







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

Virtual Reality für Schüler:innen

Ein «Beipackzettel» für die Durchführung immersiver Lernszenarien im schulischen Kontext

Raphael Zender¹ , Josef Buchner² , Caterina Schäfer³ , David Wiesche² ,
Kathrin Kelly⁴  und Ludger Tüshaus⁴ 

¹ Humboldt-Universität zu Berlin | Universität Potsdam

² Universität Duisburg-Essen

³ Technische Universität Dortmund

⁴ Universitätsklinikum Schleswig-Holstein

Zusammenfassung

Immersiven Technologien wie Virtual Reality (VR) wird aktuell in allen Bildungsbereichen ein grosses Potenzial als Bildungstechnologien und Lernmedien zugeschrieben, obwohl derzeit noch viele Fragen bzgl. Lernwirksamkeit, pädagogischer und didaktischer Gestaltung sowie medizinischer und ethischer Einsatzrisiken nicht ausreichend beantwortet werden können. Diese haben jedoch insbesondere für den Schulunterricht eine besondere Relevanz, da Kinder immer auch Schutzbefohlene darstellen. Dieser Artikel gibt im metaphorischen Sinne eines «Beipackzettels» einen Überblick über die Bedenken und Risiken des schulischen VR-Einsatzes aus medizinischer, pädagogischer, didaktischer, technischer und ethischer Perspektive mit dem Ziel, eine sensibilisierte und reflektierte Nutzung dieser vielversprechenden Technologie zu ermöglichen. Daher werden weiterhin konkrete Gestaltungsempfehlungen für Lehrende, Lernende, Eltern, Bildungsinstitutionen, Personen in der Entwicklung sowie politische Akteur:innen formuliert. Dieser Artikel möchte des Weiteren mit diesen Empfehlungen einen Grundstein für den interdisziplinären Diskurs im Bereich der schulischen Nutzung von VR als Lernmedium legen. Er ist daher mit einem Beteiligungsauftrag zur Mitwirkung aller am Schulunterricht beteiligten Akteur:innen verbunden.



Students and Virtual Reality. An ‘instructional leaflet’ for the Implementation of Immersive Learning Scenarios in School Settings

Abstract

Immersive technologies such as virtual reality (VR) are currently considered to have a great potential as educational technologies and learning media over all areas of education, although many questions regarding learning effectiveness, pedagogical and didactic design, and medical as well as ethical risks of use cannot yet be answered sufficiently. However, they are of particular relevance for school teaching, since children are always also considered to be subjects of protection. In the metaphorical sense of an «instructional leaflet», this article provides an overview of the concerns and risks of VR use in schools from medical, pedagogical, didactical, technical, and ethical perspectives with the aim of enabling a sensitized and reflected use of this promising technology. Therefore, specific design recommendations for teachers, learners, parents, educational institutions, developers as well as political actors are further formulated. Furthermore, this article wants to provide a foundation for an interdisciplinary discourse in the area of the VR-usage as a learning medium in schools. It is therefore connected with a call for participation of all stakeholders involved in school education.

1. Motivation

Virtual Reality (VR) bezeichnet technologisch die Nutzung von Displays zur Erzeugung eines 3D-Eindrucks sowie entsprechender Interaktionsgeräte, um eine explorierbare, computergenerierte Umgebung zu erzeugen (nach Bryson 1993). Dabei steht die menschliche Erfahrung, *in* der virtuellen Welt bzw. an einem fremden Ort zu sein, im Zentrum (Rheingold 1992). VR ist in den vergangenen Jahren auch als ernstzunehmende Bildungstechnologie mit Stärken in der Wissensvermittlung durch eine Vielzahl von Projekten und Studien bestätigt worden (Jensen und Konradsen 2018; Radianti et al. 2020). Vor allem durch die Nutzung von Head-Mounted Displays (HMDs) bietet sich die Technologie als Medium zur Adressierung konkreter Bildungsprobleme an. Offensichtlich ist beispielsweise die Möglichkeit, Lernende in künstliche und dennoch glaubhafte Situationen zu versetzen. So werden auch Trainings in gefährlichen, unethischen und real schwer herbeizuführenden Settings möglich (Mikropoulos und Natsis 2011). Ebenfalls naheliegend ist die Nutzung von VR, um 3D-Visualisierungen, beispielsweise von mikroskopischen Objekten und wissenschaftlichen Daten (El Beheiry et al. 2019) zu erzeugen, um diese im Unterricht zu nutzen. Vielversprechend ist weiterhin der Erwerb affektiver Fähigkeiten im Rahmen von VR-Lernszenarien, da glaubwürdige Simulationen virtueller menschlicher oder sozialer Situationen herbeiführbar werden (Jensen und Konradsen 2018).

Diese exemplarische Auswahl von Möglichkeiten, die VR als Bildungstechnologie eröffnet, macht deutlich, warum viele Lehrende und Lernende in allen Bildungsbereichen ein Interesse an VR-Lernanwendungen haben. Sowohl in der betrieblichen als auch der Hochschul- und Schulbildung gibt es ein grosses Spektrum an vielversprechenden Fallstudien und Projekten rund um die Durchführung von VR-Lernsettings (Lee et al. 2021). In der Regel werden diese jedoch mit einem Fokus auf die Technologie sowie zunehmend auf die lernprozessorientierte didaktische Gestaltung durchgeführt. Eine kritische Betrachtung der Konsequenzen eines VR-Einsatzes in Bildungseinrichtungen ist selten Teil der Fallstudien und Projekte. Insbesondere im schulischen Umfeld mit einer geistig und körperlich heranwachsenden Zielgruppe sehen die Autor:innen hier dringenden Nachholbedarf.

So werden beispielsweise VR-HMDs von herstellenden Unternehmen in der Regel erst ab einem Alter von 12 (Playstation VR) bzw. 13 (Oculus) Jahren empfohlen. Belastbare Begründungen für diese Empfehlungen liefern die Hersteller allerdings nicht. Stattdessen irritieren Äusserungen wie die des Mitgründers und ehemaligen CEO von Oculus, Brendan Iribe (2015): «The age of 13 was something that made a lot of sense when we (Oculus) became a part of Facebook, their age is 13 as well». Dementsprechend führten vor allem juristische Überlegungen zur Altersbeschränkung, nicht jedoch die Rücksichtnahme auf die individuellen physischen und psychischen Besonderheiten Heranwachsender. Dieses Beispiel zeigt, wie gravierend die Unklarheiten zum VR-Einsatz mit Kindern und somit gerade an Schulen noch sind.

Eine wissenschaftlich fundierte Analyse der Bedenken und Risiken ist somit dringend erforderlich. Dabei ist der Blick auf medizinische Erkenntnisse ebenso wichtig wie die pädagogische, didaktische, technische und ethische Perspektive auf VR im Schulunterricht. Die initiale Erarbeitung dieser Herausforderungen ist das zentrale Ziel dieses Artikels. Er soll somit den Grundstein für eine weitere Analyse in den kommenden Jahren darstellen. Damit einher geht die initiale Zusammenstellung von Empfehlungen für die verschiedenen am Schulunterricht beteiligten Zielgruppen. Die Bedenken, Risiken und Empfehlungen dieses Artikels finden primär im Hinblick auf das Bildungssystem in der DACH-Region Anwendung. Sie sind jedoch zu grossen Teilen allgemeingültig für die kindliche Bildung.

Im Folgenden wird zunächst die Methodik für die Erarbeitung sowie die angestrebte künftige Arbeit am Thema dargestellt. Es folgt eine Zusammenstellung der einzelnen Bedenken und Risiken, aufgeteilt in die Perspektiven der Medizin, Pädagogik, Didaktik und Technologie sowie ergänzt um noch unbetrachtete ethische Aspekte. Basierend auf diesen Überlegungen werden im Anschluss Empfehlungen für Lehrende, Lernende, Eltern, Bildungsinstitutionen, politische sowie weitere Akteur:innen und VR-Entwickler:innen formuliert. Der Artikel schliesst mit einem Fazit und einer Zusammenfassung.

2. Methodik

Der Einsatz immersiver Technologien wie VR ist aktuell noch sehr starken technologischen und organisatorischen Unsicherheiten ausgesetzt. Dies betrifft auch und insbesondere den VR-Einsatz im Schulkontext. Einerseits ist aufgrund des sich rasant und kontinuierlich weiterentwickelnden technologischen Standes nur mit Expert:innenwissen absehbar, welche Möglichkeiten VR technologisch in den nächsten Jahren für den Schulkontext bieten wird. Andererseits wächst das Wissen der Beteiligten im Schulbereich mit der eigenen Einsatzerfahrung sowie den Erkenntnissen aus fremden Projekten mit der Zeit. Somit kann dieser Beitrag keinesfalls den Anspruch erheben, für einen langen Zeitraum aktuelle Bedenken, Risiken und Einsatzempfehlungen zu beschreiben. Vielmehr soll er den Grundstein für eine sich ständig weiterentwickelnde Wissensbasis rund um die Durchführung immersiver Lernszenarien im schulischen Kontext legen und ist somit ein initialer Schritt in einem erfahrungsgeliteten, interdisziplinären und agilen Prozess.

Abbildung 1 stellt den angestrebten Prozess im Überblick dar, in dem konkrete und aktuelle Einsatzempfehlungen für die kommenden Jahre erarbeitet und durch Erfahrungsberichte ergänzt werden sollen.

