

Virtual Reality, Augmented Reality und Serious Games als Educational Technologies in der beruflichen Bildung

Herausgegeben von Bernd Zinn

Franz Steiner Verlag



VIRTUAL REALITY, AUGMENTED REALITY UND SERIOUS GAMES ALS EDUCATIONAL TECHNOLOGIES IN DER BERUFLICHEN BILDUNG

Herausgegeben von
Bernd Zinn

Franz Steiner Verlag

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen
Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über
dnb.d-nb.de abrufbar.

Dieses Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt.
Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes
ist unzulässig und strafbar.

© Franz Steiner Verlag, Stuttgart 2024

www.steiner-verlag.de

Layout und Herstellung durch den Verlag

Druck: Beltz Grafische Betriebe, Bad Langensalza

Gedruckt auf säurefreiem, alterungsbeständigem Papier.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-515-13544-3 (Print)

ISBN 978-3-515-13548-1 (E-Book)

<https://doi.org/10.25162/9783515135481>

Inhaltsverzeichnis

BERND ZINN	
Editorial	7

Teil 1

Theoretisch-konzeptionelle Beiträge

MAXIMILIAN C. FINK / VOLKER EISENLAUER / DENIS FRISCHBIER / BERNHARD ERTL	
Zentrale Merkmale immersiver VR-Lernumgebungen	
<i>Eine Taxonomie veranschaulicht anhand von drei Beispielen</i>	13
KATHARINA KUNZ	
360°-Unterrichtsvideos in Virtual Reality in der beruflichen Lehrpersonenbildung	45
RUPERT HEINDL / DANIEL PITTICH	
Virtuelle Fachräume	
<i>Zugänge, didaktische Ansätze und Benefits für einen beruflichen Kompetenzerwerb ...</i>	73
CHARLOTTE KNORR	
Lerntheorien im Game Design digitaler Lernspiele	95
SEBASTIAN RIGLING / CHARLOTTE KNORR / BERND ZINN / MICHAEL SEDLMAIR	
Early Majority	
<i>Studierende entwickeln Virtual Reality, Augmented Reality und Mixed Reality Anwendungen in ihrem fachspezifischen Kontext</i>	117

Teil 2**Forschung zu virtuellen, erweiterten und spielbasierten Lernumgebungen**

CHRISTINA HIHN

360 Grad-Videos in virtueller Realität zur Vorbereitung auf Jobinterviews

*ViJo360, eine Studie zur Akzeptanz, Immersion und Präsenzerleben mit Personen**im Autismus-Spektrum, vergleichend zu einer neurotypischen Personengruppe* 139

CAMILLA WEHNERT / JULIA FRANZ

Interdisziplinäre Perspektiven auf Lernen mit Mixed Reality

Empirische Erkenntnisse und theoretische Reflexionen 173

EVELYN ISABELLE HOFFARTH / BERND ZINN

Eine Interviewstudie zu den Unterstützungsbedarfen und -potenzialen

von Virtual Reality für Personen im Autismus-Spektrum 203

PHOEBE PERLWITZ / PIA SPANGENBERGER / JENNIFER STEMMANN

Serious Games

*Effektive spielbasierte Lernanwendungen zur Förderung der**Selbstwirksamkeitserwartung in technischen Kontexten* 235

ANDREAS DENGEL / PETRA JESKE / WALTER KRUG

TPACK in der Beruflichen Rehabilitation

Eine Studie für die Ausbildung in Berufsbildungswerken 253

PIA SPANGENBERGER / NADINE MATTHES / FELIX KAPP / LINDA KRUSE /

IKEN DRAEGER / MARKUS KYBART / KRISTINA SCHMIDT

MARLA

*Entwicklung, Evaluation und Implementierung einer spielbasierten,**immersiven VR-Lernanwendung in der gewerblich-technischen Ausbildung* 269

Verzeichnis der Autorinnen und Autoren 287

Editorial

BERND ZINN

Wie viele andere Gesellschaftsbereiche auch befindet sich der Bildungsbereich derzeit in einem digitalen Transformationsprozess. Digitale Bildungstechnologien beziehungsweise Educational Technologies stehen mit ihrer doppelten Bedeutung im Mittelpunkt der beruflichen Aus- und Weiterbildung. Digitale Technik und Digitalisierung stellen einen Lerngegenstand dar, gleichzeitig nehmen sie eine methodisch-didaktische Bedeutung in der Lehre ein. Mit Educational Technologies (EdTech) werden vielfältige positive (disruptive) Aspekte für Lehrpersonen, Lernende und den Lehr- und Lernprozess im Allgemeinen verbunden. Zu den tatsächlichen Wirkungen der Nutzung von neuen EdTech in beruflichen Lehr- und Lernarrangements liegen bislang noch wenige empirische Befunde vor. Auch für die unterrichtliche Nutzung von Virtual Reality, Augmented Reality und Mixed Reality sowie von Serious Games in der beruflichen Aus- und Weiterbildung sind die theoretisch-konzeptuellen Grundlagen sowie der empirische Forschungsstand überschaubar und mit vielfältigen Forschungsdesideraten verbunden. So stellen sich beispielsweise Fragen zur Entwicklung der Lern- und Arbeitsumgebungen. Was ist didaktisch zu beachten und in welchen Lernbereichen können diese Technologien kompetenzfördernd wirken und damit den Erwerb beruflicher Handlungskompetenz unterstützen? In Bezug auf die doppelte Bedeutung von EdTech in der beruflichen Bildung stellt sich die Frage, wie das Lernen mit digitalen Medien bzw. technology-enhanced learning und das Lehren mit digitalen Medien bzw. technology-enhanced teaching sinnvoll miteinander verknüpft werden kann.

Der vorliegende Sammelband geht diesen und anderen Fragestellungen nach und soll den Leserinnen und Lesern einen Einblick in aktuelle theoretisch-konzeptuelle Grundlagen sowie die rezenten Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zu Virtual Reality, Augmented Reality, Mixed Reality und Serious Games geben. Die Autorinnen und Autoren der Beiträge betrachten hierzu im Kontext der einzelnen Technologie und der spezifischen Anwendung verschiedene Schwerpunkte, berichten von indivi-

duellen Entwicklungs- und Forschungsarbeiten und beschreiben Forschungsdesiderate im Bezugsfeld von neuen EdTech in der beruflichen Aus- und Weiterbildung.

Die theoretisch-konzeptionellen Beiträge im ersten Teil und die empirischen Beiträge im zweiten Teil des Sammelbandes adressieren ein zentrales Handlungsfeld im digitalen Transformationsprozess, liefern Ansatzpunkte für die berufliche Aus- und Weiterbildungspraxis und die wissenschaftliche Erforschung technologiebasierter Erfahrungswelten. Der vorliegende Sammelband soll damit fruchtbare Impulse für die technikkdidaktische Forschung in der beruflichen Aus- und Weiterbildung, der beruflichen Lehrpersonenbildung und der Hochschuldidaktik bereitstellen. Darüberhinausgehend können die einzelnen Beiträge auch die domänenübergreifende Forschung zu Virtual Reality, Augmented Reality, Mixed Reality und Serious Games mit ihren spezifischen Ausrichtungen ergänzen.

Der Sammelband ist in zwei Abschnitte gegliedert. Im ersten Teil beschäftigen sich die Autorinnen und Autoren in ihren theoretisch-konzeptionellen Beiträgen mit den zentralen Merkmalen computergenerierter virtueller Lernumgebungen, der Entwicklung von 360 Grad Unterrichtsvideos in Virtual Reality, den didaktischen Ansätzen für virtuelle Fachräume, dem Game Design digitaler Lernspiele sowie der Implementierung einer hochschulischen Lehrveranstaltung zu Virtual Reality, Augmented Reality und Mixed Reality. Der zweite Teil des Sammelbandes umfasst empirische Beiträge. Bei den Beiträgen handelt es sich um qualitative und quantitative Studien, wobei verschiedene Personengruppen wie etwa Lehrpersonen, Ausbilderinnen und Ausbilder, Schülerinnen und Schüler, neurodiverse und neurotypische Personen im Kontext der spezifischen Fragestellungen und der jeweils fokussierten Technologie betrachtet werden.

