

Virtuell auf die Kläranlage mit *erklär-VR*

Vorstellung einer VR-Lernumgebung und Erfahrungen aus dem Schuleinsatz

Maximilian C. Fink, Nora Pankow (Neubiberg), Bianca Watzka (Magdeburg), Markus Spallek (Holzkirchen), Bernhard Ertl, Christian Schaum (Neubiberg)

Zusammenfassung

Dieser Beitrag untersucht zunächst, wie digitale Rundgänge zum Thema Abwasserbehandlung für die Umweltbildung erstellt werden können. Anschließend wird die Lernumgebung *erklär-VR* mit ihren Merkmalen vorgestellt. Diese Lernumgebung wurde mithilfe von Virtual Reality (VR) und 360-Grad-Videos erstellt und kann zur Vermittlung von Grundlagenwissen zur Abwasserbehandlung im Rahmen des Schul- und Hochschulunterrichts verwendet werden. Es folgt ein Bericht zum Einsatz von *erklär-VR* im Schulunterricht, aus dem Erfahrungen zur Vorbereitung und Durchführung von Unterrichtsstunden mit VR-Einbindung gewonnen werden. Im Resümee und Ausblick werden wichtige Merkmale der Lernumgebung und Einsichten aus dem Schulunterricht zusammengefasst und Nutzungsmöglichkeiten dieser und ähnlicher Lernumgebungen im Themenbereich Abwasser diskutiert.

Schlagwörter: Bildung, Abwasserreinigung, kommunal, Didaktik, Unterricht, Kläranlage, Virtual Reality, Software

DOI: 10.3242/kae2024.08.004

Abstract

A virtual visit to a wastewater treatment plant with *erklär-VR*

Presentation of a VR learning environment and lessons learned from use in schools

This article starts by analysing ways to create digital tours related to wastewater treatment for environmental education purposes before turning to the learning environment *erklär-VR* and its features. This learning environment was developed using virtual reality (VR) and 360-degree videos and can be used to teach basic knowledge about wastewater treatment in school and university classrooms. The article then provides a report on the use of *erklär-VR* in school lessons, which was used to gather experience on how to prepare and implement lessons integrating VR. The summary and outlook present key features of the learning environment, summarise insights from school lessons and discuss possible uses of this and similar learning environments for wastewater-related topics.

Keywords: Education, wastewater treatment, municipal, didactics, lesson, wastewater treatment plant, virtual reality software

Einleitung

Virtual Reality (VR) erlaubt es, Orte virtuell zu besuchen und realitätsnah zu erfahren. Hierzu kommen leistungsfähige Stand-alone-VR-Brillen zum Einsatz, die sich durch scharfe Displays, hohe Rechenleistung und ein genaues Tracking von Kopf- und Körperbewegungen auszeichnen. Zugleich erleichtern es neue Produktionsmedien wie 360-Grad-Videos, authentische digitale Welten zu erstellen. Mit 360-Grad-Videos können komplexe reale Orte mit geringem Film- und Nachbearbeitungsaufwand detailgetreu abgebildet werden [1].

Mit der zunehmenden Verbreitung von VR und 360-Grad-Videos können digitale Rundgänge über Kläranlagen entwickelt werden, die ähnlich zu einer realen Exkursion Wissen vermitteln und Situationen erfahrbar machen [2]. Digitale Rundgänge bieten sich zum einen besonders gut zur Schulung von Auszubildenden, Studierenden und Fachkräften an. Die Schulungen können flexibel in den Ausbildungs-, Hochschul- und Arbeitsalltag integriert werden und durch Zusatzmaterialien und Aktivitäten vor- und nachbereitet werden. Zum anderen können digitale Rundgänge für die Öffentlichkeitsarbeit ge-

nutzt werden. Hierdurch können die Bevölkerung, die Politik und weitere Entscheidungstragende niedrigschwellig informiert und die Bedeutung von Kläranlagen als wichtigem Teil der Kritischen Infrastruktur verdeutlicht werden. Auch können digitale Rundgänge auf Job-Messen angeboten werden, um in Zeiten des Fachkräftemangels anschaulich für die Arbeit in der Siedlungswasserwirtschaft zu werben.

