

Eine interdisziplinäre Kooperation in der Hochschullehre mit Hilfe der virtuellen Realität

Status Quo eines Lernraum Projekts, das mittels Mozilla Hubs das Periodensystem der Elemente sowie experimentelles Design vermittelt.

Tobias Weiß ¹, Patrik Kirch, Maraike Büst², Siegfried Schindler³ und Jella Pfeiffer

Abstrakt: Wie finden neue, spannende und zugleich herausfordernde Technologien, wie die virtuelle Realität, den Weg in die Hochschullehre? Dieser Beitrag beschreibt ein interdisziplinäres Projekt, das sich genau dieser Frage stellt. Unser Ziel ist es, das Periodensystem der Elemente als einen Verbund virtueller Umgebungen abzubilden, in denen jedes Element seinen eigenen Raum hat. Für jedes Element soll eine eigene Lernumgebung gestaltet werden, die mit Informationen zu den Elementen angereichert ist (z.B. bei Stickstoff die Bildung von Stickoxiden im Autoverkehr oder die Herstellung von Düngemitteln). Dieser Beitrag beschreibt unseren iterativen Ansatz und die Optimierung eines bestehenden ersten Prototyps. Ein iterativer Optimierungsprozess (im Sinne von Design Science Research) trägt dazu bei, dass i) Lernende eine möglichst effektive und positive Erfahrung machen und ii) Lehrende für zukünftige Projekte von den Erfahrungen profitieren und diese auf andere Kontexte übertragen können. Wir präsentieren die Ergebnisse einer Studie mit 40 Beobachtungen, die Lernräume vergleicht, die mit der Mozilla Hubs Plattform erstellt wurden. Die neu gestaltete Lernräume wurden insbesondere unter Berücksichtigung der Prinzipien der Theorie des multimedialen Lernens konzipiert. Die Ergebnisse legen nahe, dass sich durch die Anwendung der Prinzipien der Theorie des multimedialen Lernens der wahrgenommene Lernerfolg signifikant verbessern lässt. Wir möchten den Workshop nutzen, um eine Zusammenarbeit zwischen deutschen Hochschulen zu diskutieren, die eine eigene DSGVO-konforme Mozilla Hubs Instanz hosten und entsprechende Expertise aufbauen.

Keywords: Chemie, Experimentelles Design, Mozilla Hubs, Interdisziplinäre Zusammenarbeit, Periodensystem der Elemente, Virtual Reality

¹ Justus-Liebig-Universität Gießen, Professur für Digitalisierung, e-Commerce und Operations Management, Licher Straße 74, 35394 Gießen, tobias.weiss@wi.jlug.de, <https://orcid.org/0009-0007-1417-8044>

² Justus-Liebig-Universität Gießen, Servicestelle Hochschuldidaktik, Stabsabteilung Studium, Lehre, Weiterbildung und Qualitätssicherung, Leihgesterner Weg 52, 35392 Gießen, maraike.buest@admin.uni-giessen.de

³ Justus-Liebig-Universität Gießen, Institut für Anorganische und Analytische Chemie, Heinrich-Buff-Ring 17, 35392 Gießen, siegfried.schindler@anorg.chemie.uni-giessen.de

1 Einleitung

Die Vermittlung von Wissen unterliegt einem anhaltenden Wandel, der durch technologische Fortschritte vorangetrieben wird [Ha19]. Unter diesen technologischen Innovationen im Bildungsbereich haben in den letzten Jahren insbesondere die augmentierte Realität (AR) sowie die virtuelle Realität (VR) als potenzielle „Game Changer“ Aufmerksamkeit erregt. Sie können unter dem Oberbegriff Mixed Reality/Extended Reality (XR) zusammengefasst werden [Sa21], [Ra22]. Diese neuen Technologien bieten neue Möglichkeiten zur Schaffung immersiver und interaktiver Lernumgebungen, die traditionelle Lehrmethoden unterstützen oder sogar teilweise ersetzen können. XR bietet weiterhin das Potenzial die Anschaulichkeit von Lerninhalten zu steigern, erfahrungsbasiertes Lernen zu erleichtern und Inklusion zu fördern [OC20]. Lernende haben die Möglichkeit orts- und zeitunabhängig in virtuelle Szenarien einzutauchen und mit 3D-Objekten und Avataren zu interagieren. Auch in der Chemie wird an der Integration von XR in die Lehre gearbeitet. Dabei sollen virtuelle Labore etabliert und Lehre in virtuellen Hörsälen durchgeführt werden. Die ersten Ergebnisse zur Integration von XR im Chemiekontext sind sehr positiv und dieses Projekt wurde mit dem Hochschulpreis für Exzellenz in der Lehre 2021 "Mixed Reality in der Lehre an der Universität Gießen“ ausgezeichnet.

