

Extended Reality (XR) für die Bildungsarbeit in der Bautechnik

Marc Krüger, Nils Stallmeier, Daniel Bogs & Len Schrader

Abstract

Extended Reality Anwendungen entwickeln sich zukünftig zu integralen Bestandteilen auch in Lern- und Arbeitsumgebungen vieler Bauberufen. Im folgenden Beitrag werden wesentliche Beispiele dieser Anwendungen insbesondere in einem berufsbildungswissenschaftlichen Kontext vorgestellt sowie in ihren Merkmalen und Besonderheiten für die Bildungspraxis beleuchtet.

Schlagwörter: *Extended Reality, Mixed Reality, Augmented Reality, Virtual Reality, Lernanwendung, Berufsschule*

Einleitung

Augmented Reality (AR) und Virtual Reality (VR) – zusammengefasst als Extended Reality (XR) bezeichnet – haben sich nicht nur durch die Verbreitung entsprechender Geräte etabliert, sondern erfahren auch eine zunehmende Bedeutung in Bildungskontexten. Im Hinblick auf die berufliche Bildungsarbeit lassen sich dabei zwei Perspektiven für dessen Einsatz einnehmen: Zum einen werden sie als Werkzeuge in der Berufsarbeit integriert, beispielsweise können Bautechniker:innen durch AR-Brillen bei der Durchführung von Bauvorhaben unterstützt werden, indem Baudokumentationen in Form von digitalen Einblendungen sichtbar werden. Zum anderen dienen sie als Medien zur Gestaltung von Lernprozessen, indem beispielsweise die Sicherung von Baustellen in VR-Welten erklärt und von den Lernenden eingeübt wird. Zinn legt diesbezüglich dar, dass hierdurch Mehrwerte entstehen, denn durch die Interaktion mit virtuellen Welten lässt sich das situationale Lernen am beruflichen Lernort förderlich unterstützen (Zinn 2019, S. 22). Damit eröffnet der Einsatz von XR auch in der Bautechnik vielfältige Möglichkeiten zur handlungsorientierten Kompetenzförderung von Fachkräften.

Der vorliegende Beitrag zielt darauf ab, die potenziellen Mehrwerte von XR-Lernanwendungen in der beruflichen Bildung aufzuzeigen. Damit fokussiert er auf Lösungen für die Bildungsarbeit und lässt rein berufliche XR-Anwendungen außen vor. Für die XR-Lernanwendungen werden allgemeine Erkenntnisse ebenso dargelegt wie bautechnikspezifische Aspekte. Hierfür wird in einem ersten Schritt eine Begriffsklärung für die gebräuchlichsten Abkürzungen entlang des Virtualitäts-Realitäts-Kontinuums nach Milgram und Kishino (1994) vorgenommen. Aufbauend werden didaktische Aspekte beleuchtet und mit der bautechnischen Bildungsarbeit verknüpft. Anschließend werden XR-Lernanwendungen aus der Bautechnik vorgestellt und bewertet. Der Beitrag schließt mit einem Resümee, in dem der Status quo und Perspektiven für XR-Lernanwendungen in der Bautechnik dargelegt werden.

1 XR-Technologien: AR, AV, MR und VR

Extended Reality (XR) und in diesem Kontext die häufig auch erwähnte Mixed Reality (MR) sind zunächst Sammelbegriffe, die gerne synonym und weit verbreitet genutzt werden. Um die Begrifflichkeiten zueinander abzugrenzen und Augmented Reality (AR) sowie Virtual Reality (VR) einzuordnen, wurden in den 1990er Jahren durch Milgram und Kishino (1994) mit dem Realitäts-Virtualitäts-Kontinuum diese zueinander in Beziehung gesetzt, wie es in Abbildung 1 dargestellt ist.



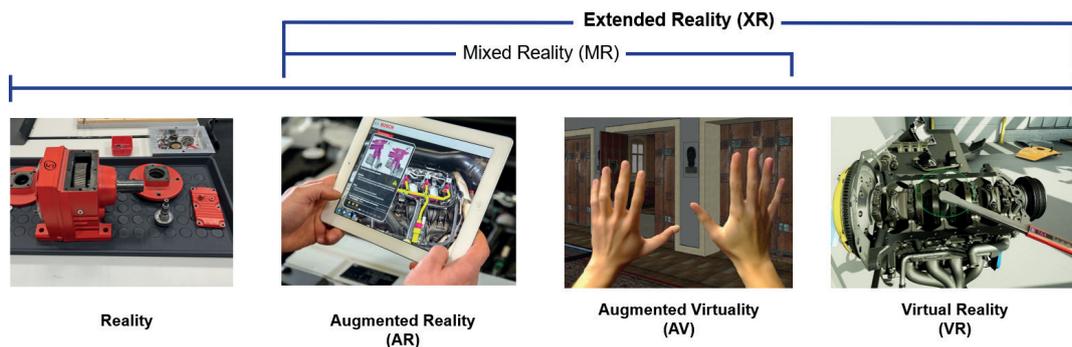


Abb 1: Virtualitäts-Realitäts-Kontinuum (Quelle: eigene Darstellung auf Grundlage von Milgram und Kishino (1994))

Im Virtualitäts-Realitäts-Kontinuum definiert das linke Ende die Umgebungen, „die sich nur aus realen Objekten zusammensetzen, und beinhaltet alle Aspekte, die bei Betrachtung einer realen Szene durch eine Person oder durch ein beliebiges Medium wie z. B. Fenster, Fotoapparat etc. beobachtet werden.“ (Steiger et al. 2011, S. 9). Der Grad der Immersion steigt, je weiter man sich nach rechts im Kontinuum bewegt. Immersion bezeichnet dabei das Eintauchen in die virtuelle Welt, wodurch Lernende vergessen, dass sie sich in einer simulierten Umgebung befinden (Thomas et al. 2018, S. 22; Fell 2020, S. 10). Das rechte Ende definiert Umgebungen, die nur aus virtuellen Objekten bestehen, wie z. B. beim Computerspiel World of Warcraft. Wenn Realität und Virtualität miteinander verschmelzen, spricht man von Mixed Reality (MR), die sowohl Augmented Reality (AR) als auch Augmented Virtuality (AV) umfasst. Die Grenze zwischen AR und AV ist dabei nicht exakt definiert. Wenn nur wenige einzelne virtuell erzeugte Objekte in die Realität eingefügt werden, handelt es sich um AR. AV hingegen liegt vor, wenn nur einzelne Objekte der Realität entsprechen und der Großteil virtuell erzeugt ist (Tönnis 2010, S. 2). Sobald kein realer Anteil mehr vorhanden ist, spricht man von Virtueller Realität (VR). Der übergeordnete Begriff Extended Reality (XR) umfasst sämtliche immersive Technologien (Alizadehsalehi et al. 2020). Im Kontext des Realitäts-Virtualitäts-Kontinuums von Milgram und Kishino fasst XR somit den gesamten Bereich rechts der Realität zusammen.