Heutzutage steht es außer Frage, dass Umweltbildung das Umweltbewusstsein junger Menschen fördert und zu einer nachhaltigeren Lebensweise beiträgt. Deshalb ist Umweltbildung inzwischen ein zentraler Bestandteil des Schulunterrichts geworden und hat Eingang in Landesverfassungen, Richtlinien und Lehrpläne gefunden [3–6]. Um Umweltbildung zum Thema Abwasser anregend zu vermitteln, werden häufig Exkursionen auf Kläranlagen unternommen. Diese Exkursionen vermitteln Fachwissen und ermöglichen es den Lernenden, Eindrücke in einem realen Kontext zu gewinnen. Gleichzeitig sind Exkursionen mit einem hohen Planungs- und Betreuungsaufwand seitens der Lehrenden und der Betreibenden von Anla-



Abb. 1: Stationen der Lernumgebung erKlär-VR

gen verbunden. Des Weiteren sind Aspekte der Sicherheit, Hygiene und des Arbeitsschutzes zu beachten. Folglich bietet es sich an, mithilfe von VR und 360-Grad-Videos digitale Rundgänge zu Kläranlagen zu erstellen. Diese digitalen Rundgänge können als wertvolle Ressource in der Umweltbildung in Bildungseinrichtungen zum Einsatz kommen.

Vor diesem Hintergrund verfolgt dieser Beitrag zwei Ziele: Erstens stellt der Beitrag die Lernumgebung erKlär-VR vor. Hierbei werden wichtige Merkmale der Lernumgebung veranschaulicht, die veröffentlicht wurde und für die Lehre zum Thema Abwasser genutzt werden kann. Zweitens berichtet der Beitrag darüber, wie die erstellte Lernumgebung erKlär-VR im Schulunterricht eingesetzt und erprobt wurde. Daraus ergeben sich Anregungen, wie VR-Lernumgebungen und 360-Grad-Videos effektiv für Lehr- und Ausbildungszwecke mit größeren Personengruppen eingesetzt werden können.

erKlär-VR wurde im Rahmen des Projekts RISK.twin entwickelt, das intelligente kritische technische Infrastruktur – Von der Realität zum hybriden digitalen Zwilling – untersucht [7]. Neben erKlär-VR wird in RISK.twin derzeit eine Versuchskläranlage mit einer Ausbaugröße von zwei Einwohnerwerten betrieben. Die umfangreiche Messtechnik der Anlage wird für die Überführung zu einem (datengetriebenen) digitalen Zwilling für die Erforschung von Störfallszenarien genutzt.

Vorstellung der Lernumgebung

Die Lernumgebung erKlär-VR bildet die Kläranlage der Gemeindlichen Einrichtungen und Abwasser Holzkirchen Kommunalunternehmen (GEA Holzkirchen KU) ab. Die kommunale Kläranlage mit einer Ausbaugröße von 50 000 Einwohnerwerten liegt südlich von München. Die Kläranlage folgt einem konventionellen verfahrenstechnischen Aufbau mittels vorgeschalteter Denitrifikation sowie einer Klärschlammbehandlung mittels Faulung, sodass sich die Kläranlage hervorragend als Kläranlage in der Lehre eignet.

Die digitalisierten Stationen der Kläranlage zeigt Abbildung 1. Da der Schwerpunkt der Lernumgebung erKlär-VR auf der Abwasserbehandlung liegt, wurde die Klärschlammbehandlung nicht im Detail digitalisiert.

Im Folgenden werden die wichtigsten Merkmale der Lernumgebung dargestellt. In Anlehnung an eine Taxonomie zur

Beschreibung von VR-Lernumgebungen [8] werden inhaltliche (1), didaktische (2), entwicklungsmethodische (3) und interaktive Merkmale (4) beschrieben.

Inhaltlich (1) befasst sich die Lernumgebung erKlär-VR mit dem Aufbau von konventionellen Kläranlagen und den damit verbundenen wichtigsten Verfahrensschritten in der Abwasserbehandlung. Sie zielt darauf ab, auf anregende Art grundlegende Inhalte zu vermitteln und Interesse am Thema Abwasser zu wecken. Im Schulunterricht kann sie durch ihre fächerverbindenden Elemente in den Fächern Physik, Chemie und Biologie zum Einsatz kommen. Besonders geeignet erscheint sie aufgrund der Komplexität der Inhalte für den Einsatz bei Schülerinnen und Schülern ab der 10. Jahrgangsstufe. Die Lernumgebung kann aber auch in die Hochschullehre eingebunden werden. Sie kann beispielsweise in einführenden Veranstaltungen im Bereich Umweltingenieurwesen zum Einsatz kommen. Die Aufgabe der Lernenden ist es, die verschiedenen Becken zu betrachten und Wissen über den Aufbau und die Verfahrensschritte von Kläranlagen zu erwerben. Die Dauer von erKlär-VR beträgt ca. 30 Minuten.