Insbesondere VR bietet die Möglichkeit ein immersives und fesselndes Lernerlebnis zu schaffen und bei den Lernenden ein Gefühl der Präsenz zu erzeugen, das mit konventionellen Mitteln nur schwer zu erreichen ist. Diese wahrgenommene Präsenz in einer virtuellen Umgebung kann die Motivation und das Interesse am Lerninhalt steigern und zu einer verbesserten Aufnahme und Aneignung von Wissen führen. Durch den Wettbewerb großer Technologiekonzerne sind kostengünstige Head-Mounted-Displays (HMDs) auf dem Markt, die sich für die Integration in den Lehralltag eignen. So stehen an der Universität Gießen mittlerweile über 30 WebXR-fähige Geräte zur Verfügung. Zudem steigt die Verfügbarkeit solcher Geräte in privaten Haushalten langsam aber stetig an [E119]. Es fehlt jedoch an ausgereiften, individuell zugeschnittenen, möglichst kostengünstigen und erweiterbaren Lehrmaterialien. Eine ansprechende und methodisch möglichst effektive Aufbereitung von Lehrinhalten ist jedoch ein entscheidender Faktor für eine optimale Wissensvermittlung, da dadurch die Motivation, Aufmerksamkeit und allgemeine Leistungsbereitschaft der Lernenden maßgeblich beeinflusst werden kann. Im Rahmen dieses Beitrages wird daher die folgende Forschungsfrage untersucht: **Wie können virtuelle Lernumgebungen gestaltet werden, um einen möglichst hohen quantitativen und wahrgenommenen Lernerfolg zu erzielen?**

Ziel dieses Beitrags ist es, die transformative Rolle von XR, insbesondere VR, in der Bildung hervorzuheben. Dabei kombinieren wir fachliches Wissen über chemische Elemente mit dem methodischen Wissen über experimentelles Design und Erhebungspraktiken. Darüber hinaus sind wir davon überzeugt, dass auch virtuelle Lernumgebungen auf bestehenden Paradigmen im Bildungskontext aufbauen sollten, insbesondere auf der Theorie des multimedialen Lernens [MM98]. Indem wir die

Auswirkungen von VR auf den quantitativen und wahrgenommenen Lernerfolg untersuchen, gewinnen wir Erkenntnisse darüber, welche bestehenden Grundsätze auch in virtuellen Umgebungen weiterhin ihre Gültigkeit behalten. Insgesamt soll dieser Beitrag zum aktuellen Diskurs über die Integration von XR in die Lehre beitragen und als Ideengeber für Lehrende in unterschiedlichen Bereichen und Disziplinen dienen.