Neben der grundlegenden Definition von XR-Technologien offenbaren sich weitere Unterschiede, die aus unterschiedlichen Herangehensweisen heraus resultieren: Zum einen basieren AR-Technologien entweder auf dem Optical-See-Through- oder Video-See-Through-Prinzip (Rolland et al. 1994, S. 294). Beim Optical-See-Through-Prinzip werden z. B. in ein Brillenglas zusätzliche Informationen eingeblendet, d. h. Nutzer:innen sehen mit ihren Augen die reale Welt, ergänzt durch die computergenerierten Einblendungen. Beim Video-See-Through-Prinzip wird die reale Welt über eine Kamera eingefangen und dann werden in dieses Videobild die computergenerierten Informationen eingeblendet, Nutzer:innen sehen die reale Welt folglich nur noch über ein Display. Beispiel ist ein Smartphone, welches auf ein reales Objekt gehalten wird. Das Display zeigt das videografierte Bild des Objekts mit zusätzlichen Informationen. Beide Prinzipien haben Vor- und Nachteile: Optical-See-Through ist immer ein zusätzliches und nicht kostengünstiges Gerät, beim Video-See-Through nimmt die Qualität des realen Bildes ab, weil es über eine Kamera eingefangen wird. Des Weiteren kann XR entweder auf Handheld-Geräten wie Tablets oder Smartphones genutzt werden, wobei die Hände für das Festhalten der Geräte benötigt werden, oder auf Head-Mounted-Displays (HMD), die eine freie Nutzung der Hände beispielsweise für Montageaufgaben ermöglichen. Es wird deutlich, dass die Rahmenbedingungen und Zielsetzungen entscheidend für die Auswahl der passenden XR-Technologie sind. Moderne Head-Mounted-Displays können inzwischen als AR-Brille mit Video-See-Through-Funktion als auch als VR-Brille genutzt werden. Dies eröffnet die Möglichkeit, die beiden Technologien in der Praxis zu kombinieren und beschränkt die Beschaffung auf ein einziges Gerät.

Häufig werden bei der Diskussion von XR-Technologien auch 360° Videos benannt. Laut des Virtualitäts-Realitäts-Kontinuums nach Milgram und Kishino (1994) gehören 360° Videos jedoch nicht zur XR, denn der Unterschied ist hierbei, dass das Gezeigte eine unverfälschte Wiedergabe der Realität ist und keine computergenerierten zusätzliche Informationen geboten werden. Ebenso ist die Interaktion deutlich eingeschränkt, da diese rein linear sind und das gezeigte Geschehen nicht veränderbar ist (vgl. auch Elmezeny et al. 2018, S. 2; Ryan 2015 S. 2). Ein aktiver Eingriff in das Geschehen, wie bei VR, ist zwar ausgeschlossen, das Verändern der Perspektive an vordefinierte Punkte ist jedoch möglich. Aus diesem Grund werden 360° Videos auch als "Lean-In-Medium" (Mischform aus Lean-Forward- und Lean-Back-Medium) beschrieben (Vosmeer & Schouten 2014, S. 146). Dennoch haben 360° sowohl in der Berufs- als auch in der Bildungsarbeit ihre Berechtigung und können vor allem einen schnellen und günstigen Einblick in spannende sowie reale Situationen bieten. In diesem Beitrag werden 360° Videos zu Gunsten der Auseinandersetzung mit XR-Lernanwendungen nicht weiter thematisiert.

Die bisherigen Ausführungen zu XR-Technologien fokussierten auf die Hardware, also die Geräte mit denen AR- oder VR-Anwendungen dargestellt werden können. Wie ein herkömmlicher Computer oder ein Smartphone sind diese Geräte erstmal die Basis für XR-Anwendungen, die in Form einer Softwareanwendung oder wie eine App installiert werden müssen. Zu diesem Zweck gibt es „App Stores“ (früher als Software-Portale bezeichnet) auf denen sich entsprechende XR-Anwendungen finden, z. B. der Meta Quest Store. Sofern XR-Anwendungen auf einem Smartphone oder Tablet ausgeführt werden, finden sich diese in allseits bekannten App Stores wie z. B. für Android der Google Play Store oder der App Store von Apple. Darüber hinaus lassen sich XR-Anwendungen von Webseiten herunterladen und per „Sideload“ installieren. Hierfür muss der Computer mit dem XR-Gerät verbunden und dann die Installation initiiert werden. Nichtsdestotrotz ist besonders das Finden von XR-Lernanwendungen kein Selbstläufer, weil viele Plattformen durchsucht werden müssen. Eine hilfreiche Ressource zur Recherche nach XR-Lernanwendungen bietet deswegen die Sammlung des Instituts für Berufliche Lehrerbildung der FH Münster (fh.ms/td-transfer) oder die AR-VR-Datenbank des Zentrums für didaktische Computerspielforschung (<https://zfdc.ph-freiburg.de/ar-vr-datenbank/>) der pädagogischen Hochschule Freiburg.

2 XR-Didaktik: Lernwelten, Embodied Cognition, Immersion & Motivation, negative Effekte, Enhanced Learning, Kompetenzförderung und Lernwirksamkeit

Die Integration von XR in die berufliche Bildung bedarf einer didaktischen Auseinandersetzung, um ihren Mehrwert einordnen zu können. Die nachfolgend dargelegten Erkenntnisse werden häufig in der Literatur thematisiert und liefern eine mehrperspektivische Betrachtung von XR-Lernanwendungen.

Lernwelten: Über die Literaturarbeit haben wir fünf verschiedene Ausprägungen von Lernwelten zusammentragen können, die nachfolgend dargelegt sind. Jede Lernwelt ermöglicht unterschiedliche Formen der Interaktion und bedient damit variierende Facetten der Kompetenzförderung. Diese haben wir mit Hinblick auf den Nutzen in der bautechnischen Bildungsarbeit interpretiert.

- *Expositionswelt:* Ist eine strukturierte Lernumgebung, die in der beruflichen Bildung eingesetzt werden kann, um Teilnehmer durch spezifische Umgebungen zu führen und dabei die Vorteile der Immersion zu nutzen (Weise & Zender 2017, S.7). In der Bautechnik könnte so eine virtuelle Baustelle über einen vordefinierten Pfad begangen werden, Veränderungen können jedoch nicht vorgenommen werden.
- *Explorationswelt:* Konzentriert sich auf die Vermittlung von deklarativem Wissen (ebd. S.4) und unterscheidet sich im Hinblick auf die Expositionswelt dahingehend, dass die Lernenden freier handeln können. In der Bautechnik können Lernende eine virtuelle Baustelle erkunden, sich die Zeit hierfür selbst einteilen und ohne einen festen Lernpfad frei bewegen.

- *Trainingswelt*: Hier wird prozedurales Wissen vermittelt, dies ist besonders relevant beim Schulen von Handlungsabläufen und Verhalten in Gefahrensituationen (Buehler/Kohne, 2020 S. 87). In der Bautechnik können Trainingswelten genutzt werden, um Mitarbeiter in handwerklichen Abläufen zu unterweisen oder manuelle Fertigkeiten einzuüben.

- *Experimentalwelt*: Sie ermöglicht das Verändern von Parametern und das Beobachten der daraus resultierenden Folgen (Zernig 2020, S. 24; Weise & Zender 2017, S. 5). Die Experimentalwelt unterstützt entdeckendes Lernen und die Überprüfung von Annahmen. In der Bautechnik könnte eine Baustellenabsicherung verändert und geschaut werden, wie sich dies auf den Bauablauf auswirkt. Ebenso ließen sich baukonstruktive Veränderungen vornehmen und simulieren, ob eine geplante Konstruktion weiterhin tragfähig ist.

- *Konstruktionswelt*: Die Konstruktionswelt ermöglicht nicht nur die Manipulation von Objekten, sondern auch das Erschaffen neuer Objekte (ebd. 2017, S. 6; Buehler/Kohne 2020, S. 88). Lernende können theoretisch erworbenes Wissen in die Praxis umsetzen, indem sie Bauprojekte virtuell planen und umsetzen.

