

Niels Bartels & Kristina Hahne

Digitalisierung als Innovation der Bauingenieurlehre

Chancen und Herausforderungen des Metaverse

Forschung und Innovation in der Hochschulbildung

herausgegeben von

Prof. Dr. Sylvia Heuchemer (Technische Hochschule Köln)

Prof. Dr. Reinhard Hochmuth (Leibniz-Universität Hannover)

Prof. Dr. Niclas Schaper (Universität Paderborn)

Dr. Birgit Szczyrba (Technische Hochschule Köln)

Nr. 26 | 2026 | Research Paper

Bibliografische Informationen der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbiografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet unter <https://portal.dnb.de/opac> abrufbar.

„Forschung und Innovation in der Hochschulbildung“ ist eine wissenschaftliche Schriftenreihe des Hochschulserver „Cologne Open Science“ der TH Köln. Sie wird herausgegeben von Prof. Dr. Sylvia Heuchemer (Technische Hochschule Köln), Prof. Dr. Reinhard Hochmuth (Leibniz-Universität Hannover), Prof. Dr. Niclas Schaper (Universität Paderborn) und Dr. Birgit Szczyrba (Technische Hochschule Köln).

Die Verantwortung der Beiträge liegt bei den Autor*innen.

Nr. 26 | 2026 | Research Paper

Titelgestaltung und Layout: Prof. Andreas Wrede / TH Köln

Redaktion und Satz: Thomas Nippel & Frederike Katharina Riemann / TH Köln

URN: urn:nbn:de:hbz:832-cos4-13281

DOI: <https://doi.org/10.57684/COS-1328>

Dieses Werk wurde als elektronisches Dokument über Cologne Open Science, dem Hochschulserver der Technischen Hochschule Köln, publiziert. Abruf unter: <https://cos.bibl.th-koeln.de>



Zusammenfassung

Im Bauingenieurwesen, das durch Komplexität und Interdisziplinarität geprägt ist, spielt Digitalisierung eine zentrale Rolle. Auch der Bildungssektor, der lange Zeit auf traditionelle Lehrformate, wie Vorlesungen und Übungen beschränkt war, erlebt durch den Einsatz innovativer Technologien einen grundlegenden Wandel. Im Hinblick auf die Stärkung der Future Skills bei Studierenden ist es notwendig, neue, digitale Lehrformate und -umgebungen zu integrieren. Insbesondere das Metaverse, eine immersive Umgebung, kann die Lehre revolutionieren. Dieser Artikel untersucht den Einsatz des Metaverse in zwei Modulen an der TH Köln und beleuchtet die sich daraus ergebenden Vorteile und Herausforderungen.

Inhalt

1	Einleitung	5
2	Digitalisierung in der Lehre des Bauingenierwesens	5
2.1	Die Rolle von Building Information Modeling im Detail	5
2.2	Überblick und Definition des Metaverse	6
2.3	Digitalisierung der Lehre	7
3	Lehrveranstaltung, Evaluation und Ergebnisse	8
3.1	Vorlesungen	8
3.2	Praktische Modulelemente	8
3.3	Abschlussprüfungen im Modul	9
4	Diskussion der Auswertung	10
4.1	Das Metaverse als Chance	10
4.2	Herausforderungen und kritische Punkte	11
4.3	Weiterentwicklung	11
5	Schlussfolgerung und Ausblick	12
Literatur		13
Autor*innenprofile		15

1 Einleitung

Die Bau- und Immobilienbranche unterliegt, nicht zuletzt aufgrund der Relevanz für die Erreichung der Klimaziele, einem rapiden Wandel. Derzeit ist der Bausektor für 37% der CO₂-Emissionen verantwortlich (UNEP, 2024). Um eine Veränderung herbeizuführen, sind derzeit vor allem digitale, innovative und teamorientierte Kompetenzen gefragt, die bereits im Studium verankert werden müssen. Insbesondere die digitale Lehre bietet eine Möglichkeit zur Förderung von Future Skills sowie zur Optimierung der Nachhaltigkeit von Gebäuden. Unter Future Skills werden hierbei die Eigenschaften verstanden, die für den Umgang mit einer sich verändernden Welt notwendig sind. Hierbei sollen Studierende vor allem auf die Anforderungen der Praxis vorbereitet werden, die sich komplexen sozialen Herausforderungen und der digitalen Transformation gegenübersehen (European Commission, 2022; OECD, 2018). Es sind bei Studierenden daher zukünftig hohe analytische, soziale und digitale Skills notwendig (Orr et al., 2020).

Aktuell werden im Curriculum der Studiengänge des Bauingenieurwesens jedoch vor allem Vorlesungen und Übungen als didaktische Mittel eingesetzt (Bartels et al., 2025; Bartels & Stolz, 2024). Daher liegt der Fokus derzeit auf der Vermittlung von Fachwissen (Ngo, 2024). Somit werden aktuell Future Skills in vielen Studiengängen des Bauingenieurwesens nicht als integraler Bestandteil des Curriculums begriffen.

Deshalb ist es notwendig, dass digitale Aspekte mehr in die Lehre des Bauingenieurwesens integriert werden. Dafür werden bereits, wie das Beispiel der TH Köln in Abbildung 1 zeigt, Aspekte des digitalen Planens, Bauens und Betreibens in das Curriculum eingebunden. Den Studierenden wird so eine durchgängige Lehre im Hinblick auf Grundwissen der Methode des *Building Information Modeling* (BIM), Softwaretools, Methodik und Prozesse sowie BIM-Projekte ermöglicht. Dies steigert in einem ersten Schritt die digitalen Future Skills der Studierenden.

	Sem		Modul			
	1	2	3	4	5	6
Grundwissen BIM ¹	1	Bauinformatik I _{1,2}	Baukonstruktionslehre I ₂	Baumechanik I	Bauphysik ₂	Baustofflehre I
	2	Grundlagen Verkehrswesen	Baukonstruktionslehre II ₂	Baumechanik II	Vermessungskunde _{2, 3}	Baustofflehre II
	3	Planerisches Projekt ₂	Grundlagen Baubetrieb	Baustatik I	Tragwerkslehre	Geotechnik I
	4	Digitales Planen und Bauen _{1, 2, 3, 4}	Verkehrswegebau	Baurecht und Bauwirtschaft	Massivbau I	Geotechnik II
Softwaretools ²						
Methodik, Prozesse ³						
BIM-Projekte ⁴						

Abbildung 1: Module mit digitalen Lehrinhalten im Grundstudium Bauingenieurwesen an der TH Köln.

Darüber hinaus ist es aber notwendig, dass sich Studierende an die rasant verändernden Entwicklungen der Digitalisierung in der Bau- und Immobilienbranche anpassen können und dafür in einem nächsten Schritt stetig neue Tools, Methoden sowie Soft- und Hardware in die Lehre integriert werden. Insbesondere zur Steigerung der Digitalisierung, aber auch im Hinblick auf Kommunikation sowie Teamfähigkeit bietet sich das Metaverse an und wurde in die Module „Digitales Planen und Bauen“ sowie „Building Information Modeling“ integriert.