2 Theoretischer Hintergrund

Die von Mayer [Ma21] entwickelte Theorie des multimedialen Lernens (cognitive theory of multimedia learning, CTML) untersucht wie Lernende mit Hilfe von multimedialen Kanälen Lerninhalte erfassen (d.h., Bilder, Texte, Töne und andere Medienelemente). Sie selbst basiert auf der Theorie der dualen Kodierung [CP91] und der Theorie des generativen Lernens [Wi92]. Sie stellt Prinzipien und Richtlinien auf, die bei der Gestaltung von Lernmaterialien herangezogen werden können, um Lernszenarien zu optimieren. Die CTML lässt sich nicht nur auf klassische multimediale Formate wie Präsentationen und Videos anwenden, sondern behält auch im Kontext von XR ihre Gültigkeit [PM18]. Mayer betont im Rahmen der CTML drei Hauptannahmen: (1) **Zwei Lernkanäle:** Individuen verfügen über zwei separate Kanäle zur Informationsverarbeitung. Einerseits den auditiven/verbalen Kanal und andererseits den visuellen/bildlichen Kanal. Weitere Studien zeigen, dass effektives multimediales Lernen dann stattfindet, wenn Informationen so präsentiert werden, dass beide Kanäle, auditiv und visuell, aktiviert werden. (2) **Kognitive Kapazitätsobergrenze:** Jeder der beiden Kanäle verfügt über eine begrenzte Kapazität. Darüber hinaus besagt die von Sweller begründete kognitive Belastungstheorie (engl. Cognitive Load Theory) [SvP98], dass Lernende nur über begrenzte mentale Ressourcen zur Informationsverarbeitung verfügen. Werden Informationen in einer Weise präsentiert, welche die kognitive Kapazität der Lernenden übersteigt, kann dies zu einer kognitiven Überlastung führen und das Lernen behindern. (3) **Aktive Verarbeitung:** Lernen ist ein Prozess, der eine aktive Auseinandersetzung der Lernenden mit den Lerninhalten erfordert. Die CTML hebt dabei die Bedeutung von mentaler Strukturierung und sinnvoller Verknüpfung mit bestehendem Vorwissen hervor. Basierend auf diesen Annahmen schlägt Mayer Prinzipien für die Gestaltung multimedialer Lernmaterialien vor, die effektives Lernen fördern [Ma21]. Im Folgenden werden drei dieser insgesamt zwölf Prinzipien erläutert.

- **Kohärenzprinzip:** Der Inhalt und die Gestaltung von Lernszenarien sollten kohärent und relevant sein. Überflüssige Informationen und Elemente sollten minimiert werden, um kognitive Überlastung und Ablenkung zu vermeiden.
- **Redundanzprinzip:** Besonders wichtige Informationen sollten über mehrere Kanäle, z.B. über den visuellen als auch den auditiven Kanal, präsentiert werden.
- **Segmentierungsprinzip:** Inhalte sollten in kleinen schrittweisen Abschnitten in Lernenden-gerechten Geschwindigkeit präsentiert werden.

Durch die Anwendung dieser Prinzipien können Lernmaterialien entwickelt werden, welche die kognitive Verarbeitung unterstützen, die Belastung reduzieren und den Lernerfolg verbessern. Weiterhin bietet die CTML einen Rahmen für die Analyse der Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Designelementen und deren Einfluss auf das Lernen.

3 Kontext und Plattform

Das Projekt besteht aus einem Team das drei Komponenten umfasst. Studierende der Wirtschaftswissenschaften führen Seminare und Abschlussarbeiten durch, die sich grundsätzlich mit Themen rund um den Begriff „Digitalisierung“ beschäftigen. Der Schwerpunkt für die Studierenden liegt in der Einführung in die experimentelle Forschung mithilfe von XR. In den vergangenen Semestern wurde sich dabei auf Lernumgebungen mit generischen Inhalten (z.B. Vermittlung von Sudoku-Lösungstechniken) oder Themen im wirtschaftswissenschaftlichen Kontext beschäftigt. Um den entstandenen Artefakten einen interdisziplinären inhaltlichen Rahmen zu geben, wurden Lernumgebungen zu den Elementen des Periodensystems erstellt. Für eine fachliche Unterstützung standen mehrere Ansprechpartner:innen aus der Chemie und der Chemiedidaktik zur Verfügung, die Basiswissen vermittelten, mögliche Inhalte vorschlugen und Korrektheit der präsentierten Inhalte sicherstellten. Ein weiterer wichtiger Bestandteil ist das zentrale XR-Labor unserer Hochschule, das beratend zur Seite stand, Hardware zur Verfügung stellte und Probanden vermittelte.

