MedienPädagogik
Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung
www.medienpaed.com **ISSN 1424-3636**

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

Virtuelle Realität: Immersion als Erlebnisdimension beim Lernen mit visuellen Informationen

Michael Kerres[1], Miriam Mulders[1] und Josef Buchner[1]

[1] Universität Duisburg-Essen

Zusammenfassung

Der Begriff der Immersion wird häufig als Merkmal von Technik verwendet. Doch Immersion wird nicht durch eine bestimmte Technologie (etwa eine VR- oder AR-Brille) erzeugt, sondern ist die Leistung des psychischen Systems und eine Dimension des Erlebens einer visuell dargebotenen Information. Eine solche Klärung lenkt den Blick auf die Determinanten des Immersionserlebens und die Frage, wie die mediendidaktische Gestaltung von Lernanwendungen Immersion nutzen kann, um den Lernprozess zu fördern. Der Artikel setzt das Erleben von Immersion in Beziehung zu anderen Dimensionen der visuellen Wahrnehmung (Raum-, Realitäts-, Bewegungs-, Präsenzerleben), um die Besonderheiten des Immersionserlebens herauszuarbeiten. Vorgestellt wird ein Modell des Erlebens visueller Information beim Lernen, das Merkmale der Technik, des Erlebens, des Lernprozesses und des Lernergebnisses separiert und in ihrer Relation verdeutlicht. Das Modell zeigt auf, wie sich Forschungsfragen zu Implikationen des Immersionserlebens anlegen lassen. Für mediendidaktische Konzepte wird deutlich, dass Immersion nicht durch eine bestimmte Technologie eingelöst wird und nicht automatisch zum Lernerfolg beiträgt. Die verschiedenen Dimensionen des Erlebens visueller Information sind im Hinblick auf den Lernprozess und die Lernergebnisse sehr genau zu prüfen und durch die Gestaltung von Lernumwelten und -aufgaben gezielt anzuregen.

Virtual Reality: Immersion as an Experiential Dimension in Learning with Visual Information

Abstract

Often, the term immersion is being used as an attribute of digital technologies. However, immersion is not created by a technology (like VR- or AR-glasses), but a result of cognitive processing. The paper explains how immersion can and should be understood as an experiential dimension related to the individual interpretation of visual information. Such a clarification helps to understand how the various dimensions of the experience

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

(immersion, presence, embodiment, reality, movement) are influencing the learning process and learning results. The model helps to plan research designs on the impact of virtual reality-technology and sheds light on the instructional design of visual information for learning.

1. Einleitung

Die Computerindustrie ist gut darin, Geräte und Anwendungen durch geschickte Wahl von Begrifflichkeiten semantisch aufzuwerten. Wurden kleine Computer in den 1980er-Jahren als «Mikrorechner» bezeichnet, brachte die Firma IBM den «Personal Computer» auf den Markt und setzte damit das Label für eine ganze Klasse von Geräten. Ein «persönlicher» Rechner ist etwas, das wir positiv konnotieren können, und verspricht mehr als die nüchterne Klassifikation eines Computers nach seiner Leistungsklasse. Auch am anderen Ende der Leistungsfähigkeit nutzen Computerhersteller selten Bezeichnungen wie Hochleistungsrechner, sondern bevorzugen etwa den Begriff *Supercomputer*. Die Industrie spricht von *Intelligent Devices* oder *Smart Home*, von *erweiterter* oder *virtueller Realität* (vgl. Hölterhof 2008).

Im Falle der sogenannten «immersiven Technologien» finden wir eine Begrifflichkeit, die bestimmten Geräten eine nicht-technische Eigenschaft zuschreibt. Durch die wiederholte Nutzung der Begrifflichkeit in der (Fach-) Öffentlichkeit wird die assoziative Koppelung der Begriffe gestärkt, mit der die nicht-technische Eigenschaft zunehmend als selbstverständliches Merkmal des Gerätes aufgefasst wird (Koch und Stahl 2017). Dieser Mechanismus ist immer schon Grundlage von Werbestrategien gewesen, die einfache Konsumwaren als Objekte von Lebensfreue, Lifestyle oder Luxus aufwerten. Er ist auch in der wissenschaftlichen Diskussion erkennbar, wenn es als selbstverständlich erachtet wird, dass z. B. eine Brille, die Informationen in das Gesichtsfeld einblendet, als «immersive Technologie» bezeichnet wird, und über «virtuelle Realitäten» gesprochen wird, wo es am Ende um neue Techniken zur Darstellung bildhafter Information mit spezifischen Eigenschaften geht, die es – in ihrer Bedeutung für das Erleben und Lernen – genauer herauszuarbeiten gilt.[1]

Im Folgenden wird dazu der Differenz nachgegangen zwischen Merkmalen der Technik einerseits und den psychologischen Erlebensdimensionen andererseits, die nicht mit den Merkmalen der Technik, sondern mit den spezifischen Formen der Aufbereitung der Inhalte zusammenhängen, durch die die Bedeutung für die Rezipierenden entsteht.

1 Der Begriff der *Virtualität* eröffnet eine weitere, nicht minder komplexe Diskussion, die für die Mediendidaktik wichtig und ertragreich erscheint, hier aber nicht angemessen eingeführt werden kann (vgl. Welsch 2000).

2. Einordnung des Erlebens von Immersion

Immersion und das metaphorische «Eintauchen in fremde Welten» werden als herausragende Eigenschaft der VR-Brillentechnologie propagiert: Ich kann den Urwald in Südamerika erkunden, eine Wanderung auf dem Mond unternehmen oder als Rennfahrer an Autorennen teilnehmen. In gleicher Weise können Lernwelten in einer dreidimensionalen Welt dargestellt werden, in der die Lernenden sich (scheinbar) bewegen und Lernaufgaben bearbeiten. Die Brille ermöglicht eine Rundumsicht in einer computergenierten Welt, die die Person umfasst und in ihren Bann zieht (Chavez und Bayona 2018).

Doch Immersion ist zuallererst ein Phänomen des Erlebens und kein Merkmal eines Gerätes[2] und bezieht sich auf die Erfahrung, die Aufmerksamkeit auf eine bestimmte Welt auszurichten. Dies kann der Ort sein, an dem ich mich gerade befinde: Manche Orte ziehen uns vollständig in ihren Bann. Sie umfassen uns kognitiv und emotional und können uns nachhaltig verändern. Dies wäre etwa das Anliegen der Gedenkstätte Yad Vashem in Israel, die an den jüdischen Holocaust erinnert, in der Artefakte, Bilder und andere Zeitzeugnisse durch ihr Arrangement den Menschen umfassen. In einer empirischen Untersuchung zeigen Bickman und Hamner (1998), dass die Lerneffekte des Besuchs dieser «realen» Gedenkstätte eher gering sind.

Dabei ist zu bedenken, dass die Darstellung bzw. ein Besuch eines Ortes genau dann Bedeutung gewinnt, wenn eine Person bereit ist, sich auf die Umgebung einzulassen, ihre Aufmerksamkeit auf den Ort zu richten und seine Botschaften aufzunehmen. Die Installation spricht für sich, und dennoch bedarf es der Resonanz des Menschen, der sich genauso abwenden und die Botschaft leugnen kann. Damit wird deutlich: Für den menschlichen Wahrnehmungsapparat ist es unerheblich, durch welche Erfahrungen, Medien oder Arrangements eine Immersion erzielt wird, ob sich die Immersion auf computergenerierte Bildwelten, Installationen, Artefakte oder Begegnungen mit anderen Menschen im Hier-und-Jetzt bezieht. Die Gedenkstätte ist ein physischer Ort der Gegenwart und doch macht sie uns aufmerksam auf eine andere, vergangene Zeit (vgl. Pearce und Chapman 2017; Lu 2017).