2 Digitalisierung in der Lehre des Bauingenieurwesens

2.1 Die Rolle von Building Information Modeling im Detail

Building Information Modeling hat sich in den letzten Jahren als zentrale Komponente der digitalen Transformation im Bauwesen etabliert. Diese Methode umfasst die Erzeugung und Verwaltung digitaler Darstellungen physikalischer und funktionaler Eigenschaften eines Bauwerks. Die 3D-Modelle enthalten alle wesentlichen Konstruktionsdaten, die von Informationen zur Planung und Ausführung bis zum Gebäudebetrieb und auch zum Rückbau reichen. Ziel von BIM ist es, den Datenaustausch und die Zusammenarbeit zwischen allen am Bauprojekt beteiligten Disziplinen zu fördern, von der Architektur über das Bauingenieurwesen bis hin zum Facility Management (Bartels, 2020; Borrmann et al., 2021). Mit dem fortschreitenden digitalen Wandel in der Industrie wird es für Studierende immer wichtiger, ein tiefes Verständnis für innovative Technologien zu entwickeln, die ihre zukünftige Arbeit beeinflussen. Die Nutzung von BIM erfordert von Studierenden ein fundiertes Verständnis technischer und prozessualer Abläufe sowie der Anwendung entsprechender Softwaretools. Technische Aspekte von BIM umfassen den Umgang mit 3D-Modellierungssoftware, die Verwaltung von Projektinformationen und die Integration von Daten

über den gesamten Lebenszyklus eines Projekts. Studierende müssen lernen, wie digitale Modellierung zur Optimierung von Planung, Ausführung und Betrieb genutzt werden kann. Hiermit einher geht die Notwendigkeit, Studierenden neue Hard Skills zu vermitteln, aber auch die Verbesserung der Soft Skills wie Teamarbeit und Problemlösungsfähigkeit der Studierenden (Wimmer et al., 2023).

Die Einführung von Normen und Richtlinien und die korrekte Anwendung in den BIM-Prozessen stellt einen weiteren wichtigen Bestandteil in der BIM-Lehre dar. Die Integration von BIM in die Lehre bietet die Möglichkeit, interdisziplinäre Zusammenarbeit zu fördern und projektbasiert in Gruppen zu arbeiten. Zusätzliche Elemente wie Gamification und die Nutzung digitaler Hilfsmittel sollen 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 solche Ansätze die Motivation und das kognitive Engagement der Lernenden fördern können, wodurch Studierende gezielter auf das Erreichen definierter Learning Outcomes hingeführt werden (Alsawaier, 2018; Sailer, 2016). So können durch den gezielten Einsatz von Gamification-Elementen wie Storytelling, Entscheidungsfreiheit und spielerischen Herausforderungen Lernziele auf höheren Taxonomiestufen wie Analyse, Synthese und Bewertung erreicht werden. Außerdem kann Gamification als didaktisches Instrument eingesetzt werden, um Studierende zur Anwendung höherer Denkfähigkeiten zu motivieren, beispielsweise durch komplexe Problemlösungen, kritisches Denken und kreative Entscheidungsfindung (Bourke, 2021; Wood & Drew, 2025). Ergänzend kann die Lehre durch immersive Lernwelten sowie den Einsatz von Augmented Reality (AR) oder Virtual Reality (VR) erweitert werden, was zusätzliches Potenzial zur Förderung vertiefter Lernprozesse bietet (Makransky & Petersen, 2021; B. Wu et al., 2020).

2.2 Überblick und Definition des Metaverse

In den letzten Jahren, insbesondere seit 2022, hat sich das Metaverse zu einer ernstzunehmenden Technologie entwickelt, die von großen Technologieunternehmen, einer der bekanntesten Befürworter ist sicherlich Meta (früher Facebook), vorangetrieben wird. Das Metaverse bietet eine Plattform für interaktive und immersive Erlebnisse, die für eine Vielzahl von Anwendungen genutzt werden kann, darunter Bildung, Unterhaltung und E-Commerce. Diese Disziplinen prägen aktuell den Begriff des Metaverse. Eine allgemeingültige Definition des Begriffs Metaverse besteht zum momentanen Zeitpunkt jedoch noch nicht (Weinberger, 2022). Unterschiedliche Plattformen, wie Decentraland, Second Life oder Sandbox werden ebenfalls mit dem Begriff Metaverse bezeichnet (Bermejo Fernandez & Hui, 2022). Der Begriff des Metaverse hat seinen Ursprung in der Science-Fiction-Literatur und beschreibt eine kollektive Onlinewelt, die durch die Anbindung an das Internet und den Einsatz von Avataren gekennzeichnet ist (Marr, 2022; Stephenson, 1992). Eine Einordnung des Metaverse im Verhältnis zu AR, VR und Extended Reality (XR) ist in Abbildung 2 dargestellt.

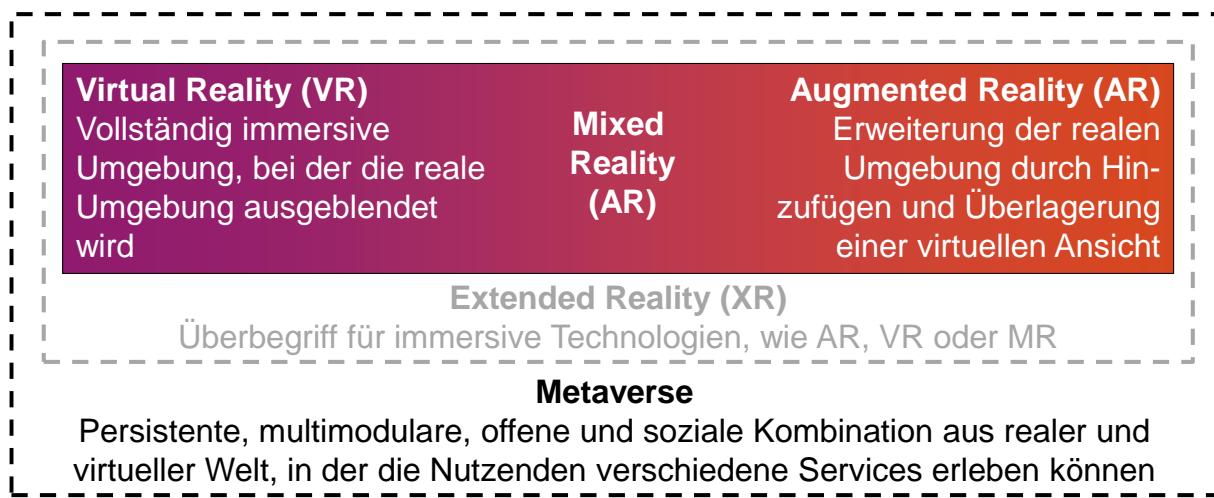


Abbildung 2: Einordnung des Metaverse im Verhältnis zu AR, VR und XR

Das Metaverse zeichnet sich durch seine Multimodalität (El-Din et al., 2023), Interaktivität und eine Offenheit aus, die nicht durch einzelne kontrolliert wird (Parisi, 2021). Es ermöglicht Nutzer*innen, in eine virtuelle Umgebung einzutauchen, in der sie mit anderen interagieren und eine Vielzahl von Aktivitäten ausführen können. Anders als herkömmliche digitale Plattformen bietet das Metaverse ein individuelles Erlebnis, das unabhängig von den Aktionen der Nutzer*innen stets verfügbar ist und kontinuierlich erweitert werden kann. Für die beiden Module wurde die folgende Definition des Metaverse vorausgesetzt:

