



Integration des Metaverse in die Lehre

Eine studentische Perspektive am Beispiel aus Modulen des Bauingenieurwesens

NIELS BARTELS & KRISTINA HAHNE

Zusammenfassung

Die Lehre im Bauingenieurwesen bedient sich derzeit verschiedener Lehrformate, wie Vorlesungen, Übungen, Gruppenarbeiten sowie projekt- und forschungsbasierten Lehrformen. Diese Lehrformen werden zunehmend durch digitale Technologien wie Videos oder Virtual Reality (VR) unterstützt. Derzeit erfährt darüber hinaus das Metaverse zunehmende Beachtung in der Lehre. Im Bauingenieurwesen existieren jedoch noch keine umfangreichen Studien zum Einsatz des Metaverse in der Lehre. Der vorliegende Beitrag untersucht vor diesem Hintergrund die Potenziale des Einsatzes des Metaverse anhand von zwei Kursen aus dem Bauingenieurwesen. Hierbei werden anhand quantitativer und qualitativer Umfragen die Auswirkungen des Einsatzes des Metaverse auf die Learning Outcomes sowie die Vorteile, Herausforderungen, Grundlagen und Lehrinhalte evaluiert. Die Ergebnisse zeigen, dass der Einsatz des Metaverse positiven Einfluss auf die Lehre und Learning Outcomes der Studierenden aufweist. Darüber hinaus werden anhand von Vorteilen und Hemmnissen Erfolgsfaktoren für den Einsatz des Metaverse in der Lehre im Bauingenieurwesen dargestellt.

Schlüsselwörter: Metaverse; Digitalisierung der Lehre; Bauingenieurwesen; Virtual und Augmented Reality (VR / AR); Building Information Modeling

Integration of the Metaverse into teaching

A student perspective using the example of civil engineering modules

Abstract

Teaching in civil engineering currently uses various teaching formats, such as lectures, exercises, group work as well as project and research-based teaching forms. These teaching formats are increasingly supported by digital technologies such as videos or Virtual Reality (VR). In addition, the Metaverse is currently receiving increasing attention in teaching and education. In civil engineering, however, there are still no sufficient studies on the use of the metaverse in teaching. Against this background, this article examines the potential of using the Metaverse on the basis of two civil engineering courses. The effects of using the metaverse on the learning outcomes as well as the advantages, challenges, basics and teaching content are evaluated using quantitative and qualitative surveys. The results show that the use of the Metaverse has a positive influence on the teaching and learning outcomes of the students. In addition, success factors for the use of the Metaverse in teaching in civil engineering are presented on the basis of advantages and obstacles.

Keywords: Metaverse; Digitization of Education; Civil Engineering; Virtual und Augmented Reality (VR / AR); Building Information Modeling

1 Einleitung

Die Lehre im Bauingenieurwesen wird mithilfe unterschiedlicher didaktischer Konzepte durchgeführt. Das Spektrum der Lehrformen reicht hierbei von klassischen Vorlesungen und Übungen über Gruppenarbeiten im projektbasierten Lernen bis hin zu lehrforschungsbasierter Lehre (Diao & Shih, 2019; Dinis et al., 2017). Die Lehrformen werden in bestimmten Bereichen durch digitale Technologien wie Lehrvideos oder Plattformen sowie den Einsatz von Virtual Reality (VR) ergänzt (Maile et al., 2023).

Durch die Digitalisierung des Bauwesens wächst derzeit in der Lehre der Bedarf nach neuen Lehrkonzepten. Beispielhaft kann hier die Methode des Building Information Modeling (BIM) angeführt werden. Durch den Einsatz der BIM-Methode soll ein Datenaustausch über den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes (von der Idee und Planung über die Ausführung bis hin zu Betrieb und Verwertung) sowie zwischen den verschiedenen fachlich Beteiligten, z. B. Architektinnen und Architekten, Fachplanern und -planerinnen sowie Facility Management (FM) ermöglicht werden (Bartels, 2020; Borrmann et al., 2021). Hiermit einher geht die Notwendigkeit, Studierenden neue Hard Skills zu vermitteln, aber auch die Soft Skills der Studierenden zu verbessern (Wimmer et al., 2023). Dabei stehen im Bereich der Hard Skills nicht nur der Umgang mit neuer Soft- und Hardware im Anwendungsbereich des BIM, sondern auch die korrekte Einbindung bestehender Normen und Richtlinien sowie die Vermittlung komplexer BIM-Prozesse im Vordergrund. Die Arbeit in einem transdisziplinären Team mit unterschiedlichen Fachdisziplinen erfordert aber zusätzlich eine sehr gute Kommunikationsfähigkeit und klare Strukturen im Teamwork. Hierfür ist es notwendig, dass die Lehre so konzipiert ist, dass beide Kompetenzbereiche gleichermaßen vermittelt und die Studierenden so optimal auf die digitalen Anforderungen des Bauingenieurwesens vorbereitet werden. Im Lehrkonzept sollten daher (zusätzlich) zum projektbasierten Arbeiten Elemente wie Gamification und die Nutzung digitaler Hilfsmittel mit eingebunden werden. Unter Gamification wird hierbei die Integration und Nutzung spielerischer Elemente verstanden, wie sie in Computerspielen vorkommen (Raczkowski & Schrape, 2018). Studien zeigen, dass insbesondere Gamification-Ansätze die Learning Outcomes optimieren können (Alsawaier, 2018; Sailer, 2016).

Lehrkonzepte und Ansätze können mit immersiven Welten und dem Einsatz erweiterter Realitäten, wie VR oder AR, noch weiter angereichert und die Learning Outcomes im Vergleich noch einmal erhöht werden (Makransky & Petersen, 2021; Wu et al., 2020). Darauf aufbauend zeigen einige Studien, dass das Metaverse noch einmal deutliche Vorteile für die Lehre und damit eine Erhöhung der Learning Outcomes ermöglicht (Johnston et al., 2018; Weber-Lewerenz, 2022; Wu et al., 2020). Auch im Bauwesen bieten sich Einsatzbereiche für das Metaverse und erste Forschungsprojekte werden bereits umgesetzt (Chen et al., 2022; Chen et al., 2023; Huang et al., 2022; Kit, 2022; Wang et al., 2022). Die Literaturrecherche mit den Suchbegriffen „Metaverse“, „Lehre“, „BIM“ und „Bauwesen“ zeigt aber auch, dass der transdisziplinäre Einsatz des Metaverse in der Lehre des Bauingenieurwesens derzeit noch nicht vollumfänglich betrachtet wird.

Vor diesem Hintergrund wurden im Rahmen der Module „Digitales Planen und Bauen (DPB)“ (Bachelor Bauingenieurwesen, 4. Semester) und „Building Information Modeling (BIM)“ (Bachelor Energie- und Gebäudetechnik, 6. Semester) an der Technischen Hochschulen Köln die Auswirkungen des Metaverse auf die Lehre im Bauingenieurwesen am Beispiel des Digitalen Planens und Bauens erforscht. Hierfür wurden das Metaverse in die Inhalte der vorgenannten Module integriert und Technologien des Metaverse in die Lehre eingebunden. Im Vordergrund der Forschung stand die Evaluation der Vorteile und Herausforderungen der Lehre im Metaverse sowie die möglichen Inhalte, die im Metaverse gelehrt werden können, und die Voraussetzungen für eine Lehre im Metaverse.

2 Methodik

Dieser Artikel stellt die quantitativen und qualitativen Ergebnisse des Projektes dar, die mithilfe von drei Schritten entwickelt wurden. Dieses Vorgehen ist in der nachfolgenden Abbildung 1 dargestellt.