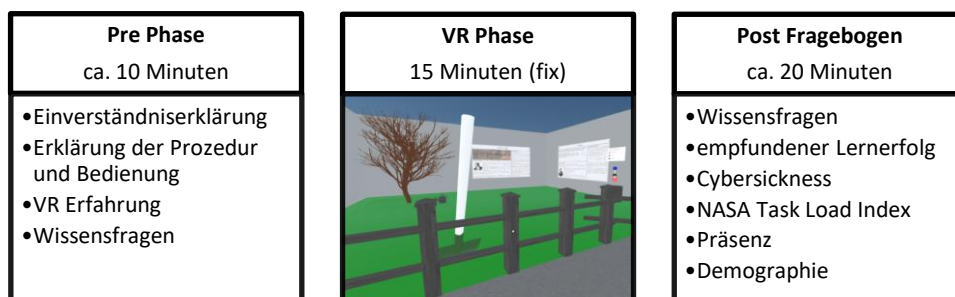
Zu Beginn unserer Zusammenarbeit zur Erstellung eines Lernraumes für chemische Elemente des Periodensystems stand zunächst die Evaluation verschiedener Werkzeuge zur Erreichung unserer Ziele. In die engere Auswahl kamen neben Mozilla Hubs eine Eigenentwicklung mit der Entwicklungsumgebung Unity sowie die Apps 3SpinLearning und den Social VR-Plattformen Engage und Spatial. Da wir das Projekt mit Studierenden aus den Wirtschaftswissenschaften durchführen, kam die Erstellung der Räume in Unity nicht in Frage. Grundlegende Programmierkenntnisse in C# und relativ leistungsfähige Computer-Hardware wären zu hohe Einstiegshürden gewesen. Aus dem gleichen Grund wurde auch 3SpinLearning nicht verwendet, da auch hier ein Unity-basierter Importprozess angewendet werden muss. Die Plattform Engage (<https://engagevr.io>), derzeit sicherlich der Goldstandard für virtuelle Umgebungen, ist interessant, aber für viele Hochschulen nicht finanzierbar. Die ebenfalls kommerzielle Plattform Spatial (<https://www.spatial.io>) ist preislich deutlich attraktiver, aber weniger leistungsfähig als Engage. Neben dem Problem der Kosten für die Nutzung der Plattformen (es fallen jährliche Gebühren an) besteht aber auch die Problematik der Einstellung dieser Plattformen. So wurde Anfang des Jahres 2023 die von Microsoft betriebene Plattform Altspace (ebenfalls eine Plattform, die für die Lehre, Weiterbildung und Konferenzen genutzt wurde) überraschend eingestellt. Auch die VR-Laboreinheiten der Plattform Labster wurden mit dem Ende von Google's Daydream im Jahr 2021 eingestellt. Solche Abschaltungen sollten als Warnung verstanden werden, dass eine externe Plattform im

Laufe der Zeit nicht mehr verfügbar sein kann und darauf basierende Umgebungen dann nicht mehr nutzbar sind. Aus diesem Grund entschied sich das Projektteam für die Nutzung von Mozilla Hubs. Einer der Hauptvorteile ist, dass die auf WebXR [RDA21] basierende Anwendung im Browser aufgerufen werden kann (via Desktop-PC und in VR). Zudem ist der Umgebungseditor „Spoke“ ebenfalls über den Browser nutzbar und bietet einen einfachen Einstieg in die 3D-Gestaltung. Mit geringen Hardwareanforderungen und innerhalb weniger Minuten sind die Studierenden in die Lage, erste Objekte zu platzieren und kreativ zu werden.

Mit der kürzlich angekündigten „Hubs Community Server Instanz“⁴ wird es in Zukunft möglich sein, den „open-source“ Quelltext von Mozilla Hubs zu verwenden und eine eigene Instanz auf eigenen Servern bereitzustellen. Jedoch hat Mozilla Hubs auch Nachteile. Insbesondere die fehlende Interaktion und eingeschränkten Möglichkeiten zur Individualisierung stellen Barrieren dar. Hier besteht die Hoffnung, dass die Community nach und nach entsprechende Funktionen mitentwickelt. Insgesamt erscheint Mozilla Hubs dennoch eine gute Wahl, um erste Prototypen zu entwerfen und Studierenden die Verwendung von XR-Tools nahe zu bringen.