Entlang der Lernwelten wird sichtbar, dass die Möglichkeit der Interaktion mit virtuellen Umgebungen in XR-Lernanwendungen (Zinn 2019, S. 21) das situationale Lernen in der beruflichen Bildung unterstützt werden kann. Die Listung der Lernwelten ist dabei im Hinblick auf die immanenten Freiheitsgrade für die Lernenden vorgenommen worden. Dabei zeigt die Expositionswelt die geringsten, die Konstruktionswelt die höchsten Freiheitsgrade für die Lernenden. Die Auswahl der passenden Lernwelt muss sich damit an dem Leistungsvermögen der Lernenden, aber natürlich auch am intendierten Kompetenzziel orientieren. Darüber hinaus ist anzumerken, dass eine XR-Lernanwendung nicht unbedingt einer Lernwelt zuzuordnen ist und mehrere Lernwelten, je nach Lernaufgabe und -abschnitt, beinhalten kann. In der Praxis lassen sich darüber hinaus XR-Lernanwendungen identifizieren, die wir als Spielwelten bezeichnen könnten, weil sie den Gamification-Ansatz aufgreifen und über ein System den Lernfortschritt belohnen. Da der Gamification-Ansatz im Hinblick auf die immanenten Freiheitsgrade nicht profilgebend ist, wird hier auf eine Ergänzung der fünf dargelegten Lernwelten verzichtet. Der Gamification-Ansatz wird nachfolgend unter motivationalen Gesichtspunkten nochmal beleuchtet.

Embodied Cognition: Zinn sieht in der Möglichkeit zur körperlichen Wahrnehmung von XR-Lernwelten einen klaren Vorteil und bezieht sich dabei auf die Theorie der Embodied Cognition (2019, S. 21). Damit einher geht die „mentale Repräsentation“ (Stangl 2022). Sie beschreibt eine Wechselwirkung zwischen der Kognition, Sensorik und Motorik und geht davon aus, dass mit der intensiven Umgebungswahrnehmung verknüpfte Lerninhalte besser verinnerlicht werden. Die körperliche Wahrnehmung ist auch ein Aspekt der Lerntaxonomie nach Bloom et al. (1956). Die Autoren unterscheiden zwischen drei Domänen des Lernens, welche zusammen zum Lernerfolg führen. Die kognitive Domäne klassifiziert die Komplexität des Denkens, welche in Verbindung mit der affektiven Domäne eine emotionale Verknüpfung mit dem Lerngegenstand ermöglicht. Diese Domänen können in klassischen Präsenzeinheiten oder über Web-based-Trainings bedient werden. XR ermöglicht jedoch auch Bewegung zu bedienen (Buehler & Kohne 2020, S. 82). Durch die Abbildung der psychomotorischen Domäne in XR können Lernende somit nicht nur Wissen erwerben, sondern dieses auch in Handlungsroutinen überführen. Beispiele hierfür sind AR-Lernanwendungen mit denen das Schweißen oder VR-Lernanwendungen, in denen das Lackieren erlernt werden kann.

Immersion & Lernmotivation: Beschreibt den Grad des mentalen Eintauchens in die virtuelle Welt. XR-Lernanwendungen mit einer hohen Immersion gestatten es den Lernenden vergessen zu lassen, dass sie sich in einer virtuellen Welt befinden. Dies kann durch eine besonders realitätsnahe Darstellung der Lernumgebung und durch realistisch anmutende Geschehnisse unterstützt werden. Bestenfalls sind sich die Lernenden des

Lernprozesses kaum bewusst (Fell 2020, S. 10), was zu einer höheren Lernmotivation führt. Die Lernmotivation kann durch selbstgesteuertes Handeln und die Anwendung mehrerer Sinneskanäle in Verbindung mit XR-Lernanwendungen gesteigert werden (Hellerriegel & Cubela 2018, S. 66-77). Die Möglichkeit, komplexe Sachverhalte zu veranschaulichen und die virtuelle Welt aktiv zu erkunden, fördert das Engagement der Lernenden. Gamification, das mitunter zur Motivationssteigerung eingesetzt wird, ermöglicht es darüber hinaus, den Lernerfolg messbar zu machen, beispielsweise durch Highscores oder den Vergleich mit anderen Lernenden (Apt, Schubert & Wischmann 2018, S. 26). Es ist jedoch zu beachten, dass die Motivation durch Gamification nach einer Gewöhnungszeit nachlassen kann (Zender et al. 2018, S. 5). Auch für XR-Lernanwendungen, die nicht den Gamification-Ansatz verfolgen kann angenommen werden, dass sie dem Neuigkeitseffekt (Marx 2007, S. 46) unterliegen und dass eine anfänglich hohe Lernmotivation mit der Zeit nachlässt.

Negative Effekte: Die Nutzung von XR-Lerntechnologien kann das Wohlbefinden der Lernenden beeinflussen:

- Bei VR-Brillen kann die immersive Eigenschaft dazu führen, dass die physische Umwelt durch die Lernenden mental ausgeblendet und durch eine virtuelle Welt ersetzt wird. Hierbei kann es zu einem Kontrollverlust über die Situation führen. Während des mentalen Eintauchens in eine virtuelle Welt kann der Kontakt zum physischen Raum abbrechen, wodurch Unsicherheit und Unkenntnis über mögliche Arrangements und Ereignisse im physischen Raum entsteht. Hierdurch entsteht die Gefahr einer fehlerhaften Bewegung, die zur Kollision mit einem Hindernis führen kann (Ghosh et al. 2018). Stolpergefahr entsteht durch Möbel ebenso wie durch die nach dem Aufsetzen der VR-Brille in den physischen Raum eingetretenen Personen.
- Studien zeigen, dass die sogenannten Cyberkrankheiten verschiedene Auswirkungen haben können. Es treten Schwindel, Unbehagen und andere Krankheitsgefühle auf (Mittelstaedt et al. 2018). Es ist bekannt, dass Cybersickness und Motion Sickness auch im Erwachsenenalter auftreten können (Dörner et al. 2019; Zender et al. 2022). Vor dem Hintergrund wird von einer langen Nutzungsdauer sowie abrupten Kopfbewegungen abgeraten (Christou 2010; Liang et al. 2019). Die empfohlene Nutzungsdauer von VR-Brillen wird in der Regel zwischen einer halben und einer ganzen Stunde angegeben, um eine möglich Überanstrengung zu vermeiden (Smith & Burd 2019).
- Der Unheimliche Effekt (engl. Uncanny Valley nach Mori, MacDorman & Kageki 2012) kann dann entstehen, wenn ein künstlich geschaffenes Objekt menschenähnlich gestaltet wird und dieses Produkt als unheimlich empfunden wird. Dies kann ebenso ein VR-Avatar sein wie eine Person, die in eine reale Welt über AR eingeblendet wird, jedoch durch seine Transparenz zu einer geisterhaften Figur wird. Lernende können sich durch diese Effekte gruseln und vom Lernen abgelenkt werden (Schwind 2018).

Enhanced Learning: Besonders im Hinblick auf operative Fragen der Gestaltung von beruflichen Bildungsprozessen ist der Aspekt des erweiterten Lernens zu nennen, also die Möglichkeit, Lernumgebungen bereitzustellen, die in Bildungseinrichtungen nicht abgebildet werden können, weil die Lernorte weit entfernt und/oder gefährlich sind sowie ethische Standards eingehalten werden müssen (Zender et al. 2018, S. 3). So ermöglichen VR-Lernanwendungen skalierbare Lernräume, wie beispielsweise beliebig viele Werkstätten für die Lernenden. Darüber hinaus werden Gefahrenbereiche zugänglich, die sonst nicht betreten werden dürfen oder es können Unfälle simuliert werden, die unter realen Bedingungen Leib und Leben gefährden würden. Besonders im Hinblick auf die Bautechnik lassen sich so berufliche Handlungsräume, z. B. Baustellen oder Baumaschinen, virtuell in die Bildungsstätte holen und eine aktive und ungefährliche Auseinandersetzung zu Lernzwecken damit ermöglichen. Neben diesen Aspekten sind auch die Anschaffungskosten (Zinn 2019, S. 22) von XR-Lernanwendungen niedriger als Lernräume baulich umzugestalten oder zu erweitern.