Abbildung 1: Vorgehen und Inhalte des Moduls

In Schritt 1 (Vorbereitung) wurden die Vorlesungen vorbereitet, indem relevante Anwendungsfälle für das Metaverse und Extended Reality durch das Lehrpersonal entwickelt wurden. Hierzu wurde eine Literaturanalyse durchgeführt, um eine klare Begriffsdefinition sowie Vor- und Nachteile des Metaverse in der Lehre und im Bauwesen zu erhalten. Außerdem wurde eine Literaturanalyse im Hinblick auf Anwendungsfälle des Metaverse für das Bauwesen durchgeführt. Parallel wurden Workshops mit Fachleuten durchgeführt, um potenzielle Anwendungsfälle für die Praxis zu evaluieren, die für die Studierenden relevant sein können und damit in die Vorlesungen einfließen sollen. Hierdurch wurde die Grundlage für die Lehrinhalte des Moduls zur Verknüpfung mit dem Metaverse geschaffen.

In Schritt 2 (Vorlesungen, Übungen und Gruppenarbeit) wurden die in Schritt 1 erarbeiteten Grundlagen im Modul angewendet, gelehrt und gemeinsam mit den Studierenden evaluiert. Zu Beginn wurde im März 2023 eine Vorlesung entwickelt, um den Studierenden die grundlegenden Begriffe des Metaverse sowie die Verknüpfung zum Bauwesen darzustellen. Hierauf aufbauend wurden Ende April 2023 Workshops mit den Studierenden durchgeführt, in denen sie praktische Anwendungsfälle aus dem Bausektor im Metaverse ausprobieren konnten. Um eine qualitative Aussage zur deren Lernerfahrung im Workshop zu erhalten, wurde vorab eine Online-Befragung erstellt, die im Anschluss an den Workshop von den Studierenden ausgefüllt wurde. Anfang Juni 2023 fanden ergänzende Übungen statt, in denen die Studierenden eine Umgebung im Metaverse modellierten. Ebenfalls wurde Anfang Juni ein Onlinetest durchgeführt, in dem die Studierenden Fragen zum Thema BIM beantworten mussten. Parallel zu den Veranstaltungen erstellten die Studierenden über das gesamte Semester eine schriftliche Ausarbeitung, in der sie die Vor- und Nachteile sowie notwendige Grundlagen und mögliche Lehrinhalte erarbeiten sollten. Diese schriftlichen Ausarbeitungen wurden im Rahmen eines World Cafés Ende Juni 2023 den Mitstudierenden präsentiert.

In Schritt 3 (Auswertung) wurden die schriftlichen Ausarbeitungen der Studierenden sowie die Ergebnisse aus den Übungen, Workshops und dem Onlinetest nochmals abschließend analysiert und ausgewertet. Neben der Auswertung des Tests zur Validierung der Learning Outcomes wurden hierzu die schriftlichen Ausarbeitungen der Studierenden nach Vorteilen, Herausforderungen, Voraussetzungen für die Lehre sowie potenzielle Lehrinhalte untersucht und nach Schlüsselwörtern analysiert. Diese Schlüsselwörter wurden gesammelt und mithilfe von Mindmaps zu Clustern zusammengeführt, um Ableitungen für die Anwendung des Metaverse in der Lehre zu treffen.

3 Ausgangslage

Die nachfolgenden Abschnitte stellen die Ergebnisse der Literaturanalyse dar. Hierbei werden zunächst grundlegende Definitionen zum Metaverse ausgearbeitet. Anschließend wird der aktuelle Stand des Einsatzes des Metaverse in der Lehre allgemein und anschließend mit direktem Bezug auf die Lehre im Bauingenieurwesen ausgewertet und dargestellt.

3.1 Metaverse

In Forschung und Praxis ist der Begriff Metaverse derzeit noch nicht abschließend definiert (Weinberger, 2022). Seit der Umbenennung von Facebook in Meta Platforms wird der Begriff vermehrt mit Facebook verbunden, jedoch nutzen auch andere Unternehmen wie Microsoft den Begriff und investieren in das Metaverse (Kraus et al., 2022). Daneben existieren verschiedene Plattformen, wie Decentraland, Second Life oder Sandbox, die ebenfalls als Metaverse bezeichnet werden (Fernandez & Hui, 2022).

In Literatur und Forschung existieren verschiedene Definitionen des Begriffs Metaverse. Es wird davon ausgegangen, dass das Metaverse eine komplett offene und hersteller- und hardwareunabhängige Plattform sein wird (Billinghurst). Weitere Definitionen beschreiben eine Kombination aus realer und virtueller Welt, in der eine soziale Interaktion stattfindet und die verschiedene Technologien, wie Extended Reality, einbindet (Buchholz et al., 2022). Darüber hinaus wird das Metaverse als ein Ort definiert, der für alle offen ist und von niemandem kontrolliert wird (Parisi, 2021). Zudem wird die Multimodalität herausgestellt, also die Nutzung des Metaverse auf verschiedene Weise (Eldin et al., 2023). Hierdurch können die Nutzerinnen und Nutzer die Form und Intensität der Nutzung selbst bestimmen und anpassen (Buchholz et al., 2022).

Auf Grundlage der Definitionen wurde für das Modul die nachfolgende Definition für das Metaverse verwendet:

Das Metaverse ist eine Kombination der realen und virtuellen Welt, in der verschiedene Anwendungen, wie digitale Marktplätze, digitale Immobilien, Marken und Unternehmen sowie Marketing und Bildung angeboten werden. Das Metaverse basiert auf offenen Standards, digitaler Teilhabe, Persistenz, Multimodalität und sozialer Interaktion. Die technische Basis für das Metaverse bilden Hardware für Extended Reality (z. B. AR- oder VR-Brillen), Blockchain, Cloud Computing, Kryptowährung, das Web 3.0 und Künstliche Intelligenz.

3.2 Einsatz des Metaverse in der Bildung

Eine Literaturanalyse zeigt, dass bereits verschiedene Projekte existieren, die die Auswirkungen, Grenzen und Anwendungen des Metaverse für die Bildung bewerten und dass erste Metaverse-Campus und -Anwendungen verfügbar sind, die Möglichkeiten zum Eintauchen in virtuelle Welten bieten (Díaz et al., 2020; Kruse & Schmidt; Müser & Fehling, 2022). Diese virtuellen Welten können als immersiv bezeichnet werden. Hierbei ist erkennbar, dass der Großteil der Studien eine Verbesserung der Learning Outcomes durch den Einsatz immersiver Technologien, wie VR, AR oder das Metaverse aufzeigt (Chavez & Bayona, 2018; Hamilton et al., 2021; Hellriegel & Čubela, 2018). In Bezug auf das Metaverse zeigt ein Vergleich der Lernergebnisse, dass Studierende, die im Metaverse unterrichtet werden, bessere Lernergebnisse erzielen als die Vergleichsgruppe (Johnston et al., 2018; Weber-Lewerenz, 2022; Wu et al., 2020). Johnston et al. 2018 zeigen in einem Vergleich der Lernergebnisse, dass Studierende, die im Metaverse unterrichtet werden und die Möglichkeit bekommen, Lerninhalte wie z. B. das virtuelle 3-D Modell einer Zelle interaktiv zu erleben, bessere Lernergebnisse erzielen als die Vergleichsgruppe.