Das Beschäftigung mit einer anderen Welt bedarf keiner aufwendigen Technologie: Wenn wir das Tagebuch der Anne Frank, die sich als Jüdin in Amsterdam versteckt hielt, lesen oder hören, versetzen wir uns in die Protagonistin und ihre Welt, wir fühlen mit. Eine gekonnte filmische Umsetzung des Geschehens kann dieses Erleben verstärken: Der Film bietet die audiovisuelle Reizfläche, auf die der Betrachtende seine persönliche (Re-)Konstruktion des Geschehens projiziert, wenn er das dargestellte Geschehen verfolgt (Derry 2021). Dabei werden Stimmungen auch stark über die Geräuschkulisse transportiert, die Emotionen subtil auslöst. Das Erleben

2 Dieses Verständnis von Immersion als Erlebensdimension unterscheidet sich von dem in der VR-Forschung üblichen Verständnis von Immersion als objektiver Beschreibung einer Technologie, wie es etwa von Slater und anderen geprägt wurde (vgl. Slater 2009; Slater und Sanchez-Vives 2016; Slater und Wilbur 1997).

der Immersion in der filmischen Darstellung ist gegenüber der Rezeption des Buches keineswegs zwingend stärker, etwa wenn die Umsetzung der Geschichte nicht den Erwartungen der Rezipierenden entspricht (Schulz 2019). Die Qualität der Immersion ist nicht von der gewählten Medientechnik, sondern dem Inhalt, der Aufbereitung und der Passung der Aufbereitung zu dem Medium bzw. den Rahmenbedingungen der Rezeption abhängig (vgl. Perry 2018; Graver 2020).

Des Weiteren kann ein Immersionserleben angeregt werden, wenn die Person nicht nur als Zuschauer fungiert, sondern aktiv werden kann, und zwar nicht nur durch z. B. Wegschauen oder Vorspulen, sondern indem das Dargebotene durch Aktivitäten der Person in einer «Interaktion» beeinflusst wird. Sie kann, im einfachsten Fall bei der Darstellung über einen Bildschirm mit einer Maus, in der dargestellten Umgebung navigieren. Sie kann z. B. dargestellte Objekte aufnehmen und an anderer Stelle ablegen, Objekte in ihren Eigenschaften modifizieren und Aktionen auslösen, z. B. eine Tür öffnen, um in einen anderen Raum zu gelangen.

Diese Art der Interaktion kennen wir von digitalen Spielen oder Computersimulationen, in der Interaktion mit simulierten Maschinen, in Wirtschaftsplanspielen oder der Nachbildung von ökologischen Systemen, wie sie auch in Lernanwendungen zum Einsatz kommen (Vlachopoulos und Makri 2017). Diese Computeranwendungen operieren alle mit Bildschirmen, die ein zweidimensionales Bild präsentieren und doch das Operieren in einer dreidimensionalen Welt ermöglichen. Der Wahrnehmungsapparat extrahiert die Tiefeninformation mühelos und vollkommen automatisch aus der zweidimensionalen Darstellung (vgl. Tverksy 2000).

Das Interagieren mit solchen computergenerierten Welten kann die Menschen in ihren Bann ziehen, Gefühle auslösen und dazu motivieren, wie beim Buch, gedankenversunken die Zeit zu vergessen. Besonders ist hier auch die soziale Dimension: Die Protagonisten im Buch oder Film bleiben in ihrer Geschichte. Die Spiel- oder Simulationswelt kann dagegen vorsehen, dass *ich* mit diesen (nachgebildeten) Charakteren – auf bestimmte, eingeschränkte – Weise «interagieren» kann. Zusehends kann in diesen Welten auch mit anderen mitspielenden Menschen interagiert werden, man bildet Gruppen und Gilden und organisiert sich, um gemeinsam sogenannte Missionen in diesen Welten zu erfüllen. Die Personen sind dabei als Avatare unterwegs, die die eigene Identität bildhaft und schematisch anzeigen – oder aber als Einblendung der Person über die synchrone Schnittstelle einer Videokonferenzanwendung. Die damit angesprochene soziale Dimension kann die Eindringlichkeit und Verbindlichkeit dieser Welten deutlich erhöhen.

Kommen wir damit zu Visualisierungstechnologien, die, in Brillen montiert, Information auf die Netzhaut projizieren, und durch eine solche stereoskopische Darstellung das dreidimensionale Raumempfinden unterstützen. Dabei finden wir zwei grundlegend unterschiedliche Ansätze: Während *Augmented Reality*-Brillen Informationen in das bestehende Sehfeld der Person projizieren, nutzen *Virtual*

Reality-Brillen das gesamte Sehfeld für ihre Projektion, sodass die Wahrnehmung des räumlichen Umfelds der Person ausgeblendet wird und sich die Person nun weitgehend *in einer anderen Welt* erlebt, zumindest bis sie über ein Möbelstück in ihrer Umwelt stolpert und so mental in ihre ursprüngliche Welt zurückgeholt wird. Wenn nun die Computeranwendung, die die Bilder der VR-Brille liefert, Körperbewegungen der Person über Sensoren aufnimmt und die dargestellte Information entsprechend nachführt, entsteht der Eindruck einer Bewegung im dargestellten Raum. Ich muss dabei nicht mehr ein technisches Hilfsmittel an der Mensch-Maschine-Schnittstelle, wie die Maus, nutzen. Meine körperliche Bewegung scheint unmittelbar eine Reaktion auszulösen, was freilich ein Irrtum ist, weil auch hier (bislang oft wenig sensible) Sensoren erforderlich sind, um diese Bewegungen auszuwerten.

Um an das bereits eingeführte Thema anzuschliessen: Das Versteck von Anne Frank in Amsterdam ist sowohl als Website als auch als VR-Anwendung implementiert worden (Lichtman 2021) und vermittelt einen emotionalen Eindruck von der beengten und bedrückenden Unterkunft, in der sich die jüdische Familie vor den deutschen Besatzern verstecken musste. Diese Varianten der Visualisierung bieten Erfahrungsangebote, die Anlass geben zum Nachdenken, aber auch zum Nach-Empfinden eines ansonsten relativ abstrakt bleibenden Sachverhalts (Hartmann 2019; Nahm 2020). In einer aktuellen Untersuchung gehen wir am *Learning Lab*, Universität Duisburg-Essen, der Frage nach, ob und wie sich diese Erfahrung von den anderen Darstellungs- und Erlebensvarianten unterscheidet.

Damit wird deutlich, dass die Besonderheit der Brillenprojektion für didaktische Anliegen weniger darin besteht, durch die stereoskopische Darbietung ein Raumempfinden zu ermöglichen oder zu steigern, denn ein Raumerleben kann völlig mühelos in der zweidimensionalen Darstellung auf einem Bildschirm erzeugt werden. Menschen haben keinerlei Probleme, Tiefeninformation aus einer 2D-Darstellung auf einem Bildschirm zu extrahieren. Das Umgekehrte ist der Fall: Wenn es sich anbietet, erzeugen wir aus zweidimensionalen Darstellungen *immer* dreidimensionale Vorstellungen, auch wenn dies zu widersinnigen Modellen führt, wie es die «unmöglichen Bilder» von Maurits C. Escher gezeigt haben (Coltelli, Barsanti, und Gualtieri 2020). Es ist eine angeborene Eigenschaft des menschlichen Wahrnehmungsapparats, visuelle Stimuli nach Tiefeninformation abzutasten und zu detektieren. Dies kann als eine evolutionär sinnvolle Qualität der Wahrnehmung bewertet werden, denn für das Überleben ist es grundlegend wichtig, Schallquellen räumlich zu orten und Entfernungen von Objekten abzuschätzen (vgl. Walk 1979).