Aus *didaktischer* Sicht (2) handelt es sich bei der Lernumgebung um einen digitalen Rundgang [2], bei dem Lernende mehrere Orte besuchen und dazu Informationen vorgetragen bekommen. Empirische Studien deuten darauf hin, dass solche digitalen Rundgänge Wissen vermitteln und Interesse wecken können [9, 10]. Darüber hinaus wurde die Lernumgebung mit zusätzlichen vereinfachten Informationsgrafiken an-

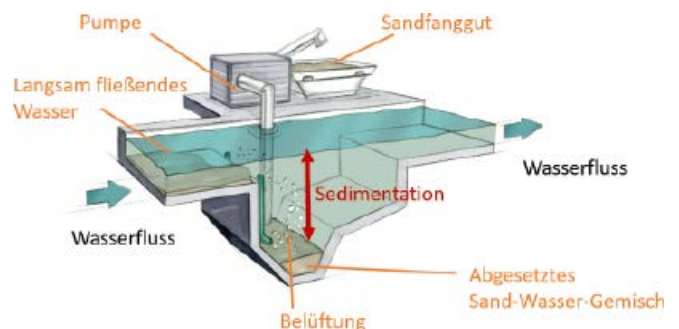




Abb. 2: Vereinfachte Informationsgrafik zum Sand- und Fettfang, übernommen von der Abwasserreinigungsanlage Tharau [11]. Orange und rote Begriffe wurden ergänzt.

 **HOLEN SIE
SICH UNSERE
WERBEMITTEL**
WASSER-ALLESKLAR



 **WERDEN SIE
SICHTBAR
AUF UNSERER
HOMEPAGE**
WASSER-ALLESKLAR



 **NUTZEN
SIE UNSERE
(VR-)FILME**
WASSER-ALLESKLAR



 **PROFITIEREN
SIE VON
SOCIAL MEDIA**
WASSER.ALLESKLAR



www.wasser-allesklar.de

MACHEN SIE MIT!

BEI DER IMAGE- UND NACHWUCHS-
KRÄFTEKAMPAGNE DER DWA
Melden Sie sich hier online an:



NACHWUCHSKRÄFTE
INITIATIVE





Abb. 3: Interaktives Menü in erKlär-VR

gereichert. Diese Informationsgrafiken wurden aus der Abwasserreinigungsanlage Thurau [11] und dem Zweckverband Klärwerk Steinhäule übernommen [12] und mit erläuternden Begriffen versehen. Eine solche Informationsgrafik zeigt Abbildung 2. Der Vorteil in der Nutzung von zusätzlichen Informationsgrafiken liegt darin, dass durch das Lernen anhand von Grafiken und gesprochenem Text Wissen effektiver vermittelt wird, als wenn ausschließlich anhand von gesprochenem Text gelernt wird [13]. Der Grund dafür liegt darin, dass durch die gesprochenen Texte und Grafiken verbale und bildhafte Repräsentationen entstehen, die miteinander integriert und effektiv im Langzeitgedächtnis gespeichert werden können [13].

Aus *entwicklungsmethodischer* Perspektive (3) sind einige weitere Punkte interessant. Die Lernumgebung ist eine Eigenentwicklung mit der Gameengine Unity [14] und besteht hauptsächlich aus 360-Grad-Videos, welche die verschiedenen Stationen der Kläranlage zeigen. In diesen 360-Grad-Videos können Lernende ihren Blick schwenken, sich aber nicht frei bewegen. Zusätzlich zu den 360-Grad-Videos enthält die Lernumgebung ein interaktives Menü zur Steuerung, das in Abbildung 3 zu sehen ist. Über dieses Menü stellen Lernende Fragen, die dann mit vorher aufgezeichneten Erläuterungen auditiv beantwortet werden.

In Bezug auf *interaktive* Merkmale (4) ist festzustellen, dass die Lernumgebung individuell bearbeitet wird. Lernende können mithilfe der Konsole navigieren. Hierbei gehen sie von Station zu Station entlang der einzelnen Aufbereitungsstufen der Kläranlage Holzkirchen (Abbildung 1).