Teil 1: Theoretisch-konzeptionelle Beiträge

Im ersten Beitrag des ersten Teils, mit dem Titel „Zentrale Merkmale immersiver VR-Lernumgebungen: Eine Taxonomie illustriert anhand von drei Beispielen“ von *Maximilian C. Fink, Volker Eisenlauer, Denis Frischbier und Bernhard Ertl* wird eine Klassifikation zur Beschreibung und zum Vergleich von virtuellen Lernumgebungen vorgestellt, die die konzeptuelle Entwicklung von VR-Anwendungen unterstützen können.

Katharina Kunz berichtet in ihrem Beitrag mit dem Titel „360°-Unterrichtsvideos in Virtual Reality der beruflichen Lehrpersonenbildung“ vom theoretischen und empirischen Hintergrund zum Lehren und Lernen mit Unterrichtsvideos in VR. Darüber hinaus werden zwei Konzepte zum Einbezug von VR-Technologie in Lehr-Lernsettings dargestellt und hinsichtlich der Nutzungspotenziale für den Einsatz von 360°-Unterrichtsvideos in der beruflichen Lehrpersonenbildung betrachtet.

Rupert Heindl und *Daniel Pittich* beschäftigen sich in dem Beitrag „Virtuelle Fachräume – Zugänge, didaktische Ansätze und Benefits für einen beruflichen Kompetenzerwerb“ mit einem didaktisch-ausgerichteten Entwicklungsansatz für die Implemen-

tierung von Extended Reality (XR) Lernumgebungen. Neben der Konzeptvorstellung präsentieren die Autoren erste Umsetzungserfahrungen zum Projekt „Virtuelle Fachräume“.

Im Beitrag mit dem Titel „Lerntheorien im Game Design digitaler Lernspiele“ von *Charlotte Knorr* geht es um eine lerntheoretische Fundierung zum Game Design digitaler Lernspiele und dem Digital Game-Based Learning. Ausgehend von der Präsentation des theoretischen Hintergrunds und mehrerer Lernspiele entwickelt die Autorin eine Lerntheorie-Genre-Matrix, welche Entwicklerinnen und Entwickler bei den Entscheidungsprozessen zur Konfiguration von Game-Genres unterstützen kann.

Sebastian Rigling, Charlotte Knorr, Bernd Zinn und *Michael Sedlmair* berichten unter dem Beitragstitel „Early Majority – Studierende entwickeln Virtual Reality, Augmented Reality und Mixed Reality Anwendungen in ihrem fachspezifischen Kontext“ von einem Lernmodul, bei dem Studierende aus verschiedenen Studiengängen ohne Voraussetzungen zu VR, AR und MR, im Rahmen einer fachübergreifenden Schlüsselqualifikation selbst eine Anwendung konzipieren und erproben.

Teil 2: Forschung zu virtuellen, erweiterten und spielbasierten Lernumgebungen

Der erste empirische Beitrag stammt von *Christina Hihn*. Mit dem Haupttitel „360 Grad-Videos in virtueller Realität zur Vorbereitung auf Jobinterviews“ berichtet die Autorin von einer quasi-experimentellen Studie mit Personen im Autismus-Spektrum und einer neurotypischen Personengruppe. Untersuchungsgegenstand ist die vergleichende Betrachtung der Akzeptanz, der wahrgenommenen Immersion und des Präsenzerleben der beiden Subgruppen sowie die Analyse von schwierigkeitsbestimmenden Merkmalen der VR Anwendung.

Mit dem Titel „Interdisziplinäre Perspektiven auf Lernen mit Mixed Reality – Empirische Erkenntnisse und theoretische Reflexionen“ berichten *Camilla Wehnert* und *Julia Franz* von einer durchgeführten qualitativen Studie, in der Potenziale und Herausforderungen im Kontext einer betrieblichen Aus- und Weiterbildung im Maschinen- und Anlagenbau betrachtet werden. Im Zentrum der Studie steht dabei die Analyse von fördernden und hemmenden Aspekten zur interdisziplinären Zusammenarbeit im Bereich der Entwicklung von Mixed-Reality Simulationsmodellen.

Evelyn Hoffarth und *Bernd Zinn* beschäftigen sich in ihrem Beitrag mit dem Titel „Eine Interviewstudie zu den Unterstützungsbedarfen und -potenzialen von Virtual Reality für Personen im Autismus-Spektrum“ mit potenziellen VR Use Cases für neurodiverse und -typische Personen. Die qualitativen Befunde der Befragung von Expertinnen und Experten belegen, dass vor allem in Use Cases zur Förderung der Flexibilitäts-, Inhibitions- und Kommunikationsfähigkeit Potenziale gesehen werden,

um ein wechselseitiges Verständnis zwischen Personen im Autismus-Spektrum und neurotypischen Personen zu unterstützen.

Im Beitrag von *Phoebe Perlwitz, Pia Spangenberg* und *Jennifer Stemmann* „Serious Games – Effektive spielbasierte Lernanwendungen zur Förderung der Selbstwirksamkeitserwartung in technischen Kontexten“ werden zwei Serious Games präsentiert. In ihren Studien betrachten die Autorinnen die Wirkungseffekte bei Schülerinnen und Schülern im Kontext der Förderung der Selbstwirksamkeitserwartung und der beruflichen Orientierung in technischen Disziplinen.

Andreas Dengel, Petra Jeske und *Walter Krug* beschäftigen sich in ihrem Beitrag mit dem Titel „TPACK in der Beruflichen Rehabilitation: Eine Studie für die Ausbildung in Berufsbildungswerken“ zuerst mit der Analyse des digitalisierungsbezogenen Wissens von Ausbilderinnen und Ausbildern, die in der beruflichen Rehabilitation tätig sind. Aufbauend darauf, stellen sie ein Konzept eines Zertifikatkurses für die Befragten vor, bei dem VR als methodisch-didaktisches Ausbildungselement vorgesehen ist.

Der Beitrag mit dem Titel „MARLA. Entwicklung, Evaluation und Implementierung einer spielbasierten, immersiven VR-Lernanwendung in der gewerblich-technischen Ausbildung“ ist von *Pia Spangenberg, Nadine Matthes, Felix Kapp, Linda Kruse, Iken Draeger, Markus Kybart* und *Kristina Schmidt*. Neben der Beschreibung der VR Spieleumgebung, berichten die Autorinnen und Autoren von empirischen Erkenntnissen, die Hinweise für die Gestaltung von VR Lernumgebungen liefern sowie zu den kognitiven, motivationalen und affektiven Effekten der Nutzung der im Mittelpunkt stehenden Spielumgebung.

Abschließend bedanke ich mich bei allen Autorinnen und Autoren für die vorliegenden Beiträge. Mein besonderer Dank gilt meiner VR-Forschungsgruppe in der Abteilung Berufspädagogik mit Schwerpunkt Technikdidaktik am Institut für Erziehungswissenschaft der Universität Stuttgart. Mein Dank gilt dabei insbesondere Katharina Kunz für redaktionellen Arbeiten am Sammelband. Zudem bedanke ich mich bei Maria Zinn für das Lektorat.

Teil 1

Theoretisch-konzeptionelle Beiträge

Zentrale Merkmale immersiver VR-Lernumgebungen

Eine Taxonomie veranschaulicht
anhand von drei Beispielen

MAXIMILIAN C. FINK / VOLKER EISENLAUER /
DENIS FRISCHBIER / BERNHARD ERTL

Zusammenfassung: Virtual Reality (VR) findet verstärkt Verbreitung und wird zunehmend eine größere Rolle in der Aus- und Weiterbildung spielen. Der vorliegende Beitrag leitet zentrale Merkmale immersiver VR-Lernumgebungen aus der Literatur ab und stellt eine Taxonomie vor, die anhand von drei Beispiel-Lernumgebungen veranschaulicht wird. Daraufhin werden Gemeinsamkeiten und Besonderheiten der Lernumgebungen besprochen und die Bedeutung ihrer zentralen Merkmale diskutiert. Die herausgearbeitete Taxonomie kann für die Beschreibung und den Vergleich von Lernumgebungen genutzt werden, Entwicklungsprozesse unterstützen und Forschenden neue Anregungen bieten.

