junge Schüler:innen wenig bis keine Erfahrung mit iVR-basierten Lernumgebungen haben und somit die Gefahr besteht, dass die Technologie im Vordergrund steht und dadurch der Wissenserwerb in den Hintergrund rückt (Buchner 2021; Han 2020). Daher muss zunächst erfasst werden, welche Vorerfahrungen die Lernenden im Umgang mit iVR haben. Gleichzeitig ist für einen nachhaltigen Wissenserwerb ebenfalls relevant, welche Vorkenntnisse die Lernenden zum fachlichen Inhalt haben, der durch die iVR-Lernumgebung erweitert werden soll. Auf der Basis der Erkenntnisse über Vorwissen und Vorerfahrung der Lernenden sollte ein vorbereitendes Training erstellt sowie der fachliche Inhalt abgestimmt werden (Mulders, Buchner, und Kerres 2020).

Eine gute und lernförderliche iVR-Lernumgebung muss demnach auch thematisch an das Vorwissen der Lernenden anknüpfen. Da zu den Schülervorstellungen zum Thema *Navigation auf dem Wasser* bisher nur wenig bekannt ist, müssen diese zunächst erhoben werden. Da bereits Themeneinheiten wie Orientierung in Räumen in den vorangegangenen Schuljahren behandelt worden sind, kann davon ausgegangen werden, dass beispielsweise die Himmelsrichtungen und der Umgang mit einem Magnetkompass sowie geografische Karten unterschiedlicher Maßstäbe bekannt sind. Die Lernumgebung wird also zunächst auf Grundlage des Kerncurriculums gestaltet.

Zur Erfassung der Schülervorstellungen wird in einem digitalen Assessment das Vorwissen zum Thema *Navigation auf dem Wasser* parallel erhoben. Die Items werden im Multiple-Choice-Single-Select Format gestaltet. Nach der Validierung kann die Skala zukünftig auch zur Evaluation des Lernzuwachses verwendet werden. Auf Grundlage dieser Erkenntnisse können die einzelnen Sequenzen überarbeitet und der fachliche Inhalt der Lernumgebung an den Wissensstand der Zielgruppe angepasst werden.

3.6 Konstruktive Lernaktivitäten anbieten

Um den nachhaltigen Wissenserwerb zu fördern, sollte eine iVR-Lernumgebung einen aktiv konstruierenden Lernprozess unterstützen. Wurden die bereits genannten Punkte umgesetzt, sollte noch darauf geachtet werden, dass die erstellte Lernumgebung einen problemorientierten Ansatz verfolgt. Hierzu können sowohl in der iVR-Lernumgebung als auch ausserhalb gezielt Aufgaben gestellt werden, die einen problemorientierten Ansatz verfolgen und somit aktiv und gezielt einen konstruierenden Lernprozess steuern (Mulders, Buchner, und Kerres 2020). Die generative Lernstrategie des Zusammenfassens kann das Lernen ebenfalls unterstützen (Parong und Mayer 2018).

Zur Umsetzung eines problemorientierten Ansatzes im Unterrichtsfach Sachunterricht kann z. B. diese Impulsfrage ein authentisches Problem vorgeben: *Was wäre, wenn Stromausfall auf dem Schiff herrscht und keine elektronische Seekarte mehr funktioniert?* Dabei sind die Grundprinzipien des problemorientierten Lernens zu berücksichtigen. Dieses Unterrichtsprinzip stärkt u.a. die Kommunikations- und Teamfähigkeit sowie die Eigenverantwortung der Schüler:innen.

Um diese erste Sequenz (verknüpft mit dem Bild der elektronischen Seekarte, vgl. Abbildung 2) zu vervollständigen, wird abschliessend eine kurze Zusammenfassung der Sequenz gegeben und um eine Selbstüberprüfung des Gelernten ergänzt. In diesem Zusammenhang wird ein Lösungsbuchstabe (der möglicherweise auch mehrmals im Lösungswort vorkommt) ausgegeben.