Einsatz der Lernumgebung im Schulunterricht

Die Lernumgebung *erKlär-VR* wurde im Schulunterricht in 90-minütigen Doppelstunden im Fach Physik integriert. Während jeder Doppelstunde nahmen ca. 15–20 Schülerinnen und Schüler an der VR-Sequenz teil, die von drei Mitarbeitenden betreut wurden. Abbildung 4 zeigt anschaulich, wie *erKlär-VR* im Schulunterricht genutzt werden kann. Bisher haben mit *erKlär-VR* 150 Schülerinnen und Schüler der 10. Klasse gelernt

(Zeitraum Juni 2023 bis Dezember 2023, Gymnasien in Sachsen-Anhalt).

Zur Einbettung von *erKlär-VR* in den Schulunterricht wurden im Vorfeld einige organisatorische Maßnahmen getroffen. Hierzu zählen unter anderem die Beschaffung der Brillen (Typ HTC VIVE Focus 3) und das Aufladen von Controllern und Headsets. Darüber hinaus wurden die Mitarbeitenden anhand eines Leitfadens ausführlich geschult, um die Betreuung der Schülerinnen und Schüler während des Unterrichts sowie den Ablauf einzustudieren. Weiterhin wurden erforderliche Genehmigungen zur Durchführung der Schulstunde eingeholt. Welche Genehmigungen hierfür gegebenenfalls notwendig sind, ist vom Bundesland und der Trägerschaft der Schule abhängig.

Vor der Schulstunde wurden die Schülerinnen und Schüler und ihre Eltern mit einem Schreiben über die möglichen Risiken und Nebenwirkungen von VR-Lernumgebungen informiert. Diese Informationen sind von Bedeutung, da der Einsatz von VR insbesondere bei Personen mit einer Neigung zu Epilepsien und Vorerkrankungen der Augen, Ohren und des Gleichgewichtssinnes Risiken mit sich bringen kann. Personen-



Abb. 4: Nutzung von *erKlär-VR* im Schulunterricht (Foto: Christian Siebold, Pressestelle der Universität der Bundeswehr München)

gruppen aus diesem Kreis sollten nach dem aktuellen Forschungsstand nicht mit VR, sondern lieber anhand traditioneller Methoden lernen [15]. Da außerdem Simulationsübelkeit in VR-Lernumgebungen auftreten kann, wurden die Teilnehmenden darauf hingewiesen, dass sie die VR-Sequenz jederzeit ohne Konsequenzen abbrechen können. Für diesen Fall wurden alternative textbasierte Lernmaterialien erstellt und bereitgehalten. In der Tat erlebten einige wenige Schüler leichtes Unwohlsein, was dazu führte, dass sie mit den textbasierten Lehrmaterialien weiterarbeiteten.

Die VR-Sequenz wurde im Sitzen durchgeführt, da hierbei der Platzbedarf geringer als bei einer Durchführung im Stehen ist. Auf diese Art konnte die VR-Sequenz in regulären Klassenräumen mit Tischen stattfinden. Darüber hinaus wurde darauf geachtet, ausreichend Abstand zwischen den Teilnehmenden zu halten, sodass diese über genug Bewegungsfreiheit verfügten. An jede VR-Brille wurden Kopfhörer angeschlossen, damit sich die Schülerinnen und Schüler trotz räumlicher Nähe nicht gegenseitig durch die Geräusche der Lernumgebung störten.

Zu Beginn der Schulstunden wurde ein kurzer Überblick über den Ablauf gegeben. Dann wurden die Grundeinstellungen des Headsets und der Controller mit einem Ansichtsexemplar der VR-Brille demonstriert. Die detaillierte Erläuterung der Lernumgebung fand dann in einem zusätzlichen elektronischen Tutorial über die VR-Brille statt.

Nach der Teilnahme an *erklär-VR* erfolgte eine kurze Nachbesprechung. In diesem strukturierten Gespräch wurden die Erfahrungen der Teilnehmenden besprochen und Feedback zur Lernumgebung eingeholt. Schülerinnen und Schüler können zusammen mit den Lehrenden in Nachbesprechungen darüber hinaus offene Fragen und Punkte klären, ihr eigenes Verhalten reflektieren oder Feedback auf ihren Lernprozess erhalten. Forschungsergebnisse zeigen, dass Nachbesprechungen wichtig sind, um Lerninhalte weiter zu festigen und einen Transfer anzuregen [16].