Die Besonderheit der brillenbasierten Visualisierungstechnologie besteht vielmehr darin, dass sie die Umwelt der Person in der Wahrnehmung ausblendet und stattdessen eine «andere» Welt anbietet, die sich als responsiv erweist in Relation zu bestimmten Parametern der Person. Der Grad der Responsivität hängt von Umfang und Qualität der eingesetzten Sensorik ab. Neben Bewegungssensoren lassen

sich auch weitere Variablen in die Mensch-Maschine-Interaktion einbeziehen – Blickbewegungen, Gehirnströme oder physiologische Parameter –, um sie in das System zurückzuführen, wobei die Frage offenbleibt, ob und wie (angemessen) das System überhaupt mit solchen Variablen umgehen kann (vgl. Schneider, Romano, und Drachsler 2019).

Das Merkmal der VR-Brille, die Umwelt der Person auszublenden und durch eine andere Welt zu ersetzen, ist keineswegs immer und automatisch erwünscht und wünschenswert, wie Ghosh et al. (2018) aufzeigen. Das Setup beinhaltet einen Kontrollverlust. Ich gebe den Kontakt zu meiner Umwelt auf und kann mir nicht sicher sein, was in dieser Umwelt passiert, während ich mich mental in eine andere Welt begebe, etwa wer das Zimmer betritt und mich beobachtet, ob ich mich falsch bewege und gegen ein Hindernis stossen werde etc. Es bleibt die Frage, ob das Ausblenden der eigenen Umwelt tatsächlich nötig oder von Vorteil ist, um die Immersion zu erreichen. Kann die Sensorik die Bewegungen tatsächlich hinreichend erkennen und umsetzen? Sind die Interfaces zur Steuerung der Anwendung intuitiv oder benötigen sie lange Anleitung und Eingewöhnung? Regelmässig wird darauf verwiesen, dass die Nutzung der VR-Brillen für z. B. eine halbe bis ganze Stunde ausgelegt ist und danach eine Pause erforderlich ist, um einer Überanstrengung zu entgegnen (vgl. Smith und Burd 2019). Chang et al. (2020) berichten über eine ganze Reihe von Gründen und Folgen für «VR-Sickness».

Dies alles ist abzuwägen gegenüber der Alternative einer Anwendung über den etablierten Weg einer Darstellung am Bildschirm und der Steuerung mit einer Computermaus. Auch hier ist zu bedenken, dass die flüssige Nutzung der Maus vielfach eine längere Einübung erforderlich gemacht hat, vielen Menschen heute aber «in Fleisch und Blut» übergegangen ist. Alternative Schnittstellen der Mensch-Maschine-Interaktion müssen sich insofern dagegen bewähren (vgl. zu Alternativen der Computermaus: Radwan et al. 2018).

3. Weitere Erlebnisdimensionen

Als zentrales Merkmal der Immersion wurde die eindringliche Fokussierung der Aufmerksamkeit auf ein Geschehen beschrieben, das in unterschiedlicher Weise präsentiert werden kann. Immersion weist dabei in ihrer Wahrnehmungsqualität Ähnlichkeiten zum Flow-Erleben auf: Das Flow-Erleben beschreibt nach Csikszentmihalyi (1987) die Konzentration auf die Ausführung einer Handlung, in der die Person aufgeht, in der sie alles andere vergisst und die Umgebung ausblendet. Dies kann nahezu jede Tätigkeit sein, für die man sich begeistert, und ist z. B. beim Bergsteigen oder Motorradfahren, aber auch beim Lernen untersucht worden (Rheinberg 2005). Flow entsteht und lässt sich nur bedingt durch externe Prozesse anregen. Flow kann sich grundsätzlich auch in einer VR-Anwendung einstellen, die in eine andere Umwelt

führt, etwa wenn die Person in dieser Umgebung einer Tätigkeit nachgehen kann, die ihr viel bedeutet und in der sie das Interface in der Ausführung ihrer Handlung nicht unangemessen behindert (Lackey et al. 2016). Hier wäre auch an das Training von Piloten oder passionierten Hobbypiloten zu denken, die in einer VR-Anwendung lernen, mit ihrem Flugzeug über die Kontinente zu fliegen und im Rundumblick ihren Ausblick geniessen (Oberhauser und Dreyer 2017).

Damit wird deutlich: Beim Immersionserleben steht die *Rezeption einer Umwelt* im Vordergrund, die die Person in ihren Bann zieht. Beim Flow-Erleben ist die Aufmerksamkeit dagegen auf die *Handlungsausführung* gerichtet; die Umgebung wird beim Flow-Erleben eher ausgeblendet. Im Folgenden werden weitere Erlebensdimensionen benannt, die einen Bezug zum Immersionserleben haben, um zu analysieren, in welchem Verhältnis diese zueinander stehen können und herauszuarbeiten, was das Spezifische des Immersionserlebens darstellt.

Häufig thematisiert wird der *Realitätsgrad* einer Darstellung: Durch hochauflösende Grafiken können Welten in einer Weise dargestellt werden, dass das Auge den Unterschied zur Realität kaum mehr wahrnehmen kann. Die erreichte Qualität in der Präsentation ist beeindruckend und erscheint vielfach als das entscheidende Argument für entsprechende Präsentations- und Visualisierungstechniken. Die Leistung des menschlichen Wahrnehmungsapparats wird hierbei jedoch oftmals falsch eingeschätzt, denn eine realitätsnahe Darstellung, u. a. in Lernkontexten, ist für das Raum- und Immersionserleben weniger zwingend als vielfach vermutet. Dies liegt daran, dass «fehlende» Information in der Perzeption ohne Anstrengung generiert werden und das Erleben nicht trüben (Gisbergen et al. 2019). Scerbo und Dawson (2007, 224) kommen sogar zu dem Schluss: «Simulation-based training systems should be developed to maximize their effectiveness, not their fidelity».

Ein verwandtes Konstrukt bezieht sich auf das *Präsenzerleben*. Bulu (2012) unterscheidet *place presence, social presence* und *co-presence*. Die örtliche Präsenz meint, mental an dem Geschehen an einem bestimmten Ort involviert zu sein. Soziale Präsenz bezieht sich auf die Erfahrung der Anwesenheit anderer Menschen (ohne dass ich mit diesen interagiere) und Co-Präsenz verweist, im Anschluss an Goffman (1963), auf die Erfahrung von Interaktion in einem Raum mit anwesenden Personen.

Ein Student kann in einem Hörsaal anwesend sein, aber dennoch nicht am Geschehen teilhaben, etwa weil er in Gedanken an einem anderen Ort ist oder mit anderen Dingen beschäftigt ist. Im Internet können sich Personen, die sich geografisch an weit entfernten Orten aufhalten, anderen Menschen zugleich in einem Online-Raum nahe und verbunden fühlen. Das soziale Präsenzerleben setzt auch im physikalischen Raum nicht voraus, dass die andere Person tatsächlich körperlich im gleichen Raum anwesend ist. Manchmal empfinden wir in bestimmten Räumen die Anwesenheit anderer, auch wenn sie nicht physisch präsent sind.