Der Schwerpunkt der Studien liegt auf Anwendungen für Sprachwissenschaften (z. B. Li & Yu, 2022), Anwendungen für die Wirtschaft, wie z. B. Marketing (z. B. Hwang & Koo, 2023), Ausbildung in der Krankenpflege und im Gesundheitswesen (z. B. Koo, 2021), wissenschaftliche Ausbildung in Museen (z. B. Choi & Kim, 2017), Textspiele (z. B. Graaf, 2016) und Anwendungen für die Ausbildung in der Fertigung (z. B. Siyaev & Jo, 2021).

Vorteile liegen vor allem in der Schaffung einer neuen Lern- und Lehrumgebung, die gemäß den Studien die Lernergebnisse verbessert:

1. Es existiert eine neue Flexibilität, da das Potenzial für eine ortsunabhängige und asynchrone Lernumgebung geschaffen wird (Thomas et al., 2018).
2. Immersives Lernen mit VR, AR oder dem Metaverse kann das situative Interesse der Studierenden steigern, sodass sie sich mehr für die unterrichteten Kurse interessieren (Makransky et al., 2019; Mulders, 2020).
3. Auch komplexe Sachverhalte können anschaulich dargestellt werden, z. B. Lastabtrag in Bauwerken (Lv et al., 2022).

Demgegenüber existieren drei Nachteile, die in verschiedenen Quellen genannt werden.

1. Herausforderungen in der zwischenmenschlichen Kommunikation müssen berücksichtigt werden. Insbesondere darf die Lehre im Metaverse nicht zu Vereinsamung und sozialer Isolation führen (Röthler, 2022).
2. Das Metaverse könnte zu Ermüdung aufgrund von Reizüberflutung führen (Hennig-Thurau et al., 2023).
3. Es besteht die Befürchtung, dass eine Monopolstellung der Anbietenden eintritt. Dieser Aspekt muss für die öffentliche Bildung kritisch hinterfragt werden (Röthler, 2022).

Um die Grenzen und Anwendungen zu evaluieren, wurden in der Forschung erste Lehrveranstaltungen in Metaverse-Campus durchgeführt und analysiert (Jovanović & Milosavljević, 2022). Darüber hinaus gibt es Metaverse-Klassenraum-Anbietende und -Beratende, die Bildungsräume im Metaverse anbieten und darauf abzielen, eine virtuelle Lernerfahrung zu schaffen.

3.3 Einsatz des Metaverse in der Bildung im Bauingenieurwesen

Zur Vorbereitung des Einsatzes von Metaverse in der Bildung des Bauingenieurwesens wurde eine spezifische Literaturanalyse durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass zwar in den letzten Jahren akademische Arbeiten zur Verbindung zwischen dem Metaverse und Bauingenieurwesen (davon 95 % in den Jahren 2022 bis 2023) durchgeführt wurden, jedoch noch keine Forschung zur Kombination aus Metaverse und der Bildung im Bauingenieurwesen existiert, die das Metaverse in die Lehre integriert hat. Die vorhandenen Veröffentlichungen beschränken sich auf Teilaspekte des Metaverse, wie die Integration von VR-Anwendungen, die Integration von Blockchain oder erste Anwendungen des Internet of Things.

Diese Ergebnisse zeigen, dass derzeit eine Forschungslücke existiert, die es zu schließen gilt. Es ist daher notwendig Konzepte zu entwickeln, um die Ausbildung in den Bereichen Architektur, Bauingenieurwesen, Technische Gebäudeausrüstung sowie FM in das Metaverse zu integrieren. Insbesondere im Kontext BIM gibt es kein umfassendes Lehrkonzept.

4 Ergebnisse

Die Integration des Metaverse in die Lehre erfolgte in den Modulen DPB und BIM. Insgesamt nahmen 227 Studierende an den beiden Modulen teil. Die Vorlesungen, Übungen und Workshops fanden in Präsenz statt. Die Gruppenarbeit erfolgte in Gruppen zu jeweils vier bis sieben Studierenden, sodass 46 schriftliche Ausarbeitungen abgegeben und im Rahmen von World Cafés diskutiert wurden.

4.1 Vorlesung und Workshops

Zu Beginn des Semesters wurden grundlegende Inhalte des Metaverse im Rahmen einer 90-minütigen Vorlesung dargestellt, um den Studierenden ein Verständnis des Begriffs und der Anwendungsfälle aufzuzeigen. Die weiteren Vorlesungen in dem Modul behandelten Inhalte aus den Bereichen

des Digitalen Planens und Bauens. Die Inhalte der Vorlesungen wurden durch Workshops ergänzt, in denen die praktische Anwendung im Vordergrund stand.

Die Workshops fanden auf den ersten Vorlesungen aufbauend vom 19. April 2023 bis 26. April 2023 statt, dauerten jeweils 3:30 Stunden und waren für jeweils 15 Studierende gleichzeitig konzipiert. Während der Workshops standen den Studierenden drei Stationen zur Verfügung, an denen sie in Kleingruppen à fünf Personen unterschiedliche Anwendungsbeispiele mit Hilfsmitteln verschiedener Metaverse-Technologien ausgetestet haben. Durch die praktische Anwendung unterschiedlicher Nutzungsbereiche der VR-, AR- und XR-Technologien konnten die Studierenden ihr theoretisches Vorwissen und die Kenntnisse aus den Vorlesungen anwenden und weiter vertiefen.

Die Teilnahme an den Workshops war freiwillig und außerhalb der Vorlesungs- und Übungszeiten des Moduls. Insgesamt haben 49 Studierende an den Workshops teilgenommen. Um den Effekt auf das Verständnis der Studierenden durch die Workshops beurteilen zu können, wurde vorab ein Online-Fragebogen konzipiert. Im ersten Abschnitt sollten die Studierenden angeben, wie relevant sie einzelne digitale Technologien in Bezug auf das Modul, die Lehre allgemein und für das spätere Berufsleben erachten und welche Anwendungsfälle sie für relevant halten. Im zweiten Abschnitt wurde abgefragt, ob die Studierenden durch den Workshop ein besseres Verständnis der einzelnen digitalen Technologien und deren Anwendungsbereiche erworben haben und sie sich durch die praktischen Beispiele des Workshops im Umgang mit digitaler Spitzentechnologie sicherer fühlen. Im Nachgang zu den Workshops wurden die Studierenden gebeten den Online-Fragebogen auszufüllen, den 44 Studierende beantwortet haben.

Die nachfolgende Abbildung 2 stellt exemplarisch das Ergebnis zur Fragestellung „Ich habe ein klares Verständnis des Themas Digitales Planen und Bauen“ mit der Auswertung der Antworten vor dem Workshop und nach dem Workshop mit dem Metaverse dar. Hieran ist zu erkennen, dass 58 % der Studierenden nach dem Workshop der Aussage voll und ganz zustimmen, dass sie ein klares Verständnis des Themas haben, während es vor dem Workshop lediglich 23 % der Studierenden waren. Bei 0 % der Studierenden trifft diese Aussage nicht oder überhaupt nicht mehr zu, vorher waren es 23 % bzw. 29 %, die angaben noch kein klares Verständnis gehabt zu haben. Die Auswertung zeigt damit, dass der Workshop mit den unterschiedlichen Anwendungsbeispielen des Bauwesens im Metaverse für ein klareres Verständnis bei den Studierenden gesorgt hat.