4. Einsatz in der Lehramtsausbildung

Wie bereits einleitend vorgestellt wurde, sind digitale Medien bei den Schüler:innen allgegenwärtig. Die zukünftigen Lehrkräfte sollten sich dieser Tatsache bewusst sein und diese Voraussetzung in ihrem Unterricht berücksichtigen. Insbesondere auf die umfangreichen und komplexen Vor- und Nachbereitungen eines ausserschulischen Lernortes kann dies angewendet werden. Diese beiden Stränge zusammenzuführen sollte daher Bestandteil der Ausbildung sein. Die folgenden Abschnitte beschreiben, wie dies als Teil der Ausbildung gestaltet sein kann.

4.1 Lernen mit und über VR am Beispiel der Digitalisierung ausserschulischer Lernorte

Im Rahmen eines Seminars erstellen Sachunterrichtsstudierende angeleitet virtuelle Lernorte. Durch diese Erstellung virtueller Lernorte erwerben sie im Sinne der Kultusministerkonferenz wichtige Kompetenzen, indem sie den adäquaten Einsatz von VR planen, durchführen und reflektieren und so den professionellen und didaktisch sinnvollen Einsatz dieser Technik erproben (Kultusministerkonferenz 2016, 24).

Durch das Verbinden bestehender oder selbst erstellter 360°-Aufnahmen mithilfe entsprechender VR-Software zu virtuellen Rundgängen und das Hervorheben und Ergänzen besonderer Objekte mit Texten, Bildern oder Videos werden die Lernorte nicht nur digital erfasst, sondern gezielt didaktisch aufbereitet. Neben der Auseinandersetzung mit den Lernorten selbst stellt auch das immersive Erkunden virtueller Lernorte die Frage «Wie funktioniert das?», wodurch auch die Technik selbst zum Lerngegenstand wird.

4.2 Erhebung der Schülervorstellungen und -vorerfahrungen gemeinsam mit Sachunterrichtsstudierenden

Da die Anknüpfung an den Wissens- und Erfahrungsstand der Lernenden für die Gestaltung nachhaltigen Lernens wichtig ist (Adamina u. a. 2018), ist der Umgang mit und die Erhebung von Schülervorstellungen ein bedeutender Teil der professionellen Handlungskompetenz von Lehrkräften (Baumert und Kunter 2013). Aufgrund der immer grösseren Bedeutung von digitalen Medien im (Schul-)Unterricht müssen die Lehramtsstudierenden so früh wie möglich Wissen über den gewinnbringenden Einsatz solcher Medien anlegen. Um dies sicherzustellen, werden die Studierenden im Rahmen einer weiteren Lehrveranstaltung in die Gestaltung, Erhebung und Auswertung digitaler Assessments zur Erfassung der bereits genannten Schülervorstellungen eingebunden.

Die Lehrveranstaltung beginnt mit notwendigen theoretischen Grundlagen zum Curriculum des Faches Sachunterricht (Niedersächsisches Kultusministerium 2017) sowie zum Perspektivrahmen Sachunterricht (GDSU 2013, 9f.) und zu Schülervorstellungen allgemein (Adamina u. a. 2018). Anschliessend erfolgen einige Sitzungen, in denen exemplarisch bereits erhobene Schülervorstellungen zu ausgewählten Perspektiven besprochen werden (Adamina u. a. 2018). Danach erhalten die Studierenden eine Einführung in die Erstellung digitaler Assessments mit der Software *Lime-Survey* und erstellen digitale Assessments zur Erfassung der Schülervorstellungen und -vorerfahrungen zu iVR und zum thematischen Inhalt der Lernumgebung (Hussy, Schreier, und Echterhoff 2013). Um die Einstellungen und Werthaltungen von Sachunterrichtsstudierenden zu Schülervorstellungen und -vorerfahrungen zum Lernen mit iVR zu erfassen, wird die Lehrveranstaltung mit einem Pre-Posttest evaluiert.

4.3 Entwicklung von Instruktionmaterialien zu einer iVR-Lernumgebung mit Lehramtsstudierenden des Faches Sachunterricht

Immersionelles Lernen mit VR stellt einen gewinnbringenden Lernansatz dar, was der Gestaltung von Lernumgebungen mit VR gegenwärtig grosse Beachtung zukommen lässt (Barkmin et al. 2020, 99). Insbesondere ist dies für Lerngruppen des Primarbereichs

eine grundlegende Didaktisierung, da diese digitale Aufbereitung von Unterrichtsmedien auch den Abbau von Barrieren unterstützt – ganz im Sinne des inklusiven Gedankens. Es besteht die Anforderung an die Lehrkräfte von morgen, in der Lage zu sein, die Schüler:innen auf die zunehmende digitalisierte Welt vorzubereiten und digitale Tools didaktisch reflektiert und routiniert im Fachunterricht anwenden und umsetzen zu können (ebd., 103).