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. (Bartels & Hahne, 2024, S. 149)

2.3 Digitalisierung der Lehre

Eine Literaturrecherche zeigt, dass der Einsatz immersiver Technologien in der Lehre des Bauingenieurwesens momentan noch am Anfang steht und in den Hochschulen kaum eingesetzt wird. Allerdings wurden bereits Forschungsprojekte im Bauwesen umgesetzt (Chen et al., 2022; Chen et al., 2023; Huang et al., 2022; Kit, 2022; Wang et al., 2022) und in der Forschung erste Lehrveranstaltungen in einem Metaverse-Campus durchgeführt und analysiert (Jovanović & Milosavljević, 2022). Hierbei haben sich insbesondere folgende Schwerpunkte hervorgetan:

1. Sprachwissenschaften (Li & Yu, 2022),
2. Anwendung in Wirtschaftswissenschaften (Hwang & Koo, 2023),
3. Ausbildung in medizinischen Bereichen, wie Krankenpflege (Koo, 2021),
4. didaktische Ausbildung in Museen (Choi & Kim, 2017) oder
5. in Bereichen der Fertigung zum Training in Ausbildungs- und Handwerksberufen (Siyae & Jo, 2021).

Diese Ergebnisse zeigen, dass es zwar erste Forschungsprojekte und daraus resultierend Erkenntnisse gibt, die allerdings die Ausbildung in den Bereichen der Bau- und Immobilienbranche, wie Architektur, Bauingenieurwesen, Technische Gebäudeausrüstung sowie Facility Management nicht abdecken. Andererseits existiert noch kein Lehrkonzept mit der Integration der Metaverse-Nutzung.

Daher wurden an der TH Köln die Auswirkungen des Metaverse auf die Lehre im Bauingenieurwesen am Beispiel des digitalen Planens und Bauens weiter erforscht. In den zwei Modulen „Digitales Planen und Bauen“ (DPB) (Bachelor Bauingenieurwesen, 4. Semester) und „Building Information Modeling“ (BIM) (Bachelor Energie- und Gebäudetechnik, 6. Semester) wurde den traditionellen Unterrichtsmethoden eine neue Dimension hinzugefügt: immersive Lernumgebungen. Technologien wie VR und AR wurden zusätzlich in die Lehre integriert, um den Studierenden die praktische Anwendung von Technologien des digitalen Bauens und Planens näherzubringen. Die Kombination von VR, AR und XR (Extended Reality) bietet Lehrenden und Lernenden die Möglichkeit, neue didaktische Ansätze zu entwickeln, die über herkömmliche Formen des Lernens hinausgehen. Die Möglichkeiten reichen von der Erstellung interaktiver Lernmodule über die Durchführung virtueller Seminare bis hin zur Entwicklung von praktischen Übungen in dreidimensionalen Räumen. AR ermöglicht dabei die gezielte Überlagerung digitaler Informationen über die reale Welt und bietet so eine erweiterte Perspektive auf bestehende physische Umgebungen. In der Lehre des Bauingenieurwesens kann dies genutzt werden, um Studierenden ein vertieftes Verständnis für die Integration neuer Elemente in bestehende Landschaften oder bestehende Gebäude zu vermitteln. Durch das Tragen von VR-Headsets können Studierende durch virtuelle Bauprojekte navigieren, die Zusammensetzung von Tragstrukturen untersuchen und die Auswirkungen von Bauwerksänderungen in Echtzeit beobachten. Dies fördert ein tieferes Verständnis für räumliche und funktionale Elemente.

Die Nutzung modernster Methoden bringt allerdings auch neue Herausforderungen, die berücksichtigt werden müssen. In der Lehre im Metaverse kann es durch die immersive Lernumgebung zu einer Ermüdung aufgrund von Reizüberflutung kommen (Hennig-Thurau et al., 2023). Des Weiteren darf das Metaverse weder zu einer sozialen Isolation noch zu Vereinsamung der Studierenden führen (Röthler, 2022). Der Aspekt einer möglichen Monopolstellung einzelner Anbieter muss besonders im Bereich der öffentlichen Bildung kritisch betrachtet werden (Röthler, 2022).

Die vorliegende Studie untersucht die Implementierung des Metaverse in die beiden oben genannten Module, beleuchtet die durchgeführten Lehrveranstaltungen und Workshops, evaluiert die Ergebnisse aus Umfragen sowie Tests und reflektiert die schriftlichen Ausarbeitungen der Studierenden. Ziel dieser Studie ist es, die Wirksamkeit der Lehrmethoden im Metaverse zu analysieren, übertragbare Inhalte zu erkennen und die gewonnenen Erkenntnisse für die Weiterentwicklung des Lehrangebots zu nutzen sowie Vorteile und Herausforderungen herauszustellen.

3 Lehrveranstaltung, Evaluation und Ergebnisse

3.1 Vorlesungen

Die Lehrmodule „Digitales Planen und Bauen“ und „Building Information Modeling“ wurden durch die Einführung des Metaverse intensiviert und modernisiert. An den beiden in Präsenzveranstaltung durchgeführten Modulen nahmen 227 Studierende zweier Fachbereiche der TH Köln teil. Zu Semesterbeginn erhielten die Studierenden in einer ersten Vorlesung eine Einführung in grundlegende Inhalte des Metaverse. Diese Einführung war entscheidend, um die Studierenden für die nachfolgenden Inhalte zu sensibilisieren und eine solide Basis für die vertiefte Auseinandersetzung mit digitalen Technologien zu schaffen. Die Vorlesung umfasste sowohl theoretische Aspekte als auch praxisnahe Beispiele mit spezifischen Aspekten des digitalen Planens und Bauens, die den Studierenden halfen, die Relevanz des Metaverse in ihrem zukünftigen Berufsfeld zu erkennen. Zu den zentralen Themen gehörten digitale Zwillinge, VR und AR. Die nachfolgenden Vorlesungen bezogen sich im Wesentlichen auf Aspekte des Fachinhalts des digitalen Planens und Bauens.