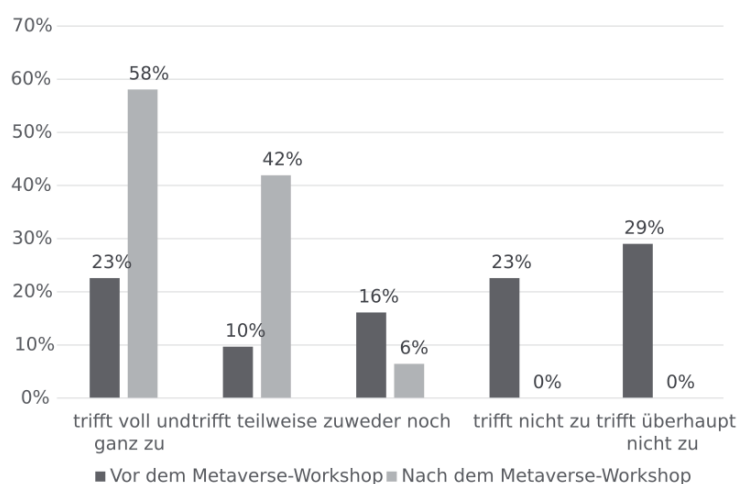


Abbildung 2: Antwort auf die Frage: „Wie sehr trifft folgende Aussage zu: Ich habe ein klares Verständnis des Themas Digitales Planen und Bauen“ (n = 44 Studierende)

Darüber hinaus zeigen die Ergebnisse der Umfrage, dass die Workshops das Interesse der Studierenden gesteigert haben, sich auch im Nachgang noch mit dem Themenbereich auseinanderzusetzen. So geben 52 % der Studierenden an, dass die Aussage „Die Workshops haben mein Interesse für das Thema geweckt“ voll und ganz zutrifft und 35 % geben an, dass die Aussage teilweise zutrifft. 23 % der Studierenden stimmen der Aussage voll und ganz zu, dass sie sich im Nachgang zu den

Workshops weiter mit dem Thema beschäftigen werden, und 33 % stimmen dieser Aussage teilweise zu.

Die Studierenden wurden außerdem befragt, in welchen Bereichen des Digitalen Planens und Bauens die Workshops mit dem Metaverse zu einem besseren Verständnis beigetragen haben. Die Ergebnisse dieser Umfrage sind in Abbildung 3 dargestellt. Hieran ist zu erkennen, dass der Workshop insbesondere zu einem besseren Verständnis der Aspekte VR (100 %), AR (97 %) und Mixed Reality (100 %) beigetragen hat, da diese Technologien im Workshop zur Nutzung des Metaverse aktiv eingesetzt wurden. Darüber hinaus zeigt sich aber auch, dass das Verständnis für Inhalte aus den Vorlesungen, nämlich für BIM-Autorensoftware und BIM-Kollaborationssoftware gestiegen ist (jeweils 94 %). Im Hinblick auf ein besseres Verständnis für das Metaverse gaben lediglich 72 % der Studierenden an, dass sie nach dem Workshop die Inhalte besser verstanden haben, was durch die Komplexität und Vielzahl an Tools und Plattformen begründet werden kann. Im Bereich Blockchain gaben nur 48 % an, dass sie nach dem Workshop ein besseres Verständnis haben, da dieses Thema nur kurz im Workshop angesprochen wurde.

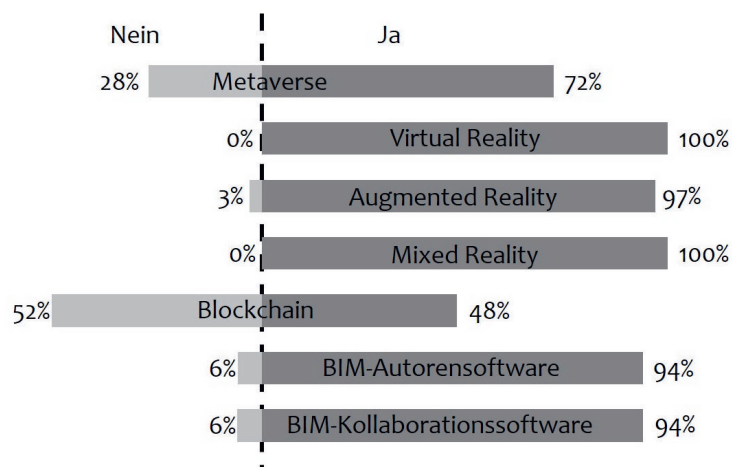


Abbildung 3: Antwort auf die Frage: „Die Workshops haben mir dabei geholfen, folgende Inhalte besser zu verstehen“ (n = 44 Studierende)

Insgesamt gaben 100 % der Studierenden an, dass die Workshops im nächsten Semester beibehalten werden sollen, da sie zu einer Verbesserung des Verständnisses beigetragen und das Interesse für die Themenbereiche des Moduls geweckt haben.

4.2 Übung

Im Rahmen des Moduls DPB wurde in einer Übung ein virtueller Raum im Metaverse entwickelt und erstellt. Hierfür wurden in drei separaten Übungseinheiten Softwaretools gezeigt, mit denen eigene, immersive Welten erstellt und genutzt werden können. Die Studierenden konnten hierdurch die Interaktion in immersiven Welten noch einmal erleben und die Kommunikationsmöglichkeiten, Potenziale und Hindernisse der immersiven Welten evaluieren. Hierbei wurde sowohl Hardware der Hochschule als auch eigene Hardware genutzt.

Insbesondere im Hinblick auf die Performance der Hard- und Software, z. B. Internetverbindung, Rechenleistung und grafische Darstellung zeigte die Übung den Studierenden Einschränkungen des Metaverse auf. Vor allem eine mangelhafte Konnektivität auf privater Hardware mit dem Internet führte in der Übung regelmäßig zu einem Datenverlust bei der Erstellung einer immersiven Umgebung im Metaverse.

Neben einer Beobachtung durch das Lehrpersonal wurde keine separate Evaluation dieser Übung durchgeführt, da die Studierenden ihre Erfahrungen aus der Übung im Rahmen ihrer wissenschaftlichen Ausarbeitung verarbeiten sollten.

4.3 Onlinetest

Zum Ende des Semesters wurde zusätzlich zu den projektbasierten Elementen des Moduls ein Onlinetest durchgeführt, mit dem der Lernerfolg der Studierenden, zusätzlich zu der schriftlichen Ausarbeitung, abgeprüft wurde. Der Test enthielt allgemeine Wissensfragen zu den vermittelten Vorlesungsinhalten zum Themenbereich BIM und Geoinformationssysteme (GIS) und wurde als Multiple-Choice-Test durchgeführt. Ein ähnlicher Onlinetest, allerdings mit weniger und leicht abgewandelten Fragen, wurde auch im Jahr zuvor im gleichen Modul durchgeführt, jedoch ohne dass den Studierenden praktische Lehrinhalte im Metaverse mit Einsatz unterschiedlicher digitaler Elemente vermittelt wurden.

Ein exakter Vergleich der Ergebnisse ist durch die Abwandlungen der einzelnen Fragen und die veränderte Fragenanzahl zwar nicht möglich, dennoch können die Ergebnisse der beiden Jahre einander gegenübergestellt werden. Dabei zeigt sich, dass die Studierenden sich, verglichen mit der Anzahl der richtig beantworteten Fragen pro Stunde, deutlich verbessert haben. Waren es im Jahr zuvor durchschnittlich 13 richtige Antworten, schafften es die Studierenden in diesem Jahr durchschnittlich 32 Fragen richtig zu beantworten. Damit wurden trotz einer insgesamt erhöhten Fragenanzahl und einem damit für die Studierenden erhöhten Zeitdruck in der Summe mehr Fragen richtig beantwortet.