Im Rahmen von universitären Seminaren der Oldenburger Lehramtsausbildung im Fach Sachunterricht werden die angehenden Grundschullehrkräfte auf Grundlage von bereits digitalisierten virtuellen Lernorten (siehe 4.1) eigene digitale Unterrichtsmaterialien entwickeln. Dafür ist eine vorangegangene Berücksichtigung der erhobenen Schülervorstellungen zu der Thematik (siehe 4.2) unerlässlich. Auch sind ein pädagogischer Agent bzw. eine Agentin zu kreieren und ein entsprechendes Rahmensetting zu entwickeln. Anknüpfend an die erstellten iVR-Umgebungen sollen dort digitale Marker eingefügt werden d. h. einzelne Gegenstände aus dem Rundgang z. B. farblich sind hervorzuheben und dann mit Arbeitsaufträgen und Denk- oder Entwicklungsaufgaben anzureichern. Ausformulierung und Strukturierung der Aufgabensequenzen sollen von Studierenden im Rahmen von Seminaren entwickelt und digital eingebunden werden. Einzelne Gegenstände können auch direkt in der virtuellen Realität mit didaktischen Aufbereitungen ergänzt werden. Die Lehrvorhaben befinden sich derzeit noch in der Planungsphase, eine Umsetzung ist für das Sommersemester 2022 beabsichtigt.

5. Fazit/Ausblick

Digitale Medien sind bereits Teil des Alltags von Kindern und Jugendlichen. Dabei nutzen bereits jüngere Kinder privat digitale Endgeräte, auch um in Spielen in virtuelle Welten einzutauchen. Diese neuen digitalen Errungenschaften sollten auch Einzug in die schulische und universitäre Bildungslandschaft halten und dabei möglichst schon jungen Kindern einen kompetenten Umgang vermitteln. Da es hierzu noch nicht viele Erkenntnisse gibt, müssen zur Gestaltung einer schülergerechten Lerngelegenheit für Grundschüler:innen zunächst Vorwissen sowie Fähigkeiten der Lernenden erhoben werden.

Studierende erprobten im Wintersemester 2021/2022 erste digitale Assessments zur Erfassung der Schülervorstellungen und -erfahrungen im Rahmen eines Seminars. Hierbei geht es einerseits darum, gemeinsam mit Studierenden einen ersten Grundstein für ein valides Testinstrument zur Erfassung der Schülervorstellungen und -erfahrungen zu legen und andererseits darum, die professionelle Handlungskompetenz der Studierenden zu entwickeln. Um eine Aussage über die professionellen Kompetenzen der Studierenden in Bezug auf Schülervorstellungen treffen zu können, werden dabei ihre Sichtweisen und Überzeugungen durch eine Pre-Post-Erhebung evaluiert.

Aufbauend auf den daraus erhobenen Schülervorstellungen soll ein für die Zielgruppe passendes Pre-Training entwickelt werden, welches vor dem eigentlichen Lernprozess den Umgang mit der Technologie erklärt. Zusätzlich können auf den Ergebnissen aufbauend gezielte Just-in-time-Informationen als Hilfestellung implementiert werden.

Im Rahmen dieses Beitrags wurde aufgezeigt, wie das M-iVR-L Modell von Mulders, Buchner und Kerres (2020) für den Sachunterricht theoretisch umgesetzt werden kann. Nachfolgend muss nun auf der Basis der vorhandenen 360°-Aufnahmen des Forschungsschiffs *Sonne* eine erste virtuelle Lernumgebung nach den vorgestellten Vorgaben konzipiert werden. Um dabei dem (Fort)Bildungsanspruch angehender Lehrpersonen gerecht zu werden, welche die digitale Bildung der Schüler:innen vorantreiben müssen, können in Zukunft die angehenden Sachunterrichtslehrkräfte wie beschrieben auf verschiedene Weise in die Konzeption der VRLerngelegenheit für Grundschulkindern einbezogen werden. Die Basis dazu soll die entwickelte Lernumgebung zur *Sonne* bieten. So können die angehenden Lehrkräfte konstruktiv ihr Professionswissen und ihre Kompetenzen erweitern und sich dabei gleichzeitig kreativ einbringen. Ist die Lernumgebung einmal fertig konzipiert, können die Studierenden die Schüler:innen beim Lernen an und mit der VR-Lerngelegenheit in einem neu entstehenden Sachunterrichtslabor (SULab, Eröffnung im Sommer 2022) an der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg begleiten und beobachten. Dadurch erfahren die angehenden Lehrkräfte direkt etwas über die Passung der eigens erstellten Lernumgebung und können reflektiert Rückschlüsse ziehen.