3.2 Praktische Modulelemente

In der Vorbereitungsphase wurde durch die Studierenden eine ausführliche Literaturrecherche zur Nutzung des Metaverse in Lehrkonzepten durchgeführt und die Ergebnisse analysiert. Zusätzlich wurden Gespräche mit Expert*innen aus der Bau- und Immobilienbranche geführt, um sinnvolle und praxisrelevante Anwendungsfälle des Metaverse zu identifizieren. Diese reichten von virtuellen Baubesprechungen über Sicherheitstrainings bis hin zu Schweißübungen. Basierend auf diesen Erkenntnissen wurden Workshops und Seminarmodule konzeptioniert, die die theoretischen Inhalte in praktische Anwendungsfälle überführen sollen.

Die Workshops fanden zwischen dem 19. und 26. April 2023 an sieben Terminen statt und dauerten jeweils dreieinhalb Stunden. Die Teilnahme war für die Studierenden freiwillig, wobei 49 Studierende an den Workshops teilnahmen. An drei Stationen (Abb. 3) konnten zeitgleich 15 Studierende (fünf Personen je Station) unterschiedliche Anwendungsfälle zu verschiedenen Themenbereichen testen. In diesen virtuellen Workshops stand die Anwendung von Technologien im Metaverse im Vordergrund und behandelte reale Bauprozesse und Szenarien wie Baustellenmanagement, Sicherheitsunterweisungen und digitale Bauwerksmodellierung.

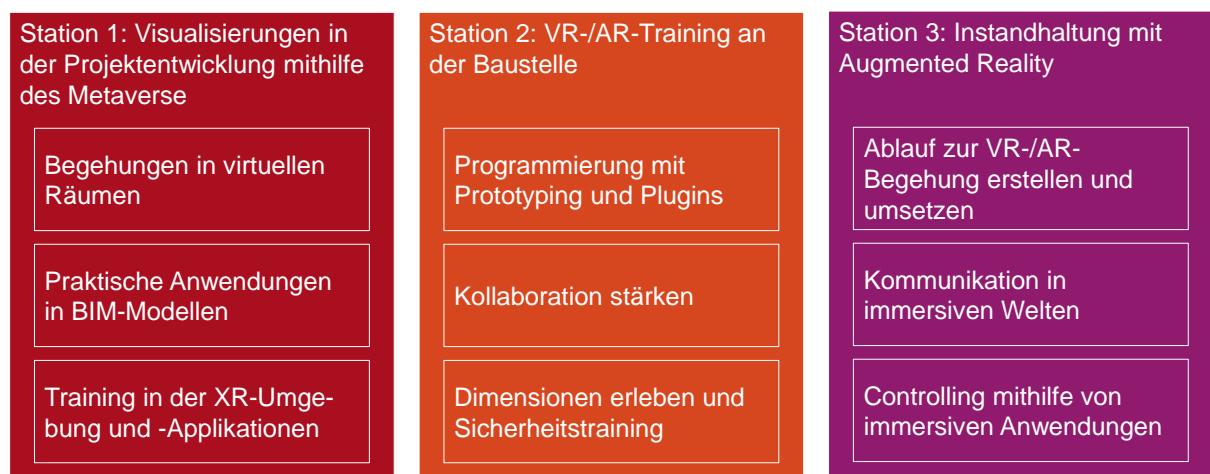


Abbildung 3: Aufbau der Workshops im Rahmen der Module.

Für die Workshops wurden verschiedene Hardware-Elemente ausgewählt, um eine realistische und ansprechende Lernumgebung zu schaffen. Dabei wurden sowohl Virtual Reality Headsets als auch Brillen der Augmented Reality eingesetzt, um die baubezogenen Szenarien virtuell zu erleben. Den Studierenden standen während der Workshops jederzeit Tutor*innen und Lehrende zur Verfügung, um bei Bedarf zu unterstützen und aufkommende Fragen zu klären.

Um den Effekt der Workshops auf das Verständnis der Studierenden zu messen, wurde ein umfassender Online-Fragebogen erstellt. Dieser besteht aus zwei Abschnitten: Im ersten Teil sollten die Studierenden die Relevanz digitaler Technologien bewerten, während im zweiten Teil erfragt wurde, ob sie durch die Workshops ein besseres Verständnis für diese Technologien erlangt hatten. Der Fragebogen wurde im Anschluss an die Workshops von insgesamt 44 Studierenden (n=44 Studierende) beantwortet.

Die Ergebnisse der Umfrage zeigen, dass 58 % der Studierenden nach dem Workshop angaben, ein klares Verständnis für das Thema „Digitales Planen und Bauen“ zu haben, verglichen mit nur 23 % vor dem Workshop. Darüber hinaus stimmten 52 % der

Teilnehmenden zu, dass die Workshops ihr Interesse für das Thema geweckt hatten, und 56% gaben an, sich nach den Workshops auch noch weiter mit dem Thema beschäftigen zu wollen. Diese Auswertung bestätigt, dass die verschiedenen Nutzungsbeispiele des Bauwesens im Metaverse für ein klareres Verständnis bei den Studierenden gesorgt haben.

Besonders hervorzuheben ist, dass der Workshop das Verständnis für die Bereiche der Extended Reality (VR, AR und Mixed Reality) mit mindestens 97% signifikant verbessert hat, während das Verständnis für Blockchain nur bei 48% der Studierenden angestiegen ist. Diese Steigerungsrate ist im Vergleich zu den anderen Technologien erwartungsgemäß deutlich geringer, da das Thema Blockchain im Workshop nur am Rande behandelt wurde. Alle teilnehmenden Studierenden der Workshops gaben einstimmig an, dass diese im nächsten Semester beibehalten werden sollen. Bei vielen Studierenden besteht also der Wunsch, zukünftige Module noch stärker auf praktische Anwendungen und den direkten Einsatz von Technologien im Metaverse auszurichten. Die Ergebnisse der Umfrage unterstreichen die Notwendigkeit, neue digitale Technologien in der Lehre umfassend zu integrieren und für die Studierenden zusätzlich zu den theoretischen Aspekten weitere praktische Anwendungsfälle zu konzipieren.

Auch im Hinblick auf die digitalen Future Skills zeigt sich, wie in Abbildung 4 zu sehen, dass die Sicherheit im Umgang mit digitalen Tools zugenommen hat. Der Aussage, dass sie sich durch die Workshops sicherer in der Anwendung digitaler Tools fühlen, stimmten 55% der Studierenden voll und ganz zu, 23% stimmten zu, 19% stimmen der Aussage überwiegend zu. Lediglich 3% stimmten der Aussage nicht, und 0% überhaupt nicht zu.

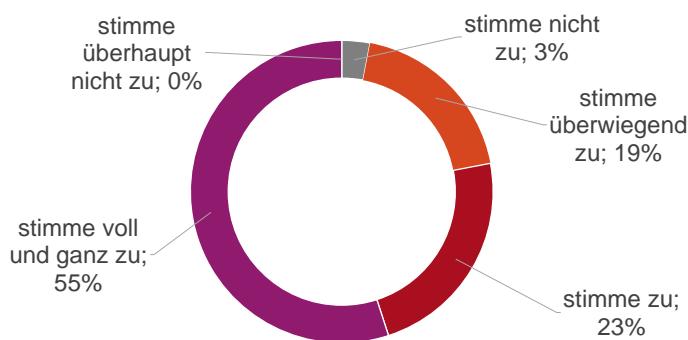


Abbildung 4: Ergebnis zur Frage „Wie sehr stimmen Sie folgender Aussage zu - „Durch die Workshops fühle ich mich sicherer in der Anwendung digitaler Tools“?“ (n=44 Studierende).