Dieses Ergebnis bestätigt die Selbsteinschätzung der Studierenden, dass das Verständnis für die vermittelten Vorlesungsthemen durch die zusätzlichen praktischen Anwendungen verbessert wurde.

4.4 Schriftliche Ausarbeitungen und World Café

Während des Semesters erstellten die Studierenden schriftliche Ausarbeitungen, die zum Ende des Semesters eingereicht und im Rahmen eines World Cafés den anderen Studierenden und dem Lehrpersonal präsentiert wurden. Die schriftliche Ausarbeitung bildete einen Teil der Prüfungsleistung und wurde durch das Lehrpersonal anhand eines standardisierten Bewertungsbogens benotet, sodass diese durch alle Studierenden abgegeben werden musste. Hierbei wurden von den Studierenden insgesamt vier Fragestellungen bearbeitet:

1. Welche Voraussetzungen sind notwendig, um eine Lehre des Bauingenieurwesens im Metaverse zu ermöglichen?
2. Welche Vorteile bietet eine Lehre des Bauingenieurwesens im Metaverse?
3. Welche Herausforderungen bringt die Lehre des Bauingenieurwesens im Metaverse mit sich?
4. Welche Lehrinhalte können im Metaverse gelehrt werden und für welche Lehrinhalte sollte auf andere Lehrformen zurückgegriffen werden?

Im Rahmen der World Cafés stellten die Studierenden ihren Mitstudierenden die Ergebnisse der Ausarbeitungen vor und diskutierten diese gemeinsam an Postern. Die Ergebnisse der schriftlichen Ausarbeitungen zu den jeweiligen Fragestellungen werden unter Berücksichtigung der Diskussionen im Rahmen der World Cafés in den nächsten Abschnitten dargestellt. Hierbei wurden alle 46 Ausarbeitungen analysiert.

4.4.1 Voraussetzungen für die Lehre im Metaverse

Aus Sicht der Studierenden existieren drei wesentliche Herausforderungen, die für die Lehre im Metaverse erfüllt sein müssen. Diese ergeben sich vor allem aus den Erfahrungen, die während der Workshops und Übungen gesammelt wurden, aber auch aus privaten Erfahrungen und Literaturrecherchen.

1. Die relevanten Technologien müssen vorhanden sein und funktionieren. Zunächst ist es aus Sicht der Studierenden notwendig, dass eine zentrale und zugängliche Metaverse-Plattform vorhanden ist, in der gearbeitet werden kann. Darüber hinaus stellt die Beschaffung der notwendigen Hardware (z. B. leistungsstarke Rechner, VR- und AR-Brillen) eine wesentliche Grundlage dar. Zusätzlich zu der vorgenannten Hardware ist eine stabile Internetverbindung

notwendig. Diese Aspekte werden auch in der vorhandenen Literatur regelmäßig als erfolgskritische Faktoren beschrieben (Jovanović & Milosavljević, 2022). Insbesondere für die Lehre im Bereich des Digitalen Planens und Bauens wurde ein vierter Aspekt evaluiert, nämlich die Notwendigkeit von geeigneter Software und Schnittstellen zur Integration von digitalen Bauwerksmodellen in das Metaverse.

2. Normen, Richtlinien und Standards für Datenschutz und Datensicherheit müssen vorhanden sein. Insbesondere Regelungen im Hinblick auf Datenverlust, Datendiebstahl und Datenschutz müssen aus Sicht der Studierenden berücksichtigt werden. Darüber hinaus ist es notwendig, dass Cyber Mobbing vermieden wird. Außerdem ist es aus Sicht der Studierenden erforderlich, dass ein Wille zur digitalen Transformation der Bauindustrie sich auch im Metaverse widerspiegelt.
3. Softskills bei den Lehrenden müssen vorhanden sein. Die Lehrenden müssen aus Sicht der Studierenden auf die Lehre im Metaverse vorbereitet werden und den Willen zur Lehre in digitalen, immersiven Welten haben. Ferner ist es notwendig, dass Qualitätskriterien für die Lehre und die Benotung von Leistungen im Metaverse festgelegt werden.

Die Auswertung zeigt, dass die meisten Aspekte von den Hochschulen und dem Lehrpersonal erfüllt werden können. Die Hochschulen müssen für die Beschaffung der Technik, wie Hard- und Software, verantwortlich sein. Das Lehrpersonal ist für die eigene didaktische Ausbildung verantwortlich. Die Aspekte der offenen Kommunikation und der Datensicherheit müssen jedoch auf einer globalen Ebene gelöst werden. Daher ist es notwendig Arbeitsgruppen einzurichten, die sich mit der Ausbildung von BIM im Metaverse beschäftigen, um Kriterien und Regeln bezüglich des Datenschutzes sowie offener Standards zu implementieren. In den Diskussionen mit den Studierenden wurde deutlich, dass die Verantwortung über die Lehre nicht in private Hände (Unternehmen des Metaverse) gegeben werden darf, sondern von öffentlichen Institutionen geregelt werden muss.

4.4.2 Vorteile der Lehre im Metaverse

Die in den schriftlichen Ausarbeitungen und Diskussionen herausgearbeiteten Vorteile der Lehre im Metaverse lassen sich in fünf Thesen zusammenfassen.

These 1: Die Lehre im Metaverse bietet eine attraktivere Lernumgebung, die zu einem besseren Verständnis des Inhalts beiträgt. Insbesondere die Motivation und das Interesse an den Themen steigt, da die Lehre und die Themen mit allen Sinnen erlebbar gemacht werden. Ferner handelt es sich bei der Lehre im Metaverse um eine neue Art der Lehre, die als interessante Alternative zu klassischen Lehrformen angesehen wird. Diese These wird dadurch gestützt, dass die Lehre im Metaverse sowohl verbale als auch piktorale Kanäle anspricht, was zu einer Steigerung der Learning Outcomes führt (Mayer, 2014).

These 2: Die zeitliche und örtliche Abhängigkeit der Lehre wird verringert. Hierdurch wird eine Individualisierung der Lehre ermöglicht, was von den Studierenden als ein zentraler Vorteil der Lehre im Metaverse angesehen wird. Ferner geben die Studierenden an, dass durch die Unabhängigkeit von Zeit und Ort die soziale Partizipation gesteigert wird, da die Studierenden jederzeit und von überall im Metaverse an der Lehre teilnehmen können, auch unabhängig von Wetter oder Krankheit. Diese These wird in verschiedenen Berichten zum Metaverse gestützt (Anderie & Hönig, 2023).

These 3: Die Lehre im Metaverse trägt zu einer realistischeren Lehre bei. Aus Sicht der Studierenden ermöglicht das Metaverse eine realistische Lehre durch den Einsatz von Visualisierungen und praktischen Übungen, wie zum Beispiel die Simulation der Kommunikation auf Baustellen mithilfe digitaler Bauwerksmodelle im Metaverse. Es wird auch eine Umgebung geschaffen, in der keine Risiken durch fehlerhafte Versuche entstehen können, sodass die Studierenden ermutigt werden verschiedene Lösungswege auszuprobieren. Beispielsweise können Versuche aus dem Bereich der Baustoffe und Materialien ohne Verschwendung von Ressourcen durchgeführt werden. Auch in anderen Berichten zur Lehre im Bereich des Metaverse wird die realistische Lehre als Vorteil von den Studierenden gesehen (Shin, 2022; Zhang et al., 2022).