Die im Beitrag vorgestellten Ideen können noch durch Differenzierungsmöglichkeiten ergänzt werden. Hier bietet sich beispielsweise an, für schnelle und leistungsstarke Schüler:innen Zusatzmaterial zu gestalten. Es wäre denkbar, dass sich nach dem Erschliessen und Eingeben des Lösungswortes eine zusätzliche, freiwillige Sequenz bearbeiten lässt. Eine andere Möglichkeit wäre, einzelne Objekte durch eine detaillierte 3D-Nachbildung einzelner Gegenstände in der virtuellen Umgebung noch genauer erfahrbar zu machen und daran weitere differenzierende Aufgaben anzuschliessen. Dieser Teil könnte alternativ auch durch ergänzende Augmented Reality (AR)-Anwendungen umgesetzt werden.

An das vorgestellte Vorhaben anknüpfend sollen zukünftig noch weitere 360°-Aufnahmen gemeinsam mit den Studierenden aufgenommen und zu neuen VR-Lerngelegenheiten für andere Themen, beispielsweise die Gezeiten des Wattenmeers, ein Satellit oder ein Vulkan, entwickelt werden. So soll das Angebot stetig wachsen.

Durch eine solche Konzeption verschiedener VR-Lerngelegenheiten, die an das Kerncurriculum (Niedersächsisches Kultusministerium 2017) und den Perspektivrahmen (Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts 2013) des Faches Sachunterricht angelehnt sind, ergibt sich aus unserer Sicht die Möglichkeit, im Rahmen eines universitären Programms den Grundschulkindern mit der noch relativ neuen

Technologie Lerninhalte näher zu bringen. So werden Schulen und Lehrkräfte entlastet, da es zumeist nicht nur an technischer Ausstattung, sondern auch an Wissen, Personal und Zeit fehlt, eine didaktisch durchdachte VR-Lerngelegenheit zu konzipieren. Durch eine fortlaufende Evaluation der Schülervorstellungen zum Thema und zum Umgang mit VR-Lerngelegenheiten soll ein gutes, schülerorientiertes Lernangebot gewährleistet werden. Ebenfalls soll zukünftig auch das Lernen mit den erstellten VR-Lernumgebungen evaluiert werden.