Schlüsselwörter: Virtuelle Realität, Instruktionsdesign, Gestaltungsmerkmale, Taxonomie

Key Features of Immersive VR Learning Environments

A Taxonomy Illustrated Based on Three Examples

Abstract: Virtual Reality (VR) is gaining popularity and will increasingly play a greater role in training and development. This contribution derives key features of immersive VR learning environments from the literature and presents a taxonomy illustrated by three example learning environments. Then, the commonalities and peculiarities of the learning environments are reviewed, and the significance of their key features is discussed. The taxonomy can be used to describe and compare learning environments, support development processes, and provide researchers with new ideas.

Keywords: Virtual reality, instructional design, design features, taxonomy

1 Einleitung

Virtual Reality (VR) bezeichnet „die Wahrnehmung in einer nicht-physischen Welt präsent zu sein“ (Freina & Ott, 2015, S. 133) sowie die Technologien selbst, die diese Wahrnehmung erzeugen (Kavanagh, Luxton-Reilly, Wuensche & Plimmer, 2017). VR wird in den nächsten Jahren für die berufliche Aus- und Weiterbildung immer mehr an Bedeutung gewinnen. Die Anzahl an Studien und wissenschaftlichen Publikationen, die sich mit dem Lernen in der VR beschäftigen, hat in der Vergangenheit stark zugenommen (Pellas, Dengel & Christopoulos, 2020) und dürfte ebenfalls weiter ansteigen. Es fällt jedoch auf, dass nur wenige Publikationen aus dem Bildungsbereich die Gestaltungsmerkmale von VR-Lernumgebungen differenziert bestimmen und untersuchen (Pellas, Mystakidis & Kazanidis, 2021; Radianti, Majchrzak, Fromm & Wohlgenannt, 2020). Eine nähere Bestimmung zentraler Merkmale von VR-Lernumgebungen bildet jedoch eine wichtige Grundlage für die Ermittlung von pädagogisch-didaktischen Mehrwerten (Radianti et al., 2020). Sie kann einen theoretischen Beitrag leisten, wenn Aspekte von ihr in Literaturreviews, Metaanalysen und theoretische Modelle aufgenommen oder gezielt in längeren empirischen Studienprogrammen variiert werden. Darüber hinaus ist die Herausarbeitung von zentralen Merkmalen hilfreich für die Praxis, da sie den gezielten Vergleich von VR-Lernumgebungen ermöglichen und Entwicklungsprozesse unterstützen kann. Für die Aus- und Weiterbildung bietet immersive VR vielfältige Anwendungszwecke. Erstens können in der VR wichtige Arbeitstätigkeiten eingeübt werden, deren Schulung in der Aus- und Weiterbildung bisher mit einem hohen Planungs-, Ressourcen- und Personalaufwand verbunden ist (Schuster et al., 2016; Zinn, 2020). Zweitens können durch VR-Lernumgebungen relevante emotionale Erfahrungen gemacht werden, die sonst nur durch Exkursionen oder Praktika vermittelt werden können (Schuster et al., 2016). Drittens können VR-Lernumgebungen die Funktionsweise von (technischen) Systemen so abbilden, dass tiefgreifende Einsichten in Systemprozesse und -merkmale ermöglicht werden (Zinn, 2020). Hierbei können Systeme innerhalb der VR sogar in ihrer Komplexität reduziert und mit lehrreichem Material angereichert werden (Zinn, 2019). Außerdem können hierdurch vorbereitungs- oder kostenintensive Laborexperimente, die einen wichtigen Stellenwert in einigen Aus- und Weiterbildungsbereichen einnehmen, ersetzt oder ergänzt werden (Schuster et al., 2016). Im Folgenden wird zunächst auf VR als Technologie eingegangen, bevor zentrale Merkmale von VR-Lernumgebungen aus der Literatur abgeleitet und in einer Taxonomie zusammengetragen werden. Anschließend werden drei VR-Lernumgebungen anhand dieser Taxonomie vorgestellt. Im Resümee werden weitere wichtige Charakteristika diskutiert, die in ausführlichere Taxonomien der Merkmale von VR-Lernumgebungen aufgenommen werden können. Außerdem werden Implikationen der vorgestellten Taxonomie diskutiert.

1.1 VR als Technologie für Lern- und Bildungszwecke

VR wird als Technologie durch ein Zusammenspiel spezieller Hard- und Software ermöglicht. Auf der Hardwareseite lässt sich nicht-immersiver VR von immersiver VR unterscheiden (Freina & Ott, 2015). Unter nicht-immersiver VR wird die Ausführung von VR-Applikationen auf einem Desktop-PC oder Laptop mit einem gewöhnlichen Bildschirm verstanden. Diese Art von VR ist typischerweise mit einer geringen Präsenzwahrnehmung verbunden. Als immersive VR werden zwei Arten von Hardware-Systemen bezeichnet: Cave Automatic Virtual Environments (CAVE) und VR-Brillen. Bei CAVE-Systemen werden mehrere Bildschirme und Bewegungstracker in einem Raum fest installiert, sodass sie den Betrachter umgeben. Diese Art von Hardware erzielt hohe Immersion, ist aber mit einem beträchtlichen Kosten- und Wartungsaufwand verbunden. In den letzten Jahren wurden bei der Entwicklung von VR-Brillen große technische Fortschritte erzielt. Zum einen sind heutzutage VR-Brillen mit besonders hochauflösenden Displays verfügbar, die kabelgebunden an einem leistungsstarken Rechner betrieben werden. Zum anderen gibt es bereits Standalone-VR-Brillen mit scharfen Displays, die über genaues Tracking ohne externe Bewegungstracker verfügen und durch ihre leistungsstarken Prozessoren und Grafikchips autark betrieben werden können. Da diese Standalone-VR-Brillen zudem immer leichter und komfortabler werden, ist damit zu rechnen, dass sie innerhalb der nächsten Jahre immer besser in Aus- und Weiterbildungskontexte integriert werden können. Als Software kommen auf den genannten VR-Hardware-Systemen für Lern- und Bildungszwecke insbesondere Simulationen, Serious Games, und 360-Grad-Lehrfilme zum Einsatz. Simulationen bezeichnen Software, in der Systeme oder Phänomene abgebildet werden, die durch Manipulation verändert werden können (Plass & Schwartz, 2014); hierdurch kann die Auswirkung von Prozessen oder Vorgängen betrachtet und nachvollzogen werden. Serious Games sind Computerspiele, die mit einem didaktischen Ziel erstellt und eingesetzt werden. Sie verfügen über spielerische Merkmale, wie Belohnungssysteme (Plass & Schwartz, 2014). Ebenso können 360-Grad-Lehrfilme, die aus sphärischen Videos bestehen, mit einem didaktischen Ziel erstellt und eingesetzt werden (Eisenlauer & Sosa, 2022). Die verschiedenen, genannten VR-Softwarearten, die Lern- und Bildungszwecke verfolgen, sollten als relativ grobe Kategorien verstanden werden. Der folgende Beitrag wird zeigen, dass in ihnen mehrere zentrale Merkmale enthalten sind, die stark variieren können.