Im Rahmen des Moduls „Digitales Planen und Bauen“ wurde zudem eine Übung durchgeführt, in der die Studierenden einen virtuellen Raum in Form eines Gebäudes im Metaverse erstellen sollten, um das zuvor theoretisch Erlernte im praktischen Kontext anzuwenden. Hierbei kamen Softwaretools zum Einsatz, die es den Studierenden ermöglichen, immersive Welten zu gestalten und die damit verbundenen Kommunikationsmöglichkeiten zu erproben. Diese Übungseinheit verdeutlichte nicht nur die kreativen Möglichkeiten des Metaverse, sondern auch die Einschränkungen, insbesondere hinsichtlich der Leistungsfähigkeit der verwendeten Hardware und Software. So stießen die Studierenden auf verschiedene technische Herausforderungen, wie z.B. Probleme mit der Softwarekompatibilität und der Hardwareleistung. Die Studierenden lernten, dass technische Probleme häufig auftreten können und dass die Fähigkeit, damit umzugehen, eine wesentliche Kompetenz im modernen Bauingenieurwesen darstellt. Die Übung bot ihnen dazu einen geschützten Rahmen, in dem sie erste Erfahrungen sammeln konnten. Es wurde keine separate Evaluation der Übung durchgeführt, da die Studierenden ihre Erfahrungen und Erkenntnisse in die abschließende schriftliche Ausarbeitung ihrer Projekte einfließen lassen sollten. Durch die Integration der Übung in die schriftlichen Ausarbeitungen konnten theoretische und praktische Kenntnisse gezielt verknüpft werden, was ein vertieftes Lernen ermöglichte und zur weiteren Stärkung der Future Skills beitrug.

3.3 Abschlussprüfungen im Modul

Neben der schriftlichen Ausarbeitung als Gruppenarbeit wurde zu Semesterende auch ein umfassender Online-Test durchgeführt, um die theoretischen und praktischen Kenntnisse der Studierenden als Einzelleistung zu überprüfen. Der Test bestand im Wesentlichen aus Multiple-Choice-Fragen die sich auf die in den Vorlesungen und Workshops behandelten Themen bezogen. Dabei lag der Fokus auf den beiden großen Themengebieten BIM und Geoinformationssysteme (GIS). Die Auswertung der Testergebnisse zeigte, dass der Großteil der Studierenden ein solides Verständnis der behandelten Themen erworben hatte. Um einen Vergleich der Prüfungsergebnisse zu erreichen, wurden die Leistungen der Studierenden mit denen aus dem Vorjahr verglichen, in dem sich die Lehrmethoden lediglich auf traditionelle Elemente wie Vorlesung und Übung beschränkt hatten und keine virtuellen Elemente in der Lehre genutzt wurden. Auch im Vorjahr wurde zum Semesterende zur Leistungsüberprüfung ein ähnlicher Online-Test durchgeführt. Dieser beinhaltete jedoch weniger Fragen, wodurch die beiden Tests nicht exakt vergleichbar sind. Betrachtet man allerdings die Anzahl der richtig beantworteten Fragen auf eine Prüfungszeit von einer Stunde,

so zeigt sich, dass die Studierenden aus dem aktuell beforschten Jahrgang mehr als die doppelte Fragenanzahl korrekt lösten. Dies zeugt von einer deutlichen Stärkung des fachlichen Lehrinhalts und bestätigt die Selbsteinschätzung der Studierenden im Hinblick auf das Verständnis der Lehrinhalte und Gruppenarbeit, was insbesondere auf die zusätzlichen praktischen Anwendungen zurückzuführen ist (Bartels & Hahne, 2024).

Im Rahmen eines World Cafés stellten die einzelnen Studierendengruppen abschließend, als eine Teilleistung des Moduls, ihre Ergebnisse in einer Posterpräsentation den Mitstudierenden und dem Lehrpersonal vor. Das World Café bot den Studierenden die Möglichkeit, ihre Arbeit vor einem größeren Publikum zu verteidigen und ihre Fähigkeiten in der Kommunikation und Präsentation zu testen. Dabei sollten sich die Studierenden mit den Chancen, aber auch mit den Herausforderungen beschäftigen, die sich durch eine Implementierung digitaler Technologien in der Hochschulbildung ergeben. Sie sollten dabei ergründen, welche Kompetenzen sie durch die Nutzung des Metaverse in den Modulen erwerben können und wo sie Gefahren sehen.

Zusätzlich sollten die Studierenden, bezogen auf die beiden durchgeführten Module, evaluieren, welche Lehrinhalte sich ihrer Meinung nach für die Lehre im Metaverse besonders eignen würden und beleuchten, welche Voraussetzungen für eine digitale Lehre an der Hochschule geschaffen werden müssten.

Die Arbeit in Kleingruppen ermöglichte es den Studierenden, unterschiedliche Perspektiven und Fähigkeiten in ihre Projekte einzubringen. Da die Bauindustrie, besonders in Bezug auf den Bereich digitales Planen und Bauen, stark auf interdisziplinäre Zusammenarbeit angewiesen ist, lag in dieser Modulphase ein Schwerpunkt auf der Förderung der Teamarbeit und des kollaborativen Lernens. Dies zeigt sich insbesondere durch die enge Verzahnung zwischen den Studierenden von Bauingenieurwesen und Technischer Gebäudeausrüstung (TGA), die beide an dem Projekt beteiligt waren und interdisziplinär an den Workshops teilgenommen haben. Zukünftig ist auch eine Integration der Architektur anzustreben. Die Studierenden konnten so wichtige Kompetenzen in der Kommunikation und Zusammenarbeit weiterentwickeln und erhielten im Rahmen der Präsentation die Möglichkeit, Erfahrungen, Anmerkungen und Herausforderungen mit anderen Teilnehmer*innen zu diskutieren.

Dies wirkte sich positiv auf die Stärkung der Future Skills der Studierenden aus. Die Reflexionsphase förderte nicht nur das kritische Denken, sondern auch die Teamarbeit, da die Studierenden lernten konstruktives Feedback zu geben sowie es zu empfangen und dabei ihre Ansichten und Ansätze zur Problemlösung in einer offenen und respektvollen Umgebung zu diskutieren. Der Austausch stärkte nicht nur die Teamdynamik, sondern half den Studierenden auch, das kollektive Wissen ihrer Gruppe zu nutzen, um die Chancen und Herausforderungen der digitalen Technologien für sich selbst zu filtern und zu selektieren.