Kompetenzförderung: Auch im Hinblick auf die Zielsetzung berufliche Handlungskompetenz zu fördern, werden XR-Lernanwendungen diskutiert. Für die folgenden Kompetenzdomänen ließen sich in der Literatur Erkenntnisse identifizieren:

- Die Nutzung von XR zeigt nachweisbare Effekte beim Einüben von Routineaufgaben, der Erlangung von Präzision bei Bewegungsabläufen und dem Verhalten in Ausnahmesituationen (Dauser et al. 2020, S. 15). Durch digitale Zwillinge, Simulationsmodelle realer Maschinen oder Bauteile in XR-Lernanwendungen, können Lernende nahezu sämtliche Steuerungsaufgaben durchführen und dabei Methoden- und Fachkompetenz erwerben (Wehnert et al. 2021, S. 204). Die Lernenden können z. B. die Chance bekommen, an komplexen und neuen Baumaschinen zu arbeiten, zu denen sonst der Zugang verwehrt wäre.
- Nach dem Erlangen von neuen Wissensdomänen können im Rahmen eines Blended Learning Konzepts mit XR-Lernanwendungen theoretische Erkenntnisse in reale Handlungen übertragen werden. Damit ist ein Mehrwert von XR-Lernanwendungen bei der Vermittlung von Prozesswissen, Abläufen und Verhaltensroutinen zu erkennen (Wehnert et al., 2021, S. 204). Der Arbeitsprozess bei einem Wandaufbau in Holzständerbauweise ließe sich beispielsweise so von einer XR-Lernanwendung schrittweise erläutern.
- XR fördert die Lernkompetenz durch AR- und VR-Lernwelten, die ein hohes Maß an Autonomie und Individualität bieten. Die Skalierbarkeit von XR-Lernanwendungen ermöglicht es, Zusatzinformationen bereitzustellen und den Lernenden den Schwierigkeitsgrad selbst bestimmen zu lassen, was selbstgesteuertes Lernen unterstützt (Wehnert et al. 2021; Buehler & Kohne 2020, S. 89-90). Im Hinblick auf das vorhergehende Beispiel zum Wandaufbau in Holzständerbauweise ließe sich beispielsweise der Arbeitsprozess frei gestalten, d.h. die Lernenden könnten durch eine experimentelle Vorgehensweise den besten Ablauf ermitteln, erhielten hierbei aber auch auf Bedarf Hilfestellung von der XR-Lernanwendung.
- Im Bereich der Sozialkompetenz ermöglicht XR eine standortunabhängige Zusammenarbeit, wobei Teilnehmer gemeinsam an einer Lernaufgabe arbeiten können. Die Überlegenheit von XR-Lernanwendungen im kooperativen und kollaborativen Lernen im Vergleich zu herkömmlichen Online-Formen wird durch die Möglichkeit zur Kommunikation und Interaktion, ähnlich dem Multiplayer-Modus von Computerspielen, betont (Zernig et al. 2022, S. 16; Wegner 2020, S. 428; Hellriegel & Cubela, 2018, S. 68). Als Beispiel könnten hier Lernende in einer virtuellen Baustellenumgebung gemeinsam an Planungen arbeiten und somit untereinander interagieren, z. B. auch gewerkeübergreifend.

Lernwirksamkeit: Abschließend wird die Frage beantwortet, ob XR-Lernanwendungen im Hinblick auf unterschiedliche Bildungsziele lernwirksam sind, also ob ein Lerneffekt messbar erfasst werden kann. Zernig (2020, S. 88-96) sichtet zur Beantwortung dieser Frage neun Studien zu VR-Lernanwendungen, darunter acht Trainingswelten und eine Explorationswelt. Die Domänen reichten von Medizin über Polizei und maritime Sicherheit, Bergbau, Militär, Industrie und Wirtschaft bis zur Erwachsenenbildung. In allen Studien wurde eine verbesserte Lernleistung festgestellt. In einer Metaanalyse von Garzón und Acevedo (2019) zu den Auswirkungen von Augmented Reality auf den Lernzuwachs von Lernenden wurden besonders in den Fachrichtungen Ingenieurwesen, Fertigungstechnik, Bauwesen sowie Kunst- und Geisteswissenschaften signifikante Lerneffekte erzielt. Lerneffekte in den Bereichen Sozialwissenschaften, Journalismus, Informationstechnologie, Naturwissenschaften, Mathematik, Statistik, Gesundheit und Soziales waren hingegen etwas geringer. Die Bereiche Informatik und Kommunikationstechnologien zeigten die geringsten Lerneffekte. Zinn und Ariali (2020) unterstreichen jedoch auch, dass nicht das gewählte Medium, sondern dessen Benutzerfreundlichkeit, räumliches Präsenzerlebnis, Flow-Erlebnis, kontextuelle Einbindung und didaktisches Design entscheidend für den Erfolg von Lernprozessen sind. Vor dem Hintergrund dieser Befunde darf für die Bautechnik angenommen werden, dass die Lerneffekte von XR-Lernanwendungen signifikant

sind, wobei die Qualität der jeweiligen XR-Lernwendung, als auch das gesamte Lehr-/Lernarrangement, für die Zielgruppe und die Kompetenzziele passend anzulegen sind.

Zusammenfassung: Es zeigt sich aus didaktischer Sicht, dass AR und VR in der Bildung als „Must-Have“ betrachtet werden, aber die Forschung zum didaktischen Einsatz noch ausbaufähig erscheint (Niedermeier & Müller-Kreiner, 2019). Obwohl das Potenzial von XR-Technologien im Unterricht erkannt wird, fehlen immer noch Methoden und Didaktiken, um die neuen Möglichkeiten ganzheitlich in Lehr- und Lernansätze zu integrieren (Große & Steinberg 2019). Christ und Hirschi (2021) betonen, dass VR nicht nur aus technologischen Gründen eingesetzt werden sollte, sondern klare Vorteile gegenüber herkömmlichen Lernmitteln bieten muss. Neben den nur wenig vorhandenen didaktischen Konzepten und fehlenden Lernszenarien benennen Zender et al. (2018, S. 7) auch die mangelnde Kompetenz von Lehrenden und Lernenden im Umgang mit XR-Medien als Hindernis. Um VR erfolgreich in den Unterricht zu integrieren, ist fundiertes Wissen über verfügbare Technologien, Lernanwendungen und ihren Mehrwert für das Lehren und Lernen erforderlich (Zinn 2019). Auch fehlen unterstützende Systematiken, um Potenziale und Grenzen von VR-Lernumgebungen realistisch einzuschätzen (Huchler et al. 2022). Ebenso mangelt es an Richtlinien zur Feststellung der Tauglichkeit einer XR-Anwendung für den jeweiligen Lerngegenstand (Zernig 2020).

3 XR-Lernanwendungen: (Be)Funde für die Bautechnik

Die bisherigen Ausführungen legen allgemeine Befunde zu Technologien und zur Didaktik im Kontext von XR dar und knüpfen diese – soweit möglich – exemplarisch an bautechnische Themen für die Bildungsarbeit. In diesem Kapitel wird hierauf aufbauend konkret auf XR-Lernanwendungen für die Bautechnik eingegangen, also aufgezeigt und dokumentiert, mit welchen Produkten welche Bildungsziele bedient werden können. Die Befunde entstammen einer explorativ angelegten Masterarbeit von Bogs (2023), welcher in einem ersten Schritt AR- und VR-Lernanwendungen für die berufliche Fachrichtung Bautechnik recherchierte.