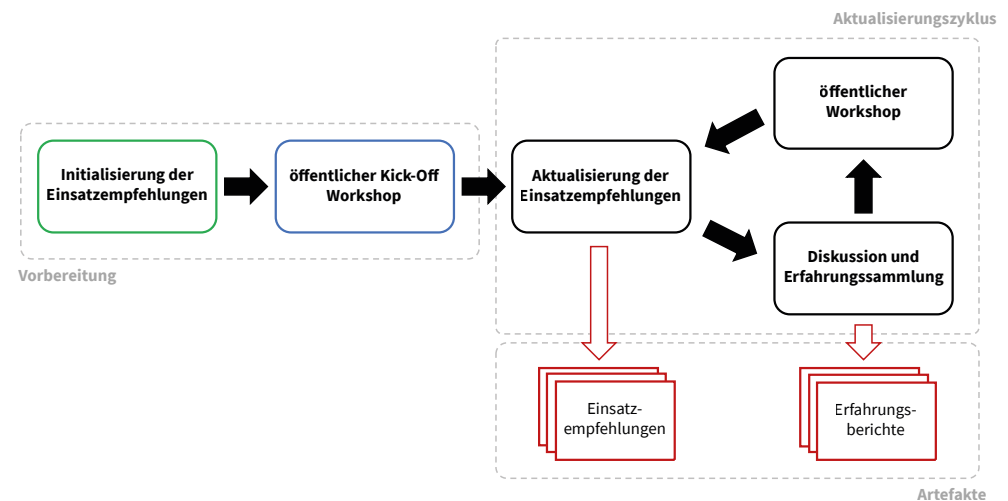


Abb. 1: Prozess zur Erarbeitung von Einsatzempfehlungen und Erfahrungsberichten (eigene Darstellung).

Der vorliegende Beitrag ist das Ergebnis der Initialisierung von Einsatzempfehlungen zur späteren Konkretisierung, Ergänzung und Aktualisierung. Hierfür wurden zunächst Expert:innen aus den für das Thema augenscheinlich relevanten Fachdisziplinen identifiziert und um Mitwirkung gebeten. Im Ergebnis ist eine initiale Interessengruppe aus sechs praxisnahen Wissenschaftler:innen mit einem Schwerpunkt auf VR-Technologien entstanden, die den folgenden Fachdisziplinen angehören:

- **Schulpädagogik und -didaktik** für die erziehungs- und bildungswissenschaftliche Perspektive auf den Einsatz immersiver Technologien in Schulen.
- **Kinder- und Jugendmedizin** für die Perspektive der physiologischen Eignung immersiver Technologien für Kinder unterschiedlicher Altersstufen.
- **Informatik (Schwerpunkt Bildungstechnologien)** für die Perspektive der technologischen Gestaltung immersiver Lehr-/Lernanwendungen.

Diese Gruppe hat als Initiative für die kommenden Aktivitäten die Methodik des kollaborativen Online-Brainstormings mit anschließender Nachbereitung (vgl. Drummer et al. 2011) verfolgt. Diese wurde wie in Abbildung 2 illustriert in vier Schritten durchgeführt.



Abb. 2: Prozess zur Initialisierung der Einsatzempfehlungen (eigene Darstellung).

Die Zusammenfassung der Ergebnisse dieses Prozesses ist Gegenstand des vorliegenden Beitrags.

Teil dieses Beitrags ist der Aufruf zur Beteiligung an der Zusammenstellung von Bedenken, Risiken und Einsatzempfehlungen. Am Thema Interessierte werden eingeladen, sich zunächst über einen öffentlichen KickOff-Workshop mit ihrer Expertise, ihren Perspektiven und den individuellen Beweggründen einzubringen. Im Ergebnis werden die Einsatzempfehlungen aktualisiert.

Anschließend wird diese Initiative in einen sich bis auf Weiteres wiederholenden Aktualisierungszyklus gehen. Kontinuierlich soll online über die Einsatzempfehlungen diskutiert und sollen diese mit Erfahrungsberichten zum tatsächlichen Einsatz von VR an Schulen ergänzt werden. Dabei sind sowohl informelle Berichte von Lehrkräften als auch wissenschaftliche, empirische Forschungsergebnisse gefragt. Etwa jährlich sollen Interessierte in einem öffentlichen Workshop die Einsatzempfehlungen aktualisieren. Eine frei zugängliche Online-Veröffentlichung der jeweils aktualisierten Einsatzempfehlungen wird angestrebt.

3. Bedenken und Risiken

Als theoretische Basis für VR-Einsatzempfehlungen im Schulunterricht werden im Folgenden zunächst Bedenken und Risiken zusammengetragen – aus Sicht der Medizin, der Pädagogik, der Didaktik und der Technologie. In diesen Ausführungen werden implizit auch ethische Aspekte angeschnitten. Diese werden abschliessend um explizite ethische Herausforderungen ergänzt. Bei den jeweiligen Bedenken und Risiken wurde aus Gründen der Lesbarkeit keine explizite Unterteilung in deskriptive und interpretierte Befunde vorgenommen. Diese Unterscheidung wird jedoch im Kontext der jeweiligen Befunde deutlich.

3.1 Medizinische Perspektive

3.1.1 Identifizierung von Risikogruppen vor der Anwendung

Aus kindermedizinischer Sicht erscheint es unabdingbar, vor dem Einsatz von VR/AR-Technologie an Lernenden diejenigen Kinder zu identifizieren, für die eine Benutzung von VR-Equipment aus medizinischen Gründen nicht möglich ist bzw. bei denen im Allgemeinen von einer Nutzung von VR-Equipment dringend abgeraten werden muss. Zu berücksichtigen sind hier Kinder mit Erkrankungen, die einen unmittelbaren Einfluss auf die visuelle Wahrnehmung und die kognitive Reizverarbeitung haben. Dazu gehören

- alle Formen der Epilepsie,
- Augenvorerkrankungen,
- Entwicklungsstörungen aus dem Formenkreis des frühkindlichen Autismus.

Zudem ist besondere Vorsicht bei Kindern mit verzögerter geistiger Entwicklung geboten, sowie Kindern mit psychischen Erkrankungen wie z. B. AD(H)S, Depression oder Ängsten. Hierbei handelt es sich um Erkrankungen, die auch für die Nutzung anderer Neuer Medien unter Umständen eine Kontraindikation darstellen.

Es muss betont werden, dass die Datenlage zur Identifizierung der medizinischen Kontraindikationen für eine VR-Nutzung von Kindern sehr dünn ist und daher keine generelle Kontraindikation ausgesprochen werden kann. Trotz zahlreicher klinischer Studien, grosser systematischer Reviews und Metaanalysen zum aktuellen Stand der klinischen VR-Forschung (Cipresso et al. 2018; Nordgård et al. 2021; Ridout et al. 2021) werden *Kontraindikationen und beobachtete Nebenwirkungen von VR-Anwendungen* nur in sehr wenigen Publikationen beleuchtet (Sharples et al. 2008 zu Nebenwirkungen im Erwachsenenalter; Won et al. 2017 zu VR-Anwendungen zur Schmerzablenkung bei Kindern).

Bei der Nutzung eines HMD können je nach Modell Probleme durch das Gewicht und die Grösse der Brille entstehen (Dahlquist et al. 2009). Aus Erfahrung in der Kinderklinik kann eine Brille nur dann sinnvoll eingesetzt werden, wenn die IPD (interpupillary distance) der Lernenden anatomisch ausreicht, um das für jedes Auge getrennt generierte Bild in vollem Umfang wahrnehmen zu können. Insbesondere in den niedrigeren Klassenstufen können sich so, auch bedingt durch die in dieser Altersgruppe sehr unterschiedlich ausgeprägte Grössenentwicklung der einzelnen Kinder, grosse Schwierigkeiten bei der Nutzung eines HMD ergeben.

3.1.2 Unerwünschte Nebenwirkungen während und nach der Anwendung

Während und nach dem Einsatz einer VR-Anwendung kann ein breites Spektrum an Nebenwirkungen auftreten, die vor allem dadurch bedingt werden, dass der visuelle Apparat des Kindes einen anderen Input erfährt (ich bewege mich) als der Gleichgewichtsapparat (ich bewege mich nicht). Hierbei ist das Ausmass der Nebenwirkungen in hohem Mass von der Art der VR-Anwendung abhängig. Obwohl die Forschung zu VR-Anwendungen bei Kindern in den letzten vier Jahren durch die Verringerung von Grösse und Gewicht der HMD stark zugenommen hat, ist bis heute nicht systematisch untersucht, wie und ob bestimmte Nebenwirkungen auftreten. Auch Langzeitauswirkungen bei Kindern sind bisher nur unzureichend untersucht (Won et al. 2017).

Im Erwachsenenalter sind Studien zu Nebenwirkungen bereits bekannt: Am häufigsten sind die sogenannte *Cybersickness* und *Motion Sickness* beschrieben (Kim et al. 2021), die in etwa mit der klassischen Seekrankheit auf einem stark bewegten Schiff vergleichbar sind. VR-Anwendungen können demnach Schwindel, Kopfschmerzen, Übelkeit und/oder Erbrechen auslösen und gelegentlich während oder nach der Anwendung zu kurzfristigen Sehbeeinträchtigungen führen (Sharples et al. 2008). Hiervon sind laut Munafo et al. (2017) Frauen häufiger betroffen als Männer. Bei längerer VR-Anwendung wurde bei vielen Nutzenden auch eine Überbelastung der Augen festgestellt, die zum sogenannten *Fatigue* (Deutsch «Erschöpfung») und *Eye Strain* («Augenüberbelastung») führen kann. Entscheidend für das Ausmass der Nebenwirkungen ist neben den in 3.1.1 genannten Prädiktoren der Immersionsgrad der Anwendung, das heisst der Grad der kognitiven Eindringtiefe, mit der man zunehmend die Aussenwelt ausblendet. Die erzeugte Immersion und Präsenz sind insbesondere bei jüngeren Altersgruppen derzeit noch schwierig zu objektivieren. Eine Übersicht über die bisher gut dokumentierten Nebenwirkungen gibt Tabelle 1 (orientiert an Steele et al. 2003; Trost et al. 2021).

Nebenwirkung	Beschreibung
Motion-Sickness (Simulations-/Cyberübelkeit bzw. Kinetose)	Schwindel, Übelkeit oder Unwohlsein
Game transfer phenomenon (Spielübertragungsphänomen)	Entfremdung von realweltlichen Objekten aufgrund von Highspeed-Simulationen
Schlafstörungen	Von VR-Brillen emittiertes blaues Licht kann den Schlafrhythmus beeinflussen
Vergenzakkommodationseffekt	Objekte in VR wirken weiter entfernt als sie tatsächlich sind
VR-Traurigkeit	Gefühl von Verlust nach Beendigung der VR-Simulation

Tab. 1: Medizinische Nebenwirkungen bei der Nutzung von VR.