1.2 Zentrale Merkmale von VR-Lernumgebungen

Als nächstes werden einige Begriffe beschrieben, die mit zentralen Merkmalen von VR-Lernumgebungen zu tun haben. Die Begriffe Designmerkmale, Designelemente, Design Features, Gestaltungsprinzipien und Gestaltungsmerkmale sind im Instructio-

nal Design, der Lehr-Lernforschung und der Mediendidaktik geläufig (z. B. McKenney & Reeves, 2019; Radianti et al., 2020). In diesen Kontexten werden sie genutzt, um die Natur und Essenz von computerbasierten Lernumgebungen genauer abzubilden. Der ähnliche Terminus pädagogische Affordanzen ist in der Mediendidaktik und den Bildungswissenschaften verbreitet. Unter pädagogischen Affordanzen werden wichtige Eigenschaften von Umwelten oder den darin enthaltenen Objekten verstanden, die bestimmte Nutzungsinteraktionen oder -erlebnisse ermöglichen (Dickey, 2003). Um zentrale Merkmale zu ermitteln, die VR-Lernumgebungen systematisch abbilden und dabei ihre Eigenheiten beachten, haben wir zwei Arten von Publikationen berücksichtigt: Texte, die sich auf computerbasierte Lernumgebungen beziehen, sowie Texte, die sich explizit mit VR-Lernumgebungen beschäftigen. In unsere Sichtung von zentralen Merkmalen gingen Metaanalysen, Literaturreviews, Theoriemodelle, technische Berichte sowie Texte aus dem Instructional Design und der Mediendidaktik ein. Im Folgenden werden inhaltliche, didaktische, entwicklungsmethodische und interaktive Merkmale beschrieben, die eine Taxonomie bilden (siehe Tab. 1) und in den später vorgestellten VR-Lernumgebungen variieren. Verweise auf Quellen, aus denen die vorgestellten Merkmale abgeleitet wurden, finden sich bei den Merkmalen selbst.

1.3 Inhaltliche Merkmale von VR-Lernumgebungen

Thema und Gegenstand stellen wichtige Merkmale von VR-Lernumgebungen dar. Das Thema beschreibt, welche Aspekte und Aufträge im Vordergrund der VR-Lernumgebung stehen (Cook et al., 2013; Huwendiek et al., 2009). Ein Beispiel für ein Thema wäre das Arzt-Patienten-Gespräch, das in einer medizinischen VR-Lernumgebung im Mittelpunkt stehen kann. Das genannte Thema weist bereits auf die Aufträge der Lernenden hin, diagnostisch tätig zu sein und mit dem Patienten zu kommunizieren. Bezüglich des Gegenstands können VR-Lernumgebungen zum einen Situationen abbilden und repräsentieren. Gerade in Domänen wie der Medizin werden berufliche Anforderungssituationen in ihrem Ablauf abgebildet. Hierfür werden diese Situationen durch sogenannte Szenarios näher bestimmt, welche die zeitlichen Verläufe, Handlungs- und Interaktionsmöglichkeiten, sowie Rollen für beteiligte (virtuelle) Personen spezifizieren (Holland, Sadler & Nunn, 2008). Zum anderen können VR-Applikationen auch Systeme abbilden und repräsentieren (Dörner, Broll, Jung, Grimm & Göbel, 2019). Simulierte Systeme finden sich insbesondere in VR-Applikationen für den MINT-Bereich (Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften, Technik). In diesem Bereich nimmt die Abbildung technischer oder natürlicher Phänomene beziehungsweise das Experimentieren eine wichtige Rolle ein (Hofstein & Lunetta, 2004; Linn, 2003). Darüber hinaus können VR-Applikationen auch die Abbildung und Repräsentation eines Objekts in den Mittelpunkt stellen (Dörner et al., 2019). Ein Bereich, in dem diesem Schwerpunkt eine große Bedeutung zukommt, ist zum Beispiel die

Architektur, in der die Betrachtung von Gebäuden und Landschaften aus verschiedenen Blickwinkeln wichtig ist. Komplexe Lernumgebungen können selbstverständlich mehrere der genannten Abbildungen und Repräsentationen von Gegenständen enthalten und miteinander vereinen. Ein weiteres wichtiges inhaltliches Merkmal sind die Stoffeigenschaften. Zuerst muss betrachtet werden, welchen Umfang der Stoff hat. Der Umfang des Stoffes kann beispielsweise in der Dauer der VR-Applikation oder der Anzahl der Textseiten der Stoffvorlage angegeben werden. Auch die Stoff- und Aufgabenschwierigkeit sollte berücksichtigt werden. Die Schwierigkeit konkreter Inhalte zu beschreiben ist kein einfaches Unterfangen. Sie ergibt sich im Zusammenspiel der Fähigkeiten der Lernenden (z.B. Vorwissen, Intelligenz, Motivation) und den vielfältigen Anforderungen, die Stoff und Kontext stellen (Bloom, 1976). Unter diese Anforderungen fallen Eigenschaften wie die Stoffmenge, Stoffkomplexität, Aufgabenstellungen, und das Prüfungsformat. Eine Angabe des Schwierigkeitsgrads durch die Entwickelnden der VR-Lernumgebung für eine bestimmte Zielgruppe kann eine sinnvolle erste Orientierung bieten, auch wenn sie nicht all diese Faktoren vollumfänglich und systematisch berücksichtigt und nicht auf empirischen Daten basiert. Darüber hinaus ist interessant, wie der Stoff gegliedert beziehungsweise strukturiert ist (Meyer, 2003). Da VR-Lernumgebungen auf verschiedenen didaktischen Rationalen basieren können (Luo, Li, Feng, Yang & Zuo, 2021), kann der Stoff unter anderem in thematische Einheiten, einzelne oder mehrere (Experimentier- und Beobachtungs-) Stationen, sowie einzelne oder mehrere zu bearbeitende Fälle untergliedert sein. Interessant ist hierbei auch, ob die Bestandteile des Stoffes aufeinander aufbauen oder voneinander unabhängig sind. Relevant sind Stoffeigenschaften wie Umfang, Schwierigkeit und Gliederung, weil sie auf Navigationsverhalten einwirken und kognitiv-affektive Lernprozesse beeinflussen könnten, die in Rahmenmodellen des Lernens in der VR (z.B. Makransky & Petersen, 2021) eine wichtige Rolle einnehmen. VR-Lernumgebungen werden außerdem beim Einsatz in der Praxis häufig durch begleitende Materialien ergänzt und strukturiert (Mulders, Buchner & Kerres, 2022). Zur Vor- und Nachbereitung kommen hierfür sogenannte Briefings, Tutorials und Debriefings zum Einsatz. In Briefings werden vorrangig die Lernziele und Aufgaben erläutert. Tutorials dienen zur Einführung in die Steuerung und zur Orientierung der Lernenden. Debriefings werden vor allem dazu genutzt, über die Leistung bei der Teilnahme zu reflektieren. In konkreten Aus- und Weiterbildungskontexten wäre es außerdem erstrebenswert, dass sowohl Sequenzpläne zur Planung zusammenhängender thematischer Einheiten als auch eine Planung für Einzelstunden vorliegen. Sequenzpläne und Planungen für Einzelstunden können weitere Aktivitäten des Lernens und Lehrens bestimmen und die Rolle und Funktion der VR-Lernumgebung in größeren Kontexten spezifizieren.