Um eine Bewertung des Lernfortschritts durch *erklär-VR* zu erhalten, wurde sowohl vor als auch nach dem Einsatz der VR-Lernumgebung ein etwa 10-minütiger Wissenstest durchgeführt. Eine erste Auswertung der in den Schulen erhobenen Daten zum Lernerfolg deutet darauf hin, dass Schülerinnen und Schüler in *erklär-VR* effektiv Wissen zur Abwasserbehandlung erwerben. Im Vortest erzielten die Teilnehmenden 44 % korrekte Antworten. Im Nachtest steigerten sie sich auf 64 % korrekte Antworten (Abbildung 5). Damit gewannen die Schüle-

rinnen und Schüler 20 Prozentpunkte an Wissen dazu. Der beschriebene Lernfortschritt weist eine Effektstärke von Cohens $d = 0,83$ auf, die als groß einzuschätzen ist. Beim Lernen mit Texten oder im traditionellen Unterricht kann eine solche Effektstärke nur durch effektive Unterstützungsmaßnahmen erzielt werden [17].

Resümee und Ausblick

Die entwickelte Lernumgebung *erklär-VR* wurde anhand ihrer didaktischen, inhaltlichen, entwicklungsmethodischen und interaktiven Merkmale vorgestellt. Das ausgewählte Format eines digitalen Rundgangs über die Kläranlage Holzkirchen, bei dem verschiedene Stationen unter Schilderung von Erläuterungen virtuell besucht werden, eignet sich gut, um grundsätzliches Wissen zu vermitteln. Dies untermauern auch die berichteten Ergebnisse von Schülerinnen und Schülern.

Durch die Auswahl von 360-Grad-Videos als Basis der Lernumgebung konnte die Kläranlage in Holzkirchen in hoher Qualität digitalisiert werden. Im Vergleich zu alternativen Ansätzen zur Erstellung realistischer Lernumgebungen, wie der Erstellung von 3D-Modellen mit Grafiksoftware oder dem Einsatz von Fotogrammetrie [10], kann durch den Einsatz von 360-Grad-Videos Entwicklungszeit eingespart werden.

Die Einbindung von Informationsgrafiken ist hilfreich zur Verbesserung des Verständnisses der Prozessabläufe. Die Grafiken ermöglichen es, mechanische, chemische und biologische Prozesse zu vereinfachen, die unter der Wasseroberfläche oder innerhalb von Anlagen ablaufen. Mithilfe von VR und den genutzten Informationsgrafiken werden somit komplexe Prozesse visualisiert, die bei realen Exkursionen in der Umweltbildung schwer zu vermitteln sind.

Der Einsatz einer Gameengine für die Entwicklung brachte Vor- und Nachteile mit sich. Die Entwicklung mit der Gameengine war mit einem hohen Aufwand verbunden. Lernumgebungen können inzwischen nicht nur mit Gameengines, sondern auch mit Autorentools entwickelt werden [18]. Diese Autorentools haben den Vorteil, dass viele Standardfunktionen schnell und komfortabel erstellt werden können. Die Weiterentwicklung von Software unterliegt jedoch einigen Limitierungen bei der Nutzung solcher Autorentools. Weitere Anregungen zur Erstellung von VR-Lernumgebungen für die Wasserwirtschaft finden sich bei Söbke et al. [19].

Durch den Einsatz von *erklär-VR* in Schulen konnten einige wertvolle Einsichten und Erfahrungen gewonnen werden. Es zeigte sich, dass mit der VR-Brille wesentliche Aufgaben und Ziele der Siedlungswasserwirtschaft vereinfacht dargestellt werden können. Selbstverständlich kann diese virtuelle Erfahrung nicht als vollständiger Ersatz von realen Erfahrungen angesehen werden. Schülerinnen und Schüler mit Interesse an einem Thema sollten nach wie vor Exkursionen unternehmen und Praktika absolvieren, bei denen sie Erfahrungen in Situationen und mit Fachpersonal machen können.

Der Erfahrungsbericht über *erklär-VR* verdeutlicht auch, dass der Einsatz von VR zum Thema Umweltbildung in Bildungseinrichtungen gut vorbereitet und geübt werden muss. Investitionen in Hardware und eine ausführliche Schulung der Mitarbeitenden sind nötig, da in Schulen (und auch in Hochschulen) derzeit nur wenig Hardware und Expertise zur Verwendung von VR vorhanden ist. Lehrende sind in ihrem Alltag vielfältigen und hohen Anforderungen ausgesetzt. Damit anre-