4 Diskussion der Auswertung

4.1 Das Metaverse als Chance

Die Mehrheit der Studierenden schätzte die interaktive und praxisnahe Gestaltung des Moduls als Ergänzung zu den traditionellen Lehrmethoden. Das Metaverse bietet Lernenden eine immersive und interaktive Plattform, die aktuelle Bildungsformate erweitert und revolutioniert. Besonders die Workshops, in denen die Studierenden VR und AR direkt anwenden konnten, wurden als sehr positiv bewertet. Die praxisnahen Erfahrungen im Umgang mit Spitzentechnologien verbessern nicht nur das technische Verständnis, sondern stärken auch die Möglichkeiten der Studierenden, in der digitalen Wirtschaftswelt erfolgreich zu sein. Kontinuierliches Lernen, die Anwendung erlernter technischer Fähigkeiten in beruflichen Kontexten und die Aufgeschlossenheit gegenüber Veränderungen werden gestärkt. Das Lernen mit allen Sinnen im immersiven Raum erhöhte dabei nicht nur das Interesse am Themengebiet selbst, sondern verbesserte auch die Aufnahme der Lehrinhalte. Studierende, die an interaktiven Modulen mit XR-Technologien teilnahmen, konnten die erlernten Konzepte in realen Projektszenarien gut integrieren und fühlten sich sicherer im Umgang mit den neuen Technologien.

Ein immer wichtigeres Thema im Bauwesen ist die Nachhaltigkeit, was sich auch schon in der Lehre widerspiegelt. Die Möglichkeit, Übungen durch die Anwendung von Spitzentechnologien ressourcenschonender und materialsparender gestalten zu können, wird von den Studierenden begrüßt. Eine unendliche Wiederholbarkeit ohne Risiken von Fehlern, die eine Variation von Lösungsmöglichkeiten bietet, ist aus Sicht der Studierenden eine hervorragende Alternative zu den momentan üblichen praktischen Übungen, die personal- sowie kostenintensiv sind und ein hohes Maß an Materialverbrauch bedeuten. Eine digitale Lernumgebung ermöglicht es den Nutzer*innen, durch speziell anpassbare digitale Szenarios prozessorientiertes Wissen und solide Praxisfertigkeiten zu entwickeln und zu erproben, ohne für jeden Übungsdurchlauf neues Material zu benötigen.

Als besonders positiv benannten die Studierenden die immerwährende Verfügbarkeit des Metaverse, wodurch Lehrinhalte flexibel und unabhängig von Standort und Zeit abgerufen werden können. Dieser von den Studierenden als positive Eigenschaft genannte Aspekt wird von verschiedenen Berichten zum Metaverse gestützt (Anderie & Hönig, 2023).

Die Flexibilität kommt insbesondere internationalen Studierenden und Berufstätigen zugute, die durch unterschiedliche Zeitzonen und Arbeitszeiten eingeschränkt sind. Zudem wird die Notwendigkeit physischer Anwesenheit in Seminarräumen reduziert, was die Barrierefreiheit der Bildung erleichtert und einen inklusiven Zugang zu akademischen Inhalten ermöglicht und damit auch im Krankheitsfalle einen positiven Effekt hätte.

Viele Studierende äußerten, dass sie durch das Modul nicht nur technisches Wissen erwarben, sondern auch durch die Nutzung der digitalen Technologien wichtige Future Skills wie Teamarbeits- und Problemlösungsfähigkeiten weiterentwickeln konnten. Der Datenaustausch von digitalen Bauwerksmodellen und die Zusammenarbeit an einem Modell sind aus Sicht der Studierenden für den Baubereich die grundlegende Arbeitsweise. In der transdisziplinären Zusammenarbeit im Modul BIM ist die Kommunikationsfähigkeit ein wesentlicher Faktor, der durch die Nutzung des Metaverse entscheidend gestärkt werden kann. Die praxisnahen Erfahrungen im Umgang mit Spitzentechnologien verbessern die Aufgeschlossenheit gegenüber Neuerungen und Veränderungen und bestärken die Studierenden, diese in einen späteren beruflichen Kontext zu transferieren.

4.2 Herausforderungen und kritische Punkte

Während das Metaverse Möglichkeiten und Chancen für den Einsatz in der Hochschullehre bietet, sind technologische und finanzielle Herausforderungen zu bewältigen, um das Potenzial des Metaverse voll zu entfalten. Insbesondere erfordert die Nutzung des Metaverse erheblichen technologischen Ressourcenaufwand. Die Bereitstellung notwendiger Geräte wie VR-Brillen, Hochleistungsrechner und eine ausreichende Internetbandbreite birgt Herausforderungen hinsichtlich der Finanzierung und der logistischen Organisation. Dazu müssten Bildungseinrichtungen erhebliche Investitionen tätigen, und Studierenden, die aus finanziellen Gründen nicht über die notwendige technische Ausstattung verfügen, könnte der Zugang zu dieser Bildungsressource verwehrt bleiben.

Zusätzlich wird als wesentlichster Kritikpunkt der Studierenden die Sorge vor sozialer Isolation genannt, die bei der Verlagerung der Lehre ins Metaverse eine zentrale Rolle einnehmen könnte. Hierdurch käme der persönliche zwischenmenschliche Austausch, wie in Pandemiezeiten, zu kurz. Um dieses Risiko zu mindern, muss sichergestellt werden, dass die Balance zwischen digitalem Lernen und der Präsenzlehre an der Hochschule gewahrt bleibt und der soziale Kontakt der Studierenden untereinander gefördert wird.

Im Zuge der Modulbearbeitung stießen die Studierenden zudem auf verschiedene technische Herausforderungen, wie z.B. Probleme mit der Softwarekompatibilität und der Hardwareleistung, die über die reine und traditionelle Softwareanwendung hinausgehen. Diese Hindernisse erfordern auch in der späteren Berufspraxis schnelles Denken und Anpassungsfähigkeit, um BIM-Projekte in einem interdisziplinären Team erfolgreich abzuschließen zu können. Die Studierenden lernten, dass technische Probleme häufig auftreten können und dass die Fähigkeit, damit umzugehen, eine wesentliche Kompetenz im modernen Bauingenieurwesen darstellt, und eine Kombination aus Kreativität und technologischem Know-how entscheidend ist, um im Bauwesen innovative Lösungen zu entwickeln.

Die eingesetzten Technologien wurden von den Studierenden in Bezug auf Benutzerfreundlichkeit, Flexibilität und Funktionalität bewertet. Dabei zeigte sich, dass insbesondere die Virtual-Reality-Headsets und die 3D-Modellierungssoftware für ihren Fachbereich als besonders nützlich empfunden wurden. Zeitgleich wurde die Komplexität einiger Softwareprogramme wie Unreal Engine oder Autodesk Revit kritisch betrachtet und die Notwendigkeit zusätzlicher Schulungen oder Tutorials betont, um Studierenden den Einstieg in diese Technologien zu erleichtern.