4 Methode

Das Projekt folgt insgesamt dem Design Science Research Paradigma [Pe07], indem wir iterativ Räume für einzelne Elemente erstellen/optimieren, evaluieren und die Ergebnisse kommunizieren. Die Evaluation der Umgebungen erfolgt mit Freiwilligen, zumeist Studierende unserer Hochschule. Dabei gestalten wir die Inhalte so, dass auch fachfremde Personen ohne Vorwissen etwas lernen und die Fragen beantworten können. Die einzelnen Experimentsitzungen, siehe Abb. 2, sind auf maximal 45 Minuten begrenzt. Wissensfragen ergeben sich aus den dargestellten Inhalten. Weiterhin werden Fragen zur wahrgenommenen Cybersickness [Ko23], zum Lernerfolg [SKP23], zur wahrgenommenen Präsenz [Sc19], zur Schwierigkeit (in mehreren Dimensionen) [HS88] und zur Demographie an die Teilnehmenden gerichtet.



⁴ <https://discord.com/channels/498741086295031808/819200243177881640/1130537124039499917>

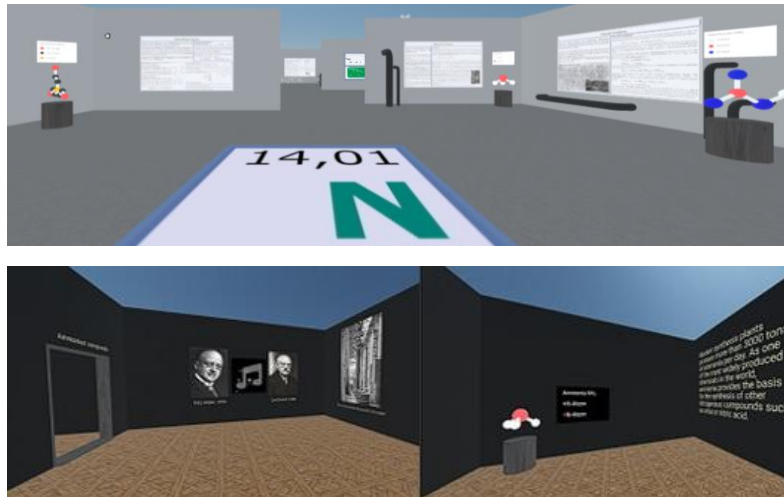
Abb. 2: Ablauf einer Evaluations-Sitzung

5 Ergebnisse

Alle im Folgenden vorgestellten Lernräume sind öffentlich zugänglich⁵. Zunächst stellen wir eine der ursprünglichen Seminarumgebungen vor, die in Abb. 3 dargestellt ist. Bei der Erstellung wurde den Studierenden viel Freiraum gelassen, die Umsetzung der vorstellten Paradigmen wurde nicht explizit gefordert. Dennoch wurden viele der im CTML genannten Paradigmen intuitiv richtig umgesetzt.

Abb. 3: „Proof of Work vs. Proof of Stake“ <https://hub.link/Ko49mHj>

In einem weiteren Schritt wurde ein erster Lernraum zu den Elementen des Periodensystems erstellt, zunächst für das Element Stickstoff. Anschließend wurde der Raum mit einem bestehenden Prototyp verglichen. Abb. 4 und 5 zeigen die zwei Lernräume zum Element Stickstoff, einmal ohne und einmal mit expliziter Berücksichtigung und Umsetzung der Lernparadigmen gemäß CTML.



⁵ <https://tobiasweede.github.io/xr/>

Abb. 4: Stickstoff-Ausstellung, Iteration 0, ohne dedizierte Beachtung von Lern-Paradigmen <https://hub.link/9Myzjfg> (oben). Stickstoff-Ausstellung, Iteration 1, Verwendung von Lern-Paradigmen wie z.B. dem Segmentierungsprinzip <https://hub.link/oFFZDYW> (unten).

Unsere Untersuchung verglich einen bestehenden Prototyp für Stickstoff mit einem neuen, nach CTML-Prinzipien gestalteten Raum, siehe Abb. 6. Insgesamt nahmen 40 Personen ($M_{\text{Alter}}=28.4$, $SD=5.34$) am Experiment teil („between subjects“ Design, 20 Personen pro Raum). Alle Teilnehmenden trugen Meta Quest 2 VR-Brillen.