Gleichzeitig ist, gerade in der Pandemie, für viele Menschen deutlich geworden, dass es einen qualitativen Unterschied ausmacht, ob Menschen sich Face-to-Face in einem Raum oder medial vermittelt in einer Videokonferenz begegnen. Grundsätzlich hat sich die Videokonferenz als ein sehr wichtiges Mittel erwiesen, um Informationen über Distanzen auszutauschen, sich abzusprechen und Dinge zu klären. Doch die sozialpsychologische Forschung kann wesentliche Unterschiede in der Kommunikationssituation aufzeigen, die das verbreitete Unbehagen an der (extensiven) Nutzung von Videokonferenzen gerade in Gruppen erklären kann.

Eigentlich, so könnte vermutet werden, stehen uns in der Videokonferenz alle verbalen und auch nonverbalen Artikulationen des Gegenübers zu Verfügung, und dennoch bleibt ein Defizit. Es entsteht vor allem dadurch, dass sich die Personen nicht in einem gemeinsam geteilten Raum aufhalten. Damit stellt sich das Erleben von Sozialität (gerade in Gruppengesprächen) nur bedingt ein. Beginnend bei dem fehlenden Gefühl für Augenkontakt über die Unsicherheit, wer sich wem zu- oder abwendet, bis hin zu den fehlenden Elementen, die den Gesprächsfluss natürlich regulieren – sie alle beeinträchtigen die Erfahrungsqualität menschlicher Interaktion und Zuwendung (vgl. Kerres 2020).

Diese Differenz entsteht nicht durch einen Mangel an übertragener Detailinformation und insofern wird auch die Konferenz mithilfe von VR-Brillen, die die Personen in einem dreidimensionalen Raum erscheinen lassen, kaum qualitative Vorteile mit sich bringen (vgl. Mulders und Zender 2021). Es handelt sich hier weniger um Beschränkungen des Sehfeldes und der Informationsmenge, sondern um die Implikationen eines abgebildeten Raums, den die Gesprächsteilnehmenden nicht leiblich teilen. Bailenson (2021) geht sogar davon aus, dass das Problem durch ein Zuviel an nonverbaler Information in der Videokonferenz entsteht, die gleichzeitig von den Personen übermittelt wird.

Diese Überlegung ist ganz zentral für die phänomenologische Theorietradition: Sie beruht «auf der Überzeugung, dass die Kategorie des Raumes nur dann angemessen beschrieben werden kann, wenn von der leiblichen Verankerung des Selbst in Raum und Zeit ausgegangen wird» (Schneider 2012, 196). Die Erfahrung computergenerierter Räume gibt Anlass, diese Position überdenken, und spricht dafür, dass das Raumerleben auch ohne leibliche Verankerung stattfinden kann, wie Computerspiele oder SocialVR-Anwendungen anzeigen (vgl. Mulders und Zender 2021), wo Menschen in digitalen Räumen navigieren, die für sie bedeutungsvoll sind (vgl. Scavarelli, Arya, und Teather 2019).

Für die Psychologie wie auch die Soziologie war lange Zeit eine Vorstellung von sozialer Interaktion prägend, die auf der Face-to-Face Begegnung an einem Ort basiert. Erst später ist zur Kenntnis genommen worden, dass soziale Interaktion auch medienvermittelt stattfindet (vgl. Houben 2018). Gleichwohl wird medienvermittelte Kommunikation häufig in ihren Defiziten zur «echten» Interaktion konzipiert, statt

aufzuzeigen, wie sich die verschiedenen Varianten und Konstellationen der Interaktion mit und ohne analoge oder digitale Medien in der Lebenswelt ergänzen, fortführen, verschränken und zusammenfliessen – ohne die Differenzen zu übersehen.

Die Forschung zum – medienvermittelten – Präsenzerleben hat Aufschwung genommen, seit das Internet nicht nur für die Bereitstellung von Informationen Nutzung findet, sondern digitale Plattformen soziale Kommunikation ermöglichen. Es zeigt sich, dass Plattformen, in denen Personen aktiv beitragen können, Kontakte knüpfen und sich austauschen, eine hohe Akzeptanz entwickelt haben. Bereits der Eindruck, dass auf einer Plattform zeitgleich andere Personen anwesend sind, trägt zum Eindruck einer sozialen Umgebung bei. Hierzu können kleine Hinweise ausreichen, etwa die Information über die Anzahl der zeitgleich auf einer Website Angemeldeten oder die Anzeige der Information über die Anwesenheit einer Person über Farbcodes. Die Wahrnehmung von Hinweisen sozialer Präsenz auf Online-Plattformen kann auch das Lernen im Internet wesentlich unterstützen (vgl. Kerres, Hölterhof, und Nattland 2011).

In der internationalen Forschung zu *instructional design* ist schliesslich das Konstrukt *student engagement* wesentlich: Lernengagement hat sich als zentrale Variable der Lehr-Lern-Forschung herauskristallisiert (Bond et al. 2020; Wong und Liem 2021). Will man letztlich den Effekt eines instruktionalen Treatments auf das Lernergebnis feststellen, so kann das Lernengagement als «Proxy» aufgefasst werden, der eine Bedingung für Lernerfolg ist, zugleich aber näher am Lernprozess ist und unmittelbare Hinweise auf Qualitäten des Lernprozesses in Abhängigkeit von didaktischen Designs liefert.

Tabelle 1 verdeutlicht, dass die aufgeführten Dimensionen, trotz Überlappung hinsichtlich der Definitionen, sich auf unterschiedliche Sachverhalte beziehen und voneinander abgegrenzt werden können. Die hier benannten Dimensionen des Erlebens sind nicht abgeschlossen. Auch ein unmittelbarer Kausalzusammenhang zwischen den Dimensionen und dem Lernerfolg einer Massnahme kann nicht per se angenommen werden. Vielmehr soll im Folgenden betrachtet werden, in welchen Relationen die genannten Variablen mit Blick auf Lernergebnisse aufgefasst werden können.