Beim Eintauchen in das Metaverse werden personenbezogene Daten und Verhaltensanalysen generiert, deren Schutz oberste Priorität hat. Die fehlende Erfahrung der Studierenden, aber auch des Lehrpersonals im Umgang mit neuen Spitzentechnologien wie dem Metaverse wird daher von den Befragten als Gefahr und große Herausforderung gesehen. Bildungseinrichtungen müssen dafür sorgen, dass eine umfassende Datenschutzinfrastruktur vorhanden ist, die den Schutz personenbezogener Daten gewährleistet und potenzielle Sicherheitsverletzungen verhindert. Die momentan noch fehlenden Regelungen für den rechtlichen Umgang mit und im Metaverse sowie und die Gefahr von Monopolstellungen einzelner Anbieter erschweren die Einbindung in Lehrveranstaltungen erheblich.

4.3 Weiterentwicklung

Aufgrund der positiven Berichte der Studierenden wurden im Rahmen einer Umfrage, aufbauend auf den ersten Untersuchungen in den beiden Modulen, Studierende des ersten und zweiten Semesters zur weiteren Anwendung von Elementen der Lehre im Metaverse befragt. Hierbei wurde gefragt, in welchen Modulen des Curriculums aus Sicht der Studierenden die Integration einer ergänzenden Lehre im Metaverse erfolgen sollte, um den Lernerfolg zu verbessern. Die Umfrage fand im November 2023 online statt. In einem ersten Schritt wurden die Grundlagenmodule der ersten Semester

betrachtet. Zum einen können in diesen Modulen fachliche Inhalte in verbesserter visueller Darstellung als Lehrunterstützung dienen, zum anderen kann die Lehre von Future Skills somit bereits zu Beginn des Curriculums verankert werden.

An der Umfrage im November 2023 nahmen insgesamt 81 Studierende teil. Wie in Abbildung 5 deutlich wird, werden insbesondere im Fach Baukonstruktionslehre (62 %) sowie Baumechanik (57 %) Potenziale für die Integration des Metaverse gesehen, aber auch in den Grundlagen des Verkehrswesens (42 %).

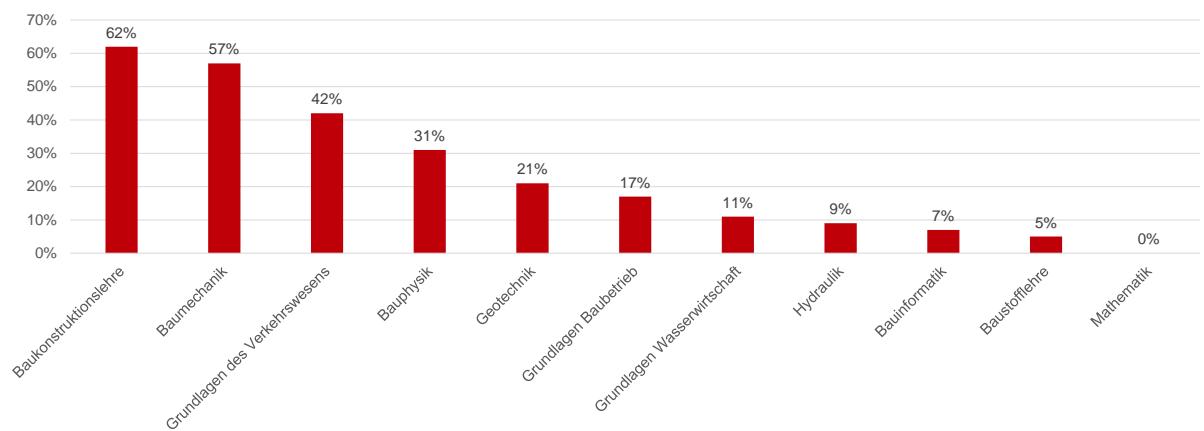


Abbildung 5: Auswertung der Frage: „In welchen Fächern des Curriculums sollten Aspekte des Metaverse zur Lehre integriert werden?“ (n=81)

Die Auswertung zeigt jedoch, dass insbesondere in der Mathematik (0 %) keine Anwendungsmöglichkeiten gesehen werden. In den Fächern Informatik (7 %) und Baustofflehre (5 %) sind die Quoten gering. Vor allem die Sicht auf die Anwendung des Metaverse in der Mathematik widerspricht einigen Quellen, die gerade in der Mathematik Potenzial für die Anwendung des Metaverse in der Lehre sehen (European Commission, 2024; X. Wu et al., 2023). Im Bauingenieurwesen scheinen insbesondere praktisch orientierte Fächer des Curriculums im Fokus der Anwendung des Metaverse zu stehen. Dies lässt auf Unterschiede zwischen den Studiengängen schließen, sodass für die Integration des Metaverse in das Curriculum unterschiedliche Formen anzudenken sind.

5 Schlussfolgerung und Ausblick

Das an der TH Köln durchgeführte Projekt „Einsatz des Metaverse in der Lehre des Bauingenieurwesens“ hat mit der Implementierung des Metaverse in die beiden Lehrmodule „Digitales Planen und Bauen“ und „Building Information Modeling“ einen ersten Schritt unternommen, um Studierende optimal auf die digitale Transformation im Bauwesen vorzubereiten. Neue Technologien und Methoden bieten ein enormes Potenzial, die Effizienz und Nachhaltigkeit von Bauprojekten zu steigern und erfordern zeitgleich einen Wandel des Studiums. Es ist davon auszugehen, dass die Bauindustrie in den kommenden Jahren noch tiefgreifendere Veränderungen erleben wird und der Übergang zu automatisierten, datengetriebenen Bauprojekten weitere neue Kompetenzen, vor allem aber die Bereitschaft zu Veränderungen und Flexibilität, erfordern wird. Die Ergebnisse des Moduls haben gezeigt, dass Studierende durch die Auseinandersetzung mit VR, AR, BIM und Blockchain, durch veränderte Kommunikationsbedingungen und eine verbesserte Visualisierung ihren Lernerfolg gegenüber den traditionellen Modulinhalten steigern konnten. Zeitgleich haben die Studierenden die Nutzung neuer Spitzentechnologien der Zukunft erprobt und Softskills wie Kommunikationsfähigkeit neu entwickelt, die im interdisziplinären Kontext zwischen Bauingenieurwesen, TGA und Architektur essenziell sind. Dadurch wurden Future Skills bei den Studierenden gefördert, die für die spätere berufliche Praxis relevant sind. Dennoch bleibt bei den Studierenden die Sorge vor sozialer Isolation und Ungerechtigkeit, z.B. durch mangelnde Partizipationsmöglichkeiten aufgrund schlechter Hardwareausstattung, schlechtem Internetempfang oder fehlender Möglichkeiten zum Kauf von Software.