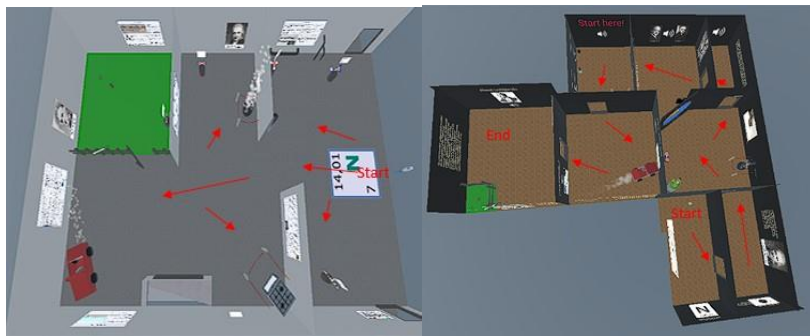


Abb. 6: Gruppe A: Alter (links) und Gruppe B: neuer (rechts) Stickstoff-Raum.

Für die statistische Analyse können aufgrund der kleinen Stichprobe nur nicht-parametrische Tests angewendet werden, dennoch lässt sich wie in Tabelle 1 dargestellt, eine signifikante Verbesserung ($p=.01$) des wahrgenommenen Lernerfolgs nachweisen. Der quantitative Wissenszuwachs war im neuen Raum zwar höher, jedoch war dieser Wert nicht statistisch signifikant.

Variable	Mittelwert		SD		p
	Gruppe A	Gruppe B	Gruppe A	Gruppe B	
Pre-Test (%)	.16	.22	.13	.22	.55
Post-Test (%)	.55	.64	.20	.28	.15
Wahrgenommener Wissenszuwachs (1-7)	4.18	5.18	.92	1.26	.01
Cybersickness (1-7)	1.87	2.18	.95	1.35	.49
NASA TLX (1-7)	3.14	2.99	.73	.73	.53
Präsenz (1-7)	3.67	3.88	.47	.51	.19

Anmerkungen: Gruppe A N = 20; Gruppe B N = 19

Tab. 1: Statistische Auswertung.

6 Diskussion

Das vorgestellte Experiment beantwortet die Forschungsfrage dahingehend, indem es zeigt, wie sich durch die gezielte Anwendung der CTML-Paradigmen eine möglichst gute VR-Lernumgebung mittels Mozilla Hubs erstellen lässt. Unser Beitrag unterstreicht die Relevanz der Paradigmen aus der Theorie des multimedialen Lernens für XR. Die Ergebnisse können als Referenzwerte für weitere chemische Elementumgebungen dienen, sowie zum Vergleich mit Lernumgebungen für Inhalte aus anderen Disziplinen herangezogen werden können.

Interdisziplinäre Zusammenarbeit ist wichtig und interessant, da sie zu Wissenstransfer und neuen Ideen führen kann. Ein XR-Projekt erscheint uns dabei als echter „Enabler“. Dank moderner und immer preiswerter werdender HMDs ist umfangreiches Lernen und Üben in und mit XR in den verschiedensten Bereichen möglich, einschließlich Laborarbeiten. Die gleiche Technik kann für die unterschiedlichen Anwendungsszenarien genutzt werden, was insgesamt eine möglichst effiziente Nutzung der Geräte ermöglicht und einen Austausch unter den Anwendern besonders sinnvoll macht.

Derzeit nutzen nach unserem Kenntnisstand mehrere deutsche Hochschulen Mozilla Hubs Instanzen, die entweder über die öffentliche Mozilla Hubs Instanz oder mittels Amazon AWS betrieben werden. Jedoch sind wir noch keinem Projekt begegnet, das eine eigene Mozilla Hubs Instanz einsetzt. Gespräche haben ergeben, dass der Umgang mit den zugrundeliegenden Technologien eine nicht unerhebliche Komplexität mit sich bringt. Es wäre daher erstrebenswert, wenn es eine Zusammenarbeit geben würde, um Mozilla Hubs Instanzen auf DSGVO-konformen Servern zu hosten und entsprechende Expertise aufzubauen.