1.4 Didaktische Merkmale von VR-Lernumgebungen

Innerhalb der didaktischen Merkmale spielt das didaktische Rational eine zentrale Rolle. Mehrere Metaanalysen und Literaturreviews nehmen dieses Merkmal auf, welches die verfolgten pädagogischen Ansätze der Entwickelnden beschreibt (z. B. Luo et al., 2021; Radianti et al., 2020). Es ist davon auszugehen, dass das intendierte didaktische Rational kognitive und affektive Prozesse anstoßen und viele kleinere Entscheidungen im Entwicklungsprozess beeinflussen kann. Beispiele für ein didaktisches Rational sind entdeckendes Lernen sowie fallbasiertes Lernen. Auch pädagogische Ansätze und Modelle mit einem engeren VR-Bezug, wie der Verweis auf das Extended Model of Immersive Learning in Virtual Reality (Vogt, 2021), können hier angeführt werden. Aus diesen Beispielen wird bereits ersichtlich, dass sich das didaktische Rational auf übergreifende Sammelbegriffe und einzelne Theorien mit weiterem oder engerem VR-Bezug richten kann. Beim gleichzeitigen Bestehen von mehreren didaktischen Rationalen empfiehlt es sich jedoch, diese einzeln zu nennen, um eine klare Beschreibung zu erreichen. Lernziele spielen bei der Erstellung und Planung von VR-Lernumgebungen ebenfalls eine wichtige Rolle. Bloom et al. (1956) unterscheiden in einer bekannten Taxonomie zwischen den sechs kognitiven Lernzielen Wissen, Verstehen, Anwendung, Analyse, Synthese und Evaluation. Zusätzlich zu diesen kognitiven Lernzielen können die affektiven Lernziele in VR-Lernumgebungen auch mit Taxonomien beschrieben werden (Krathwohl, Bloom & Masia, 1964). Bei der vergleichenden Beschreibung von VR-Lernumgebungen in Literaturreviews werden Lernziele aber häufig nicht anhand detaillierter Taxonomien angegeben, sondern mit breiteren, allgemein-verständlichen Begriffen benannt (Kavanagh, Luxton-Reilly, Wuensche & Plimmer, 2017; Radianti et al., 2020). Beispielsweise stellen einige VR-Lernumgebungen Wissensvermittlung in den Vordergrund, während andere einen Schwerpunkt auf emotional-motivationale Förderung oder die Förderung kommunikativer Kompetenzen legen (Kavanagh et al., 2017; Radianti et al., 2020). Neben den beschriebenen Merkmalen sind in VR-Lernumgebungen auch Unterstützungsmaßnahmen eingebettet (Luo et al., 2021; Vogt, 2021). Diese Unterstützungsmaßnahmen wirken als Scaffolding und ermöglichen den Lernenden die erfolgreiche Bewältigung anspruchsvoller Aufgaben (Wood, Bruner & Ross, 1976): Sie vereinfachen die Schwierigkeit von Aufgaben so, dass Lernende die gesamte Aufgabe ausführen können, und lenken die Aufmerksamkeit auf relevante Aufgabenmerkmale oder -inhalte, die die Bearbeitung erleichtern (Reiser, 2004). Prompts und Feedback können als Ausprägungsbeispiele solcher Unterstützungsmaßnahmen gesehen werden (Belland, 2014). Zudem können Lernumgebungen den Einsatz bestimmter Lernstrategien anregen (Mulders, Buchner & Kerres, 2020). So können bestimmte generative Strategien induziert werden, indem Aufgaben zu einer tieferen Auseinandersetzung mit dem Lernstoff gestellt oder Lernprodukte erstellt werden (Fiorella & Mayer, 2016). Ein Beispiel hierfür ist das Verfassen kurzer mündlicher Zusammenfassungen, das in VR-Lernum-

gebungen integriert werden kann (Mulders et al., 2020). Die Betrachtung explizit-angeregter Lernstrategien ist auch deshalb interessant und vielversprechend, da viele klassische Lernstrategien in VR-Lernumgebungen durch das Tragen einer VR-Brille nur eingeschränkt oder gar nicht möglich sind.

1.5 Entwicklungsmethodische Merkmale von VR-Lernumgebungen

Ein wichtiges entwicklungsmethodisches Merkmal liegt in der Entwicklungsart, mit der die technische und konzeptionelle Entwicklung der Software stattfindet. Erstens kann es dazu kommen, dass keine Entwicklung stattfindet. So existieren für einige Themen bereits professionelle Serious VR Games oder Simulationen. Solche Applikationen könnten für bestimmte Zwecke in der Aus- und Weiterbildung ohne Anpassung verwendet werden. Zweitens kann eine Eigenentwicklung stattfinden. Die technische und konzeptionelle Entwicklung wird dann von Personen geleistet, die am Einsatz der VR-Lernumgebungen in der Praxis beteiligt sind. Drittens kann eine Fremdentwicklung erfolgen. Hierbei steuern die am Einsatz der VR-Lernumgebung beteiligten Personen häufig inhaltliches Wissen bei und helfen bei der Planung. Die technische Entwicklung findet dann durch externe Partner statt. Das Entwicklungsvorgehen muss ebenfalls betrachtet werden. Eine Möglichkeit VR-Applikationen zu entwickeln, liegt in der Modifizierung vorhandener Software. Hierbei werden zum Beispiel Texturen oder Objekte in Lernumgebungen eingesetzt, oder Level selbst gestaltet (de Freitas, 2006). Auch durch die Nutzung von Videoschnittprogrammen und Autorentools können VR-Lernumgebungen erstellt werden. Videoschnittprogramme wie Adobe Premier Pro ermöglichen es aus 360-Grad-Einzelvideos zusammenhängende Filme zu erstellen und Inhalte, wie visuelle Hervorhebungen, in diese einzufügen. Autorentools erlauben eine schnelle und komfortable Entwicklung von VR-Lernumgebungen ohne zu programmieren. Diese Programme stellen Standardfunktionen, wie die räumliche Navigation durch Teleportation, bereit und erlauben kleinere Anpassungen über einen Editor. Ein bekanntes Autorentool für die Erstellung von 360-Grad-Video-Touren ist 3DVista. Für die Erstellung von VR-Applikationen, die Computerspielen ähneln und aus 3D-Leveln bestehen, ist Mozilla Hubs ein bekanntes Autorentool. Darüber hinaus können VR-Applikationen auch durch Programmierung mit Game Engines entwickelt werden. Der Vorteil von Game Engines liegt darin, dass System-Simulationen und individuelle Anpassungen möglich sind. Der Nachteil von Game Engines besteht darin, dass die Entwicklung relativ viel Zeit und tiefergehende Kenntnisse erfordert. Die verbreitetsten Game Engines für die Erstellung von VR-Applikationen sind aktuell die Unreal Engine und die Unity Engine. Für beide Game Engines gibt es Bibliotheken, Pakete und Add-ons, die die Entwicklung erleichtern. Auch die Art der Objekte in der Lernumgebung kann sich zwischen VR-Lernumgebungen unterscheiden. Je nach gewählttem technischem Vorgehen kommen hier 360-Grad-Videos, mit Grafikpro-

grammen erstellte 3D-Modelle, und durch Photogrammetrie sowie Laserscanning erstellte 3D-Modelle vor. Unter 360-Grad-Videos werden sphärische Videos verstanden. Diese Art von Videos kann für Aus- und Weiterbildungskontexte erzeugt werden, indem Handlungen und Situationen basierend auf didaktischen Überlegungen gezielt ausgewählt werden und dann Drehbücher erstellt werden. Anschließend werden die Videos mit Schauspielern, Komparsen und Requisiten verfilmt und geschnitten (Eisenlauer & Sosa, 2022). Durch Grafikprogramme erstellte 3D-Modelle finden sich in vielen Serious VR Games und Simulationen. Für die Erstellung dieser Objekte kommt Software wie blender zum Einsatz, mit der 3D-Gittermodelle, Texturen und Animationen erstellt werden. Durch Photogrammetrie und Laserscanning werden 3D-Objekte automatisch aus Sensordaten von Kameras beziehungsweise Laserscannern erzeugt. Computerprogramme wie RealityCapture ermitteln dann mit Algorithmen die Übereinstimmungen verschiedener Aufnahmen und erzeugen ein kohärentes 3D-Modell. Die hierbei erzeugten 3D-Gittermodelle und -texturen versprechen einen hohen Grad an Realitätstreue und Authentizität (Nebel, Beege, Schneider & Rey, 2020) und werden in den nächsten Jahren immer mehr Eingang in VR-Lernumgebungen finden (Fink, Sosa, Eisenlauer & Ertl, 2023).