Im Rahmen des interdisziplinären Diskurses zu diesem Beitrag wurde deutlich, dass bisher nur sehr wenige Untersuchungen und keine randomisierten klinischen Studien zu den Nebenwirkungen von VR-Nutzung bei Kindern vorliegen. Nebenwirkungen werden oft nur als Randnotiz beschrieben, eine wissenschaftliche Analyse und Quantifizierung fehlt. Auch die Herstellenden der entsprechenden VR-Hard- und Software stellen bisher noch keine Nutzungsempfehlung für Kinder zu Verfügung.

Die Autor:innen sehen daher einen dringenden Handlungsbedarf zur Quantifizierung der Nebenwirkungen. Zudem ergeben sich auch weiterführende offene Fragen wie: Welche maximale Nutzungsdauer sollte eingehalten werden, um die oben genannten Nebenwirkungen nach Möglichkeit zu vermeiden? Ist es möglicherweise erforderlich (wie bei vielen anderen Medien auch), unterschiedliche Empfehlungen für verschiedene Altersgruppen zu entwickeln?

3.2 Pädagogische Perspektive

Mit einem pädagogischen Blick auf VR im Schulkontext rückt die Begleitung von individuellen Bildungs- und Erziehungsprozessen der Kinder in den Fokus, insbesondere wenn Schüler:innen sich *zum ersten Mal* mit der ihr noch unbekanntem Technologie auseinandersetzen.

3.2.1 Begleitung von Schüler:innen mit Beeinträchtigungen

Menschen mit einer körperlichen und/oder sozial-emotionalen Beeinträchtigung wie ADHS, Depressionen oder Angststörungen können Schwierigkeiten bei der Unterscheidung der Realitäten haben (Kang und Kang 2019). Dies kann nicht nur Schüler:innen mit einem ausgewiesenen (sonderpädagogischen) Förderbedarf betreffen, sondern auch jene, die Schwierigkeiten in der Verarbeitung aussergewöhnlicher Wahrnehmungsreize wie übermässig schnellem Bild- und Tonwechsel (siehe

auch 3.1). Die Vorbereitung, genaue Beobachtung und individuelle Begleitung von Schüler:innen mit Beeinträchtigungen vor, während und nach einer VR-Exploration stellt eine Herausforderung für Lehrkräfte dar.

3.2.2 Barrierefreiheit

Zugangsbarrieren wie die Beschaffenheit der Apparatur oder aufgrund der Gestaltung und Navigation von Anwendungen können dazu führen, dass Kinder mit Beeinträchtigungen an den VR-basierten Bildungsangeboten nicht teilhaben können. Hier muss pädagogisch abgewogen werden, ob und in welchem Masse die Lehrkräfte differenzierte VR-Lernszenarien vorbereiten und damit auf eine diverse Lerngruppe eingehen können. Für eine inklusionsorientierte Ausrichtung von VR im Unterricht gilt es, die Prinzipien des *Universal Design* zu beachten (Wember und Melle 2018).

3.2.3 Kultur, Geschlecht und Mobbing

Aus kulturellen oder religiösen Gründen kann die Nutzung von VR ein Hindernis für Schüler:innen darstellen, wenn sie körperlich nicht berührt werden möchten oder eine kritische Haltung gegenüber der VR-Technologie einnehmen (Southgate et al. 2019). Zudem zeigen sich geschlechtsspezifische Unterschiede: Mädchen haben u.a. weniger Zugang zu und weniger Erfahrung mit VR im Vergleich zu Jungen. Sie zeigen im Gegensatz zu Jungen Unwohlsein/Scham, wenn sie während der VR-Erfahrung beobachtet werden (Southgate 2020). Neben diesen sensibel zu betrachtenden Erkenntnissen können insbesondere Erlebnisse in Social VR und mit Avataren auslösende Situationen für Mobbing bis hin zu sexueller Belästigung darstellen.

3.2.4 Aufklärung der Eltern

Die Aufklärung von Erziehungsberechtigten zu Spezifika der VR-Technologie ist eine weitere grosse Herausforderung für Lehrkräfte, da die hier aufgezeigten Risiken höchst sensible Themen darstellen. Befragungen von Eltern zu den körperlichen Aktivitäten ihrer Kinder in VR zeigen, dass sie Bedenken haben hinsichtlich des Suchtpotenzials, der Darstellung von Gewalt und des Umgangs mit (Daten-)Sicherheit (McMichael et al. 2020). Hier liegen noch keine spezifischen Leitlinien für Präventionsmassnahmen vor.

Zusammenfassend fehlen zum pädagogischen Umgang mit Diversität in VR-Lerngruppen noch grundlegende Kenntnisse – insbesondere, wie Schüler:innen VR erleben und wie die Lehr- und pädagogischen Fachkräfte sie in (inkluisiven) Lehr-/Lernsettings begleiten und unterstützen können und sollten.

3.3 *Didaktische Perspektive*

Aus didaktischer Perspektive werden Bedenken diskutiert, die sich auf organisatorische Rahmenbedingungen, die Akteur:innen, die als hedonistisch wahrgenommene Technologie sowie die Verfügbarkeit der Anwendungen beziehen.

3.3.1 *Organisatorische Rahmenbedingungen*

VR-Settings benötigen je nach Anwendung einen Bewegungsfreiraum von mehreren Quadratmetern, der in einem üblichen Klassenraum nicht vorhanden ist. Als weitere Herausforderung muss bei PC-gebundenen VR-Systemen auch ein Ort gefunden werden, an dem der Computer mit den VR-Systemen aufgestellt werden kann, der in unmittelbarer Nähe zu dem Bewegungsfreiraum liegen muss. Bei Standalone-HMDs ist eine WLAN-Infrastruktur erforderlich. Auch die zeitlichen Rahmenbedingungen und die mangelnde Flexibilität des klassischen Schulsystems (feste Stundenpläne sowie Lernen in Fächern mit zeitlicher und räumlicher Verankerung) können den Einsatz VR-bezogener Lernarrangements einschränken. Die Vorbereitungszeit des technischen Aufbaus ist eine Herausforderung, die für einzelne, relativ kurze Unterrichtseinheiten in einem Missverhältnis zur Nutzungszeit stehen kann.

3.3.2 *Akteur:innen*

Die zur Verfügung stehenden Geräte wie beispielsweise HMDs oder auch Lernsoftware decken sich nur in den seltensten Fällen mit der Anzahl der Schüler:innen im Klassenverband. Es stellt sich die Frage, welche (Lern-)Aktivitäten die Schüler:innen durchführen, die die Technik nicht nutzen können. Es können zwar helfende und begleitende Personen organisiert werden, diese müssen jedoch nicht nur verantwortungsbewusst sein, sondern auch rudimentäre Erfahrung in der Unterstützung besitzen. Darüber hinaus ist qualifiziertes Hilfspersonal zur Umsetzung von VR-Szenarien gerade im Schulalltag (fast) unmöglich zu erreichen. Dies betrifft vor allem die technische Hilfe bei auftretenden Problemen mit der VR-Anwendung.

3.3.3 *VR als hedonistische Technologie*

Bisherige Studien zu VR im Bildungskontext verweisen auf die motivierende/motivationale «Wirkung» von VR-Anwendungen, die schliesslich in besserem Lernen resultieren soll (Radianti et al. 2020). Diese Annahme gründet auf einem kontrovers diskutierten Verständnis von Lehren und Lernen: Technologie als kausaler Auslöser für (Lern-)Wirkungen (Kerres 2020; Clark 1994). Es wurde vielfach gezeigt, dass die durch Medien und Technologien hervorgerufenen motivationalen Effekte meist nur kurz auftreten (Novelty-Effect) und sich langfristig keine Vorteile durch den Einsatz zeigen. Lernerfolge sind stärker an die Lernaktivitäten gebunden, was unter Einbezug des *Amount of Invested Mental Effort* (AIME) Modells von Salomon (1983) erklärt werden kann: Emotionale Eingebundenheit kann zu einer geringeren mentalen

Anstrengung führen, d.h. die Technologie wird zwar als unterhaltsam und motivierend empfunden, jedoch nicht als «echte» Lerntechnologie. Nach van der Heijden (2004) werden solche Technologien als «hedonic systems» bezeichnet, die im Gegensatz zu «utilitarian systems» nicht als nützlich für das Lernen wahrgenommen, aber gemocht werden. Schwab et al. (2018) weisen darauf hin, dass für zeitgemäße Technologien noch wenig Forschung zu dieser Herausforderung vorliegt, jedoch ein entsprechender Effekt angenommen werden kann.

3.3.4 Verfügbarkeit von VR-Lernanwendungen

Die meisten VR-Lernanwendungen stehen englischsprachig zur Verfügung. So können abhängig vom sprachlichen Niveau zentrale Inhalte von den Schüler:innen, aber auch von den Lehrkräften nicht vollständig verstanden werden. In den Fächern, die durch eine fachliche Unterrichtssprache geprägt sind, ist das Erlernen der englischen Fachsprache eine Voraussetzung, die die vorhandene Heterogenität deutlich vergrößern kann. Wenn etwa physikalische Fachbegriffe in einem Simulationsexperiment im Physikunterricht nicht thematisiert wurden, können die fachlichen Sachverhalte nicht adäquat gelernt werden. Als Herausforderung muss ausgewiesen werden, dass die verfügbaren VR-Anwendungen meist nicht wirklich als Lernanwendungen eingestuft werden können: Beim Anne Frank VR Haus (Anne Frank Haus 2018) gibt es keine echten Interaktionsmöglichkeiten oder in Ocean Rift (Oculus 2019) werden geschriebener und gesprochener Text gleichzeitig dargeboten und die Lernenden verbleiben in einer gänzlich passiven Rolle.