These 4: Das Metaverse ermöglicht eine zukunftsgerichtete Lehre im Bauingenieurwesen. Die Studierenden führen an, dass sie durch die Integration des Metaverse in das Modul Sicherheit im Umgang mit digitalen Technologien erlangt haben und durch dieses Wissen einen Vorteil im Berufseinstieg gegenüber Absolvierenden sehen, die in ihrem Studium keinen oder lediglich geringen Kontakt mit aktuellen Metaverse-Technologien (oder Spitzentechnologien) haben. Diese These wird im Bauingenieurwesen davon abhängen, wie digitale Technologien und das Metaverse in die Arbeitswelt integriert werden. Studien zeigen jedoch bereits jetzt, dass das Metaverse die Offenheit für neue Technologien fördert (Lin et al., 2022).

These 5: Das Metaverse stärkt die Soft Skills der Studierenden. Durch den transdisziplinären Ansatz ermöglicht das Metaverse aus Sicht der Studierenden eine Erhöhung des Teamworks. Ferner geben sie an, dass die Art der Kommunikation und die Integration der anderen Teammitglieder durch das Metaverse optimiert werden kann. Ebenso kann die Nutzung des Metaverse zu einer besseren Kollaboration mit anderen Universitäten und Hochschulen beitragen. Erste Berichte über „Shared Campus“ im Metaverse bestätigen diese Aussagen (Jeong et al., 2022).

4.4.3 Herausforderungen der Lehre im Metaverse

Auf Grundlage ihrer Erfahrungen und einer Literaturanalyse wurden vier Herausforderungen für die Lehre im Metaverse durch die Studierenden evaluiert.

1. Die Implementierungskosten für Hard- und Software wurden als eine zentrale Herausforderung genannt. Hierbei wurden vor allem die Kosten für AR- und VR-Brillen genannt, insbesondere wenn diese Hardware für alle Studierenden bereitgestellt werden soll. Ein weiterer Kostenpunkt besteht im Hinblick auf die Bereitstellung einer ausreichenden Bandbreite. In seltenen Fällen war auch das Fehlen einer ausreichenden Bandbreite (z. B. in ländlichen Gebieten) eine zusätzliche Herausforderung, die sich nur mit einem hohen monetären Aufwand beheben ließe.
2. Fehlende Erfahrung mit dem Metaverse sowie Vorbehalte gegen das Metaverse wurden als eine weitere Herausforderung genannt. Diese Erfahrung bezog sich sowohl auf die Lehrenden als auch auf die Studierenden. Die Lehrenden verfügen in der Regel noch nicht über ausreichend Erfahrung im Umgang mit dem Metaverse, sodass eine Umstellung der Lehre eine zeitliche Herausforderung darstellt. Darüber hinaus fehlen aber auch bei Studierenden die Erfahrungen im Metaverse, insbesondere im Umgang mit sensiblen Daten und Avataren.
3. Datensicherheit und Datenschutz sind eine weitere wesentliche Herausforderung aus Sicht der Studierenden. Aktuell fehlen noch Regelungen im rechtlichen Umgang mit dem Metaverse (Dwivedi et al., 2022). Insbesondere im Hinblick auf die Bildung im Metaverse sind noch Regelungen für die Bewertung von Ausarbeitungen und Klausuren, die Teilhabe und Kommunikation der Studierenden, die Verantwortlichkeiten für Fehler und technische Probleme sowie den Umgang mit möglichen Monopolstellungen zu entwickeln.
4. Soziale Aspekte stellten für die Studierenden die größte und am kontroversesten diskutierte Herausforderung dar. Die Studierenden befürchten, insbesondere nach der COVID-Pandemie, eine neue Isolation durch zu viel Lehre in virtuellen, immersiven Welten. Einen weiteren, sozialen Aspekt stellt aus Sicht der Studierenden die Teilhabe dar, z. B. falls Studierende keine ausreichenden finanziellen Mittel für die Hard- und Software oder keinen Zugang zum Internet haben. Der dritte Aspekt betrifft die Befürchtung, dass Studierende Opfer von Propaganda oder Cyberkriminalität werden können.

Im Hinblick auf die Herausforderungen ist es deshalb notwendig, geeignete Regelungen zu finden und die Hürden zur Nutzung des Metaverse in der Lehre zu minimieren. Eine mögliche soziale Isolation durch eine vollständige Lehre im virtuellen Raum soll nach Aussage der Studierenden aber unter allen Umständen vermieden werden, denn die persönliche und soziale Interaktion an der Hochschule ist ein wesentlicher Bestandteil eines erfolgreichen Studiums. Aufgrund dieser sozialen Aspekte erscheint es sinnvoll, dass die Lehre im Metaverse lediglich als zusätzliches Lehrmedium eingesetzt wird und nicht als ausschließliches Lehrmedium.

4.4.4 Lehrinhalte des Bauingenieurwesens im Metaverse

Die Studierenden halten den Einsatz des Metaverse bei kollaborativen Lehrinhalten, komplexen Lehrinhalten sowie kostenintensiven und aufwendigen Lehrinhalten für sinnvoll.

Bei kollaborativen Lehrinhalten kann das Metaverse aus Sicht der Studierenden als ergänzende Plattform für Abstimmungen und den Datenaustausch genutzt werden. So wurden im Hinblick auf das Modul DPB und BIM vor allem der Datenaustausch von digitalen Bauwerksmodellen und die Absprachen zum Austausch von Daten genannt. Die immersiven Welten im Metaverse können dafür sorgen, dass alle Gruppenmitglieder dieselben Ansichten auf Modelle haben und über Avatare miteinander kommunizieren können.

Im Hinblick auf komplexe Lehrinhalte können durch zusätzliche Visualisierungen die Sachverhalte anschaulich dargestellt werden. In Bezug auf das Bauingenieurwesen können dies beispielsweise die Darstellung von Lastabträgen oder Schweißarbeiten sein. Damit können die Lehrinhalte, die derzeit insbesondere durch Vorlesungen und Übungen erläutert werden, mit verschiedenen Sinnen erlebbar gemacht werden.

Darüber hinaus können kostenintensive und aufwendige Lehrinhalte im Metaverse aus Sicht der Studierenden optimaler gelehrt werden als in herkömmlichen Lehrformaten. Insbesondere im Hinblick auf Baustoffe können so zum einen aufwendige Versuchsaufbauten auf ein notwendiges Minimum reduziert werden, zum anderen werden Ressourcen, z. B. Stahl und Beton eingespart.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Die Ergebnisse zeigen, dass der Einsatz des Metaverse das Verständnis für die Themen und damit die Learning Outcomes verbessert. Dies bestätigen nicht nur die Ergebnisse der Literaturanalyse, sondern zeigen zum einen die besseren Ergebnisse des Onlinetests, zum anderen zeigen dies auch die Umfragen unter den Studierenden in den Modulen DPB und BIM. Dies liegt insbesondere im Lernen mit verschiedenen Sinnen, einer Individualisierung der Lehre und einer neuen Form der Kommunikation und Visualisierung begründet. Damit stellt das Metaverse eine zukunftsorientierte Form für die Lehre im Bauingenieurwesen dar.

Mögliche Einsatzbereiche für die Lehre im Metaverse stellen insbesondere aufwendige, kommunikative oder kostenintensive Lehrinhalte dar. Jedoch zeigt sich auch, dass der Einsatz des Metaverse – aus Sicht der Studierenden – lediglich als Ergänzung zu anderen Lehrformen eingesetzt werden sollte. Insbesondere die Sorge vor sozialer Isolation sowie vor hohen Kosten für die Implementierung kann eine Herausforderung für die Lehre im Metaverse darstellen.