1.6 Interaktive Merkmale von VR-Lernumgebungen

Ein wichtiges interaktives Merkmal ist die Bearbeitungsart. In dieser Hinsicht muss zwischen einem individuellen und kollaborativen Bearbeitungsmodus unterschieden werden. Bei einer individuellen Bearbeitung nehmen einzelne Lernende an der VR-Applikation teil, bei einer kollaborativen Bearbeitung mehrere. Diese Unterscheidung der Bearbeitungsmodi hat große Relevanz, da beim kollaborativen computerunterstützten Lernen zusätzliche und andere Lernprozesse, wie der Austausch von Informationen, auftreten, die beim individuellen Lernen nicht anzutreffen sind (Vogel & Fischer, 2020). In (kollaborativen) Bearbeitungssituationen können zudem verschiedene Zielstrukturen vorherrschen (Deutsch, 2011). Ist die Zielerreichung der Lernenden voneinander unabhängig, liegt eine individualistische Zielstruktur vor. Wenn alle Lernenden die Möglichkeit haben ein Ziel zu erreichen, und sich hierbei unterstützen können, spricht man von einer kooperierenden Zielstruktur (Deutsch, 2011). Ähnlich dazu ist die kollaborative Zielstruktur, bei der eine gleichzeitige Zusammenarbeit zur Zielerreichung notwendig ist. Kann hingegen nur ein Teil der Lernenden ein Ziel erreichen, ist von einer kompetitiven Zielstruktur die Rede (Deutsch, 2011). Diese Zielstrukturen beeinflussen maßgeblich Zusammenarbeitsprozesse, aber auch Emotionen der Lernenden. Auch die Interaktionspartner in den VR-Lernumgebungen müssen näher betrachtet werden. Individuelle Lernumgebungen können – aber müssen nicht – einen großen Fokus auf die Betrachtung von Objekten oder Systemen legen. In solchen Fällen kann es sein, dass Lernumgebungen keine Partner enthalten.

Zudem können individuelle und kollaborative Lernumgebungen virtuelle Agenten enthalten (Merchant, Goetz, Cifuentes, Keeney-Kennicutt & Davis, 2014). Diese virtuellen Agenten können unter Verwendung von Avataren oder Videoclips Personen und ihre Handlungen simulieren. In kollaborativen Lernumgebungen können zudem Personen eingebunden sein. Hierbei ist es möglich, dass die Personen im Sinne eines Multiplayer-Modus gemeinsam an der Bearbeitung von Aufgaben teilnehmen, oder – zum Beispiel per Videochat – miteinander kommunizieren. Ein weiteres interaktives Merkmal ist die räumliche Navigation (Schmeil, Eppler & de Freitas, 2012). Es gibt VR-Lernumgebungen, in denen eine limitierte räumliche Navigation möglich ist. Ein Beispiel hierfür sind 360-Grad-Lehrfilme, die mit einer VR-Brille dargeboten werden und ohne umfangreichere Nutzerinteraktionen abgespielt werden. Teilnehmende können sich hier nicht an andere Orte fortbewegen, aber ihre eigene Perspektive am aktuellen Ort verändern. Ein anderes Beispiel hierfür sind VR-Applikationen, in denen 3D-Modelle und Animationen betrachtet werden, ohne dass sich Teilnehmende räumlich fortbewegen. Darüber hinaus kann die limitierte räumliche Navigation (temporär) vorliegen, wenn Videoclips und Zwischensequenzen gezeigt werden. In anderen VR-Lernumgebungen findet eine räumliche Navigation durch Teleportation oder eine Auswahl über Menüs statt. In diesen VR-Lernumgebungen kann an eine determinierte, aber eingeschränkte Auswahl an Orten navigiert werden. Wieder andere VR-Lernumgebungen ermöglichen eine Navigation durch freies Bewegen (Schmeil et al., 2012). Das freie Bewegen im Raum kann zu mehr Simulationsübelkeit führen als die anderen Navigationsmöglichkeiten, erlaubt es aber an viele Orte in der Lernumgebung zu gelangen und diese aus verschiedenen Perspektiven zu betrachten.

Als letztes muss die inhaltliche Navigation als interaktives Merkmal genauer angesehen werden (Huwendiek et al., 2009). Unter diesem Begriff werden die inhaltlichen Pfade durch die Lernumgebung verstanden. Eine lineare Navigation erlaubt es Nutzenden sich entlang eines Pfades von Inhalten in einer vorgegebenen Reihenfolge zu bewegen. Rückwärtsbewegungen können hierbei zum Teil eingeschränkt werden. Am Ende des Pfades befindet sich ein fixer Endpunkt, der besucht werden soll. Eine verzweigende Navigation gestattet es Nutzenden, sich an bestimmten oder allen Punkten frei von Punkt zu Punkt zu begeben. Obwohl es eine größere Freiheit als bei der linearen Navigation gibt, können Pfade auch durch getätigte Eingaben, Systemzustände oder die Bearbeitungszeit eingeschränkt werden. Am Ende der verzweigenden Navigation können mehrere, unterschiedliche Endpunkte stehen. Natürlich kann es in VR-Lernumgebungen auch zu Mischformen dieser Navigationsarten kommen. Beispielsweise kann in einem Abschnitt einer VR-Lernumgebung eine lineare Navigation, in einem anderen Abschnitt aber eine verzweigende Navigation vorliegen.

Tab. 1 Taxonomie der zentralen Merkmale von VR-Lernumgebungen

Merkmal	Definition	Ausprägungen und Beispiele
Inhaltliche Merkmale		
Thema und Gegenstand	Beschreibung des Themas und des Gegenstandes, der im Mittelpunkt der VR-Lernumgebung steht.	– Beschreibung des Themas – <i>Arzt-Patienten-Gespräch</i> – Gegenstand – Situation – Objekt – System
Stoffeigenschaften	Umfang, Schwierigkeit und Gliederung des Stoffes.	– Stoffumfang – Dauer – Textseiten der Stoffvorlage – Stoff- und Aufgabenschwierigkeit für die Zielgruppe – Stoffgliederung – <i>Einheiten</i> – <i>Stationen</i> – <i>Fälle</i>
Begleitende Materialien	Vor- und Nachbereitungsinhalte, die zusätzlich zur VR-Lernumgebung bei der Nutzung zum Einsatz kommen sowie Materialien, die den Einsatz strukturieren.	– Briefing – Tutorial – Debriefing – Planungen für Einzelstunden – Sequenzpläne
Didaktische Merkmale		
Didaktisches Rational	Pädagogische Ansätze, auf die sich die Entwickelnden berufen und die die Entwicklungsentscheidungen beeinflussen.	– <i>Entdeckendes Lernen</i> – <i>Fallbasiertes Lernen</i> – <i>Extended Model of Immersive Learning in Virtual Reality</i>
Lernziele	Für die Zielgruppe angestrebte Veränderungen nach der Teilnahme an der VR-Lernumgebung.	– <i>Wissensvermittlung</i> – <i>Emotional-motivationale Förderung</i> – <i>Förderung kommunikativer Kompetenzen</i>
Unterstützungsmaßnahmen und Anregung von Lernstrategien	Scaffoldingmaßnahmen sowie Maßnahmen zur gezielten Anregung bestimmter Lernstrategien.	– Scaffoldingmaßnahmen – <i>Prompts</i> – <i>Feedback</i> – Anregung von Lernstrategien – <i>Mündliche Zusammenfassungen</i>

Merkmal	Definition	Ausprägungen und Beispiele
Entwicklungsmethodische Merkmale		
Entwicklungsart	Art der technischen und konzeptionellen Entwicklung der VR-Lernumgebung.	– Keine Entwicklung – Eigenentwicklung – Fremdentwicklung
Entwicklungsvorgehen	Eingesetztes Vorgehen zur Entwicklung der VR-Lernumgebung.	– Modifizierung vorhandener Software – Nutzung eines Videoschnittprogramms – Nutzung eines Autorentools – Programmierung mit einer Game Engine
Art der Objekte in der Lernumgebung	Art der in der Lernumgebung enthaltenen Objekte unter Einbeziehung des wählten technischen Vorgehens.	– 360-Grad-Videos – Durch Grafikprogramme erstellte 3D-Modelle – Durch Photogrammetrie erstellte 3D-Modelle – Durch Laserscanning erstellte 3D-Modelle
Interaktive Merkmale		
Bearbeitungsart	Bearbeitungsmodus, Zielstruktur, sowie Interaktionspartner.	– Bearbeitungsmodus – Individuell – Kollaborativ – Zielstruktur – Individualistisch – Kooperativ – Kollaborativ – Kompetitiv – Interaktionspartner – Keine Partner – Virtuelle Agenten – Personen
Räumliche Navigation	Räumliche Fortbewegung in der Lernumgebung.	– Limitierte räumliche Navigation – Navigation durch Teleportation/ Menüs – Navigation durch freies Bewegen
Inhaltliche Navigation	Inhaltlich Pfade durch die Lernumgebung.	– Lineare Navigation – Verzweigende Navigation

2 Veranschaulichung ausgewählter Lernumgebungen

Im Folgenden werden drei ausgewählte Lernumgebungen anhand der geschilderten inhaltlichen, didaktischen, entwicklungsmethodischen und interaktiven Merkmale dargestellt.

