

Künstliche Intelligenz in Extended Reality Anwendungen

Nutzungsmöglichkeiten und Anwendungen

Benedikt Breitkopf

HdM Stuttgart, Deutschland

bb105@hdm-stuttgart.de

INHALTSÜBERSICHT

In diesem Whitepaper soll ein Überblick über die Möglichkeiten des Zusammenspiels von Künstlicher Intelligenz (KI) und Extended Reality (XR) geschaffen werden. Zu diesem Zweck werden zunächst die nötigen Grundlagen zu den Begriffen, sowie die Relevanz der XR-Technologie dargelegt. Anschließend werden verschiedene Bereiche, Forschungen und Anwendungen skizziert, in denen KI dafür genutzt wird, die XR-Erfahrung zu verbessern, oder die Nutzung überhaupt erst möglich macht. Danach wird kurz darauf eingegangen, welchen Nutzen XR-Technologien für die Weiterentwicklung von KI bieten können. Am Schluss werden in einem Fazit die Ergebnisse knapp zusammengefasst.

Schlüsselworte

AI; AR; Artificial Intelligence; Augmented Reality; Erweiterte Realität; Extended Reality; KI; Künstliche Intelligenz; Virtual Reality; Virtuelle Realität; VR; XR.

EINFÜHRUNG

In den letzten Jahren hat sich XR als zukunftsweisender Forschungsbereich etabliert, der die Grenzen der menschlichen Wahrnehmung und Interaktion mit der digitalen Welt erweitert. Der aktuelle Stand der XR-Technologie wird von einer kontinuierlichen Verbesserung der Hardware- und Softwarekomponenten geprägt. Es gibt mittlerweile leichtere und ergonomischere Headsets, die eine höhere Auflösung, ein größeres Sichtfeld und eine verbesserte

Bildwiederholrate bieten. Diese Fortschritte ermöglichen immersivere und realistischere Erfahrungen für die Nutzerinnen und Nutzer. Auch durch die Nutzung von KI zur Unterstützung und Verbesserung von XR-Anwendungen nimmt zu. In diesem Whitepaper soll auf das Zusammenspiel dieser beiden Technologien eingegangen und einige Nutzungsmöglichkeiten und Anwendungen dargestellt werden [1].

GRUNDLAGEN

Um die folgenden Ausführungen nachvollziehen zu können ist ein grundlegendes Verständnis der Begriffe XR und KI nötig. Um dies zu gewährleisten, soll im Folgenden eine kurze Einführung in die Begriffe gegeben werden.

Grundlagen KI

KI bezieht sich auf Systeme und Algorithmen, die dazu in der Lage sind, menschenähnliches Verhalten und Entscheidungsfindung durchzuführen. Es gibt eine Vielzahl von Anwendungen für KI, einschließlich Gesichtserkennung, Spracherkennung, autonome Fahrzeuge und Chatbots.

KI-Systeme können auf verschiedenen Arten entwickelt werden, aber alle basieren im Wesentlichen auf maschinellem Lernen. Das maschinelle Lernen ermöglicht es dem System, aus Erfahrung zu lernen, ohne dass es explizit programmiert werden muss. Stattdessen wird dem System eine große Menge an Daten zur Verfügung gestellt, auf der es basierend die Muster und Zusammenhänge erkennt, um Entscheidungen zu treffen.

KI-Systeme haben viele Anwendungen, aber es gibt auch Bedenken hinsichtlich der Sicherheit und des Datenschutzes, da diese Systeme auf großen Mengen sensibler Daten basieren. Es ist wichtig, dass angemessene Schutzmaßnahmen und Sicherheitsvorkehrungen getroffen werden, um sicherzustellen, dass diese Systeme sicher und zuverlässig sind.

Insgesamt hat KI das Potenzial, viele Bereiche des menschlichen Lebens zu verbessern, aber es ist wichtig, dass es verantwortungsvoll und sicher eingesetzt wird, um mögliche Risiken und Probleme zu minimieren [1]–[3].

Grundlagen XR

XR ist ein Begriff, der sich auf alle Arten von erweiterten Realitäten bezieht, die menschliche Wahrnehmungen und Erfahrungen erweitern oder verändern. Im Allgemeinen umfasst XR die drei Hauptkategorien von Augmented Reality (AR), Virtual Reality (VR) und Mixed Reality (MR).

AR bezieht sich auf eine Technologie, bei der virtuelle Objekte in die reale Welt eingefügt werden. Dies kann durch verschiedene Arten von Displays erfolgen, z. B. durch Smartphones oder Augmented-Reality-Brillen, die Informationen oder Bilder auf die Umgebung projizieren. AR-Applikationen finden Anwendung in einer Vielzahl von Bereichen, von Bildung und Unterhaltung bis hin zu medizinischen und industriellen Anwendungen.