Dabei zeigte die Recherche, dass die Anzahl der verfügbaren XR-Lernanwendungen in der Bautechnik überschaubar ist. Verfügbar heißt in diesem Kontext, dass sie entweder kostenlos oder kommerziell heruntergeladen und verwendet werden können, was nicht für alle gefundenen XR-Lernanwendungen gegeben war. So fanden sich auch Demotypen oder Produktankündigungen auf die – trotz Rücksprache bei Ansprechpartnern – nicht zugegriffen werden konnte. Im Kontext gewerblich-technischer AR-Lernanwendungen zeigen Müller und Kruse (2022) auf, dass knapp über 70 % aus den Bereichen Elektrotechnik, Technisches Zeichnen, Industrie- und Maschinenbautechnik kommen, die Bautechnik wird von den Autoren nicht aufgeführt, was unser Rechercheergebnis stützt. Insgesamt wurden vier XR-Lernanwendungen identifiziert (1 * AR, 3 * VR) die genutzt und analysiert werden konnten. Damit war für die Recherche eine erste Erkenntnis zu dokumentieren: Es lassen sich nur wenige XR-Lernanwendungen identifizieren, die der beruflichen Bildungsarbeit zur Verfügung stehen. Im Hinblick auf den im vorhergehenden Kapitel unter der didaktischen Perspektive „Enhanced Learning“ ausgemachten sichtbaren Nutzen von XR für die Bautechnik scheint die Entwicklung sowie Bereitstellung weiterer XR-Lernanwendungen folglich wünschenswert.

Aufbauend auf die Recherche wurden die vier verfügbaren XR-Lernanwendungen auf ihren Bildungsgehalt hin analysiert. Hierfür wurden die Lernschritte der XR-Lernanwendungen von einem Lernenden vollzogen und dies videografiert. In der Analyse der Videografie wurde das Lerngeschehen für jede abgeschlossene Teilhandlung in Schritte unterteilt, danach beschrieben und dies in der zweiten Spalte von Abbildung 2 festgehalten. Darüber hinaus wurde in der dritten Spalte festgehalten, wie lang die aktive Lernzeit für diesen Schritt war. Die Lernschritte wurden final mit dem Analyseraster für Technische Wissensinhalte (ArTWin) analysiert und dokumentiert (Erlebach et al. 2020), welche der 16 möglichen Wissensinhalte thematisiert wurden (Spalte vier in Abbildung 2).

Schritt	Lernschritte in der AR-Anwendung	Aktive Lernzeit [in Sek.]	Wissensfeld nach ArTWin
1	Video zur Hinderniserkennung im Spezialtiefbau wird abgespielt	5	1b, 1c
2	Virtuelle Baustelle wird erkundet	39	1c
3	Erklärung im Video zur Hinderniserkennung	7	2b
4

Abb. 2: Beispiel für die Dokumentation der Lernschritte (Quelle: eigene Darstellung)

In einem nächsten Analyseschritt wurde für jedes Wissensfeld zusammengefasst dargestellt, in wie vielen Momenten ein Wissensinhalt thematisiert wurde (Wissensmomente) und wieviel Lernzeit hierfür prozentual aufgebracht wurde. Dies ist in Abbildung 3 exemplarisch dargestellt. Dabei zeigt sich, dass die Addition der prozentualen Lernzeiten aller Wissensinhalte größer als 100 % sein kann. Das liegt darin begründet, dass in einem Lernschritt mehrere Wissensfelder gleichzeitig bedient werden können (Beispiel siehe Abb. 3, 3. Schritt, 4 Spalte). Das Beispiel in Abbildung 3 zeigt eine XR-Lernwendung die intensiv im Bereich deklaratives Wissen / technisches Artefaktwissen positioniert ist. Es wird dort kein prozedurales Wissen angeboten.

XR-Lernanwendung „Beispiel“	Sachwissen		Handlungswissen	
	(techn.) Artefaktwissen			
Wissensmomente	Lernzeit [in %]			
deklaratives Wissen	3	3	7	0
	1	2	60	0
Konzeptuelles Wissen	0	6	0	0
	0	38	0	0
prozedurales Wissen	0	0	0	0
	0	0	0	0
	0	0	0	0

Abb. 3: Beispiel für die Auswertung der Lernzeit und Wissensmomente je Wissensinhalt (Quelle: eigene Darstellung)

Insgesamt zeigte sich, dass über diese Vorgehensweise XR-Lernanwendungen im Hinblick auf die inhaltlichen Ausprägungen gut analysieren und beschreiben lassen. Die Ergebnisse der Analyse sind nachfolgend in Form von vier Fallbeispielen dokumentiert. Hierbei wird die jeweilige XR-Lernanwendung eingangs beschrieben und dann das Analyseergebnis zusammengefasst dargestellt.

4 Liebherr AR Experience

Die Firmengruppe Liebherr bietet eine kostenlose AR-Lernanwendung – siehe Abbildung 4 – die es ermöglicht, virtuelle Baustellen auf Smartphones oder Tablets anzusehen (Liebherr 2019). So lassen sich „virtuelle Baustellen auf spielerische Art und Weise erlebbar machen.“ In der AR-Lernanwendung können drei unterschiedliche, virtuelle Baustellen auf allen horizontalen Flächen im Raum verankert werden und sich aus jedem Blickwinkel betrachten lassen (ebenda). Innerhalb jeder Baustelle sind unterschiedliche Simulationen abrufbar, welche wie ein dreidimensionaler Film abgespielt werden. Dabei bestimmt die betrachtende Person selbst die Position des Blickwinkels. So wird „das Entdecken der kompletten Produktpalette [...] mit den Themen Materialumschlag, Heben und Spezialtiefbau“ (ebenda) sichtbar. Es werden die Techniken und Technologien von Raupenkranen, Seilbaggern und Spezialtiefbaumaschinen dabei nähergebracht. Dadurch werden „schwierige, komplexe Aufgaben [...] einfach und verständlich dargestellt und erklärt.“ (ebenda). Die Lernenden haben hier die Möglichkeit mehr zu sehen als in der Realität, denn sie können auch das einsehen, was unterhalb der Erdoberfläche geschieht. Hierdurch wird dargelegt, welche Kräfte auf die Oberfläche wirken und mit welcher Präzision die Baumaschinen arbeiten.



Abb. 4: Liebherr AR Experience, ausgeführt auf einem Tablet (Quelle: Liebherr 2019)

Die Wissensinhalte nach ArTWin sind dominant im Bereich des deklarativen Sachwissens einzuordnen, die XR-Lernanwendung bildet kein prozedurales Wissen und ebenso kein reines Handlungswissen (ohne Bezug zu technischen Artefaktwissen) ab. Von 16 Wissensinhalten werden vier Wissensinhalte bedient, welche über das deklarative Sachwissen kaum hinauskommen. Die Freiheitsgrade beziehen sich auf die Exploration der repräsentierten Inhalte, womit der Charakter der Lernwelt beschrieben ist. Insgesamt stellt sich eine AR-Lernanwendung dar, die in ihrem inhaltlichen Angebot überschaubar bleibt, sich aber einfach in Bildungsprozesse integrieren lässt. Liebherr AR Experience kann für die beiden gängigsten Betriebssysteme als App über einen der folgenden Links kostenlos bezogen werden:

Android: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.liebherr.liebherrARExperience&gl=DE>

iOS: <https://apps.apple.com/de/app/liebherr-ar-experience/id1483598932>

5 VR: Residential Fundamentals

Das Entwicklungsstudio Talespin Reality Labs bietet für VR-Brillen die Lernanwendung Residential Fundamentals – siehe Abbildung 5 – an, mit welcher Lernende ihr Verständnis für die Verwendung und Zusammenstellung von Kernbaumaterialien in Wohngebäuden entwickeln können. Die Anwendung gliedert sich in mehrere Lektionen, in welchen jeweils verschiedene Komponenten wie z.B. Böden, Wände, Türen oder Fenster aber auch elektrische Komponenten an einem virtuellen Modellhaus verbaut werden müssen. Die Anwendung hat das Ziel, dass Lernende Baumaterialien schneller identifizieren können und die Reihenfolge von Bauschritten an einem Wohnhaus kennenlernen. Nach dem Absolvieren der Lektionen betrachten die Lernenden ein vollständiges Miniatur-Wohnhaus, dessen einzelne Bauschritte jeweils nachvollzogen wurden (Talespin Reality Labs INC. o. D.).