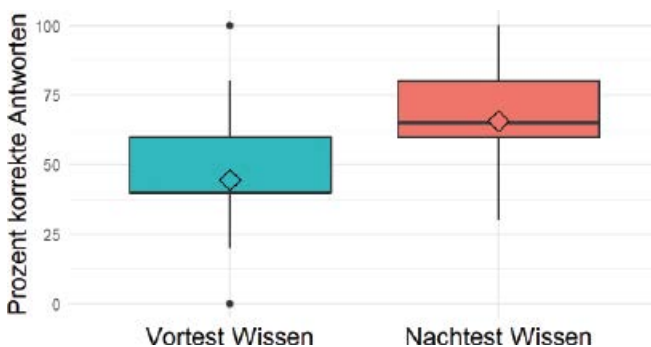


Abb. 5: Boxplot des Prozentwerts der korrekten Antworten im Wissenstest vor und nach der Teilnahme an der Lernumgebung *erklär-VR*. Die Raute zeigt den Mittelwert an.

gende Umweltbildung mithilfe von VR in Bildungseinrichtungen betrieben werden kann, ist eine entsprechende Unterstützung notwendig. Im Kontext der ersten Implementierung von *erklär-VR* fällt auf, dass die Unterrichtsstunde eine gesonderte Einheit war, die wenig mit weiteren Unterrichtsstunden vernetzt war. VR-Lernumgebungen sollten im Schulunterricht idealerweise als Teil längerer (fächerverbindender) Einheiten zum Einsatz kommen. Außerdem sollten zur tieferen Verarbeitung der Unterrichtsstunde Vor- und Nachbereitungsmaterialien erstellt werden. Lehrende können als Vorbereitungsmaßnahme zum Beispiel Grundlagenwissen mit passenden Sachtexten wiederholen.

Obwohl die Applikation bereits ein umfassendes Lernerlebnis bietet, möchten wir auf zwei zusätzliche Aspekte hinweisen, die das Lernerlebnis weiter bereichern können. Einerseits könnten kollaborative Elemente ergänzt werden, um Lernen und Teamarbeit zu ermöglichen und die Kommunikation untereinander zu erhöhen. An dieser Stelle sei auf eine ansprechende Lernumgebung zum Thema wasserwirtschaftlicher Infrastruktur von Wolf et al. hingewiesen, die kollaboratives Lernen ermöglicht [20]. Andererseits könnte generative künstliche Intelligenz (KI) in Form eines für diesen Zweck erzeugten Sprachmodells in die Lernumgebung integriert werden. KI könnte Unterstützung auf Basis des beobachteten Lernprozesses bereitstellen oder das Backend eines interaktiven, virtuellen Lernpartners bilden [21, 22].

Große Firmen haben viel Kapital in VR investiert und bringen immer fortschrittlichere Hard- und Software auf den Markt, die zunehmend Absatz findet. Daher ist davon auszugehen, dass sich VR im Bereich der Unterhaltungselektronik weiterverbreitet. Aufgrund der großen Möglichkeiten, die VR für das Lernen und Lehren bietet, ist ebenfalls zu erwarten, dass diese Technologie zunehmend Einsatz in Ausbildungsbetrieben, Schulen und Universitäten finden wird. Um zur Bildung zum Thema Abwasser in Zukunft einen wertvollen Beitrag zu leisten, ist es folglich wichtig, jetzt schon die Konzeption geeigneter Lernumgebungen durchzudenken.

Bereitstellung der Software *erklär-VR*

erklär-VR liegt aktuell in Version 1.03 vor. Es existieren Varianten der Lernumgebung für die VR-Brillen HTC Vive Focus 3 und Meta Quest 3. Bei Interesse kann die Software beim Entwickler Maximilian C. Fink über die Professur Lernen und Lehren mit Medien der Universität der Bundeswehr München zur Verfügung gestellt werden. Für die Nutzung müssen Interessierte ein berechtigtes Interesse nachweisen (zum Beispiel Nutzung in der Lehre), versichern, die Software mit einem eingeschränkten Personenkreis zu verwenden (zum Beispiel Nutzung für ein Seminar), und sich verpflichten die Software nicht an Dritte weiterzugeben. Die Entwickler behalten sich das Recht vor, die Bereitstellung der Software für spezifische Zwecke und bestimmte Nutzergruppen einzuschränken.