Literatur

- Adamina, Marco, Markus Kübler, Katharina Kalcsics, Sophia Bietenhard, und Eva Engeli, Hrsg. 2018. *«Wie ich mir das denke und vorstelle...»: Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern zu Lerngegenständen des Sachunterrichts und des Fachbereichs Natur, Mensch, Gesellschaft*. Bad Heilbrunn: Verlag Julius Klinkhardt.
- Baar, Robert, und Gudrun Schönknecht. 2018. *Außerschulische Lernorte: didaktische und methodische Grundlagen*. 1. Auflage. Bildungswissen Lehramt, 30. Weinheim Basel: Beltz.
- Baek, Youngkyun, Ellen Min, und Seongchul Yun. 2020. «Mining Educational Implications of Minecraft.» *Computers in the Schools* 37 (1): 1–16. <https://doi.org/10.1080/07380569.2020.1719802>.
- Barkmin, Mike, Nadine Bergner, Leena Bröll, Johannes Huwer, Andreas Menne, und Stefan Seegerer. «Informatik für alle?! – Informatische Bildung als Baustein in der Lehrkräftebildung.» In *Digitale Innovationen und Kompetenzen in der Lehramtsausbildung*, herausgegeben von Michael Beißwenger, Björn Bulizek, Inga Gryl und Florian Schacht, 99–120. Duisburg: Universitätsverlag Rhein-Ruhr. <https://doi.org/10.17185/duerpublico/73330>.
- Baumert, Jürgen, und Mareike Kunter. 2013. «Professionelle Kompetenz von Lehrkräften». In *Stichwort: Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, herausgegeben von Ingrid Gogolin, Harm Kuper, Heinz-Hermann Krüger, und Jürgen Baumert, 277–337. Wiesbaden: Springer Fachmedien. https://doi.org/10.1007/978-3-658-00908-3_13.
- Best, Alexander, Christian Borowski, Katrin Büttner, Rita Freudenberg, Martin Fricke, Kathrin Haselmeier, Henry Herper, Volkmar Hinz, Ludger Humbert, Dorothee Müller, Andreas Schwill, und Marco Thomas. 2019. Kompetenzen für informatische Bildung im Primarbereich. Gesellschaft für Informatik e.V. https://dl.gi.de/bitstream/handle/20.500.12116/20121/61-GI-Empfehlung_Kompetenzen_informatische_Bildung_Primarbereich.pdf.
- Brade, Janine, und Bernd Dühlmeier. 2015. «Lehren und Lernen in außerschulischen Lernorten». In *Handbuch Didaktik des Sachunterrichts*, herausgegeben von Joachim Kahlert, Maria Fölling-Albers, Margarete Götz, Andreas Hartinger, Susanne Miller, und Steffen Wittkowske, 434–41. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Buchner, Josef. 2021. «Generative Learning Strategies Do Not Diminish Primary Students' Attitudes towards Augmented Reality». *Education and Information Technologies*, Mai. <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10445-y>.

- Buchner, Josef, und Diane Aretz. 2020. «Lernen mit immersiver Virtual Reality: Didaktisches Design und Lessons Learned». Herausgegeben von Klaus Rummler, Ilka Koppel, Sandra Aßmann, Patrick Bettinger, und Karsten D. Wolf. *MedienPädagogik: Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung, Jahrbuch Medienpädagogik*, 17 (Jahrbuch Medienpädagogik): 195–216. <https://doi.org/10.21240/mpaed/jb17/2020.05.01.X>.
- Bundesministerium für Bildung und Forschung. 2018. «Das Forschungsschiff Sonne». Bundesministerium für Bildung und Forschung – BMBF. 2018. <https://www.bmbf.de/de/das-forschungsschiff-sonne-354.html>.
- Bundesministerium für Bildung und Forschung, und Projektgruppe Wissenschaftsjahr 16*17. 2018. «360-Grad-Tour der SONNE». 2018. <https://www.wissenschaftsjahr.de/2016-17/das-wissenschaftsjahr/die-forschungsflotte/././index8b31.html?id=1210>.
- Callaghan, Noelene. «Investigating the Role of Minecraft in Educational Learning Environments». *Educational Media International* 53 (4): 244–60. <https://doi.org/10.1080/09523987.2016.1254877>.
- Cramariuc, Gabriel, und Mădălina-Andrada Dan. 2021. «Integration of Virtual Reality in the Instructive-Educational Process in Primary Education». *Revista Romaneasca pentru Educatie Multidimensionala* 13(1Sup1.): 38–61. <https://doi.org/10.18662/rrem/13.1Sup1/384>.
- Feierabend, Sabine, Thomas Rathgeb, Hediye Kheredmand, und Stephan Glöckler. 2021. «KIM-Studie 2020. Kindheit, Internet, Medien. Basisstudie zum Medienumgang 6- bis 13-Jähriger in Deutschland». Herausgegeben von Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest (mpfs). Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest (LFK, LMK). https://www.mpfs.de/fileadmin/files/Studien/KIM/2020/KIM-Studie2020_WEB_final.pdf.
- Fiorella, Logan, und Richard E. Mayer. 2016. «Eight Ways to Promote Generative Learning». *Educational Psychology Review* 28 (4): 717–41. <https://doi.org/10.1007/s10648-015-9348-9>.
- Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts, Hrsg. 2013. *Perspektivrahmen Sachunterricht*. Vollständig überarb. und erw. Ausg. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Han, Insook. 2020. «Immersive Virtual Field Trips in Education: A Mixed-Methods Study on Elementary Students' Presence and Perceived Learning». *British Journal of Educational Technology* 51 (2): 420–35. <https://doi.org/10.1111/bjet.12842>.
- Hellriegel, Jan, und Dino Čubela. 2018. «Das Potenzial von Virtual Reality für den schulischen Unterricht – Eine konstruktivistische Sicht». *MedienPädagogik: Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung* (Occasional Papers): 58–80. <https://doi.org/10.21240/mpaed/00/2018.12.11.X>.
- Huang, Hsiu-Mei, Ulrich Rauch, und Shu-Sheng Liaw. 2010. «Investigating Learners' Attitudes toward Virtual Reality Learning Environments: Based on a Constructivist Approach». *Computers & Education* 55 (3): 1171–82. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2010.05.014>.
- Hussy, Walter, Margrit Schreier, und Gerald Echterhoff. 2013. *Forschungsmethoden in Psychologie und Sozialwissenschaften für Bachelor*. Springer-Lehrbuch. Berlin, Heidelberg: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-34362-9>.
- Kahlert, Joachim, Maria Fölling-Albers, Margarete Götz, Andreas Hartinger, Susanne Miller, und Steffen Wittkowske, Hrsg. 2015. *Handbuch Didaktik des Sachunterrichts*. UTB.

