**Zusammenfassung fürs Paper**

Extended Reality (XR) umfasst Virtual Reality (VR), Augmented Reality (AR) und Mixed Reality (MR) und erweitert die physische Welt um digitale Inhalte [1], [2]. VR erzielt maximale Immersion durch vollständige Ausblendung der realen Welt, AR ergänzt die Umgebung um computergenerierte Objekte ohne Interaktionsmöglichkeit, während MR beide Ansätze kombiniert und Interaktionen zwischen realen und virtuellen Elementen erlaubt [2], [3], [4], [5]. Letzteres erfordert präzises Tracking, physikalische Konsistenz und nahtlose Integration <HIER FEHLT NOCH EIN BELEG>.

XR wird in Werbung, Bildung und Unterhaltung eingesetzt, insbesondere aufgrund von Interaktivität, Multisensorik und erhöhter Emotionalität [5], [6], [7]. Im Bildungsbereich werden vor allem gefahrenfreie Simulationen und kostengünstige Praxisübungen geschätzt [1], [7]. Herausforderungen ergeben sich aus Hardware-Limitierungen, Interoperabilitätsproblemen und hohen Echtzeitanforderungen; ethische Aspekte betreffen Datenschutz, Manipulationspotenzial sowie gesundheitliche Risiken wie Simulationskrankheit, Augenbelastung und psychische Beanspruchung [5], [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14].

In der virtuellen Tierbeobachtung kommen XR-Technologien in Form von AR-Einblendungen (WWF) [15], VR-Erlebnissen (Immotion) [16] oder vollständig virtuellen Zoos zum Einsatz [17], [18]. Vorteile sind Gefahrenfreiheit, Ortsunabhängigkeit und die Möglichkeit, ausgestorbene Arten realitätsnah darzustellen [16], [17], [19], [20]. Die Umsetzung erfordert skalierbare Architekturen, die Interaktivität, Kollaboration und Multiplattformfähigkeit gewährleisten <HIER FEHLT NOCH EIN BELEG ODER EIN BESSERER ABSCHLUSS, DEN FINDE ICH NICHT SO GUT>.

Aktuelle Forschung im XR-Bereich adressiert u. a. die Entwicklung plattformübergreifender Anwendungen [9], die Integration von Künstlicher Intelligenz für realistischere Interaktionen [9], [11], [12] sowie die Gestaltung kollaborativer Umgebungen [21]. Dabei wurde bereits das bestehende Architekturmodelle MVC an die spezifischen Anforderungen von XR angepasst, z. B. durch Erweiterungen um Bibliothekskomponenten zur Kapselung komplexer Tracking- und Interaktionslogiken [21].

Der Forschungsbeitrag dieser Arbeit ist die Weiterentwicklung des Model–View–ViewModel-(MVVM)-Musters zu einer XR-optimierten Architektur (MVVM-3D) mit der konzeptionellen Erweiterung zu einer kollaborationsfähigen MVVM-3DC-Architektur. Der Prototyp basiert auf drei Schichten:

* Datenbasis: Verwaltung sämtlicher Daten, prototypisch in CSV-Dateien gespeichert, jedoch migrierbar auf relationale oder objektspeicherbasierte Systeme.
* Backend: Umsetzung nach dem MVC-Prinzip mit zusätzlicher Repository-Schicht zur Entkopplung der Datenzugriffe für Skalierbarkeit und Technologieunabhängigkeit.
* Frontend: Implementierung von MVVM-3D nach [21], erweitert um eine Library-Schicht für XR-spezifische Algorithmen wie Tracking, Bewegungslogik und physikalische Interaktionen. Die View-Komponenten verarbeiten multimodale Eingaben.

Neuartige Merkmale:

1. Integration multimodaler Eingaben (Gesten, Sprache, Blickrichtung) in der View-Schicht.
2. Automatisierte Zustands-Synchronisation mittels nativem Data Binding in Unity zur Sicherstellung konsistenter Interaktionen.
3. Kapselung rechenintensiver XR-Prozesse in der Library-Schicht zur Wahrung der Plattformunabhängigkeit.
4. Berücksichtigung von Skalierbarkeit und Multiplayermodi bereits im Architekturentwurf.

Diese Architektur überträgt und erweitert etablierte Muster gezielt auf XR-Anwendungen und eröffnet neue Forschungsfragen zur Standardisierung plattformübergreifender XR-Architekturen, zur Latenzoptimierung in Kollaborationsszenarien und zur Integration KI-gestützter Interaktionslogik.

[1] B. Zobel, S. Werning, D. Metzger, und O. Thomas, „Augmented und Virtual Reality: Stand der Technik, Nutzenpotenziale und Einsatzgebiete“, in *Handbuch Mobile Learning*, C. de Witt und C. Gloerfeld, Hrsg., Wiesbaden: Springer Fachmedien, 2018, S. 123–140. doi: 10.1007/978-3-658-19123-8\_7.