Förderinformationen und Dank

Die Autoren (Projekt RISK.twin) bedanken sich für die Förderung bei dtec.bw – Zentrum für Digitalisierungs- und Technologieforschung der Bundeswehr. dtec.bw wird von der Europäischen Union – NextGenerationEU finanziert. Unser besonderer Dank gilt dem Kommunalunternehmen Gemeindliche

Einrichtungen und Abwasser Holzkirchen (GEA Holzkirchen KU), das die Lernumgebung *erklär-VR* ermöglicht hat. Darüber hinaus möchten wir uns bedanken, dass die Informationsgrafiken der Abwasserreinigungsanlage Thurnau und des Zweckverbands Klärwerk Steinhäule in der Lernumgebung genutzt werden dürfen. Auch danken wir der Forschungsinitiative Individuum und Organisation in der digitalisierten Gesellschaft (INDOR) der Universität der Bundeswehr München, die diesen Beitrag mit Ideen unterstützt hat. Wir danken Denis Frischbier, Lukas Hart, Christof Skwara, Maximilian Huisgen und Leonard Hilbert von der Professur Lernen und Lehren mit Medien für Unterstützung bei der Entwicklung der Lernumgebung und der Durchführung der Unterrichtsstunden.

Literatur

- [1] V. Eisenlauer, D. Sosa: Pedagogic meaning-making in spherical video-based virtual reality – a case study from the EFL classroom, *Des. Learn.* 2022, 14 (1), 129–136, doi: 10.16993/dfl.191
- [2] J. J. Woerner: Virtual field trips in the earth science classroom, Vortrag auf der Annual Conference of the Association for the Education of Teachers in Science, P. A. Rubba, Rye, J. A., P. F. Keig (Hrsg.), Greenville, NC, 1999, S. 1232–1244
- [3] Bayerisches Staatsministerium für Unterricht und Kultus: *Richtlinien für die Umweltbildung an den bayerischen Schulen*, 2003, https://www.gesetze-bayern.de/Content/Document/BayVV_2230_1_1_UK_140, zugegriffen: 4. April 2024
- [4] *Verfassung für das Land Nordrhein-Westfalen*, 1950, https://recht.nrw.de/lmi/owa/br_bes_detail?sg=0&menu=0&bes_id=3321&anw_nr=2&aufgehoben=N&det_id=462326, zugegriffen: 4. April 2024
- [5] Landesinstitut für Schulqualität und Lehrerbildung Sachsen-Anhalt: Lehrpläne/Rahmenrichtlinien, https://lisa.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik_und_Verwaltung/MK/LISA/Unterricht/Lehrplaene/Gym/Anpassung_2022/RPL_LeDiWe_Gym_St0108_2023.pdf, zugegriffen: 4. April 2024
- [6] *Verfassung des Freistaates Bayern*, <https://www.gesetze-bayern.de/Content/Document/BayVerf-131>, zugegriffen: 4. April 2024
- [7] Universität der Bundeswehr München: RISK.Twin – Building resilience with digital twins, <https://www.unibw.de/risk-twin>, zugegriffen: 4. April 2024
- [8] M. C. Fink, V. Eisenlauer, D. Frischbier, B. Ertl: Zentrale Merkmale immersiver VR-Lernumgebungen: Eine Taxonomie veranschaulicht anhand von drei Beispielen, in B. Zinn (Hrsg.): *Virtual, Augmented und Cross Reality in der beruflichen Aus- und Weiterbildung*, Franz Steiner Verlag, Stuttgart, 2023, S. 13–43
- [9] G. B. Petersen, S. Klingenberg, R. E. Mayer, G. Makransky: The virtual field trip: Investigating how to optimize immersive virtual learning in climate change education, *Br. J. Educ. Technol.* 2020, 51 (6), 2099–2115, 2020, doi: 10.1111/bjet.12991
- [10] M. C. Fink, D. Sosa, V. Eisenlauer, B. Ertl: Authenticity and interest in virtual reality: Findings from an experiment including educational virtual environments created with 3D modeling and photogrammetry, *Front. Educ.* 2023, 8, doi: 10.3389/educ.2023.969966
- [11] Abwasserreinigungsanlage Thurnau: So funktioniert unsere Abwasserreinigung, <https://www.ara-thurnau.ch/wissen/so-funktioniert-eine-ara>, zugegriffen: 4. April 2024
- [12] Zweckverband Klärwerk Steinhäule: Die Abwasserreinigung, <https://www.zvk-s.de/klaerwerk-steinhaeule>, zugegriffen: 4. April 2024
- [13] R. E. Mayer (Hrsg.): *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*, Cambridge University Press, 2014, doi: 10.1017/CBO9781139547369
- [14] Unity Technologies: Unity Engine, Version 2021.3.5f1. 2021, <https://unity.com>, zugegriffen: 4. April 2024