Eine weitere Herausforderung betrifft die Fokussierung der (englischsprachigen) VR-Anwendungen auf den US-Amerikanischen bzw. westlichen Lebensraum. Dies kann zwar inhaltlich aufgegriffen und reflektiert werden und ist im Sinne des exemplarischen Lernens durchaus vertretbar. Da es auf dem Markt jedoch (noch) keine Alternativen gibt, ist diese Fokussierung vorbestimmt und Lehrkräfte haben keinen Entscheidungsspielraum.

3.4 Technische Perspektive

Aus der technischen Perspektive lassen sich primär drei Bereiche von Bedenken bzw. Risiken hervorheben, die teilweise bereits implizit in den anderen Perspektiven angeschnitten wurden: Unzureichende technische Kompetenzen im Kontext einer rasanten technologischen Entwicklung, herausfordernde Einsatzsicherheit und schwer abzuschätzende Kosten.

3.4.1 Technische Kompetenzen

Der Einsatz und auch die Wartung einer typischerweise aus mehreren HMDs und der Netzwerkinfrastruktur bestehenden VR-Installation erfordert erhebliche technische

Kompetenzen. Sie müssen zudem in einem deutlichen höheren Masse aktualisiert werden als dies für andere, ausgereifte digitale Medien wie Lernmanagementsysteme (LMS) der Fall ist. Dies liegt vor allem daran, dass die VR-Technologie sich aktuell noch in einer Phase der sehr schnellen technologischen Weiterentwicklung befindet.

3.4.2 Einsatzsicherheit

Mangelnde Kompetenzen beim Einsatz von VR führen zudem zu einem erhöhten Risiko, Gefahren auszublenden. So kann das falsche Anlegen von HMDs zu einer anstrengenden Gewichtsverteilung am Kopf führen, wodurch physiologische Nutzungsprobleme wahrscheinlicher werden (Nackenschmerzen). Darüber hinaus können Sicherheitsrisiken auftreten, etwa wenn das Ausblenden der Realität Gefahren im realen Raum verschleiert (spitze Gegenstände, Möbel). Auch eine mangelnde Hygiene setzt Nutzende gesundheitlichen Risiken aus, insbesondere wenn viele Schüler:innen ein HMD abwechselnd nutzen (s. 3.1).

3.4.3 Kosten

Ein heute gekauftes HMD kann in einem Jahr veraltet sein, sodass möglicherweise für Schulen interessante VR-Anwendungen nicht (mehr) funktionieren. Somit stellt sich die Frage, wann der geeignete Zeitpunkt ist, um in VR zu investieren. Diese Frage verschärft sich bzgl. der Kosten für VR-Hardware (aktuell ca. 600 € für eine Pico Neo 2, ca. 450 € für eine Oculus Quest 2), die für Schulen zudem eher in grossen Stückzahlen (Klassensatz) anfallen würden. Hinzu kommen Kosten für die drahtlose Netzwerkinfrastruktur (WLAN), Hygienezubehör sowie Software für Lernanwendungen und zum Multi-Device-Management (MDM). Der rasante technologische Fortschritt verstärkt das Problem zusätzlich, da über Jahre hinweg immer wieder Kosten entstehen können, um auf dem aktuellen technologischen Stand zu bleiben. Wenn VR-HMDs zunehmend im privaten Umfeld verbreitet werden, kann über Bring Your Own Device (BYOD)-Strategien nachgedacht werden (aufgrund der zu berücksichtigenden gesellschaftlichen, digitalen Spaltung nur ergänzend).

3.5 Ethische Ergänzungen

Die ethische Betrachtung von VR-Technologien ist im schulischen Einsatz von besonderer Brisanz, da Kinder immer auch Schutzbefohlene sind. Bei den zuvor dargelegten medizinischen, pädagogischen, didaktischen und technischen Risiken spielten ethische Aspekte (Berücksichtigung von Beeinträchtigungen, Kultur, Religion und Geschlecht sowie digitale Spaltung) daher bereits eine implizite Rolle. Ergänzend werden in diesem Abschnitt noch zwei weitere grundsätzliche ethische Bedenken dargestellt.

3.5.1 Macht der Entwickler:innen

Entwickler:innen von VR-Anwendungen erzeugen in hohem Masse glaubhafte Situationen. Dies unterscheidet sie etwa von Entwickler:innen klassischer Office-Anwendungen für die Bildschirmarbeit, die es kaum schaffen, die Nutzerinnen und Nutzer in glaubhafte künstliche Situationen hineinzusetzen. Entwickler:innen einer VR-Erfahrung erhalten jedoch durch die hohe Immersion noch stärker die Macht, den Grossteil der auf Nutzende wirkenden Reize gezielt kontrollieren zu können. Im Gegensatz zu physischen Umgebungen können VR-Umgebungen schnell und einfach verändert werden, um das Verhalten von Menschen zu beeinflussen (Madary und Metzinger 2016). Der VR-Pionier Jaron Lanier geht sogar soweit, VR mit einer «Skinner-Box» (für Verhaltensexperimente an Tieren) zu vergleichen und bezeichnet sie – etwas plakativ – als das «perfekte Werkzeug für die perfekte und perfekt böse Skinner-Box» (Lanier 2018).

Weiterhin können über diese Macht Dritte in die Lage versetzt werden, falsche Erinnerungen/Erfahrungen ohne das Einverständnis oder die mentale Anstrengung einer Person hervorzurufen. Kinder und Jugendliche im Alter von 6-18 Jahren berichten, verglichen mit Erwachsenen im Alter von 19-65 Jahren, über ein höheres Mass an Präsenz und «Realitätsnähe» virtueller Umgebungen (Sharar et al. 2007). Kinder im Alter von 6-7 Jahren, die einer VR-Erfahrung ausgesetzt waren, neigten zudem dazu, sich nach einer Woche an das Ereignis als real zu erinnern (Segovia und Bailenson 2009). Diese Phänomene verdeutlichen das hohe Risiko durch einen unbedachten schulischen Einsatz beliebiger VR-Lernanwendungen.

3.5.2 Datenschutz

Insbesondere die HMDs von Meta (ehemals Facebook) zeichnen sich durch eine intensive Datensammlung und Kommunikation innerhalb des Meta-Ökosystems aus. Auch ein grosser Teil der sonstigen aktuellen VR-Anwendungen (z.B. das SocialVR-Tool «AltspaceVR» von Microsoft) sammelt und verarbeitet persönliche Daten. Aktuelle Datenschutzverordnungen werden durch die Nutzung solcher HMDs und Tools daher nicht berücksichtigt. Ihre Verwendung innerhalb des Unterrichts ist somit weder ethisch noch juristisch zulässig.

4. Durchführung immersiver schulischer Lernszenarien

Wie zuvor dargestellt, ist der Einsatz von VR im Schulunterricht mit einer Vielzahl von Unsicherheiten und konkreten Herausforderungen verbunden, wird jedoch aufgrund seines Potenzials mit hoher Wahrscheinlichkeit unabwendbar zunehmen. Die folgenden Empfehlungen sind daher als Diskussionsgrundlage zu verstehen. Sie basieren teilweise auf der eigenen Empirie der Autor:innen in ihren jeweiligen Fachdisziplinen und Forschungsprojekten. Die Empfehlungen sollen als Orientierung für Lehrende,

Lernende, Eltern und Bildungsinstitutionen bei der Durchführung immersiver schulischer Lernszenarien dienen. Zudem werden erste Handlungsempfehlungen für politische Akteur:innen sowie Gestaltungsempfehlungen für Entwickler:innen von VR-Anwendungen für den schulischen Kontext und noch offene Forschungsfragen formuliert.

4.1 Empfehlungen für Lehrende

4.1.1 Individuelle Voraussetzungen beachten

Eine genaue Beobachtung, individuelle Begleitung und differenzierte Förderung einzelner Schüler:innen ist hier vor, während und nach der VR-Exploration angezeigt und eine grundlegende Auseinandersetzung mit der eigenen Haltung gegenüber Diversität in Lerngruppen wird in diesem Kontext unabdingbar: Insbesondere die Dimensionen Behinderung, Religion und Weltanschauung sowie Geschlecht werden beim Einsatz von VR im Unterricht bedeutsam. Es empfiehlt sich, aufseiten der Lehrenden einen sensiblen Zugang zu diesen Themen zu finden, sie gemeinsam mit Schüler:innen zu adressieren und als festen Bestandteil von VR-Lernszenarien zu verstehen. Kollegiale Beratungen zu individuellen Beobachtungen können die Zusammenarbeit von Lehr- und Fachkräften unterstützen.

In Vorbereitung auf einen VR-Einsatz ist es unabdingbar, entsprechend den gegebenen Voraussetzungen in der Gruppe der Lernenden mögliche Risikofaktoren für eine VR-Anwendung zu identifizieren, potenzielle Nebenwirkungen aufzuzeigen und diese mit allen Beteiligten zu kommunizieren. Dies wird nur durch eine umfangreiche Schulung der Lehrenden im Vorfeld umsetzbar sein. Da Häufigkeit und Ausmass der Nebenwirkungen (insbesondere der Motion Sickness) stark von der Art der verwendeten Simulation abhängig sind, sollten diese immer in den konkreten Kontext der geplanten VR-Anwendung gesetzt werden. Auch das Alter der Lernenden sollte unbedingt berücksichtigt werden. Empfehlungen zur Nutzungsdauer können aktuell immer nur aus aktuellen Empfehlungen für Erwachsene abstrahiert werden. Die Datenlage ist unter anderem deshalb so mangelhaft, weil viele Metaanalysen aus dem medizinisch-psychologischen Bereich, die sich mit dem Effekt von VR-Anwendungen beschäftigten, als Zielparameter meist die VR-Wirkung in den Vordergrund stellen. Detaillierte Angaben dazu, ob bei Studienteilnehmenden Nebenwirkungen auftraten und wie lange die Nutzungsdauer betrug, fehlen meist. Die Autor:innen möchten daher festhalten, dass hier, insbesondere für Kinder, dringend gute prospektive Studien notwendig sind. Bis dahin sollten Lehrende in Bezug auf die empfohlene Nutzungsdauer sowohl die offiziellen Gesundheits- und Sicherheitshinweise des herstellenden Unternehmens als auch diejenigen der spezifischen VR-Anwendung berücksichtigen, um diese in Kontext zum Alter der Anwendenden und der beabsichtigten Nutzung zu

setzen. Die Autor:innen möchten ihre Erfahrung aus dem klinischen Kontext ergänzen und eine maximale Nutzungsdauer von 15-20 Minuten ohne Pause empfehlen. Die Nutzungsdauer von wenigen Minuten kann sukzessive steigen, wenn die Lernenden genau beobachtet werden.