Vor diesem Hintergrund ist es notwendig, weitere Untersuchungen über die Intensität des Einsatzes des Metaverse in der Lehre durchzuführen. Insbesondere das Verhältnis zwischen Präsenzlehre und virtueller Lehre in immersiven Welten bedarf weiterer Forschung. Hierfür ist es notwendig, dass noch weitere Module des Bauingenieurwesens untersucht werden.

Darüber hinaus bedarf es weiterer Forschung, wie sich der Einsatz des Metaverse auf die digitale Transformation des Bauingenieurwesens und den akademischen Nachwuchs auswirkt. Hierbei sollten im Rahmen einer Langzeitstudie sowohl Studierende als auch Absolvierende und Arbeitgeber:innen berücksichtigt werden, um zu evaluieren, ob das Metaverse die digitale Transformation optimieren kann.

Literatur

- Alsawaier, R. S. (2018). The effect of gamification on motivation and engagement. *The International Journal of Information and Learning Technology*, 35(1), 56–79. <https://doi.org/10.1108/IJILT-02-2017-0009>
- Anderie, L. & Hönig, M. (2023). *Untersuchungen zum Potenzial von Metaverse*. Frankfurt University of Applied Sciences. <https://doi.org/10.48718/6xxa-c637>

- Bartels, N. (2020). *Strukturmodell zum Datenaustausch im Facility Management*. Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Billinghurst, M. (2021, Oktober 29). *The Metaverse will have arrived when a avatar created on an adobe platform will be able to walk from a Facebook/Meta social space into a steam VR game, and be viewed in AR/VR headsets from Apple, Microsoft, Vive and others. It will be a completely open platform* [Tweet]. Twitter. <https://twitter.com/marknb00/status/1453845441192230912>
- Borrmann, A., König, M., Koch, C. & Beetz, J. (2021). *Building Information Modeling*. Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Buchholz, F., Oppermann, L. & Prinz, W. (2022). There's more than one metaverse. *i-com*, 21(3), 313–324. <https://doi.org/10.1515/icom-2022-0034>
- Chavez, B. & Bayona, S. (2018). Virtual Reality in the learning process. In Á. Rocha, H. Adeli, L. P. Reis & S. Costanzo (Hrsg.), *Advances in Intelligent Systems and Computing. Trends and Advances in Information Systems and Technologies* (Bd. 746, S. 1345–1356). Springer International Publishing.
- Chen, Y., Huang, D., Liu, Z., Osmani, M. & Demian, P. (2022). Construction 4.0, Industry 4.0, and Building Information Modeling (BIM) for sustainable building development within the Smart City. *Sustainability*, 14(16), 10028. <https://doi.org/10.3390/su141610028>
- Chen, Y., Wang, X., Liu, Z., Cui, J., Osmani, M. & Demian, P. (2023). Exploring Building Information Modeling (BIM) and Internet of Things (IoT) integration for sustainable building. *Buildings*, 13(2), 288. <https://doi.org/10.3390/buildings13020288>
- Choi, H. & Kim, S. (2017). A content service deployment plan for metaverse museum exhibitions—Centering on the combination of beacons and HMDs. *International Journal of Information Management*, 37(1), 1519–1527. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2016.04.017>
- Diao, P.-H. & Shih, N.-J. (2019). Trends and research issues of Augmented Reality studies in architectural and civil engineering education—A review of academic journal publications. *Applied Sciences*, 9(9), 1840. <https://doi.org/10.3390/app9091840>
- Díaz, J. E. M., Saldaña, C. A. D. & Ávila, C. A. R. (2020). Virtual world as a resource for hybrid education. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*, 15(15), 94–109. <https://doi.org/10.3991/ijet.v15i15.13025>
- Dinis, F. M., Guimaraes, A. S., Carvalho, B. R. & Pocas Martins, J. P. (2017). Virtual and augmented reality game-based applications to civil engineering education. In *2017 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)* (S. 1683–1688). IEEE. <https://doi.org/10.1109/EDUCON.2017.7943075>
- Dwivedi, Y. K., Hughes, L., Baabdullah, A. M., Ribeiro-Navarrete, S., Giannakis, M., Al-Debei, M. M., Denehy, D., Metri, B., Buhalis, D., Cheung, C. M., Conboy, K., Doyle, R., Dubey, R., Dutot, V., Felix, R., Goyal, D. P., Gustafsson, A., Hinsch, C., Jebabli, I., . . . Wamba, S. F. (2022). Metaverse beyond the hype: Multidisciplinary perspectives on emerging challenges, opportunities, and agenda for research, practice and policy. *International Journal of Information Management*, 66, 102542. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2022.102542>
- El-Din, D. M., Hassanein, A. E. & Darwish, A. (2023). Multimodal data challenge in metaverse technology. In A. E. Hassanein, A. Darwish & M. Torky (Hrsg.), *Studies in Big Data. The Future of Metaverse in the Virtual Era and Physical World* (Bd. 123, S. 185–210). Springer International Publishing.
- Fernandez, C. B. & Hui, P. (2022). Life, the metaverse and everything: An overview of privacy, ethics, and governance in metaverse. In *2022 IEEE 42nd International Conference on Distributed Computing Systems Workshops (ICDCSW)* (S. 272–277). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICDCSW56584.2022.00058>
- Graaf, H. de (2016). Social inclusion through games and VR. In *2016 8th International Conference on Games and Virtual Worlds for Serious Applications (VS-GAMES)* (S. 1–2). IEEE. <https://doi.org/10.1109/VS-GAMES.2016.7590366>
- Hamilton, D., McKechnie, J., Edgerton, E. & Wilson, C. (2021). Immersive virtual reality as a pedagogical tool in education: A systematic literature review of quantitative learning outcomes and experimental design. *Journal of Computers in Education*, 8(1), 1–32. <https://doi.org/10.1007/s40692-020-00169-2>
- Hellriegel, J. & Čubela, D. (2018). Das Potenzial von Virtual Reality für den schulischen Unterricht - Eine konstruktivistische Sicht. *MedienPädagogik: Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung*, 58–80. <https://doi.org/10.21240/mpaed/00/2018.12.11.X>
- Hennig-Thurau, T., Aliman, D. N., Herting, A. M., Cziehso, G. P., Linder, M. & Kübler, R. V. (2023). Social interactions in the metaverse: Framework, initial evidence, and research roadmap. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 51(4), 889–913. <https://doi.org/10.1007/s11747-022-00908-0>