- [15] R. Zender, J. Buchner, C. Schäfer, D. Wiesche, K. Kelly, L. Tüshaus: Virtual Reality für Schüler:innen: Ein „Beipackzettel“ für die Durchführung immersiver Lernszenarien im schulischen Kontext, *Medien-Pädagogik*, 47, 26–52, doi: 10.21240/mpaed/47/2022.04.02.X
- [16] S. I. Tannenbaum, C. P. Cerasoli: Do team and individual debriefs enhance performance? A meta-analysis, *Hum. Factors* 2013, 55, (1), 231–245, doi: 10.1177/0018720812448394
- [17] J. Hattie, J. A. C. Hattie: *Visible learning*, reprinted, Routledge, London, 2009
- [18] 3DVista: Virtual Tour Pro, <https://www.3dvista.com>, zugegriffen: 4. April 2024
- [19] H. Söbke, F. Wehking, M. Wolf, J. Londong: Niedrigschwellige Mixed Reality-Bildungswerkzeuge in der Siedlungswasserwirtschaft, *KA Korrespondenz Abwasser Abfall* 2021 68 (2), 126–131
- [20] M. Wolf, F. Wehking, H. Söbke, M. Montag, S. Zander, C. Springer: Virtualised virtual field trips in environmental engineering higher education, *Eur. J. Eng. Educ.* 2023, 48 (6), 1312–1334, doi: 10.1080/03043797.2023.2291693
- [21] E. Kasneci et al.: ChatGPT for good? On opportunities and challenges of large language models for education, *Learn. Individ. Differ.* 2023, 103, 102274, doi: 10.1016/j.lindif.2023.102274
- [22] Fink, M. C., Robinson, S. A., & Ertl, B. (2024). AI-based avatars are changing the way we learn and teach: Benefits and challenges. *Frontiers in Education*, 1416307, doi: 10.3389/educ.2024.1416307

Autoren

*Dr. Maximilian C. Fink, Prof. Dr. Bernhard Ertl
Universität der Bundeswehr München
Professur für Lernen und Lehren mit Medien
Werner-Heisenberg-Weg 39, 85579 Neubiberg*

E-Mail: maximilian.fink@unibw.de

*Nora Pankow, M. Sc., Prof. Dr.-Ing. habil. Christian Schaum
Universität der Bundeswehr München
Professur für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik
Werner-Heisenberg-Weg 39, 85579 Neubiberg*

*Markus Spallek
Gemeindliche Einrichtungen und Abwasser Holzkirchen
Kläranlage Holzkirchen
Meßnerstraße 24, 83607 Holzkirchen*

*Jun.-Prof. Dr. Bianca Watzka
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Professur für Didaktik der Physik
Universitätsplatz 2, 39106 Magdeburg*



Klare Konzepte. Saubere Umwelt.

Bildung

Dozentinnen und Dozenten gesucht

Der DWA-Fachausschuss BIZ-5 „Meister*innen-Weiterbildung“ sucht neue Dozentinnen und Dozenten. Wenn Sie schon mehrere Jahre Berufserfahrung in einem der Bereiche

- Abwassertechnik
- Schlammbehandlung
- Maschinentechnik
- Personalführung

- Sicherheit auf Kläranlagen
- Ausbildung von Fachkräften

besitzen und sich auf ein engagiertes und diskussionsfreudiges Auditorium freuen, dann heißen wir Sie gerne willkommen auf einer der kommenden Veranstaltungen.

Die Abwassermeister*innen-Weiterbildung beinhaltet pro Veranstaltung vier Blöcke (halbtagesweise), die durch eine Seminarleitung insgesamt und mehrere Fachdozierende begleitet werden. Die Fachthemen werden in Impulsvorträgen vorgestellt und in einer gemeinsamen

Fachdiskussion mit den Teilnehmenden moderiert.

Die ausgesuchten Themen laufen über einen Zeitraum von zwei Jahren und werden an sechs Terminen pro Jahr an unterschiedlichen Standorten in Deutschland präsentiert. Wir freuen uns, wenn Sie das Team der Fachdozierenden verstärken möchten und bereit sind, zwei Vorträge pro Jahr zu übernehmen.

Bitte sprechen Sie bei Interesse oder Fragen *Ann-Kathrin Bräunig* an:

*E-Mail: braeunig@dwa.de
Tel. 0 22 42/872 240*