Vergleichbare Empfehlungen für den allgemeinen Medienkonsum im Kindesalter setzen einen deutlich grosszügigeren Rahmen von ein bis zwei Stunden Mediennutzung pro Tag (Ernest et al. 2014). Bei jeglichem Auftreten von Nebenwirkungen sollte die VR-Anwendung sofort unterbrochen und die Brille vom Kopf genommen werden.

Für Erwachsene wird in aktuellen Publikationen zu diesem Thema eine maximale Nutzungsdauer von 55-70 Minuten empfohlen, in der hier zitierten Untersuchung waren die Probanden aber bereits mit VR-Anwendungen im Allgemeinen vertraut (Kourtesis et al. 2019). Zudem scheint ein Zusammenhang zwischen der Nutzungsdauer und dem Auftreten von Nebenwirkungen zu bestehen (Saredakis et al. 2020).

Darüber hinaus wird ein Präventionskonzept für den Einsatz im schulischen Kontext benötigt, ebenso wie grundlegende Erkenntnisse darüber, wie Kinder mit Beeinträchtigung VR erleben. Grundsätzlich ist eine individuelle Differenzierung von Aufgaben in VR zu empfehlen. Zudem sollte, insbesondere bei der Neueinführung von VR, nach jeder VR-Anwendung eine gezielte Nachbereitung erfolgen, in der mithilfe einer kurzen Checkliste die Erfahrungen der Kinder dokumentiert und diskutiert werden.

4.1.2 Kooperationen und kooperatives Lernen ermöglichen

Um den organisatorischen Herausforderungen zu begegnen, bietet sich der Einsatz von VR-Anwendungen im Rahmen von Projekten oder Zusatzangeboten (VR-Workshops oder -Werkstätten) an. Solche können auch in Kooperation mit Forschungsinstitutionen geplant und durchgeführt werden (Buchner und Aretz 2020), ebenso wie die Integration von VR-Applikationen im fächerübergreifenden Unterricht. Damit könnten auch die zeitlich begrenzten Unterrichtseinheiten aufgelöst werden, etwa wenn Lehrpersonen der naturwissenschaftlichen Fächer für einen Vormittag ein Lernszenario mit VR-Unterstützung planen und durchführen. Auch Ausflüge zu regionalen VR-Unternehmen sind vorstellbar.

Die Problematik der Akteur:innen kann unter Einbezug kooperativen Lernens adressiert werden. Southgate et al. (2019) schreiben dazu, dass die Lernenden ausserhalb der VR als Unterstützung fungieren können, um bei auftretendem Schwindel einzugreifen oder auf Gefahrenquellen bei zu starken Bewegungen hinzuweisen. Als Alternative bietet sich an, eine VR-Anwendung in ein didaktisches Szenario mit verschiedenen Lernstationen einzubinden.

4.1.3 Lernumgebungen mit VR gestalten

Lehrende sollten VR-Anwendungen nicht als alleinige Bildungsressource betrachten, sondern diese stets in didaktisches Design einbetten. Damit wird für die Lernenden erkennbar, dass die Technologie nicht nur eine spassige Alternative zum klassischen Unterricht darstellt, sondern als wichtige Lernressource zur Erreichung von Lernzielen beiträgt. So stellt das bereits genannte Anne Frank VR Haus in der VR keine Lernaktivitäten bereit, diese können jedoch von Lehrenden darüber hinaus initiiert werden. Parong und Mayer (2018) konnten zeigen, dass das Lernen mit einer in kleinere Abschnitte unterteilten VR-Simulation in Kombination mit herkömmlichen Lernaktivitäten sowohl effektiv hinsichtlich des Lernerfolgs ist als auch affektive Lernziele positiv adressieren kann. Räumlich wird empfohlen, eine Fläche von mindestens vier mal vier Metern, idealerweise fünf mal fünf Metern, bereitzustellen.

4.1.4 Aufklärung von Schüler:innen und deren Eltern

Schüler:innen müssen über die VR-Technologie und deren Wirkmechanismen im Vorfeld aufgeklärt sowie während und nach den Erfahrungen mit VR reflexiv begleitet werden, um übergriffigen Erfahrungen vorzubeugen. Sie müssen vor der Nutzung auch über mögliche Nebenwirkungen aufgeklärt werden, die aufgrund der Anwendung von VR-Technologie auftreten können. Weiterhin sollten Kinder, die für die Anwendung von VR-Technologie aus medizinischer Perspektive nicht infrage kommen, sicher identifiziert und aufgeklärt werden, um negative und frustrierende Erfahrungen zu vermeiden. Aufgrund der durch Kinder empfundenen Präsenz und Realitätsnähe sowie der Art der Erinnerungseinordnung wird empfohlen, VR eher mit einer Exkursion als der Nutzung eines digitalen Tools zu vergleichen.

Ebenso bedarf es angepasster Materialien und praktischer Angebote in Form von Beratung und handlungsorientierten Workshops für die Aufklärung von Eltern zur Nutzung von VR als Bildungsangebot. Ein konkretes Konzept für eine möglichst partizipativ ausgerichtete Zusammenarbeit von Bildungsinstitution und Erziehungsberechtigten zum Lernen mit, in und durch VR wird benötigt. Da der Lernerfolg von Kindern in hohem Masse von der Unterstützung ihrer Eltern abhängt, werden Lehrkräfte auch hier damit beauftragt, eine enge Zusammenarbeit mit ihnen anzuregen und zu gestalten (KMK 2018): Erfahrungsorientierte Workshops, Informations- und Explorationsveranstaltungen (etwa Elternabende) sowie schriftliche und bebilderte Informationsmaterialien in leichter Sprache sind hier ebenso denkbar wie die Einbindung interessierter Elternvertretender in konkrete Lernszenarien im Unterricht. Sinnvoll erscheint das Einführen eines Aufklärungsbogens im Sinne einer medizinischen Aufklärung, der von den Eltern vor der VR-Nutzung ihrer Kinder unterschrieben werden muss (Tab. 2).

Bezeichnung	Kurzbeschreibung
Individuelle Voraussetzungen	Einfluss- und Risikofaktoren (u.a. Behinderung, Religion, Geschlecht) und max. 15-20 min. Nutzung beachten und mit Beteiligten reflektieren
Kooperationen und kooperatives Lernen	Mit außerschulischen Institutionen zusammenarbeiten und Unterstützung unter Lernenden anbahnen
Lernumgebungen mit VR gestalten	VR als Bildungsressource in ein grösseres/längerfristiges didaktisches Design integrieren
Aufklärung von Schüler:innen und deren Eltern	Beteiligte durch Informationen und Explorationen über mögliche Nebenwirkungen und übergreifigen Erfahrungen aufklären

Tab. 2: Übersicht über Empfehlungen für Lehrende.

4.2 Empfehlungen für Lernende und Eltern

Um an dem «gemeinsamen Ziel der Bildungs- und Erziehungspartnerschaft von Schule und Eltern» (KMK 2018, 3) mitzuarbeiten, ist es für Eltern denkbar, sich über die eingesetzten Lernanwendungen zu informieren und sie selbst auszuprobieren. *Handlungsorientierte Elternabende* können hier eine Gelegenheit sein, konkrete Einblicke in die VR-Technologie zu erhalten und gemeinsam mit anderen Eltern sowie der Lehrkraft darüber zu diskutieren. Durch den Kontakt mit der Technologie können Stärken und Schwächen der Lernarrangements identifiziert, die Begeisterung oder Ablehnung der Kinder nachvollzogen und im Dialog zwischen Kindern und Lehrkräften Unterstützungsangebote weiterentwickelt werden. Falls aus dem privaten Bereich Vorerfahrungen vorhanden sind, sollte dies der Lehrkraft mitgeteilt werden, damit diese Kinder sich als Peer-Expert:innen im Unterricht einbringen können.

Vonseiten der Lernenden sollte die Lehrkraft entweder unmittelbar oder durch die Eltern vermittelt darüber informiert werden, wenn potenzielle Irritationen, Motion Sickness oder Unwohlsein in der Nutzung auftritt (Tab. 3).

Bezeichnung	Kurzbeschreibung
Informieren, erproben & diskutieren	Eltern erproben VR-Technologie und Lernszenarien, diskutieren mögliche Stärken und Schwächen
Vorerfahrungen einbringen	(Private) Vorerfahrungen als Peer-Expertin oder -Experte im Unterricht einbringen
Irritationen mitteilen	Irritationen, Motion Sickness oder Unwohlsein unmittelbar oder über Eltern mitteilen

Tab. 3: Übersicht über Empfehlungen für Lernende und Eltern.

4.3 Empfehlungen für Bildungsinstitutionen

4.3.1 Räumliche Voraussetzungen oder einen flexiblen Zugang schaffen

Auf schulischer Ebene sollten die organisatorischen und räumlichen Voraussetzungen geschaffen werden. Wünschenswert und zielführend ist die Einrichtung eines Extraraums als VR-Labor. Hierzu eignet sich auch die Einrichtung eines Makerspace, in dem u.a. VR-Anwendungen einen Teil des Equipments ausmachen. Als Alternative können Schulen ihre Klassen mit flexiblen Möbeln ausstatten, sodass schnell und unkompliziert Freiraum geschaffen werden kann.

Grundsätzlich liesse sich mit mobilen VR-Systemen auch das Schulgebäude an sich als «Raum» nutzen (Buchner und Aretz 2020). Hier gilt es, Rücksicht auf die anderen Klassen sowie die Pausenzeiten zu nehmen. Für eine flexible und breite Nutzung könnten – analog zu Laptop oder Tablet-Systemen – VR-Koffer angeschafft werden, die sich auch für Turnhallen, Bewegungsräume oder Aulen eignen. So kann auch die *Room-Scale Technologie* mit erhöhtem Bewegungspotenzial ausgenutzt werden (Lipinski et al. 2020).