Abb. 5: Werbeabbildung Residential Fundamentals (Quelle: Talespin Reality Labs o. D.)

Die Analyse der Wissensinhalte nach ArtWin ergibt, dass die Anwendung vorrangig die Vermittlung von deklarativem Sachwissen für technische Objekte bedient. Die Anwendung Residential Fundamentals richtet die Aufmerksamkeit demnach auf die Vermittlung von Gegenstandsbezeichnung. Weiterführend legt die Anwendung ebenfalls einen Fokus auf das konzeptuell-deklarative Handlungswissen für technische Objekte, so richten sich 60 % der aktiven Lernzeit darauf. Prozedurales Wissen und reines Handlungswissen (ohne Bezug zu technischen Artefaktwissen) werden hingegen nicht thematisiert. Von 16 Wissensinhalten werden vier bedient, demnach erwerben die Lernenden in der Anwendung vor allem Wissen über die Bezeichnungen der einzelnen Kernbaustoffe und können deren Verwendungen im Hausbau beschreiben. Die Anwendung kann für die VR-Brille Meta Quest unter dem folgenden Link kostenlos bezogen werden:

<https://www.oculus.com/experiences/quest/4334886596628241/>

6 VR: Erasmus CRANE 4.0

Erasmus CRANE 4.0 – siehe Abbildung 6 – wurde von der Arbeitsgemeinschaft Erasmus CRANE 4.0 Projekt als VR-Anwendung mit einem zugehörigem Handbuch entwickelt und ist eine Anwendung zur Kranführer:innen - Schulung, um sie mittels VR auf die Anforderungen des Arbeitsmarktes im Hinblick auf die Industrie 4.0 vorzubereiten. Ziel der Anwendung ist es, die Ausbildungszeit für Kranführer:innen zu verkürzen und gleichzeitig Ressourcen in der Ausbildung zu sparen sowieso das Gefahrenpotential für Verletzungen an Personen oder Schäden an Geräten zu minimieren. Entlang von vier Szenarien erlernen die Lernenden grundlegende Sicherheitsmaßnahmen für den Betrieb

eines Teleskopmobilkranes, für die Einrichtung einer Baustelle, für die Einhaltung der Betriebsgrenzen und für die Inspektion des Autokrans. Begleitet wird die VR-Anwendung von einem Seminar und von einem Handbuch (Erasmus Crane 4.0 2020).



Abb. 6: Erasmus Crane 4.0 (Quelle: Altlabvr o. D.)

In der Analyse der Wissensinhalte nach ArTWin ergibt sich in der Anwendung Erasmus Crane 4.0 vor allem eine starke Ausprägung im Wissensfeld des deklarativen Sachwissens für technische Inhalte. Die Anwendung bedient zudem deutlich das deklarativ-konzeptuelle Handlungswissen für technische Inhalte. Von den 16 möglichen Wissensfeldern werden fünf bedient. Die Anwendung kann kostenlos unter folgendem Link für die Meta Quest bezogen werden:

https://www.meta.com/de-de/experiences/5386005308077943/?utm_source=altlabvr.com

7 VR: VR Construction Health and Safety Training

Die VR-Anwendung VR Construction Health and Safety Training – siehe Abbildung 7 – des niederländischen Entwicklers Averell van de Bos wurde mit der Unterstützung von Bouwend Nederland entwickelt und wendet sich den Gefahrenpotentialen auf Baustellen zu (SkillTransmission o. D.). Die Anwendung ist Teil einer VR Toolbox (Koninklijke Bouwend Nederland, 2022). In der Anwendung wird eine Baustelle von den Lernenden begangen und an ausgewählten Stellen eine Einschätzung zu Gefahrenpotentialen abgefragt. Ist eine korrekte Einordnung des Gefahrenpotentials erfolgt, müssen die Lernenden eine geeignete Maßnahme zur Beseitigung der Gefahr auswählen.

Von 16 möglichen Wissensfeldern nach ArTWin werden in dieser Anwendung 10 Wissensfelder bedient. Besonders deutlich ist das Wissensangebot für das deklarative Sachwissen für technische Inhalte. Dort konnten 53 Wissensmomente festgestellt werden, wobei diese in jedem Handlungsschritt der Anwendung vorkommen. Ebenfalls deutlich vertreten ist das auf technische Inhalte bezogene deklarative Handlungswissen. Die Anwendung bietet den Lernenden vor allem die Vermittlung von technischen Begriffen und Handlungsweisungen in Bezug auf die Sicherheit auf Baustellen an. Inzwischen ist sie in Deutschland beim TÜV Rheinland kommerziell verfügbar:

<https://akademie.tuv.com/unternehmensloesungen/vr-safety-training-box>



Abb. 7: VR Toolbox: Health and Safety Training (Quelle: Koninklijke Bouwend Nederland 2021)

8 Resümee: Status quo und Perspektiven

Das erste Kapitel zeigt die verfügbaren Technologien auf, die dafür notwendigen monetären Investitionen variieren je nach Technologie. Während Smartphones und Tablets bereits eine Verbreitung in beruflichen Bildungseinrichtungen erlangt haben und damit ohne weitere Investition verfügbar sein dürften, müssen AR- und VR-Brillen noch beschafft werden. Eine handelsübliche VR-Brille ist für ca. 400 Euro erhältlich, eine AR-Brille kann auch mit 3.500 Euro zu Buche schlagen. Wir haben mit VR-Brillen für 400 Euro gute Erfahrungen in Lernkontexten sammeln können. Alle hier vorgestellten VR-Lernanwendungen wurden auf der Meta Quest 2 ausgeführt, die AR-Anwendungen wurden mit handelsüblichen Tablets benutzt. Die Beschaffung von einem (Klassen-)Satz, in dem sich beispielsweise zwei Lernende eine VR-Brille teilen, ist damit im Bereich des Möglichen. Es kann somit konstatiert werden, dass die XR-Technologien für den Einsatz in der täglichen Bildungsarbeit zur Verfügung stehen.

Das zweite Kapitel zeigt die Befundlage zum Einsatz von XR-Technologien in Bildungskontexten. Die didaktischen Betrachtungen können dabei den Nutzen von XR-Lernanwendungen sichtbar machen. Besonders hervorzuheben ist das Schaffen von Freiheitsgraden für die Lernenden, die Möglichkeit beliebig viele spezielle Lernräume zur Verfügung zu stellen, die Motivation der Lernenden zu erhöhen oder theoretisches Wissen mit beruflichen Handlungen zu verknüpfen. Besonders für gewerblich-technische Fachrichtungen wird eine hohe Lernwirksamkeit belegt und dies auch für die Bautechnik benannt. Es zeigen sich aber auch negative Effekte für das Lernen mit XR-Lernanwendungen, z.B. Motion Sickness bei VR-Lernanwendungen, und Zinn sowie Ariali (2020) unterstreichen, dass nicht die XR-Technologie als solches, sondern dessen Benutzerfreundlichkeit, räumliches Präsenzerlebnis, Flow-Erlebnis, kontextuelle Einbindung und didaktisches Design entscheidend für den Erfolg von Lernprozessen sind. Im Hinblick auf eine XR-Didaktik ist darüber hinaus darzulegen, dass obwohl das Potenzial von XR-Technologien im Unterricht erkannt wird, es immer noch an Methoden und Didaktiken fehlt, um die neuen Möglichkeiten ganzheitlich in Lehr- und Lernansätze zu integrieren (Große & Steinberg 2019). Es fehlen auch unterstützende Systematiken, um Potenziale und Grenzen von VR-Lernumgebungen realistisch einzuschätzen (Huchler et al. 2022). XR-Lernanwendungen sind damit keine Selbstläufer, sie müssen ebenso bedacht gestaltet wie reflektiert in den Lernprozess eingebunden werden. Um diese Desiderata zu begegnen, fördert die EU das Projekt „Pedagogical Alliance for XR Technologies“ (PAX; Fördernummer 101106567) im Zeitraum vom 1.4.24 bis zum 31.3.27. Die Ergebnisse werden über den Verlauf des Projektes auf der Website „www.pax-project.eu“ veröffentlicht werden.