- Huang, H., Zeng, X., Zhao, L., Qiu, C., Wu, H. & Fan, L. (2022). Fusion of Building Information Modeling and blockchain for metaverse: A Survey. *IEEE Open Journal of the Computer Society*, 3, 195–207. <https://doi.org/10.1109/OJCS.2022.3206494>
- Hwang, S. & Koo, G. (2023). Art marketing in the metaverse world: Evidence from South Korea. *Cogent Social Sciences*, 9(1), Artikel 2175429. <https://doi.org/10.1080/23311886.2023.2175429>
- Jeong, Y., Choi, S. & Ryu, J. (2022). Work-in-progress—Design of LMS for the shared campus in metaverse learning environment. In *2022 8th International Conference of the Immersive Learning Research Network (iLRN)* (S. 1–3). IEEE. <https://doi.org/10.23919/iLRN55037.2022.9815909>
- Johnston, A. P. R., Rae, J., Ariotti, N., Bailey, B., Lilja, A., Webb, R., Ferguson, C., Maher, S., Davis, T. P., Webb, R. I., McGhee, J. & Parton, R. G. (2018). Journey to the centre of the cell: Virtual reality immersion into scientific data. *Traffic (Copenhagen, Denmark)*, 19(2), 105–110. <https://doi.org/10.1111/tra.12538>
- Jovanović, A. & Milosavljević, A. (2022). VoRtex metaverse platform for gamified collaborative learning. *Electronics*, 11(3), 317. <https://doi.org/10.3390/electronics11030317>
- Kit, K. T. (2022). Sustainable engineering paradigm shift in digital architecture, engineering and construction ecology within metaverse. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 16(4), 112–115. <https://publications.waset.org/10012511/sustainable-engineering-paradigm-shift-in-digital-architecture-engineering-and-construction-ecology-within-metaverse>
- Koo, H. (2021). Training in lung cancer surgery through the metaverse, including extended reality, in the smart operating room of Seoul National University Bundang Hospital, Korea. *Journal of Educational Evaluation for Health Professions*, 18, 33. <https://doi.org/10.3352/jeehp.2021.18.33>
- Kraus, S., Kanbach, D. K., Krysta, P. M., Steinhoff, M. M. & Tomini, N. (2022). Facebook and the creation of the metaverse: radical business model innovation or incremental transformation? *International Journal of Entrepreneurial Behavior & Research*, 28(9), 52–77. <https://doi.org/10.1108/IJEBR-12-2021-0984>
- Kruse, R. & Schmidt, S. (o. J.). *uniVERSEty: Entwicklung, Etablierung und Vernetzung von virtuellen Räumen an Hochschulen*. <https://universety.org/>
- Li, M. & Yu, Z. (2022). A systematic review on the metaverse-based blended English learning. *Frontiers in psychology*, 13, 1087508. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.1087508>
- Lin, H., Wan, S., Gan, W., Chen, J. & Chao, H.-C. (2022). Metaverse in education: Vision, opportunities, and Challenges. In *2022 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)* (S. 2857–2866). IEEE. <https://doi.org/10.1109/BigData55660.2022.10021004>
- Lv, Z., Qiao, L., Li, Y., Yuan, Y. & Wang, F.-Y. (2022). BlockNet: Beyond reliable spatial Digital Twins to parallel metaverse. *Patterns (New York, N. Y.)*, 3(5), 100468. <https://doi.org/10.1016/j.patter.2022.100468>
- Maile, T., Bartels, N. & Wimmer, R. (2023). Integrated life-cycle orientated teaching of the big-open-BIM method. In *Proceedings of the 2023 European Conference on Computing in Construction and the 40th International CIB W78, July 10–12 2023, Heraklion Greece*. https://ec-3.org/publications/conference/paper/?id=EC32023_277
- Makransky, G. & Petersen, G. B. (2021). The cognitive affective model of immersive learning (CAMIL): a theoretical research-based model of learning in immersive virtual reality. *Educational Psychology Review*, 33(3), 937–958. <https://doi.org/10.1007/s10648-020-09586-2>
- Makransky, G., Terkildsen, T. S. & Mayer, R. E. (2019). Adding immersive virtual reality to a science lab simulation causes more presence but less learning. *Learning and Instruction*, 60, 225–236. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2017.12.007>
- Mayer, R. E. (2014). Cognitive theory of multimedia learning. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (S. 43–71). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139547369.005>
- Mulders, M. (2020). Investigating learners' motivation towards a virtual reality learning environment: a pilot study in vehicle painting. In *2020 IEEE International Conference on Artificial Intelligence and Virtual Reality (AIVR)* (S. 390–393). IEEE. <https://doi.org/10.1109/AIVR50618.2020.00081>
- Müser, S. & Fehling, C. D. (2022). AR/VR.nrw – Augmented und Virtual Reality in der Hochschullehre. *HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik*, 59(1), 122–141. <https://doi.org/10.1365/s40702-021-00815-y>
- Parisi, T. (2021). *The seven rules of the metaverse*. <https://medium.com/meta-verses/the-seven-rules-of-the-metaverse-7d4e06fa864c>
- Raczkowski, F. & Schrape, N. (2018). Gamification. In B. Beil, T. Hensel & A. Rauscher (Hrsg.), *Game Studies* (S. 313–329). Springer Fachmedien Wiesbaden.

- Röthler, D. (2022). Informelle Begegnung in hybriden Bildungs-Settings. In R. Egger & S. Witzel (Hrsg.), *Doing Higher Education. Hybrid, flexibel und vernetzt?* (S. 39–47). Springer Fachmedien Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-37204-0_3
- Sailer, M. (2016). Wirkung von Gamification auf Motivation. In M. Sailer (Hrsg.), *Die Wirkung von Gamification auf Motivation und Leistung* (S. 97–126). Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Shin, D. (2022). The actualization of meta affordances: Conceptualizing affordance actualization in the metaverse games. *Computers in Human Behavior*, *133*, 107292. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2022.107292>
- Siyae, A. & Jo, G.-S. (2021). Neuro-symbolic speech understanding in aircraft maintenance metaverse. *IEEE Access*, *9*, 154484–154499. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3128616>
- Thomas, O., Metzger, D. & Niegemann, H. (Hrsg.) (2018). *Digitalisierung in der Aus- und Weiterbildung: Virtual und Augmented Reality für Industrie 4.0* (1. Auflage 2018). Springer Berlin Heidelberg.
- Wang, X., Wang, J., Wu, C., Xu, S. & Ma, W. (2022). Engineering Brain: Metaverse for future engineering. *AI in civil engineering*, *1*(1). <https://doi.org/10.1007/s43503-022-00001-z>
- Weber-Lewerenz, B. C. (2022). Bauwesen 4.0 – Schlüsselfaktoren für den digitalen Wandel. In B. C. Weber-Lewerenz (Hrsg.), *Wertakzente im Bauwesen 4.0* (S. 215–407). Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Weinberger, M. (2022). What is metaverse?—A definition based on qualitative meta-synthesis. *Future Internet*, *14*(11), 310. <https://doi.org/10.3390/fi14110310>
- Wimmer, R., Bartels, N. & Maile, T. (2023). *Hochschulübergreifende Ausbildung in der Big-Open-BIM Welt: Neue Professuren für Digitales Planen und Bauen*. <https://www.bsdplus.de/fachartikel/hochschuluebergreifen-de-praxisnahe-und-zukunftsgerichtete-ausbildung-in-der-big-open-bim-welt.html>
- Wu, B., Yu, X. & Gu, X. (2020). Effectiveness of immersive virtual reality using head-mounted displays on learning performance: A meta-analysis. *British Journal of Educational Technology*, *51*(6), 1991–2005. <https://doi.org/10.1111/bjet.13023>
- Zhang, X., Chen, Y., Hu, L. & Wang, Y. (2022). The metaverse in education: Definition, framework, features, potential applications, challenges, and future research topics. *Frontiers in psychology*, *13*, 1016300. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.1016300>

Autor und Autorin

Prof. Dr. Niels Bartels. TH Köln, Institut für Konstruktiven Ingenieurbau, Deutschland, Orchid-ID: 0000-0001-7517-3422; E-Mail: niels.bartels@th-koeln.de

Kristina Hahne. TH Köln, Institut für Konstruktiven Ingenieurbau, Deutschland; E-Mail: kristina.hahne@th-koeln.de



Zitiervorschlag: Bartels, N. & Hahne, K. (2024). Integration des Metaverse in die Lehre. Eine studentische Perspektive am Beispiel aus Modulen des Bauingenieurwesens. *die hochschullehre*, Jahrgang 10/2024. DOI: 10.3278/HSL2413W. Online unter: wbv.de/die-hochschullehre