Erleben von	Definition	Beispiel	Abgrenzung
Immersion	Aufmerksamkeit ist fokussiert auf eine bestimmte Umgebung / imaginierte Welt.	Gedenkstätte: Die Artefakte ziehen die Betrachterin in ihren Bann. Die VR-Brille ermöglicht Ausflüge in das Amazonas-Delta.	Beim Flow-Erleben steht die Handlungsausführung, bei Immersion die Rezeption im Vordergrund. Immersion setzt kein Raum- oder Präsenzerleben voraus.
Realitäts-empfinden	Hochauflösende Präsentationen erhöhen Empfinden realitätsnaher Darstellungen.	Die Darstellung der Landschaft auf dem Bildschirm erscheint hochgradig realistisch («wie echt»).	Realitätsempfinden ist nur bedingt Voraussetzung für Präsenz- oder Immersionserleben.
Präsenzerleben (soziales)	Erleben der Anwesenheit Anderer in der Welt, auf die meine Aufmerksamkeit gerichtet ist.	Ich höre Stimmen aus einem Raum und gehe davon aus, dass dort eine angeregte Diskussion stattfindet (oder ist es ein Fernseher, der läuft?). Auf der Lernplattform wird angezeigt, wer zurzeit anwesend ist.	Soziale Präsenz geht i. d. R. mit Raumerleben einher, ausser in Online-Umgebungen bei z. B. einfachen Präsenzindikatoren.
Körpererleben, Embodiment	Gefühl, in einem Körper zu sein / ein Körper zu sein und diesen zu kontrollieren. («being inside, having, and controlling a body»).	Sich im Körper einer Person mit einer anderen Hautfarbe wiederfinden (vgl. Peck et al. 2013) oder den eigenen Körper erweiternde Körperteile als Teil des eigenen Ichs empfinden (vgl. Steptoe, Steed, und Slater 2013).	Ich erfahre Raum, indem ich mich in dem Raum bewege. Allerdings: Körper- und Raumerleben können auch unabhängig sein.
Raumerleben	Erleben, sich in einem dreidimensionalen Raum zu befinden und bewegen zu können	Erleben von Raum: – Kino mit 360°-Projektion, – Filme für 3D-Brillen, – interaktive 3D-Simulation auf Bildschirm.	Raumerleben geht nicht automatisch mit Immersion einher: Eine Darstellung vermittelt Einblicke in mir unbekannte Räume – ohne dass ich mich als Teil davon erfahre.
Agency	Erleben, in einer Umwelt aktiv werden zu können / etwas verändern zu können.	Auf einer Plattform kann ich mich einbringen und meine Umgebung konfigurieren.	Agency trägt zu Immersions- und Präsenzerleben bei, ist aber unabhängig von diesen.
Flow-Erleben	Aufmerksamkeit fokussiert die Handlungsausführung und blendet Umgebung aus.	Die Bergsteigerin vergisst alles um sich herum und konzentriert sich voll auf den Aufstieg. Der Online-Spieler ist absorbiert vom Spielgeschehen.	Aufmerksamkeit ist fokussiert auf Handlungsausführung. Immersions-, Raum- oder Präsenzerleben geht damit nicht zwingend einher.
Lernengagement	Aufmerksamkeit fokussiert Bearbeitung von Lernmaterial oder Lernaufgabe.	Die Schülerin bearbeitet eine interaktive Simulation im Physikunterricht.	Lernengagement wird durch Flow-Erleben gefördert.

Tab. 1: Dimensionen des Erlebens in (nicht-)medienvermittelten Umwelten.

4. Effekte der Erlebensdimensionen auf Lernergebnisse

In welchem Verhältnis stehen die genannten Erlebensdimensionen, und hier insbesondere die Immersion, zu Lernerfolg? Der grosse Teil der bildungstechnologischen Forschung zu VR beruht auf der Annahme, dass VR eine höhere Immersion, ein besseres Präsenz- und Raumerleben bedingt und dadurch bessere Lernleistungen durch Nutzung entsprechender Technologien zu erwarten sind.

Aus lernpsychologischer Sicht spricht zunächst wenig für diese Annahme. Folgt man der *Cognitive Load* Theorie (CLT) von John Sweller (2010), dann ist davon auszugehen, dass der Lernprozess massgeblich durch die begrenzte Kapazität des Arbeitsgedächtnisses charakterisiert ist. Aus diesem Grund spricht die *Cognitive Load* Theorie sich auch z. B. gegen überflüssige Dekorationen in Textbüchern und für stark strukturierte Darstellungen aus, die den Aneignungsprozess unterstützen.

Bisherige empirische Untersuchungen stützen diese Annahmen auch für das Lernen in VR. Parong und Mayer (2018) berichten in ihrem Beitrag über zwei Experimente, in denen Studierende mithilfe einer VR-Umgebung über den menschlichen Körper lernen sollten. Im ersten Experiment zeigte sich, dass die 3D-Welt einer VR-Anwendung von den Lernenden als ablenkend und kognitiv überlastend empfunden wurde. Dementsprechend zeigten die Lernenden der VR-Bedingung keine bessere Lernleistung im Vergleich zu einer Gruppe von Lernenden, die mithilfe klassischer Folien lernten. Interessanterweise berichteten die Lernenden der VR-Bedingung eine signifikant höhere affektive Eingebundenheit während des Lernprozesses, was sich jedoch nicht positiv auf die Leistung auswirkte. Im zweiten Experiment segmentierten Parong und Mayer (2018) die VR-Welt in kleinere Einheiten, in welchen die Lernenden die VR-Brille abnahmen und eine Zusammenfassung der eben erfahrenen Inhalte anfertigten. Als Ergebnis zeigte sich, dass die Gruppe der Lernenden mit der strukturierten Darstellung der VR-Inhalte eine bessere Lernleistung erzielte und dabei dieselbe hohe affektive Eingebundenheit in den Lernprozess empfand wie die Kontrollgruppe, die erneut ohne Segmentierung lernte. Makransky et al. (2019) fanden ebenso negative Effekte beim Lernen mit einer interaktiven VR-Simulation, in der die Lernenden über die Sicherheit in einem Labor lernten. Wie eine Messung der Gehirnströme mittels EEG ergab, führte die hohe Involviertheit in die VR-Simulation zu einer kognitiven Überlastung, die sich negativ auf die Lernleistung auswirkte. Die Kontrollgruppe agierte in dieser Studie über einen Desktop-PC, auf dem dieselbe Simulation über eine Computer-Maus gesteuert wurde.

Mayer (2020, 362) analysierte weitere VR-Studien und kommt zu dem Schluss, dass VR-Anwendungen die Lernenden kognitiv und affektiv überfordern können. Als Konsequenz aus dieser Auswertung formuliert Mayer (2020) das *Immersionsprinzip* als ein weiteres Prinzip des multimedialen Lernens, das besagt, dass die Anregung starker Immersion das Lernen beeinträchtigt. Er kritisiert bisherige Forschungsarbeiten, die die Effekte von VR auf den Lernprozess nicht angemessen untersuchen,

und fordert, weitere Forschung zu VR in authentischen Lehr- und Lernkontexten sei notwendig, um die Bedingungen einer erfolgreichen Nutzung von VR genauer herauszuarbeiten.

Immersion, Realitäts-, Raum- oder Präsenzerleben sind damit auf den Prüfstand zu stellen: Inwiefern tragen sie tatsächlich dazu bei, den Aneignungsprozess eines Lerninhalts zu fördern oder inwieweit beeinträchtigen sie die Lernenden bei der kognitiven Elaboration, – dem Vorgang der Verknüpfung neuer Inhalte mit vorliegenden kognitiven Schemata, mit dem Wissen in das Langzeitgedächtnis überführt wird? Ein hohes Erleben von Immersion kann auch Ablenkung bedeuten und das Arbeitsgedächtnis belasten, wie auch die Auswertung von Cummings und Bailenson (2016) belegt.

Hinzu kommt, dass für das Lernen vielfach eine didaktisch reduzierte Darstellung vorteilhaft ist. In der VR-Lackierwerkstatt von Zender et al. (2020) üben Auszubildende im Lackierhandwerk die Bearbeitung von Teilen einer Pkw-Karosserie in einer nachgebildeten Lackierwerkstatt, die über eine VR-Brille präsentiert wird. Die zu bearbeitenden Bauteile sind, etwa in ihrer Wölbung, sehr exakt nachgebildet. Die weitere Einrichtung der Werkstatt und auch die Person des Ausbilders, der Erklärungen liefert und Rückmeldungen gibt, ist dagegen eher grob angedeutet, da diese Information für den Lernprozess – aber auch für das Immersionserleben – vergleichsweise unbedeutend ist. Als bedeutend erwiesen hat sich dagegen ein spezielles, mit einem 3D-Drucker hergestelltes Inputdevice, das in Gewicht und Form einer «echten» Spritzpistole stark ähnelt (s. a. zu einem Golfschläger als Inputdevice bei Franzluebbers und Johnsen 2018).