Das dritte Kapitel widmet sich der Darstellung von XR-Lernanwendungen in der Bautechnik. Es zeigt sich, dass die Anzahl der verfügbaren XR-Lernanwendungen überschaubar ist, es konnten nur vier getestet werden. Die Analyse zeigt entlang des ArTWin-Modells die möglichen Wissensinhalte auf, die über die XR-Lernanwendungen bedient werden. Insgesamt ist jedoch darzulegen, dass die Bereitstellung weiterer XR-Lernanwendungen für die Bautechnik bis dato wünschenswert ist, um einen breiten Einsatz für die bautechnische Bildungsarbeit sicherzustellen.

Zusammenfassend zeigt sich, dass XR-Lernanwendungen in der Bautechnik einen hohen Nutzen erzielen können und die XR-Technologien hierfür bereitstehen. Das Repertoire an didaktischen Unterstützungen und verfügbaren XR-Lernanwendungen, gerade für die Bautechnik, ist allerdings noch ausbaufähig. Trotz dessen bieten die verfügbaren XR-Lernanwendungen für Bildungspraktiker:innen die Möglichkeit erste Erfahrungen zu sammeln und einen Nutzen in der täglichen Bildungsarbeit zu erzielen.

Literatur

- Alizadehsalehi, S., Hadavi, A. & Huang, J. C. (2020). From BIM to extended reality in AEC industry. *Automation in Construction*, 116, S. 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103254>
- Altlabvr (o. D.). CRANES 4.0: VR for training. Verfügbar unter: <https://www.altlabvr.com/cranes-4-0-vr-fortraining> (Zugriff am: 10.06.24)
- Apt, W., Schubert, M. & Wischmann, S. (2018). *Digitale Assistenzsysteme. Perspektiven und Herausforderungen für den Einsatz in Industrie und Dienstleistungen*. Institut für Innovation und Technik. Berlin.
- Bloom, B.S., Engelhart, M.D., Furst, E.J., Hill, W.J. & Krathwohl, D.R. (1956). *Taxonomy of educational objectives: The classification of educational goals*. Handbook I: Cognitive domain. David McKay Company. Longmans.
- Bogs, D. (2023). *Technikdidaktische Inhaltsanalyse bautechnischer XR-Anwendungen*. [unveröffentlichte Masterarbeit]. Institut für Berufliche Lehrerbildung der FH Münster.
- Buehler, K. & Kohne, A. (2020). Besser Lernen mit VR/AR Anwendungen. In H. Orsolits & M. Lackner (Hg.), *Virtual Reality und Augmented Reality in der Digitalen Produktion*, 74–86. Springer Fachmedien.
- Christ, O. & Hirschi, M. (2021). Virtual Reality in der Berufsbildung: Pilotstudie der login Berufsbildung AG und der Hochschule für Angewandten Psychologie (FHNW). In D. Fleischmann (Hg.), *Transfer, Berufsbildung in Forschung und Praxis*, 1–4. <https://doi.org/10.26041/fhnw-3588>
- Christou, C. (2010). Virtual Reality in Education. In A. Tzanavari & N. Tsapatsoulis (Hg.), *Affective, Interactive and Cognitive Methods for E-Learning Design: Creating an Optimal Education Experience*, 228–243. IGI Global.
- Dauser, D., Fischer, A. & Schley, T. (2020). Soziale Kompetenz mit Virtual-Reality-Technologien fördern (Abschlussbericht im Projekt SoKo VR-Brille 01/2020). Forschungsinstitut Betriebliche Bildung.
- Dörner, R., Broll, W., Jung, B., Grimm, P. & Göbel, M. (2019). Einführung in Virtual und Augmented Reality. In R. Dörner, W. Broll, P. Grimm, & B. Jung (Hg.), *Virtual und Augmented Reality (VR/AR)*, 1–42. Springer-Vieweg.

Elmezeny, A., Edenhofer, N. & Wimmer, J. (2018). Immersive storytelling in 360-degree-videos: an analysis of interplay between narrative and technical immersion. *Journal For Virtual Worlds Research*, 11(1), 1–13. <https://doi.org/10.4101/jvwr.v11i1.7298>

Erasmuscrane40. (o. D.). *ERASMUS CRANE 4.0 A Digital Trainers Toolbox To Help Crane Operators Update Their Skills for Industry 4.0 Environments*. Verfügbar unter: <https://www.erasmuscrane40.com/> (Zugriff am: 10.06.24)

Erlebach, R., Leske, P. & Frank, C. (2020): Ein Analyseraster Technischer Wissensinhalte als Grundlage für eine lebenswelt- und ressourcenorientierte Unterrichtsplanung. *bwp@ Berufs- und Wirtschaftspädagogik – online*, 38, 1–31. Verfügbar unter: https://www.bwpat.de/ausgabe38/erlebach_etal_bwpat38.pdf (Zugriff am 10.06.24)

Fell, T. (2020). *Lernen in immersiven Welten - Impulspapier*. Bitkom e. V.

Garzón, J. & Acevedo, J. (2019). Meta-analysis of the impact of augmented reality on students' learning gains. *Educational Research Review*, 27, 244–260. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2019.04.001>

Ghosh, S., Winston, L., Panchal, N., Kimura-Thollander, P., Hotnog, J., Cheong, D., Reyes, G. & Abowd, G. D. (2018): NotifiVR: Exploring Interruptions and Notifications in Virtual Reality. *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, 24(4), 1447–1456. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2018.2793698>

Große, R., Steinberg, S. (2019). Virtual-Reality-gestütztes Lernen in der internationalen Berufsbildungszusammenarbeit. In H. Barske, M. Bockhold, & R. Valler (Hg.), *Berufsbildung international – Digitalisierung*, 29–32. DLR Projektträger.

Hellriegel, J. & Cubela, D. (2018). Das Potenzial von Virtual Reality für den schulischen Unterricht - eine konstruktivistische Sicht. *Medien Pädagogik: Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung*, 58–80. <https://doi.org/10.21240/mpaed/00/2018.12.11.X>

Huchler, N., Wittal, R. & Heinlein, M. (2022). Erfahrungsbasiertes Lernen in der virtuellen Realität – Potenziale und Herausforderungen. *WP Berufsbildung in Wirtschaft und Praxis*, 512, 28–32.

Koninklijke Bouwend Nederland. (2021, 2. November). *VR-toolbox: Ervaar de onveiligheid van werken op grote hoogte* [VR-Toolbox: Erleben Sie die Unsicherheit bei der Arbeit in der Höhe]. Verfügbar unter: <https://www.youtube.com/watch?v=HtnGIG6lzCo> (Zugriff am 10.06.24)

Liang, Z., Zhou, K. & Gao, K. (2019). Development of Virtual Reality Serious Game for Underground Rock-Related Hazards Safety Training. *IEEE Access*, 7, 118639–118649. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2934990>

Liebherr (2019, 19. November). *Liebherr AR Experience – Digitalisierung zum Anfassen* [Pressemeldung]. Verfügbar unter: <https://www.liebherr.com/de/deu/aktuelles/news-pressemitteilungen/detail/liebherr-ar-experience-%E2%80%93-digitalisierung-zum-anfassen.html> (Zugriff am 10.06.24)

Marx, J. (2007). *Motivationale Aspekte beim E-Learning: theoretische Ansätze und Hinweise für die Praxis zur Motivation für das Lernen mit dem Computer und im Internet*. VDM Verlag.