VR hingegen bezieht sich auf eine immersive Erfahrung, bei der der Benutzer vollständig in eine virtuelle Umgebung eintaucht, die mithilfe von Headsets oder anderen Geräten erstellt wurde. VR ermöglicht es den Benutzern, sich in einer vollständig simulierten Welt zu bewegen und mit dieser zu interagieren. VR-Anwendungen werden häufig in der Gaming- und Unterhaltungsindustrie eingesetzt, aber auch in Bereichen wie Architektur und Design sowie in der medizinischen Forschung und Therapie.

MR ist eine Technologie, die AR stark ähnelt. Während die virtuellen Objekte beim Einsatz von AR die Umgebung überlagern, fügen sie sich bei MR in diese ein, sodass eine Wechselwirkung zwischen realen und virtuellen Elementen ermöglicht wird. Die Grenzen zwischen den beiden Technologien sind oft fließend, weshalb teilweise diskutiert wird, ob eine Unterscheidung überhaupt sinnvoll ist. Im Folgenden werden die beiden Technologien deswegen unter dem Begriff AR zusammengefasst.

Insgesamt ermöglicht XR neue Möglichkeiten, menschliche Erfahrungen zu erweitern und zu transformieren. Durch die Integration von Virtualität und Realität in verschiedenen Ausprägungen bietet XR zahlreiche Anwendungsmöglichkeiten, um menschliche Wahrnehmungen und Erfahrungen in verschiedenen Bereichen zu verbessern [1], [4], [5].

RELEVANZ VON XR

Laut einer Prognose zum Marktumfang von XR ausgehend von 26,4 Milliarden US-Dollar im Jahr 2021 ist ein stetiger Anstieg desselbigen zu erwarten. So soll sich der Marktumfang bis 2026 auf etwa 110 Mrd. US-Dollar mehr als vervierfachen und bis 2030 noch einmal auf etwa 345 Mrd. US-Dollar mehr als verdreifachen (s. Abbildung 1).

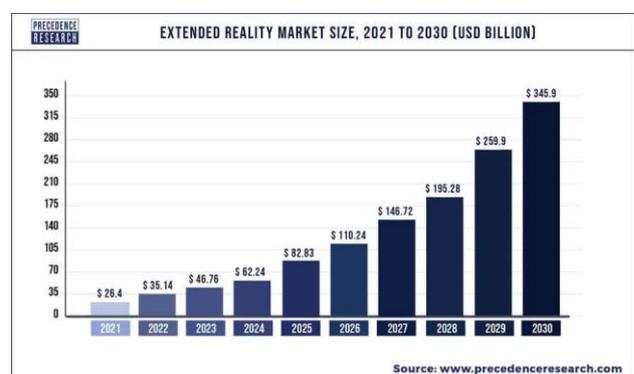


Abbildung 1. Prognose zum Marktanteil von Extended Reality zwischen 2021 und 2030 [6].

Derartige Prognosen liefern zwar keine absolut verlässlichen Werte zurück, lassen aber Rückschlüsse auf einen zu erwartenden deutlichen Aufwärtstrend zu [6].

Nutzungsmöglichkeiten von XR

XR-Technologien lassen sich in verschiedenen Bereichen mehrwertbringend einsetzen. Im Folgenden sollen einige davon kurz skizziert werden, um einen Überblick zu schaffen.

Ein möglicher Anwendungsbereich für KI ist die Lehre. Hier können Lehr- und Trainingsanwendungen genutzt werden, um Schüler:innen, Studierenden oder Auszubildenden die zu erlernenden Inhalte besser zu vermitteln. Im Gesundheitswesen kann XR-Technologie für Trainings-, Planungs- und Assistenzsysteme für Operationen genutzt werden. Außerdem kann sie bei Diagnosen unterstützen oder für Therapieanwendungen eingesetzt werden. In der Immobilienbranche hilft XR bei besserer Visualisierung von Gebäuden und Bauvorhaben und lässt sich zur Planung und für Präsentationszwecke einsetzen. Im Unterhaltungsbereich stehen meist XR-Spiele im Fokus, allerdings sind hier auch Anwendungen wie Gesichtsfilter oder 360°-Filme zu nennen. Im E-Commerce kann XR beispielsweise für virtuelle Assistenten oder zur Produktvisualisierung eingesetzt werden. Auch in der Industrie kann XR unterstützen, indem die Technologie beispielsweise die Produktion, Prozessplanung, Logistik oder das Produktdesign vereinfacht. Auch im militärischen Bereich wird mit der Technologie gearbeitet, indem beispielsweise Kampfsimulationen oder sogar Kampfassistenzsysteme entwickelt werden, allerdings geht der Einsatz von XR hier noch nicht über das Entwicklungs- und Teststadium hinaus [4], [7], [8].