[2] L. Tremosa, „Beyond AR vs. VR: What is the Difference between AR vs. MR vs. VR vs. XR?“, The Interaction Design Foundation. Zugegriffen: 25. März 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.interaction-design.org/literature/article/beyond-ar-vs-vr-what-is-the-difference-between-ar-vs-mr-vs-vr-vs-xr

[3] O. Agarwal, S. Subramanian, A. Nenkova, und D. Roth, „Evaluation of named entity coreference“, in *Proceedings of the Second Workshop on Computational Models of Reference, Anaphora and Coreference*, M. Ogrodniczuk, S. Pradhan, Y. Grishina, und V. Ng, Hrsg., Minneapolis, USA: Association for Computational Linguistics, Juni 2019, S. 1–7. doi: 10.18653/v1/W19-2801.

[4] G. Klein, *Visual Tracking for Augmented Reality: Edge-based Tracking Techniques for AR Applications*. VDM Publishing, 2009.

[5] A. Mehler-Bicher und L. Steiger, „Augmentierte und Virtuelle Realität“, in *CSR und Digitalisierung: Der digitale Wandel als Chance und Herausforderung für Wirtschaft und Gesellschaft*, A. Hildebrandt und W. Landhäußer, Hrsg., Berlin, Heidelberg: Springer, 2021, S. 243–258. doi: 10.1007/978-3-662-61836-3\_16.

[6] S. Barta, R. Gurrea, und C. Flavián, „Augmented reality experiences: Consumer-centered augmented reality framework and research agenda“, *Psychol. Mark.*, Bd. 42, Nr. 2, S. 634–650, 2025, doi: 10.1002/mar.22143.

[7] A. Mehler-Bicher und L. Steiger, *Augmented Reality: Theorie und Praxis*. De Gruyter Oldenbourg, 2014. doi: 10.1524/9783110353853.

[8] I. M. von Eitzen, „Faktoren zur Akzeptanz von Virtual Reality Anwendungen“. 2023.

[9] Molchanov, „AR/VR Trends in 2025“, Innowise. Zugegriffen: 18. April 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://innowise.com/de/blog/ar-vr-trends/

[10] rankmagic, „Der Einfluss von Augmented Reality auf Nutzersignale & SEO 2025 | Rankmagic“. Zugegriffen: 18. April 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://rankmagic.net/blog/der-einfluss-von-augmented-reality-auf-nutzersignale-seo-2025/

[11] S. Lapschies, „Die Zukunft der VR- und AR-Software im Jahr 2025: Was Geschäftskunden wissen müssen“. Zugegriffen: 18. April 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://unboundxr.de/blogs/die-zukunft-von-vr-und-ar-software-im-jahr-2025-was-geschaftskunden-wissen-mussen

[12] K. Wolfenstein, „IEEE VR 2025: XR/AR/VR/MR Themen und Schwerpunkte der 32. IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces“, Xpert.Digital. Zugegriffen: 18. April 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://xpert.digital/ieee-vr-2025/

[13] G. Lawton, „Metaverse Interoperability Challenges and Impact | TechTarget“, Search CIO. Zugegriffen: 23. April 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.techtarget.com/searchcio/tip/Metaverse-interoperability-challenges-and-impact

[14] Marcus, „Virtual Reality & Augmented Reality im Handwerk“, 21 grad. Zugegriffen: 18. April 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.vaillant.de/21-grad/technik-und-trends/das-spiel-mit-der-realitaet-virtual-reality-und-augmented-reality/

[15] WWF, „Heimische Wildtiere per Augmented Reality erleben“. Zugegriffen: 25. März 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.wwf.de/aktiv-werden/augmented-reality

[16] Immotion, „IMMOTION | The Global Leader in Immersive Edutainment“, IMMOTION | The Global Leader in Immersive Edutainment. Zugegriffen: 18. März 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://edu.immotion.co

[17] Gaia, „Zomertour 2023 | GAIA“. Zugegriffen: 18. März 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.gaia.be/nl/campagnes/zomertour-2023

[18] Nathalie, „China VR Zoo“, Schweizer Virtual Reality News. Zugegriffen: 18. März 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://vr-room.ch/2018/01/08/erster-vr-zoo-in-china-eroeffnet/

[19] Zoo Leipzig, „Gorilla Trek“, Zoo Leipzig. Zugegriffen: 18. März 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.zoo-leipzig.de/tiere-erlebniswelten/erlebniswelten/pongoland/gorilla-trek/

[20] F. Sukmawati, E. B. Santosa, und T. Rejekiningsih, „Design of Virtual Reality Zoos Through Internet of Things (IoT) for Student Learning about Wild Animals. | EBSCOhost“. Zugegriffen: 18. März 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://openurl.ebsco.com/contentitem/doi:10.18280%2Fria.370225?sid=ebsco:plink:crawler&id=ebsco:doi:10.18280%2Fria.370225

[21] S. Benbelkacem, N. Zenati-Henda, D. Aouam, Y. Izountar, und S. Otmane, „MVC-3DC: Software architecture model for designing collaborative augmented reality and virtual reality systems“, *J. King Saud Univ. Comput. Inf. Sci.*, Bd. 32, Nr. 4, S. 433–446, Mai 2020.