Milgram, P. & Kishino, A. F. (1994). Taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE transactions on information and systems*, E77-D(12), 1321–1329.

- Mittelstaedt, H.M., Wacker, J. & Stelling, D. (2018). *VR aftereffect and the relation of cybersickness and cognitive performance*. Springer-Verlag London Ltd. <https://doi.org/10.1007/s10055-018-0370-3>
- Mori, M., MacDormann, K.F. & Kageki, N. (2012). The Uncanny Valley: The Original Essay by Masahiro Mori. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 2. <https://ieeexplore.ieee.org/document/6213238>
- Müller, S. & Kruse, S. (2022). Systematisches Review: Augmented Reality in der technischen Bildung. *Journal of Technical Education (JOTED)*, 10(2), 42–61. <https://doi.org/10.48513/JOTED.V10I2.249>
- Niedermeier, S. & Müller-Kreiner, C. (2019). *VR/AR in der Lehre!? Eine Übersichtsstudie zu Zukunftsvisionen des digitalen Lernens aus der Sicht von Studierenden*. <https://doi.org/10.25656/01:18048>
- Rolland, P.J., Holloway R.L. & Fuchs, H. (1994). *Comparison of optical and video see-through, head-mounted displays*. <https://doi.org/10.1117/12.197322>
- Ryan, M.-L. (2015). *Narrative as virtual reality 2: revisiting immersion and interactivity in literature and electronic media*. Johns Hopkins University Press.
- Schwind, V. (2018). *Implications of the Uncanny Valley of Avatars and Virtual Characters for Human-Computer Interaction* [Dissertation]. Fakultät Informatik, Elektrotechnik und Informationstechnik der Universität Stuttgart 3059. Universität Stuttgart. Verfügbar unter: <https://elib.uni-stuttgart.de/handle/11682/9953> (Zugriff am 10.06.24)
- SkillTransmission. (o.D.). *Skill Transmission. New Vrealms of Possibilities*. Verfügbar unter: <https://skilltransmission.com/> (Zugriff am 10.06.24)
- Smith, S. P. & Burd, E. L. (2019). *Response activation and inhibition after exposure to virtual reality*. *Array*, 3–4. <https://doi.org/10.1016/j.array.2019.100010>
- Stangl, W. (2022). Embodied Cognition. *Online Lexikon für Psychologie und Pädagogik*. Verfügbar unter: <https://lexikon.stangl.eu/14550/embodied-cognition> (Zugriff am 10.06.24)
- Steiger, L., Reiß, M. & Mehler-Bicher, A. (2011). *Augmented Reality: Theorie und Praxis*. Verfügbar unter: http://www.degruyter.com/search?f_0=isbnissn&q_0=9783486706888&searchTitles=true (Zugriff am 10.06.24)
- Talespin. (o.D.). *Residential Fundamentals Insurance VR Training Module*. Verfügbar unter: <https://www.talespin.com/residential-fundamentals> (Zugriff am 10.06.24)
- Thomas, O., Metzger, D. & Niegemann, H. M. (Hg.) (2018). *Digitalisierung in der Aus- und Weiterbildung: Virtual und Augmented Reality für Industrie 4.0*. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-56551-3>
- Tönnis, M. (2010). Augmented Reality. Einblicke in die Erweiterte Realität. In Günther, O.; Karl, W.; Lienhart, R. & Zeppenfeld K. (Hg.), *Informatik im Focus*. Springer-Verlag.
- Vosmeer, M., Schouten, B. (2014). Interactive cinema: engagement and interaction. *International Journal of Virtual Communities and Social Networking*, 6, 140–147. https://doi.org/10.1007/978-3-319-12337-0_14

Wegner, K. (2020). Kreativprozesse in VR. In H. Orsolits, & M. Lackner (Hg.), *Virtual Reality und Augmented Reality in der Digitalen Produktion*, 419–430. Fachmedien Wiesbaden GmbH. doi:978-3-658-29008-5

Wehnert, C., Hönig, J., Spielmann, T., Schnierle, M., Franz, J., Röck, S., Riedel, O., Scheifele C. & Roth, A. (2021). Weiterbildung im Maschinen- und Anlagenbau mittels Mixed-Reality-in-the-Loop Simulation. *Journal of Technical Education (JOTED)*, 9(2), 188–208. <https://doi.org/10.48513/joted.v9i2.218>

Weise, M. & Zender, R. (2017). Interaktionstechniken in VR-Lernwelten. In C. Ullrich, & M. Wessner (Hg.), *Proceedings of DeLFI and GMW Workshops 2017*.

Zender, R., Weise, M., von der Heide, M. & Söbke, H. (2018). Lehren und Lernen mit VR und AR – Was wird erwartet? Was funktioniert? In D. Schiffner (Hg.), *Proceedings of DeLFI Workshops 2018*.

Zernig, N. (2020). *Lernen Erwachsener in Virtuellen Realitäten* [Masterarbeit]. Karl-Franzens-Universität Graz.

Zernig, N., Gruber, E. & Georg, M. (2022). Virtual Reality in der Erwachsenen- und Weiterbildung. Wo stehen wir heute? B. f. Forschung (Hg.), *erwachsenenbildung.at - Das Fachmedium für Forschung, Praxis und Diskurs*, 44–45.

Zinn, B. (2019). Editorial: Lehren und Lernen zwischen Virtualität und Realität. *Journal of Technical Education*, 7(1), 16–31. <https://doi.org/10.48513/joted.v7i1.182>

Zinn, B. & Ariali, S. (2020). Technologiebasierte Erfahrungswelten: Lehren und Lernen zwischen Virtualität und Realität. In B. Zinn (Hg.), *Pädagogik. Virtual, augmented und cross reality in Praxis und Forschung: Technologiebasierte Erfahrungswelten in der beruflichen Aus- und Weiterbildung: Theorie und Anwendung*. Franz Steiner Verlag.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Virtualitäts-Realitäts-Kontinuum nach Milgram und Kishino (1994),

Quelle: eigene Darstellung

Abb. 2: Beispiel für die Dokumentation der Lernschritte,

Quelle: eigene Darstellung

Abb. 3: Beispiel für die Auswertung der Lernzeit und Wissensmomente je Wissensinhalt, Quelle: eigene Darstellung

Abb. 4: Liebherr AR Experience, ausgeführt auf einem Tablet, Quelle: Liebherr (2019)

Abb. 5: Werbeabbildung Residential Fundamentals, Quelle: Talespin Reality Labs (o. D.)

Abb. 6: Erasmus Crane 4.0, Quelle: Altlabvr (o. D.)

Abb 7: VR Toolbox: Health and Safety Training, Quelle: Koninklijke Bouwend Nederland (2021)

Autorenangaben:

Prof. Dr. phil.

Marc Krüger

FH Münster/Institut für Berufliche Lehrerbildung

marc.krueger@fh-muenster.de

B.Eng.

Nils Stallmeier

FH Münster/Institut für Berufliche Lehrerbildung

nils.stallmeier@fh-muenster.de

Len Schrader

FH Münster/Institut für Berufliche Lehrerbildung
len.schrader@fh-muenster.de

M.Ed.

Daniel Bogs

Berufskolleg Borken
daniel.bogs@berufskolleg-borken.de

Zitieren dieses Beitrags

Krüger, M., Stallmeier, N., Bogs, D. & Schrader, L. (2024). Extended Reality (XR) für die Bildungsarbeit in der Bautechnik. BAG:on – Online-Journal der BAG Bau, Holz, Farbe, 1(1), 2–18. <https://doi.org/10.69804/bagon.v1i1.6>