Neben einer Reihe empirischer Studien wurden bereits einige theoretische Modelle zum Lernen und Lehren mit VR-/AR-Technologien aufgestellt (Übersicht in Dengel et al. 2021). In einem davon, dem *Cognitive Affective Model of Immersive Learning* (CAMIL), definieren Makransky und Petersen (2021) Immersion und Repräsentationsgenauigkeit als statische technologische Merkmale von VR, welche bedingen, dass VR-Umgebungen stets über zwei Charakteristika verfügen, nämlich *Präsenzerleben* und *Handlungsfähigkeit*. Eben diese beiden Charakteristika vermitteln gemäss CAMIL über affektive und kognitive Faktoren (z. B. Motivation, Selbstwirksamkeit) hinweg den Lernerfolg einer Massnahme auf verschiedenen Ebenen (z. B. deklaratives Wissen).

In unserem Analysemodell in Abbildung 1 werden Eigenschaften der Technik und des Erlebens deutlicher getrennt, um die Bedingungskette in ihrer Relevanz für den Lernprozess genauer lokalisieren und Hypothesen für ihr Zusammenwirken präziser untersuchen zu können. Das Modell bietet eine Grundlage, um entsprechende Forschungsdesigns zu Immersion und weiteren Erlebensdimensionen begründet anzulegen und die verschiedenen Effekte, ggfs. als Moderatorvariablen, präzise verorten zu können. Das würde z. B. bedeuten, dass der Grad des Raum- oder Immersionserlebens

jeweils als abhängige (oder kovariierende) Variable zu erheben sind und nicht als Merkmal der Technik zugeschrieben werden sollten. Interessant wird dann, die verschiedenen Dimensionen des Erlebens vor allem zu Merkmalen des Lernprozesses wie *cognitive load* oder *student engagement* in Beziehung zu setzen, die in ihrer Relation zu den Variablen des Lernergebnisses bereits vielfach untersucht worden sind. Dabei wäre das Geflecht des Immersionserlebens zu den anderen Dimensionen des Erlebens in der Untersuchung genauer zu differenzieren, denn Immersionserleben und die weiteren Dimensionen hängen nicht automatisch zusammen.

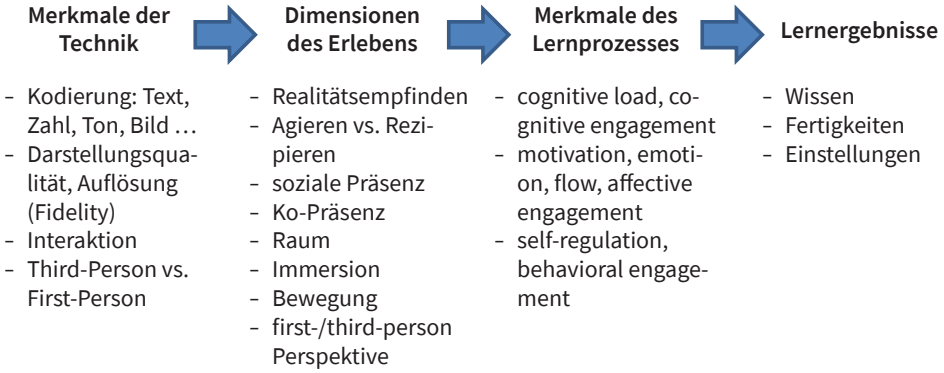


Abb. 1: Analysemodell zur Wirkung von Technikmerkmalen und Erlebensdimensionen beim Lernen mit visuellen Informationen.

In jedem Fall wird deutlich, dass ein «mehr» an Immersion nicht automatisch mit einer höheren Qualität des Lernprozesses einhergeht und jeweils zu prüfen ist, wie ein bestimmtes Setting diese Dimension des Erlebens anregen kann. Dabei wird weiter zu klären sein, wie die verschiedenen Erlebensdimensionen – wie Raum-, Präsenz- oder Bewegungserfahrung ebenso wie Realitätsempfinden – Einfluss auf die genannten Indikatoren der Lernprozessqualität haben, die eng mit den Lernergebnissen zusammenhängen (vgl. Makransky und Petersen 2021).

Auch für das didaktische Design erscheint die Logik zielführend, die diesem Modell zugrunde liegt: Es gilt zu überlegen, wie durch die Gestaltung der Lernumwelt und der Lernaktivitäten das Erleben in den unterschiedlichen Dimensionen (wie Raum-, Präsenz- und Immersionserleben) angeregt werden kann. Dabei ist sehr genau zu überlegen, welche der Erlebensdimensionen tatsächlich zur Qualität des Lernprozesses und zum Lernergebnis beitragen. Ein «mehr» ist dabei nicht immer «besser».

5. Schlussfolgerung

Aus Sicht der Kognitions- und Lernpsychologie gibt es keinen Grund zu der Annahme, ein bestimmtes Gerät oder Medium könne *a priori* mehr Immersionserleben vermitteln als ein anderes. Es liegt eine Reihe von Untersuchungen vor, die der Frage nachgehen, wie z. B. VR-Anwendungen das Erleben von Immersion begünstigen. Sie kommen regelmässig zu dem Ergebnis, dass VR-Anwendungen die Immersion wesentlich steigern. Gleichzeitig wird unterschätzt, dass die Brille als solches diesen Eindruck keineswegs unmittelbar erzeugt, sondern letztlich die Aufbereitung eines Inhalts unter Nutzung und Ausschöpfung der Möglichkeiten einer Technik das Empfinden von Gefühlen, Immersion und Engagement auslöst.

Erinnert sei an die für die Mediendidaktik massgebliche Kontroverse zwischen Richard Clark und Robert Kozma in den 1990er-Jahren: Clark (1994) behauptete «Media will never influence learning» und meinte, Medien seien Transporter, die notwendig und mit Blick auf die jeweils zu bewältigenden Herausforderungen auszuwählen sind; eine weitere direkte Wirkung auf den Lernprozess sei nicht zu erwarten. Kozma (1994) sprach dagegen von den Potenzialen der Medien und verwies darauf, dass mit den jeweiligen Techniken unterschiedliche Möglichkeiten für das Lernen verbunden seien, die allerdings nur zum Tragen kommen, wenn sie von einem didaktischen Konzept eingelöst werden, das genau diese Möglichkeiten aufgreift.

In der aktuellen Diskussion über VR wird regelmässig angenommen, dass mit dem Einsatz digitaler Medien ein bestimmter Effekt für das Lernen eintrete. Die Frage, ob Videos einen höheren Effekt auf das Erinnern als Bücher haben, ist aber genauso wenig zu beantworten, wie die Frage, ob mit VR-Brillen besser gelernt werden kann als mit Büchern, Videos oder Computersimulationen. Medientechniken entfalten ihre Wirkung beim Lernen erst durch die gezielt aufbereiteten Inhalte, die sie kommunizieren. Es geht immer um eine adäquate didaktische Aufbereitung eines Lehrinhalts, die sich der Möglichkeiten eines Mediums gezielt bedient und dabei auch den Grad der Immersion reflektieren muss (vgl. Kerres 2021). Es bleibt die Frage, ob Immersion und die anderen hier aufgezeigten Erlebensdimensionen für die angestrebten Lernprozesse hilfreich sind oder nicht. Eine hohe Immersion kann den Lernprozess unterstützen, indem bestimmte Perspektiven sichtbar gemacht werden, in denen interaktiv handelnd operiert werden kann. Der Umgang mit der Darstellung und die Eingewöhnung in die VR-Technik kann aber auch mit einer unangemessenen Belastung des Arbeitsgedächtnisses einhergehen und ist somit im Hinblick auf die die angestrebten Lernprozesse genauer zu begründen (vgl. Mulders, Buchner, und Kerres 2020).