4.3.2 Unterstützungssysteme schaffen

Der Einsatz von VR kann als *Schulentwicklungsprozess* die kollaborative Unterrichtsvorbereitung und -durchführung erweitern oder initiieren. So können interdisziplinäre VR-Teams entstehen, die über das Explorieren von neuer Software sukzessive Einsatzszenarien sammeln, testen und optimieren. Es ist zu empfehlen, VR-Beauftragte zu etablieren. Diese könnten auf schulischer oder auf regionaler Ebene Ansprechpartnerin bzw. -partner für Einsatzszenarien sein. Schul- bzw. Verantwortungstragende in der Bildungspolitik müssten die Rahmenbedingungen für dieses Personal schaffen. Aufgaben im Rahmen der Unterstützung können von einer AG mit interessierten Schüler:innen übernommen werden, die neben den VR-Beauftragten als Peer-Expert:innen eingebunden werden können.

Auf der Ebene der Aus- und Weiterbildung von Lehrkräften ist es die Aufgabe der Hochschulen, das bestehende Seminar- und Fortbildungsangebot auszubauen. Auf hochschuldidaktischer Ebene zeigen Schäfer et al. (2021) Gelingensbedingungen des forschenden Lernens mit, durch und über VR auf, die im Rahmen der Lehrkräftebildung von Studierenden als zielführend eingeschätzt werden.

Bezeichnung	Kurzbeschreibung
Räumliche Voraussetzungen	Extraraum oder Flure, Aula und Bewegungsräume flexibel öffnen; leicht verstellbares Mobiliar
Unterstützungssysteme	Interdisziplinäre VR-Teams, AGs mit Peer-Expert:innen und VR-Beauftragte etablieren
Aus- und Weiterbildung	Fortbildungsangebote unter Beachtung des Forschenden Lernens in VR ausbauen

Tab. 4: Übersicht über Empfehlungen für Bildungsinstitutionen.

4.4 Empfehlungen für politische und weitere Akteur:innen

4.4.1 Investitionen und Strukturen schaffen

Insbesondere die Empfehlungen für Bildungsinstitutionen zeigen bereits Handlungsempfehlungen auf, die Investitionen für Schulen erforderlich machen. Auch im Hinblick auf andere digitale Medien muss die Anzahl der Lehrkräfte an Schulen erhöht werden, um den Prozess der Medieneinführung adäquat begleiten zu können. Auch die Anschaffung, Wartung und Aktualisierung von Geräte-Setups wie VR-Koffer sowie der Aufbau interdisziplinärer beratender VR-Teams sind kaum praktisch an öffentlichen Schulen selbst durchführbar. Diese Massnahmen müssen vor allem auf kommunaler und/oder regionaler Ebene gebündelt und nach Bedarf an die Schulen gebracht werden. Hier empfiehlt sich der Aufbau entsprechender Strukturen und Angebote sowie die gezielte finanzielle Förderung durch Schul- und Bildungsministerien.

4.4.2 Leitfäden anbieten

Im Zuge der Investitionen in digitale Bildung und deren Infrastrukturen sollten somit Äquivalente zu anderen Unterrichtsunterstützungen und -regelungen entstehen. So gibt etwa das Ministerium für Schule und Bildung des Landes Nordrhein-Westfalen im Rahmen seiner «Sicherheitsförderung im Schulsport» (2020) konkret vor, welche Anforderungen beim Unterricht zu konkreten Sportarten an die Organisation, Lehrende sowie Lernende gestellt werden müssen. Vergleichbare Handreichungen sind als Leitfäden für den Einsatz digitaler Lernanwendungen zwingend erforderlich, insbesondere für VR-Lernanwendungen.

4.4.3 Zusammenarbeit mit anderen Akteur:innen fördern

Neben diesen politischen Institutionen wird hier auch die Zusammenarbeit von Schulen mit lokalen und regionalen Akteur:innen aus Wissenschaft und Wirtschaft empfohlen. Hochschulen haben häufig bereits Arbeitsgruppen, die das Thema des VR-Einsatzes für Lehr- und Lernzwecke bearbeiten. Sie können mit ihrer Expertise und konkreten Erfahrungen beim Kompetenzaufbau an Schulen und der Durchführung von VR-nutzenden Unterrichtseinheiten unterstützen und diese Aktivitäten wiederum im Rahmen der eigenen Forschungs- und Transferprojekte verwerten.

Im wirtschaftlichen und gemeinnützigen Bereich haben sich zudem in den letzten fünf bis sieben Jahren verschiedene VR-bezogene Interessenverbände etabliert.¹ Diese sind insbesondere im Bereich der beruflichen Bildung sehr aktiv. Hier ist zu empfehlen, die gewonnenen Erfahrungen auch in den schulischen Bereich einfließen zu lassen und im Gegenzug schulische Praxispartner:innen für die eigene Arbeit zu begeistern. Der Bereich der Zertifizierung von für den Schulunterricht geeigneten VR-Lernmaterialien ist noch nahezu unerschlossen. Institutionen mit entsprechender Reputation sollten diese Aufgabe wahrnehmen und dadurch nicht nur Lehrkräften und Schulen wertvolle Entscheidungshilfen anbieten, sondern sich darüber hinaus auch neue, gewinnbringende Tätigkeitsfelder erschliessen.

4.4.4 VR in Fachgesellschaften in den Fokus nehmen

Zudem wird den Fachgesellschaften im Kontext konkreter Unterrichtsfächer empfohlen, das Thema VR stärker in den Fokus zu nehmen und ggf. selbst konkrete Lernanwendungen zu empfehlen oder zu fördern. Für die Informatik engagiert sich beispielsweise die *Gesellschaft für Informatik (GI)* bereits aktiv mit dem Arbeitskreis «VR/AR-Learning» als Anlaufstelle für VR-Interessierte.

Bezeichnung	Kurzbeschreibung
Investitionen und Strukturen	Personalsituation verbessern, VR-Technik regional bündeln
Leitfäden	Gestaltungsempfehlungen für Lehrkräfte entwickeln
Zusammenarbeit mit anderen Akteuren	(regionale) Wissenschaft und Wirtschaft einbeziehen
VR in Fachgesellschaften	VR als Thema in fachdisziplinbezogenen Gesellschaften fördern

Tab. 5: Übersicht über Empfehlungen für Politik und Gruppierungen.

4.5 Empfehlungen an VR-Entwickler:innen

4.5.1 Didaktisch motiviert entwickeln

Im Fokus der Entwicklung einer VR-Lernanwendung sollte der didaktische Nutzen stehen. Eine Vielzahl der bisherigen VR-Lernanwendungen setzt auf das Potenzial der Visualisierung. Darüber hinaus braucht es Interaktionsmöglichkeiten, sowohl mit den virtuellen Elementen als auch anderen Lernenden und/oder Lehrenden (Dengel et al. 2021). Auch das freie Explorieren oder Experimentieren mit nicht-zugänglichen Phänomenen sollte in VR-Lernumgebungen realisiert werden (Hellriegel und Čubela 2018) sowie das Trainieren von handlungsorientierten Tätigkeiten, Fertigkeiten und

¹ Beispiele: EDFVR e.V., VRBB e.V.

Prozessen (Zender et al. 2020). Dazu braucht es Lernanwendungen, mit denen sich Lernziele erreichen lassen: Lernziele können durchaus divers sein, jedoch hat sich bisher gezeigt, dass sich VR eher für die Entwicklung prozeduralen Wissens und das Trainieren von Skills eignet als für die reine Vermittlung deklarativen Wissens (Makransky und Petersen 2021). Dabei sollten zumindest bekannte Prinzipien aus der Multimedia-Forschung (Mayer 2020) berücksichtigt werden, sodass keine kognitive Über- oder Unterforderung beim Lernen in VR auftritt (Mulders et al. 2020).

4.5.2 Zielgruppe aktiv einbinden

Um den didaktischen Nutzen zu berücksichtigen, sollten VR-Lernanwendungen (wie andere digitale Software) unbedingt zusammen mit Vertretenden der künftigen Zielgruppe konzipiert und entwickelt werden. Im vorliegenden Fall sind somit Akteur:innen aus dem Schulumfeld (Lehrkräfte, Schüler:innen, Schulsozialarbeitende, Verlage) frühzeitig und kontinuierlich in die Entwicklung einbeziehen. Sie sollten zudem während der Entwicklungsarbeiten so oft wie möglich die Gelegenheit haben, Zwischenstände auszuprobieren und dazu Feedback an die Entwickler:innen weiterzugeben.

4.5.3 Inklusion berücksichtigen

Ein besonderes Augenmerk sollte auf Barrierefreiheit und Inklusion gelegt werden, da Kinder mit einer Beeinträchtigung durch VR zusätzlichen Herausforderungen ausgesetzt sein können. Schüler:innen mit einer Sehbeeinträchtigung benötigen etwa eine Audiodeskription zu den visuellen Reizen in VR und für Kinder mit körperlichen Beeinträchtigungen müssen ggf. Controller-Funktionen angepasst werden. Gehörlose Schüler:innen werden mit Untertiteln oder bevorzugt mit der Einbindung von Gebärdendolmetscher:innen in VR unterstützt. Für Menschen mit sozial-emotionalen Beeinträchtigungen sollten «wahrnehmungsfreundliche» Umgebungen und Anwendungen entwickelt und ausgewählt werden, die auf unvorhergesehene und schnelle Richtungs-, Bild- und Tonwechsel verzichten. Bei der Entwicklung von VR-Lernanwendungen sollten somit frühzeitig die Schüler:innen selbst sowie Inklusionsbeauftragte aus Schulen und anderen Institutionen eingebunden werden.