2.1 VR-Kläranlage

Kläranlagen dienen zur Wiederaufbereitung von Abwasser und sind daher ein integraler Teil der kritischen Infrastruktur. Für diesen Teil der kritischen Infrastruktur werden Ingenieurinnen und Ingenieure mit einer Spezialisierung auf Wasserwesen sowie Fachkräfte für Abwassertechnik ausgebildet. Die praxisnahe Ausbildung beider Personengruppen steht vor der Herausforderung, dass Besuche auf echten Kläranlagen nur schwer in den Studien- oder Berufsalltag integrierbar sind. Dazu kommt, dass Kläranlagen nicht ohne weiteres in kritische Zustände wie Störfälle versetzt werden können, ohne ihren regulären Betriebsablauf zu beeinträchtigen (Chalupczok et al., 2021). Vor diesem Hintergrund entwickeln wir derzeit eine VR-Kläranlage für Studierende der Umweltingenieurwissenschaften und Betriebspersonal, die für Lehr-, Forschungs-, und Fortbildungszwecke gedacht ist.

2.1.1 Inhaltliche Merkmale

Die VR-Kläranlage beschäftigt sich thematisch mit dem Aufbau konventioneller Kläranlagen und den Vorgängen und Reinigungsverfahren bei der Abwasserbehandlung. Teilnehmende begeben sich auf eine virtuelle Führung, auf der sie dem Weg des Abwassers über mehrere, ausgewählte Becken folgen (siehe Abb. 1 – A). Bei dieser Führung werden das Gelände und die Anlagen der Kläranlage genau dargestellt. Da nicht näher auf Systemzustände der Kläranlage eingegangen wird, kommt es zu einer Abbildung und Repräsentation von Objekten. Die Dauer der VR-Kläranlage beträgt eine fixe Zeit von ca. 30 Minuten. Aus diesem Grund werden als Stoff nur sorgfältig ausgewählte Inhalte aus einer Einführungsvorlesung zum Wasserwesen behandelt. Die Stoff- und Aufgabenschwierigkeit ist für die Zielgruppe von Studierenden der Umweltingenieurwissenschaften und Betriebspersonal als gering anzusehen. Die Aufgabe besteht darin, die verschiedenen Becken zu betrachten und Wissen darüber zu erwerben. Untergliedert wird der Stoff in der VR-Lernumgebung in Stationen, die als Anlagen der Kläranlage unterschiedliche Funktionen erfüllen. Als begleitende Materialien kommen ein Briefing inklusive fachlicher Vorbereitung, ein Tutorial zur Bedienung und ein Debriefing zur Reflexion zum Einsatz. Hierdurch wird die VR-Kläranlage in eine Sitzung eingebettet, die einer echten Exkursion im Aus- und Weiterbildungskontext nahekommt.

2.1.2 Didaktische Merkmale

Das didaktische Rational der VR-Kläranlage ist der virtual field trip. Bei einem virtual field trip wird eine virtuelle Exkursion unternommen, bei der Lernende verschiedene

Stationen besuchen, Erläuterungen erhalten und Anschauungsobjekte oder -materialien betrachten (Woerner, 1999). Darüber hinaus basiert die VR-Kläranlage auf Annahmen des Extended Model of Immersive Learning in Virtual Reality (Vogt, 2021), nach dem Scaffolding durch Visualisierungen effektive kognitive Lernprozesse anregt. Als Visualisierungen kommen sogenannte Annotationen zum Einsatz, bei denen Grafiken durch textuelle Hinweise, die unter anderem die Orientierung verbessern, leichter verständlich gemacht werden (Vogt, 2021). Unterstützt werden Teilnehmende bei der Bearbeitung auch durch ein Quiz aus Single-Choice-Fragen, Lückentexte sowie die Aufnahme eigener mündlicher Zusammenfassungen. Diese Unterstützungsmaßnahmen werden auf einer interaktiven Konsole am Ende der Stationen zur Verständnisüberprüfung angezeigt (siehe Abb. 1 – B). Ausgewählt wurden die Unterstützungsmaßnahmen vorrangig, weil sie die effektive Lernstrategie sich selbst zu testen (Dunlosky, Rawson, Marsh, Nathan & Willingham, 2013) anregen und zu einer höheren Aktivierung der Teilnehmenden beitragen können.

2.1.3 Entwicklungsmethodische Merkmale

Die VR-Kläranlage ist eine Eigenentwicklung durch ein Team an Bildungswissenschaftlern mit VR-Schwerpunkt sowie einer Professur für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik. Das Team an Bildungswissenschaftlern führte die technische Entwicklung durch, die fachlichen Inhalte wurden von der Professur für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik ausgearbeitet. Didaktische Entscheidungen wurden gemeinsam getroffen. Als Entwicklungsvorgehen wurde die Programmierung mit einer Game Engine gewählt. Konkret wurde die Game Engine Unity genutzt um 360-Grad-Videos abzuspielen, Nutzungshandlungen zu erfassen, und um eine Konsole in die 360-Grad-Videos einzufügen. Mithilfe der Konsole können Teilnehmende Fragen stellen, die dann durch die Wiedergabe von Audiodateien und Einblendungen von Grafiken und Texten beantwortet werden. In der Lernumgebung finden sich als Objekte hauptsächlich 360-Grad-Videos. Diese sphärischen Videos wurden mit einer speziellen Kamera (Insta 360 One X) an den verschiedenen Becken der Kläranlage aufgenommen und im Videoschnitt mit zusätzlichen Tonaufnahmen der Beckengeräusche zusammengefügt.

2.1.4 Interaktive Merkmale

Bearbeitet wird die VR-Kläranlage individuell. Es herrscht eine individualistische Zielstruktur vor, bei der Teilnehmende unabhängig von Anderen ihre Ziele erreichen können. Interaktionspartner sind in der VR-Kläranlage nicht vorhanden. Räumlich navigiert wird über ein Menü. Hierbei kommt ein Laserpointer zum Einsatz, mit dem

Auswahlen getroffen werden. Die Orte, die über das Menü besucht werden können, sind durch die aufgenommenen und verfügbaren 360-Grad-Videos bestimmt. An den einzelnen Stationen kann jedoch der Blick geschwenkt werden. Die inhaltliche Navigation verläuft linear, da Teilnehmende von ihrer aktuellen Station zur vorherigen und zur nächsten springen können. Diese lineare Navigation wurde ausgewählt, da Teilnehmende dem Pfad des Abwassers von Becken zu Becken folgen sollen.

2.1.5 Erkenntnisse aus der Entwicklung und Implementierung

Der Entwicklungsprozess zeigte auf, dass mithilfe von 360-Grad-Videos große Anlagen, auf denen die Bewegung von Anlagenteilen eine Rolle spielt, detailgetreu und komfortabel digitalisiert werden können. Die Game Engine Unity ermöglichte es, die erstellten 360-Grad-Videos in ihrer Interaktivität anzureichern. Unter Einbindung einer Konsole wurden Inhalte und Materialien in die Lernumgebung integriert, die zum Zeitpunkt der Aufnahme der 360-Grad-Videos noch nicht zur Verfügung standen. Alles in allem war die Entwicklung mit einem hohen Aufwand verbunden. Erste Erkenntnisse zur Implementierung können ebenfalls berichtet werden. Die VR-Kläranlage läuft flüssig auf Standalone-VR-Brillen und soll bald in einer Forschungsstudie untersucht werden. Anschließend soll sie zur zeitlich flexiblen Nutzung in einem Lernlabor für Wasserbauingenieurinnen und -ingenieure zur Verfügung gestellt werden (Abb. 1).