- Kübler, Markus. 2018. «Zeit, Dauer und Wandel verstehen – Geschichte und Geschichten unterscheiden – Historisches Denken bei 4- bis 11-jährigen Kindern». In «*Wie ich mir das denke und vorstelle ...*»: Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern zu Lerngegenständen des Sachunterrichts und des Fachbereichs Natur, Mensch, Gesellschaft, herausgegeben von Marco Adamina, Markus Kübler, Katharina Kalcsics, Sophia Bietenhard, und Eva Engeli, 231-52. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Kultusministerkonferenz. 2016. «Strategie der Kultusministerkonferenz ›Bildung in der digitalen Welt‹». https://www.kmk.org/fileadmin/pdf/PresseUndAktuelles/2018/Digitalstrategie_2017_mit_Weiterbildung.pdf.
- Mulders, Miriam, Josef Buchner, und Michael Kerres. 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>.
- Niedersächsisches Kultusministerium. 2017. «Kerncurriculum für die Grundschule Schuljahrgänge 1-4 Sachunterricht». <https://cuvo.nibis.de/cuvo.php?p=download&upload=105>.
- Nießler, Andreas. 2015. «Den Sachen begegnen». In *Handbuch Didaktik des Sachunterrichts*, herausgegeben von Joachim Kahlert, Maria Fölling-Albers, Margarete Götz, Andreas Hartinger, Susanne Miller, und Steffen Wittkowske, 441-48. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Parong, Jocelyn, und Richard E. Mayer. 2018. «Learning science in immersive virtual reality». *Journal of Educational Psychology* 110 (6): 785-97. <https://doi.org/10.1037/edu0000241>.
- Radianti, Jaziar, Tim A. Majchrzak, Jennifer Fromm, und Isabell Wohlgenannt. «A Systematic Review of Immersive Virtual Reality Applications for Higher Education: Design Elements, Lessons Learned, and Research Agenda». *Computers & Education* 147 (April): 103778. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103778>.
- Richards, Deborah, und Meredith Taylor. 2015. «A Comparison of Learning Gains When Using a 2D Simulation Tool versus a 3D Virtual World: An Experiment to Find the Right Representation Involving the Marginal Value Theorem». *Computers & Education* 86 (August): 157-71. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2015.03.009>.
- Scheiter, Katharina, Birgit Brucker, und Shaaron Ainsworth. 2020. «“Now Move like That Fish”: Can Enactment Help Learners Come to Understand Dynamic Motion Presented in Photographs and Videos?». *Computers & Education* 155 (Oktober): 103934. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.103934>.
- Somrei, Eva. 1997. «Unterricht nicht nur in der Schule – Zum Stellenwert und Möglichkeiten außerschulischer Lernorte». In *Pädagogik und Didaktik der Grundschule*, herausgegeben von Harald Gesing, 269-75. München: Luchterhand.
- Villena Taranilla, Rafael, Ramón Cózar-Gutiérrez, José Antonio González-Calero, und Isabel López Cirugeda. 2019. «Strolling through a city of the Roman Empire: an analysis of the potential of virtual reality to teach history in Primary Education». *Interactive Learning Environments*, 1-11. Routledge. <https://doi.org/10.1080/10494820.2019.1674886>.