4.5.4 Auf lokale Datenhaltung setzen

Auch softwarearchitektonische Besonderheiten sind zu berücksichtigen: Die Verarbeitung personenbezogener Daten unterliegt besonderen Restriktionen (DSGVO-Konformität in Deutschland). Noch sensibler sollte der Umgang mit personenbezogenen Daten Minderjähriger erfolgen. Daher sollten VR-Lernanwendungen für den schulischen Bereich möglichst auf eine lokale Datenhaltung bzw. selbst-hostbare Server-Lösungen statt auf Cloud-Dienste setzen. Damit kann auch das Problem der schwachen Internetanbindung von Schulen umgangen werden.

4.5.5 Abwärts- und geräteübergreifende Kompatibilität sicherstellen

Schulen sind aufgrund des oft unzureichenden Budgets darauf angewiesen, Investitionen in Lern-Software und Geräte zu bestimmten Zeitpunkten (Verfügbarkeit von Fördermitteln) durchzuführen. Um eine möglichst lange Nutzbarkeit der entwickelten VR-Lernsoftware zu erreichen, sollte diese möglichst lange auch auf älteren HMDs nutzbar sein. Entwickler:innen wird daher geraten, neben der geräteübergreifenden Kompatibilität ihrer Lösungen auch auf Abwärtskompatibilität zu achten. Tabelle 6 fasst die Themen dieses Abschnitts zusammen.

Bezeichnung	Kurzbeschreibung
Didaktik im Fokus	didaktisch statt technisch motiviert entwickeln
Entwicklung mit Zielgruppen	schulische Akteur:innen durchgehend einbinden, agil entwickeln
Inklusion	Anforderungen von Schüler:innen mit Beeinträchtigungen berücksichtigen
lokale Datenhaltung	v. a. personenbezogene Daten lokal speichern, Anwendungen lokal hosten
Kompatibilität	ältere Hardware und Geräte verschiedener Hersteller berücksichtigen

Tab. 6: Übersicht über Empfehlungen für Entwickler:innen.

5. Zusammenfassung und nächste Schritte

In diesem Beitrag wurden die medizinischen, pädagogischen, didaktischen, technischen und ethischen Bedenken und Risiken des Einsatzes von VR-Technologien im Schulunterricht beleuchtet. Diese sind keinesfalls als vollständige Liste zu verstehen, sondern vielmehr als Ausgangspunkt für die künftige interdisziplinäre Zusammenstellung von Herausforderungen für den schulischen VR-Einsatz. Das Ziel ist dabei keinesfalls die Verhinderung von VR-Lernszenarien, sondern vielmehr deren sensibilisierte und reflektierte Gestaltung und Durchführung. Daher wurden ebenfalls erste Gestaltungsempfehlungen für die im Bildungskontext direkt oder indirekt beteiligten Akteur:innen gegeben.

Im Sommer/Herbst 2022 führen die Autor:innen einen öffentlichen KickOff-Workshop mit interessierten Akteur:innen durch. Ziel ist, die hier zusammengetragenen Bedenken, Risiken und Einsatzempfehlungen zu erweitern. Interessierte sind herzlich eingeladen der Mailingliste «Virtual Reality für Schulkinder» beim Deutschen Forschungsnetz (DFN) beizutreten,² die über den weiteren Ablauf informiert.

² Zum Beitreten zur Mailingliste «vrschule@listserv.dfn.de» muss von der einzutragenden E-Mail-Adresse eine E-Mail mit dem Betreff «subscribe vrschule» (ohne Anführungszeichen) an «sympa@listserv.dfn.de» gesendet werden. Es folgt eine Antwort vom Mailserver mit der Bitte, die Anmeldung zu bestätigen. Darin sind die weiteren Schritte zur Anmeldung beschrieben.

Die vorliegende Arbeit hat Lücken in der wissenschaftlich abgesicherten Erkenntnislage offenbart. Insbesondere zu essenziellen medizinischen Bedenken und Risiken, aber auch in Pädagogik, Didaktik und Informatik fehlen teilweise grundlegende Forschungsarbeiten, beispielsweise zu den folgenden Fragestellungen:

- Wie sehen schulische Konzepte für die Anschaffung, Wartung und Verteilung der VR-Systeme aus?
- Welche didaktischen Designs mit VR-Anwendungen haben sich wie und warum bewährt?
- Welche Rolle spielt VR-Technologie in Schulentwicklungsprozessen?
- Welche maximale Nutzungsdauer sollte eingehalten werden, um Nebenwirkungen zu vermeiden? Ist es erforderlich, unterschiedliche Empfehlungen für verschiedene Altersgruppen zu entwickeln?
- In welchem Zusammenhang erleben Schüler:innen ihre emotionalen Zustände im Umgang mit VR-Arrangements?
- Wie erleben Kinder mit einer körperlichen oder emotional-sozialen Beeinträchtigung bzw. Behinderung VR?
- Welche Strategien der pädagogischen Begleitung von Schüler:innen in VR zeigen die Lehrenden?

Die Autor:innen dieses Artikels rufen disziplinübergreifend zur Verfolgung dieser Fragestellungen sowie zur Identifikation weiterer Forschungsdesiderate auf.

Literatur

- Anne Frank Haus. 2018. «Das Anne Frank Haus in Virtual Reality». Anne Frank Website. 2018. <https://www.annefrank.org/de/uber-uns/was-wir-tun/unsere-publikationen/das-anne-frank-haus-virtual-reality/>.
- Bryson, Steve. 1993. «Call for Participation». *IEEE Symposium on Research Frontiers in Virtual Reality*.
- Buchner, Josef, und Diane Aretz. 2020. «Lernen mit immersiver Virtual Reality: Didaktisches Design und Lessons Learned». Herausgegeben von Klaus Rummeler, Ilka Koppel, Sandra Aßmann, Patrick Bettinger, und Karsten D. Wolf. *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>.
- Cardullo, Victoria, und Chih-hsuan Wang. 2021. «Pre-Service Teachers Perspectives of Google Expedition». *Early Childhood Education Journal*, January. <https://doi.org/10.1007/s10643-020-01136-3>.
- Casini, Beatrice, Benedetta Tuvo, Maria Luisa Cristina, Anna Maria Spagnolo, Michele Totaro, Angelo Baggiani, und Gaetano Pierpaolo Privitera. 2019. «Evaluation of an Ultraviolet C (UVC) Light-Emitting Device for Disinfection of High Touch Surfaces in Hospital Critical Areas». *International Journal of Environmental Research and Public Health* 16 (19): E3572. <https://doi.org/10.3390/ijerph16193572>.

- Clark, Richard E. 1994. «Media Will Never Influence Learning». *Educational Technology Research and Development* 42 (2): 21–29. <https://doi.org/10.1007/BF02299088>.
- Cipresso, Pietro, Irene Alice Chicchi Giglioli, Mariano Alcañiz Raya, und Giuseppe Riva. 2018. «The Past, Present, and Future of Virtual and Augmented Reality Research: A Network and Cluster Analysis of the Literature». *Frontiers in Psychology* 9 (November): 2086. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02086>.
- Dahlquist, Lynnda M., Karen E. Weiss, Lindsay Dillinger Clendaniel, Emily F. Law, Claire Sonntag Ackerman, und Kristine D. McKenna. 2009. «Effects of Videogame Distraction Using a Virtual Reality Type Head-Mounted Display Helmet on Cold Pressor Pain in Children». *Journal of Pediatric Psychology* 34 (5): 574–84. <https://doi.org/10.1093/jpepsy/jsn023>.
- Dengel, Andreas, Josef Buchner, Miriam Mulders, und Johanna Pirker. 2021. «Beyond the Horizon: Integrating Immersive Learning Environments in the Everyday Classroom». In *Proceedings of 7th International Conference of the Immersive Learning Research Network (iLRN 2021)*, 380–84. Online (Corona). <https://immersivelrn.org/ilrn2021/ilrn-2021-proceedings/>.
- Drummer, Jens, Sybille Hambach, Andrea Kienle, Ulrike Lucke, Alke Martens, Wolfgang Müller, Christoph Rensing, Ulrik Schroeder, Andreas Schwill, Christian Spannagel, und Stephan Trahasch. 2011. «Forschungsherausforderungen des E-Learning». In *Workshopband der 15. e-Learning Fachtagung Informatik (DeLFI 2011)*, 197–208. Bonn: Gesellschaft für Informatik e.V.
- El Beheiry, Mohamed, Sébastien Doutreligne, Clément Caporal, Cécilia Ostertag, Maxime Dahan, und Jean-Baptiste Masson. 2019. «Virtual Reality: Beyond Visualization». *Journal of Molecular Biology* 431 (7): 1315–21. <https://doi.org/10.1016/j.jmb.2019.01.033>.
- Ernest, James M., Cora Causey, Allison B. Newton, Kimberly Sharkins, Jennifer Summerlin, und Naila Albaiz. 2014. «Extending the Global Dialogue About Media, Technology, Screen Time, and Young Children». *Childhood Education* 90 (3): 182–191. <https://doi.org/10.1080/00094056.2014.910046>.
- Heijden, Hans van der. 2004. «User Acceptance of Hedonic Information Systems». *MIS Quarterly* 28 (4): 695–704. <https://doi.org/10.2307/25148660>.
- 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>.
- Iribe, Brendan. 2015. «Oculus CEO Brendan Iribe Full Session». *Code Conference*. <https://www.youtube.com/watch?v=I5LoF4gOOC4>.
- Jensen, Lasse, und Flemming Konradsen. 2018. «A Review of the Use of Virtual Reality Head-Mounted Displays in Education and Training». *Education and Information Technologies* 23 (4): 1515–29. <https://doi.org/10.1007/s10639-017-9676-0>.
- Kang, Sunyoung, und Seungae Kang. 2019. «The Study on the Application of Virtual Reality in Adapted Physical Education». *Cluster Computing* 22 (1): 2351–55. <https://doi.org/10.1007/s10586-018-2254-4>.