2.2 VR-FipS – Führung in praxisorientierten Situationen

Das kompetente und selbstbewusste Führen einer Gruppe in risikoreichen Situationen zählt in den deutschen Streitkräften als Kernstück militärischer Führungstätigkeit. Die Gruppenführerin oder der Gruppenführer erteilt Handlungsanweisungen, welchen die unterstellten Soldatinnen und Soldaten für eine erfolgreiche Auftrags-erfüllung Folge zu leisten haben. In der regulären Ausbildung trainieren angehende Führungskräfte diese Kompetenzen und sammeln gleichzeitig Erfahrungen in unübersichtlichen und sich plötzlich verändernden militärischen Lagen. Das erstmalige Agieren als Gruppenführerin oder Gruppenführer verursacht unter den zukünftigen Entscheidungsträgern häufig Nervosität, Anspannung und Unsicherheit. Unter Zeitdruck werden diese Affekte verstärkt. Die Anwendung „VR-FipS – Führung in praxisorientierten Situationen“ greift diese Problematiken auf. Die auszubildenden Soldatinnen und Soldaten erleben mittels einer VR-Lernumgebung, die auf 360-Grad-Videos basiert, die üblichen Abläufe von militärischen Übungsszenarien und partizipieren an verschiedenen Phasen der Ausbildung. Das Durchlaufen der einzelnen Ausbildungsphasen in einer virtuellen Lernumgebung gibt den angehenden Führungskräften die



Abb. 1 Überblick zur VR-Kläranlage

Gelegenheit, authentische militärische Übungen nachzuerleben und ihre Reaktionen auf führungstypische Impulse zu reflektieren.

2.2.1 Inhaltliche Merkmale

In der Lernumgebung VR-FipS werden als Thema Handlungsabläufe militärischer Führungsprozesse behandelt. Die Nutzenden partizipieren an einem exemplarisch demonstrierten Ablauf einer militärischen Übungslage von der Einweisung in das Gelände über plötzliche Auftragsänderungen bis zur Versorgung von Verletzten. Somit kommt es zu einer Abbildung und Repräsentation von mehreren Situationen. Bezüg-

lich des Stoffes wurden zentrale Schemata und Handlungseinheiten aus jeder Ausbildungsphase ausgewählt und anschließend zur Konstruktion der Lernumgebung auf insgesamt sieben Minuten gekürzt. VR-FipS besteht aus den folgenden vier Stationen (siehe Abb. 2 – A): 1. das Camp der Einsatzgruppen, in welchem die Gruppenführerin oder der Gruppenführer Soldatinnen und Soldaten in die Aufträge einweist, 2. Die Auftragsänderung aufgrund eines erneuten Funkspruchs, 3. die Hubschrauber-Absturzstelle, die das Bergen eines verunglückten Piloten thematisiert, und 4. die Versorgung verletzter Personen. Die Aufgabe besteht zum einen darin, die verschiedenen Ausbildungsphasen zu betrachten und sich in die militärischen Führungssituationen hineinzusetzen (geringe Aufgabenschwierigkeit). Zum anderen geht es bei wiederholter Betrachtung darum, Handlungsmuster zu erkennen und zu internalisieren, um diese auf neue Kontexte zu übertragen (mittlere Aufgabenschwierigkeit). Begleitende Materialien, wie Tutorials, liegen derzeit nicht vor.

2.2.2 Didaktische Merkmale

Das didaktische Rational von VR-FipS ist eine realistische und an Lernenden orientierte Vorbereitung auf militärische Übungslagen. In Anlehnung an die pädagogisch-didaktische Methode des entdeckenden Lernens (Bruner, 1976) üben die Nutzenden durch die visuellen und auditorischen Stimuli das Wahrnehmen und Identifizieren in Einsatzsituationen: Sie verstehen die typischen Muster von militärischen Anwendungsbereichen und erwerben Handlungskompetenzen. Darüber hinaus sollten die Soldatinnen und Soldaten im Sinne des Modelllernens (Bandura, 1979) einen Führungsprozess exemplarisch als sphärische Lernumgebung erleben können. Hierdurch sollten gerade unerfahrene Soldatinnen und Soldaten langsam mit dem Führen von Unterstellten vertraut gemacht werden. Lernziel von VR-FipS ist die Vermittlung militärischer Schemata sowie die Aneignung spezifischer Verhaltensmuster in unübersichtlichen Lagen. Der emotional-motivationalen Förderung entsprechend werden durch die Exploration authentischer und bedeutsamer Situationen Gefühlsregungen stimuliert. Momentan sind keine Unterstützungsmaßnahmen wie Visualisierungen bzw. visual prompts in der Lernumgebung enthalten. Lernstrategien werden ebenfalls nicht bewusst angeregt.

2.2.3 Entwicklungsmethodische Merkmale

VR-FipS ist eine Eigenentwicklung von Bildungswissenschaftlern mit dem Forschungsschwerpunkt von 360-Grad-Medien in Kooperation mit einem militärischen Ausbildungsstandort. Die technischen und didaktischen Entscheidungen wurden von der akademischen Seite getroffen, während die Choreografie der Handlungssituatio-

nen und der zugehörigen Inhalte gemeinsam mit einem Ausbilder konzipiert wurde. Zur Nachbearbeitung der 360-Grad-Aufnahmen wurden die Videoschnittprogramme Adobe Photoshop und Premiere Pro genutzt. Photoshop diente dem Retuschieren des Stativs als auch der Korrektur und Adaption der Bildqualität und Farbgestaltung. Adobe Premiere Pro wurde verwendet, um die Videosequenzen der einzelnen Stationen zu bearbeiten, zu verkürzen und einen linearen Zusammenhang der Stationen zu entwerfen. Die Objekte in der Lernumgebung sind 360-Grad-Videos, die mit einer Insta 360 One X Kamera an den verschiedenen Stationen aufgenommen wurden. Fundamental war die Positionierung der Kamera. Hierbei beachteten die Entwickelnden folgende Maxime omnisphärischer Inszenierungen (Eisenlauer & Sosa, 2022; Feys & Rath-Wiggins, 2018; Wohl, 2019): 1. Die Stitching-Linie darf sich nicht über die zentralen Handlungen erstrecken, 2. Die Höhe der Kamera muss möglichst mit der Augenlinie der Rezipienten übereinstimmen, 3. Über subtile Hinweise bzw. Signale werden Nutzenden Bezugspunkte suggeriert, 4. Periphere Handlungen steigern die Authentizität der 360-Grad-Aufnahmen. Angezeigt wird die Lernumgebung auf einer VR-Brille (siehe Abb. 2 – B).

2.2.4 Interaktive Merkmale

VR-FipS wird individuell bearbeitet. Hierbei können die Teilnehmenden ihre Ziele im Sinne einer individualistischen Zielstruktur unabhängig von anderen Personen oder deren Bearbeitungen erfüllen. Partner sind in der VR-Lernumgebung als 360-Grad-Aufnahmen von Schauspielern vorhanden, auch wenn nicht direkt mit ihnen interagiert werden kann. Aufgrund der Umsetzung als 360-Grad-Film erfolgte eine limitierte räumliche Navigation. Die Teilnehmenden durchlaufen die verschiedenen Phasen der militärischen Übung in einer vorgegebenen Abfolge an verschiedenen Orten. Durch Kopfbewegungen können sie individuell zwischen verschiedenen Blickrichtungen in der Umgebung wechseln. Inhaltlich kann die Navigation als linear betrachtet werden, da es nur einen vorgegebenen und vorstrukturierten Pfad durch die Lernumgebung gibt, durch den verschiedene Inhalte präsentiert werden.

2.2.5 Erkenntnisse aus der Entwicklung und Implementierung

Die Entwicklung und Implementierung offenbaren nützliche Zugänge sphärischer Umgebungen für praktische Ausbildungen. 360-Grad-Film basierte Lernumgebungen können eine ortsunabhängige und kostengünstige Ergänzung theoretischer Ausbildungsabschnitte sein. Wie die Entwicklung von VR-FipS gezeigt hat, ist ein vertieftes Verständnis der Technik sowie der jeweiligen Produktions- und Rezeptionsbedingungen grundlegend, um authentische immersive Lernerfahrungen zu ermöglichen. Die