Literatur

Bailenson, Jeremy N. 2021. «Nonverbal Overload: A Theoretical Argument for the Causes of Zoom Fatigue». *Technology, Mind, and Behavior* 2 (1). https://doi.org/10.1037/tmb0000030.

Bickman, Leonard, und Karl M. Hamner. 1998. «An Evaluation of the Yad Vashem Holocaust Museum». *Evaluation Review* 22 (4): 435–46. https://doi.org/10.1177/0193841X9802200401.

Bond, Melissa, Katja Buntins, Svenja Bedenlier, Olaf Zawacki-Richter, und Michael Kerres. 2020. «Mapping research in student engagement and educational technology in higher education: a systematic evidence map». *International Journal of Educational Technology in Higher Education* 17 (2). https://doi.org/10.1186/s41239-019-0176-8.

Bulu, Saniye Tugba. 2012. «Place Presence, Social Presence, Co-Presence, and Satisfaction in Virtual Worlds». *Computers & Education* 58 (1): 154–61. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.08.024.

Chang, Eunhee, Hyun Taek Kim, und Byounghyun Yoo. 2020. «Virtual Reality Sickness: A Review of Causes and Measurements». *International Journal of Human–Computer Interaction* 36 (17): 1658–82. https://doi.org/10.1080/10447318.2020.1778351.

Chavez, Bayron, und Sussy Bayona. 2018. «Virtual Reality in the Learning Process». In *Trends and Advances in Information Systems and Technologies*, herausgegeben von Álvaro Rocha, Hojjat Adeli, Luís Paulo Reis, und Sandra Costanzo, 1345–56. Advances in Intelligent Systems and Computing. Cham: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-77712-2_129.

Clark, Richard E. 1994. «Media will never influence learning». *Educational Technology: Research & Development* 42 (2): 21–9. https://doi.org/10.1007/BF02299088.

Coltelli, Primo, Laura Barsanti, und Paolo Gualtieri. 2020. «Unveiling the Secrets of Escher's Lithographs». *Journal of Imaging* 6 (2): 5. https://doi.org/10.3390/jimaging6020005.

Csikszentmihalyi, Mihaly. 1987. *Das flow-Erlebnis: jenseits von Angst und Langeweile: im Tun aufgehen*. Stuttgart: Klett-Cotta.

Cummings, James J., und Jeremy N. Bailenson. 2016. «How Immersive Is Enough? A Meta-Analysis of the Effect of Immersive Technology on User Presence». *Media Psychology* 19 (2): 272–309. https://doi.org/10.1080/15213269.2015.1015740.

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/.

Derry, Ken. 2021. «Where Is Anne Frank?» *Journal of Religion and Film* 25 (2): https://doi.org/10.32873/uno.dc.jrf.25.02.016.

Franzluebbers, Anton, und Kyle Johnsen. 2018. «Performance Benefits of High-Fidelity Passive Haptic Feedback in Virtual Reality Training». In *Proceedings of the Symposium on Spatial User Interaction*, 16–24. SUI '18. New York, NY: Association for Computing Machinery. https://doi.org/10.1145/3267782.3267790.

Ghosh, Sarthak, Lauren Winston, Nishant Panchal, Philippe Kimura-Thollander, Jeff Hotnog, Douglas Cheong, Gabriel Reyes, und Gregory D. Abowd. 2018. «NotifiVR: Exploring Interruptions and Notifications in Virtual Reality». *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 24 (4): 1447–56. https://doi.org/10.1109/TVCG.2018.2793698.

Gisbergen, Marnix van, Michelle Kovacs, Fabio Campos, Malou van der Heeft, und Valerie Vugts. 2019. «What We Don't Know. The Effect of Realism in Virtual Reality on Experience and Behaviour». In *Augmented Reality and Virtual Reality: The Power of AR and VR for Business*, herausgegeben von M. Claudia tom Dieck, und Timothy Jung, 45–57. Progress in IS. Cham: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-06246-0_4.

Goffman, Erving. 1963. *Behavior in public places*. New York: The Free Press.

Graver, Lawrence. 2020. *An Obsession with Anne Frank: Meyer Levin and the Diary*. University of California Press. https://doi.org/10.1525/9780520313231.

Hartmann, Rudi. 2019. «Virtualities in the new tourism landscape: The case of the Anne Frank House Virtual Tour and of the visualizations of the Berlin Wall in the Cold War context». In *Tourism Fictions, Simulacra and Virtualities*. Routledge.

Hölterhof, Tobias. 2008. «Was Bedeutet ‹virtuelles Lernen›?». *MedienPädagogik: Zeitschrift für Theorie Und Praxis Der Medienbildung* (Occasional Papers): 1-12. https://doi.org/10.21240/mpaed/00/2008.05.29.X.

Houben, Daniel. 2018. «Von Ko-Präsenz zu Ko-Referenz – Das Erbe Erving Goffmans im Zeitalter digitalisierter Interaktion». In *Leib und Netz: Sozialität zwischen Verkörperung und Virtualisierung*, herausgegeben von Matthias Klemm, und Ronald Staples, 3–20. Medienkulturen im digitalen Zeitalter. Wiesbaden: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-658-18863-4_1.

Kerres, Michael. 2020. «Frustration in Videokonferenzen vermeiden: Limitationen einer Technik und Folgerungen für videobasiertes Lehren». In *Handbuch E-Learning*, herausgegeben von Karl Wilbers, 4.69:59–78. Köln: Wolters Kluwer.

Kerres, Michael. 2021. *Didaktik. Lernangebote gestalten*. Münster: Waxmann.

Kerres, Michael, Tobias Hölterhof, und Axel Nattland. 2011. «Zur Didaktischen Konzeption Von ‹Sozialen Lernplattformen› für Das Lernen in Gemeinschaften». *MedienPädagogik: Zeitschrift für Theorie Und Praxis Der Medienbildung* (Occasional Papers): 1-22. https://doi.org/10.21240/mpaed/00/2011.12.09.X

Koch, Iring, und Christoph Stahl. 2017. «Lernen – Assoziationsbildung, Konditionierung und implizites Lernen». In *Allgemeine Psychologie*, herausgegeben von Jochen Müsseler, und Martina Rieger, 319–55. Berlin, Heidelberg: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-53898-8_10.

Kozma, Robert B. 1994. «Will media influence learning? Reframing the debate». *Educational Technology: Research & Development* 42: 7–19.

Lackey, Stephanie J., J. N. Salcedo, James L. Szalma, und Peter A. Hancock. 2016. «The stress and workload of virtual reality training: the effects of presence, immersion and flow». *Ergonomics* 59 (8): 1060–72. https://doi.org/10.1080/00140139.2015.1122234.

Lichtman, Sarah A. 2021. «Designing Absence at the Anne Frank House Museum, Amsterdam, and the Secret Annex Online: Exhibition design, virtual reality, and historic preservation». In *Design and Heritage. The Construction and Identity of Belonging. hrsg. v. Grace Lees Maffei, and Rebecca House*. Routledge.

Lu, Fangqing. 2017. «Museum Architecture as Spatial Storytelling of Historical Time: Manifesting a Primary Example of Jewish Space in Yad Vashem Holocaust History Museum». *Frontiers of Architectural Research* 6 (4): 442–55. https://doi.org/10.1016/j.foar.2017.08.002.