- Kerres, Michael. 2020. «Bildung in der digitalen Welt: Über Wirkungsannahmen und die soziale Konstruktion des Digitalen». Herausgegeben von Klaus Rummeler, Ilka Koppel, Sandra Aßmann, Patrick Bettinger, und Karsten D. Wolf. *MedienPädagogik: Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung, Jahrbuch Medienpädagogik*, 17 (Jahrbuch Medienpädagogik): 1–32. <https://doi.org/10.21240/mpaed/jb17/2020.04.24.X>.
- Kim, Hyewon, Dong Jun Kim, Won Ho Chung, Kyung-Ah Park, James D. K. Kim, Dowan Kim, Kiwon Kim, und Hong Jin Jeon. 2021. «Clinical Predictors of Cybersickness in Virtual Reality (VR) among Highly Stressed People». *Scientific Reports* 11 (1): 12139. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-91573-w>.
- Kourtesis, Panagiotis, Simona Collina, Leonidas A.A. Doulas, und Sarah E. MacPherson. 2019. «Validation of the Virtual Reality Neuroscience Questionnaire: Maximum Duration of Immersive Virtual Reality Sessions Without the Presence of Pertinent Adverse Symptomatology». *Frontier in Human Neuroscience* 13. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2019.00417>.
- Kultusministerkonferenz (KMK). 2018. «Bildung und Erziehung als gemeinsame Aufgabe von Eltern und Schule». https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2018/2018_10_11-Empfehlung-Bildung-und-Erziehung.pdf.
- Lanier, Jaron 2018. *Anbruch einer neuen Zeit: Wie Virtual Reality unser Leben und unsere Gesellschaft verändert*. Hamburg: Hoffmann und Campe.
- Lee, Mark J. W., Maya Georgieva, Bryan Alexander, Emory Craig, und Jonathon Richter. 2021. *State of XR & Immersive Learning Outlook Report 2021*. Walnut, CA: Immersive Learning Research Network. <https://immersivelrn.org/the-state-of-xr-and-immersive-learning/>.
- Lipinski, Kim, Caterina Schäfer, Anna-Carolin Weber, und David Wiesche. 2020. «Virtual Reality Moves – Interdisziplinäre Lehrkonzeption zur Entwicklung einer forschenden Haltung mittels Bewegung in, mit und durch Virtual Reality». In *Lehren und Lernen mit und in digitalen Medien im Sport: Grundlagen, Konzepte und Praxisbeispiele zur Sportlehrerbildung*, herausgegeben von Britta Fischer und Anja Paul, 207–29. Bildung und Sport. Wiesbaden: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-658-25524-4_11.
- Madary, Michael, und Thomas K. Metzinger. 2016. «Recommendations for Good Scientific Practice and the Consumers of VR-Technology». *Frontiers in Robotics and AI* 3 (3). <https://doi.org/10.3389/frobt.2016.00003>.
- Makransky, Guido, und Gustav B. Petersen. 2021. «The Cognitive Affective Model of Immersive Learning (CAMIL): A Theoretical Research-Based Model of Learning in Immersive Virtual Reality». *Educational Psychology Review* 33 (3): 937-58. <https://doi.org/10.1007/s10648-020-09586-2>.
- Mayer, Richard E. 2020. *Multimedia Learning*. 3rd Edition. Cambridge, UK: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781316941355>.
- McMichael, Lucy, Nuša Farič, Katie Newby, Henry W. W. Potts, Adrian Hon, Lee Smith, Andrew Steptoe, und Abi Fisher. 2020. «Parents of Adolescents Perspectives of Physical Activity, Gaming and Virtual Reality: Qualitative Study». *JMIR Serious Games* 8 (3): e14920. <https://doi.org/10.2196/14920>.

- Mikropoulos, Tassos A., und Antonis Natsis. 2011. «Educational Virtual Environments: A Ten-Year Review of Empirical Research (1999–2009)». *Computers & Education* 56 (3): 769–80. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2010.10.020>.
- Ministerium für Schule und Bildung des Landes Nordrhein-Westfalen. 2020. «Sicherheitsförderung im Schulsport». https://www.schulsport-nrw.de/fileadmin/user_upload/1033_Inhalt.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): 208–224. <https://doi.org/10.3991/ijet.v15i24.16615>.
- Munafo, Justin, Meg Diedrick, und Thomas A. Stoffregen. 2017. «The Virtual Reality Head-Mounted Display Oculus Rift Induces Motion Sickness and Is Sexist in Its Effects». *Experimental Brain Research* 235 (3): 889–901. <https://doi.org/10.1007/s00221-016-4846-7>.
- Nordgård, Rikke, und Torstein Låg. 2021. «The Effects of Virtual Reality on Procedural Pain and Anxiety in Pediatrics: A Systematic Review and Meta-Analysis». *Frontiers in Virtual Reality* 2 (July): 699383. <https://doi.org/10.3389/frvir.2021.699383>.
- Oculus. 2019. «Ocean Rift». Oculus. 2019. <https://www.oculus.com/experiences/quest/2134272053250863/>.
- 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. 2020. «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>.
- Rheingold, Howard. 1992. «*Virtuelle Welten – Reisen im Cyberspace*». Reinbek: Rowohlt.
- Ridout, Brad, Joshua Kelson, Andrew Campbell, und Kate Steinbeck. 2021. «Effectiveness of Virtual Reality Interventions for Adolescent Patients in Hospital Settings: Systematic Review». *Journal of Medical Internet Research* 23 (6): e24967. <https://doi.org/10.2196/24967>.
- Salomon, Gavriel. 1983. «The Differential Investment of Mental Effort in Learning from Different Sources». *Educational Psychologist* 18 (1): 42–50. <https://doi.org/10.1080/00461528309529260>.
- Saredakis, Dimitrios, Ancret Szpak, Brandon Birkhead, Hannah A. D. Keage, Albert Rizzo, und Tobias Loetscher. 2020. «Factors Associated With Virtual Reality Sickness in Head-Mounted Displays: A Systematic Review and Meta-Analysis». *Frontier in Human Neuroscience* 14. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.00096>.
- Schwab, Frank, Christine Hennighausen, Dorothea C. Adler, und Astrid Carolus. 2018. «Television Is Still «Easy» and Print Is Still «Tough»? More Than 30 Years of Research on the Amount of Invested Mental Effort». *Frontiers in Psychology* 9 (July): 1098. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.01098>.
- Segovia, Kathryn Y., und Jeremy N. Bailenson. 2009. «Virtually True: Children's Acquisition of False Memories in Virtual Reality». *Media Psychology* 12 (4): 371–93. <https://doi.org/10.1080/15213260903287267>.

- Sharar, Sam R., Gretchen J. Carrougner, Dana Nakamura, Hunter G. Hoffman, David K. Blough, und David R. Patterson. 2007. «Factors Influencing the Efficacy of Virtual Reality Distraction Analgesia During Postburn Physical Therapy: Preliminary Results from 3 Ongoing Studies». *Archives of physical medicine and rehabilitation* 88 (12 Suppl 2): 43-9. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2007.09.004>.
- Sharples, Sarah, Sue Cobb, Amanda Moody, und John R. Wilson. 2008. «Virtual Reality Induced Symptoms and Effects (VRISE): Comparison of Head Mounted Display (HMD), Desktop and Projection Display Systems». *Displays, Health and Safety Aspects of Visual Displays*, 29 (2): 58–69. <https://doi.org/10.1016/j.displa.2007.09.005>.
- Simon, Andreas. 2020. «Umgang mit Nähe und Distanz im Sportunterricht». *Lehrhilfen für den Sportunterricht* 69 (5): 215–20.
- Southgate, Erica. 2020. «Conceptualising Embodiment through Virtual Reality for Education». In *2020 6th International Conference of the Immersive Learning Research Network (iLRN)*, 38–45. <https://doi.org/10.23919/iLRN47897.2020.9155121>.
- Southgate, Erica, Shamus P. Smith, Chris Cividino, Shane Saxby, Jivvel Kilham, Graham Eather, Jill Scevak, David Summerville, Rachel Buchanan, und Candeece Bergin. 2019. «Embedding Immersive Virtual Reality in Classrooms: Ethical, Organisational and Educational Lessons in Bridging Research and Practice». *International Journal of Child-Computer Interaction* 19 (March): 19–29. <https://doi.org/10.1016/j.ijcci.2018.10.002>.
- Steele, Emily, Karen Grimmer, Bruce Thomas, Barrie Mulley, Ian Fulton, und Hunter Hoffman. 2003. «Virtual Reality as a Pediatric Pain Modulation Technique: A Case Study». *Cyberpsychology & Behavior* 6 (6): 633–38. <https://doi.org/10.1089/109493103322725405>.
- Trost, Zina, Christopher France, Monima Anam, und Corey Shum. 2021. «Virtual Reality Approaches to Pain: Toward a State of the Science». *Pain* 162 (2): 325–31. <https://doi.org/10.1097/j.pain.0000000000002060>.
- Schäfer, Caterina, Kim Lipinski, Anna-Carolin Weber, und David Wiesche. 2021. «Forschendes Lernen an der Schnittstelle von Bewegung und Virtual Reality. Qualitative Studie zur forschungsbezogenen Selbstwirksamkeit von Studierenden». *motorik* 44 (4): 173–81. <https://doi.org/10.2378/mot2021.art32d>.
- Wember, Franz B., und Insa Melle. 2018. «Adaptive Lernsituationen im inklusiven Unterricht: Planung und Analyse von Unterricht auf Basis des Universal Design for Learning». In *DoProfil – Das Dortmunder Profil für inklusionsorientierte Lehrerinnen- und Lehrerbildung*, herausgegeben von Stephan Hußmann und Barbara Welzel, 57–72. Münster, New York: Waxmann.
- Won, Andrea Stevenson, Jakki Bailey, Jeremy Bailenson, Christine Tataru, Isabel A. Yoon, und Brenda Golianu. 2017. «Immersive Virtual Reality for Pediatric Pain». *Children (Basel)* 4 (7): E52. <https://doi.org/10.3390/children4070052>.
- Zender, Raphael, Pia Sander, Matthias Weise, Miriam Mulders, Ulrike Lucke, und Michael Keres. 2019. «HandLeVR: Action-oriented Learning in a VR Painting Simulator». In *Proceedings of the 4th International Symposium on Emerging Technologies for Education*. Magdeburg. https://doi.org/10.1007/978-3-030-38778-5_6.