Es wird deutlich, dass der Einsatz des Metaverse in der Lehre nicht nur in Hinblick auf weitere Module, sondern auch auf soziale Aspekte und deren Auswirkungen auf die Studierenden weiter untersucht werden sollte. Auf der anderen Seite bleiben allgemeine Herausforderungen bestehen, die adressiert werden müssen, um das volle Potenzial des Metaverse in der Bildung auszuschöpfen. Hierzu zählen beispielsweise die Sicherstellung finanzieller Ressourcen, die Entwicklung von Datenschutzlösungen und die Förderung sozialer Interaktion der Studierenden.

Die aufmerksame und koordinierte Zusammenarbeit zwischen Bildungsverantwortlichen, Akteur*innen der Wirtschaft und politischen Entscheidungsträger*innen ist essenziell, um die Rolle des Metaverse als innovatives Bildungswerkzeug voranzutreiben. Darauf hinaus müssen integrierte Lösungen geschaffen werden, um das Metaverse in die Lehre zu integrieren. Erste Schritte sind hier bereits gemacht.

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* (Working Paper Reihe des Fachbereichs 3: Wirtschaft und Recht Nr. 27). <https://doi.org/10.48718/6xxa-c637>
- Bartels, N. (2020). *Strukturmodell zum Datenaustausch im Facility Management*. Springer Fachmedien. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-30830-8>
- Bartels, N. & Hahne, K. (2023). Teaching Building Information Modeling in the Metaverse—An Approach Based on Quantitative and Qualitative Evaluation of the Students Perspective. *Buildings*, 13(9), 2198. <https://doi.org/10.3390/buildings13092198>
- Bartels, N. & Hahne, K. (2024). Integration des Metaverse in die Lehre: Eine studentische Perspektive am Beispiel aus Modulen des Bauingenieurwesens. *die hochschullehre*, 10(13), 146–159. <https://doi.org/10.3278/HSL2413W>
- Bartels, N., Hahne, K. & Wills, N. (2025). How to Teach AECO in the Metaverses. In A. Francis, E. Miresco & S. Melhado (Hrsg.), *Lecture Notes in Civil Engineering. Advances in Information Technology in Civil and Building Engineering* (Bd. 630, S. 321–335). Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-3-031-84224-5_26
- Bartels, N. & Stolz, K. (2024). Project- and Research-Based Teaching in Civil Engineering. *International Journal of Engineering Pedagogy (iJEP)*, 14(6), 23–36. <https://doi.org/10.3991/ijep.v14i6.47519>
- Bermejo Fernandez, C. & 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>
- Borrmann, A., König, M., Koch, C. & Beetz, J. (2021). *Building Information Modeling: Technologische Grundlagen und industrielle Praxis*. Springer Fachmedien. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-33361-4>
- Bourke, B. (2021). Using Gamification to Engage Higher-Order Thinking Skills. In I. R. Management Association (Hrsg.), *Research Anthology on Developing Critical Thinking Skills in Students* (S. 632–652). IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-3022-1.ch033>
- 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>
- Chen, Y [Yali], 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 [Yali], Wang, X [Xiaozi], 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>
- 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. https://doi.org/10.1007/978-3-031-29132-6_11
- European Commission (Hrsg.). (2022). *Commission Communication on a European strategy for universities*. <https://education.ec.europa.eu/document/commission-communication-on-a-european-strategy-for-universities>
- European Commission (Hrsg.). (2024). *METaverse ON MATH EDUCATION*. <https://school-education.ec.europa.eu/en/etwinning/projects/metaverse-math-education>
- 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>
- 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: International Journal of Computer and Information Engineering*, 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>
- 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>
- 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>
- Marr, B. (2022, 21. März). *A Short History Of The Metaverse*. Forbes. <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2022/03/21/a-short-history-of-the-metaverse/>
- Ngo, T. T. A. (2024). Perception of Engineering Students on Social Constructivist Learning Approach in Classroom. *International Journal of Engineering Pedagogy (iJEP)*, 14(1), 20–38. <https://doi.org/10.3991/ijep.v14i1.43101>
- OECD (Hrsg.). (2018). *The Future of Education and Skills: Education 2030*. https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2018/06/the-future-of-education-and-skills_5424dd26/54ac7020-en.pdf?h
- Orr, D., Luebcke, M., Schmidt, J. P., Ebner, M [Markus], Wannemacher, K., Ebner, M [Martin] & Dohmen, D. (2020). *Higher Education Landscape 2030: A Trend Analysis Based on the AHEAD International Horizon Scanning*. Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-44897-4_5
- Parisi, T. (2021, 22. Oktober). *The Seven Rules of the Metaverse*. Medium. <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. https://doi.org/10.1007/978-3-658-13498-3_17
- Röthler, D. (2022). Informelle Begegnung in hybriden Bildungs-Settings. In R. Egger & S. Witzel (Hrsg.), *Doing Higher Education. Hybrid, flexibel und vernetzt? Möglichkeiten, Bedingungen und Grenzen von digitalen Lernumgebungen in der wissenschaftlichen Weiterbildung* (S. 39–47). Springer Fachmedien. 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: Empirische Studien im Kontext manueller Arbeitsprozesse* (S. 97–126). Springer Fachmedien. https://doi.org/10.1007/978-3-658-14309-1_4
- Siyaev, 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>
- Stephenson, N. (1992). *Snow Crash: Roman* (A. Weber, Übers.) (1. Auflage). Bantam Books.
- UNEP. (2024). *2023 Global Status Report for Buildings and Construction—Beyond foundations: Mainstreaming sustainable solutions to cut emissions from the buildings sector*. United Nations Environment Programme. <https://doi.org/10.59117/20.500.11822/45095>
- Wang, X [Xiangyu], 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>
- 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, 7. März). *Hochschulübergreifende Ausbildung in der Big-Open-BIM Welt: Neue Professuren für Digitales Planen und Bauen*. buildingSMART Deutschland. <https://www.bsdplus.de/fachartikel/hochschuluebergreifende-praxisnahe-und-zukunftsgerichtete-ausbildung-in-der-big-open-bim-welt.html>
- Wood, K. & Drew, S. (2025). Aligning Gamified Learning Experiences to Learning Outcomes. *International Journal of Changes in Education*. Vorab-Onlinepublikation. <https://doi.org/10.47852/bonviewIJCE52023413>
- 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>
- Wu, X., Chen, Y [Yuanyuan] & Wu, Y. (2023). Exploration of Mathematics Education by Metaverse Technology. In *2023 IEEE 12th International Conference on Educational and Information Technology (ICEIT)* (S. 173–178). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICEIT57125.2023.10107894>

Autor*innenprofile

Niels Bartels, Prof. Dr.-Ing., Professor an der Fakultät für Bauingenieurwesen und Umwelttechnik, Institut für Konstruktiven Ingenieurbau (IKI).

Kontakt: niels.bartels@th-koeln.de

Kristina Hahne, Dipl.-Ing. (FH), Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Konstruktiven Ingenieurbau.

Tätigkeitsbereich: Baukonstruktion, Tragwerkslehre und Building Information Modeling.

Kontakt: kristina.hahne@th-koeln.de