Makransky, Guido, Thomas S. Terkildsen, und Richard E. Mayer. 2019. «Adding Immersive Virtual Reality to a Science Lab Simulation Causes More Presence but Less Learning». *Learning and Instruction* 60 (April): 225–36. https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2017.12.007.

Makransky, Guido, & Petersen, Gustav. B. (2021). «The Cognitive Affective Model of Immersive Learning (CAMIL): a Theoretical Research-Based Model of Learning in Immersive Virtual Reality». *Educational Psychology Review (33)*, 1-22.

Mayer, Richard E. 2020. *Multimedia Learning*. 3rd Edition. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

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): 208–24. https://www.learntechlib.org/p/218562/.

Mulders, Miriam, und Raphael Zender. 2021. «An Academic Conference in Virtual Reality?-Evaluation of a SocialVR Conference». In *Proceedings of the 2021 7th International Conference of the Immersive Learning Research Network (iLRN)*, herausgegeben von D. Economou, A. Peña-Rios, A. Dengel, H. Mentzelopoulos, A. Klippel, K. Erenli, M.J.W. Lee, und J. Richter, 1–6. IEEE. https://doi.org/10.23919/iLRN52045.2021.9459319.

Nahm, Veronika. 2020. «Erinnern an Anne Frank. Digitale und analoge Angebote in der neuen ständigen Ausstellung des Anne Frank Zentrums in Berlin». In *Entgrenzte Erinnerung*, 267–77. Berlin, München, Boston: De Gruyter Oldenbourg. https://doi.org/10.1515/9783110668971-011.

Oberhauser, Matthias, und Daniel Dreyer. 2017. «A Virtual Reality Flight Simulator for Human Factors Engineering». *Cognition, Technology & Work* 19 (2): 263–77. https://doi.org/10.1007/s10111-017-0421-7.

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.

Pearce, Andy, und Arthur Chapman. 2017. «Holocaust education 25 years on: challenges, issues, opportunities». *Holocaust Studies* 23 (3): 223–30. https://doi.org/10.1080/17504902.2017.1296082.

Peck, Tabitha C., Sofia Seinfeld, Salvatore M. Aglioti, und Mel Slater. 2013. «Putting Yourself in the Skin of a Black Avatar Reduces Implicit Racial Bias». *Consciousness and Cognition* 22 (3): 779–87. https://doi.org/10.1016/j.concog.2013.04.016.

Perry, Gillian Walnes. 2018. *The Legacy of Anne Frank*. Grub Street Publishers.

Radwan, Ahmed, Tyler Kallasy, Abigail Monroe, Emily Chrisman, und Orrin Carpenter. 2018. «Benefits of alternative computer mouse designs: A systematic review of controlled trials». Herausgegeben von Zhongmin Jin. *Cogent Engineering* 5 (1): 1–18. https://doi.org/10.1080/23311916.2018.1521503.

Rheinberg, Falko 2005. «Intrinsische Motivation und Flow-Erleben». In *Motivation und Handeln*, herausgegeben von Jutta Heckhausen und Heinz Heckhausen. Berlin: Springer. https://doi.org/10.1007/3-540-29975-0_13.

Scavarelli, Anthony, Ali Arya, und Robert J. Teather. 2019. «Towards a Framework on Accessible and Social VR in Education». In *2019 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, 1148–9. https://doi.org/10.1109/VR.2019.8798100.

Scerbo, Mark W., und Steven Dawson. 2007. «High Fidelity, High Performance?» *Simulation in Healthcare* 2 (4): 224–30. https://doi.org/10.1097/SIH.0b013e31815c25f1.

Schneider, Jan, Gianluca Romano, und Hendrik Drachsler. 2019. «Beyond Reality –Extending a Presentation Trainer with an Immersive VR Module». *Sensors* 19 (August): 3457. https://doi.org/10.3390/s19163457.

Schneider, Martin. 2012. *Der Mensch als Gestalter von Räumen: Räumliche Praktiken und gesellschaftliche «Raumproduktionen»*. Paderborn: Brill Schöningh. https://doi.org/10.30965/9783657775422_005.

Schulz, Farriba. 2019. «Figures of Memory: Das Tagebuch der Anne Frank zwischen Text und Bild, Wort und Symbol». *Jahrbuch der Gesellschaft für Kinder- und Jugendliteraturforschung*, Dezember, 51–62. https://doi.org/10.21248/gkjf-jb.37.

Slater, Mel. 2009. «Place Illusion and Plausibility Can Lead to Realistic Behaviour in Immersive Virtual Environments». *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 364 (1535): 3549–57. https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0138.

Slater, Mel, und Maria V. Sanchez-Vives. 2016. «Enhancing Our Lives with Immersive Virtual Reality». *Frontiers in Robotics and AI* 3 (Dezember). https://doi.org/10.3389/frobt.2016.00074.

Slater, Mel, und Sylvia Wilbur. 1997. «A Framework for Immersive Virtual Environments (FIVE): Speculations on the Role of Presence in Virtual Environments». *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* 6 (6): 603–16. https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.6.603.

Smith, Shamus. P., und Elizabeth L. Burd. 2019. «Response activation and inhibition after exposure to virtual reality». *Array, 3:* 100010. https://doi.org/10.1016/j.array.2019.100010.

Steptoe, William, Anthony Steed, und Mel Slater. 2013. «Human Tails: Ownership and Control of Extended Humanoid Avatars». *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 19 (4): 583–90. https://doi.org/10.1109/TVCG.2013.32.

Sweller, John. 2010. «Element Interactivity and Intrinsic, Extraneous, and Germane Cognitive Load». *Educational Psychology Review* 22 (2): 123–38. https://doi.org/10.1007/s10648-010-9128-5.

Tverksy, Barbara. 2000. «Levels and structure of spatial knowledge». In *Cognitive Mapping. Past, present and future*, herausgegeben von Rob Kitchin, und Scott Freundschuh. London: Routledge. https://doi.org/10.4324/9781315812281.

Vlachopoulos, Dimitrios, und Agoritsa Makri. 2017. «The effect of games and simulations on higher education: a systematic literature review». *International Journal of Educational Technology in Higher Education* 14 (1): 22. https://doi.org/10.1186/s41239-017-0062-1.

Walk, Richard D. 1979. «Depth Perception and a Laughing Heaven». In *Perception and its Development*. Psychology Press.

Welsch, W. (2000). «Virtual to Begin with?» In *Subjektivität und Öffentlichkeit: Kulturwissenschaftliche Grundlagenprobleme virtueller Welten*, herausgegeben von Mike Sandbothe, und Winfried Marotzki, 25–60. Köln: Halem.

Wong, Zi Yang, und Gregory Arief D. Liem. 2021. «Student Engagement: Current State of the Construct, Conceptual Refinement, and Future Research Directions». *Educational Psychology Review* (34): 107–38. https://doi.org/10.1007/s10648-021-09628-3.

Zender, Raphael, Pia Sander, Matthias Weise, Miriam Mulders, Ulrike Lucke, und Michael Kerres. 2020. «HandLeVR: Action-Oriented Learning in a VR Painting Simulator». In *Emerging Technologies for Education*, herausgegeben von Elvira Popescu, Tianyong Hao, Ting-Chia Hsu, Haoran Xie, Marco Temperini, und Wei Chen, 46–51. Lecture Notes in Computer Science. Cham: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-38778-5_6.