7 Fazit und Ausblick

In unserer nächsten DSR-Iteration untersuchen wir zwei neue Räume für das Element Kupfer und evaluieren diese derzeit mit 60 Teilnehmenden („between subjects“ Design, 30 Personen pro Raum). Die Wissensfragen wurden in einer Pilotbefragung evaluiert, um sicherzustellen, dass das Fragenniveau zwischen Pre- und Post-Test vergleichbar ist. Weiterhin wurden alle Inhalte und Fragen in englischer Sprache verfasst. Während Experiment 2 die Wirkung des Segmentierungsprinzips untersucht, widmet sich Experiment 3 dem Kohärenzprinzip. Wir hoffen, auf dem Workshop weitere erste Ergebnisse dieser neuen Experimente präsentieren zu können.

Die Entwicklung des Einsatzes von XR in der Lehre wird vermutlich ähnlich verlaufen wie die Entwicklung der Videobearbeitung. Früher war diese Technologie teuer und erforderte Expert:innen. Heute können Laien mit einem Smartphone einen Film erstellen. XR wird voraussichtlich ähnliche Möglichkeiten zur Erstellung von Inhalten bieten.

Literaturverzeichnis

- [CP91] Clark, J. M.; Paivio, A.: Dual coding theory and education. *Educational Psychology Review* 3, S. 149–210, 1991.
- [El19] Elmqaddem, N.: Augmented reality and virtual reality in education. Myth or reality? *International journal of emerging technologies in learning* 3/14, 2019.
- [Ha19] Halili, S. H.: Technological advancements in education 4.0. *The Online Journal of Distance Education and e-Learning* 1/7, S. 63–69, 2019.
- [HS88] Hart, S. G.; Staveland, L. E.: Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. *Advances in psychology* 52, S. 139–183, 1988.
- [Ko23] Kourtesis, P. et al.: Cybersickness in virtual reality questionnaire (csq-vr). *Virtual Worlds* 1/2, S. 16–35, 2023.
- [Ma21] Mayer, R. E.: *Multimedia learning*. Cambridge University Press, Cambridge, 2021.
- [MM98] Mayer, R. E.; Moreno, R.: A cognitive theory of multimedia learning: Implications for design principles. *Journal of educational psychology* 2/91, S. 358–368, 1998.
- [OC20] OConnor, J. et al.: XR Accessibility-Learning from the Past and Addressing Real User Needs for Inclusive Immersive Environments: ICCHP 2020, Lecco, Italy, S. 117–122, 2020.
- [Pe07] Peffers, K. et al.: A design science research methodology for information systems research. *Journal of management information systems* 3/24, S. 45–77, 2007.
- [PM18] Parong, J.; Mayer, R. E.: Learning science in immersive virtual reality. *Journal of educational psychology* 6/110, S. 785, 2018.
- [Ra22] Rauschnabel, P. A. et al.: What is XR? Towards a framework for augmented and virtual reality. *Computers in Human Behavior* 133, S. 107289, 2022.
- [RDA21] Rodriguez, F. C.; Dal Peraro, M.; Abriata, L. A.: Democratizing interactive, immersive experiences for science education with WebXR. *Nature Computational Science* 10/1, S. 631–632, 2021.
- [Sa21] Sala, N.: Virtual reality, augmented reality, and mixed reality in education: A brief overview. *Current and prospective applications of virtual reality in higher education*, S. 48–73, 2021.
- [Sc19] Schwind, V. et al.: Using presence questionnaires in virtual reality. *Proceedings of the 2019 CHI conference on human factors in computing systems*, S. 1–12, 2019.
- [SKP23] Stejskal, T.; Kethüda, K.; Pfeiffer, J.: Knowledge All Around Me: Comparing the Effect of VR, Text and Desktop on Learning Outcomes, 2023.
- [SvP98] Sweller, J.; van Merriënboer, J. J. G.; Paas, F. G. W. C.: *Cognitive Architecture and Instructional Design*. *Educational Psychology Review* 3/10, S. 251–296, 1998.
- [Wi92] Wittrock, M. C.: Generative learning processes of the brain. *Educational Psychologist* 4/27, S. 531–541, 1992.