KI FÜR XR

Nachdem einige Nutzungsfelder von XR dargestellt wurden, soll im Folgenden darauf eingegangen werden, wie KI XR-Anwendungen verbessern kann, oder ihren Einsatz überhaupt erst möglich macht. Dabei sind drei Rollen von KI besonders hervorzuheben. KI gestützte Computervision ist ein wichtiges Instrument, das in vielen XR-Applikationen Anwendung findet. Zu den dabei genutzten Methoden gehören Plane, Object und Feature Detection sowie Image Recognition, Semantische Segmentierung, Depth Estimation, Text recognition, Motion Tracking, Pose Estimation und Scene Understanding. Ein weiteres wichtiges KI-Instrument für XR-Anwendungen ist Natural Language Processing. Es hilft bei Audio Recognition, der Erstellung von Chatbots, bei der Emotionserkennung von Anwender:innen und kann durch Speech to Text oder Text to Speech Methoden die User Experience verbessern. Ein weiterer wichtiger Faktor sind mithilfe von KI realitätsnah generierte digitale Zwillinge. Diese können für Trainings-, Übungs- und Testzwecke eingesetzt werden oder bei Planungs- und Vorbereitungsaufgaben helfen [4], [9]–[11].

Nach diesem kurzen Überblick über die Fähigkeiten von KI, welche für XR besonders interessant sein können, sollen nun einige konkrete Anwendungen betrachtet und kurz vorgestellt werden, in denen KI und XR bereits gemeinsam genutzt werden.

Im Medizinischen Bereich wird bereits an vielen Anwendungen geforscht und entwickelt, die in verschiedenen Tätigkeitsfeldern die Arbeit in Zukunft vereinfachen und die Ergebnisse verbessern können. Beispielhaft lässt sich hier die automatische Segmentierung von Röntgenbildern mittels KI und anschließender Darstellung der gefundenen Areas of Interest in VR oder AR nennen. Dabei können die Röntgenbilder auch mittels KI in die nötigen 3D-

Daten umgewandelt werden. So ist eine Präzisere Betrachtung und eine beliebige Interaktion mit dem entsprechenden Objekt möglich. Es lässt sich vergrößern oder verkleinern, verschieben und rotieren sowie in Teilabschnitte unterteilen, sodass diese einzeln betrachtet werden können (s. Abbildung 2) [12], [13].



Abbildung 2. AR-Ansicht eines auf Grundlage von Röntgenbildern erstellten Schädelmodells [12].

Assistenzsysteme für Operationen sind ein weiterer Bereich, in dem bereits mehrere Anwendungen entwickelt wurden. Dabei werden beispielsweise mittels KI aus den vorliegenden Daten digitale Zwillinge der relevanten Körperbereiche erstellt, welche dann zur Operation oder zu deren Planung mittels AR und optischem Tracking auf den Körper überlagert werden. Dem operierenden Personal wird dann anhand des digitalen Zwillinges gezeigt, an welcher Stelle welcher Handgriff zu welchem Zeitpunkt gesetzt werden muss (s. Abbildung 3) [13]–[16].

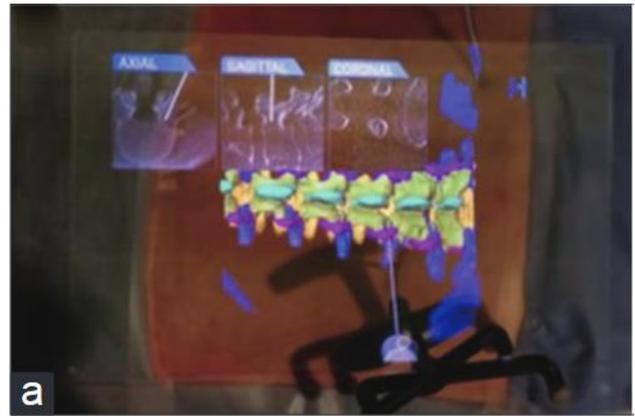


Abbildung 3. AR-Ansicht eines Unterstützungstools für Wirbelsäulenoperationen [15].

Ein weiterer interessanter Anwendungsfall ist die Entwicklung eines AR-Mikroskops für die Erkennung von Krebszellen. Dabei wird KI genutzt, die mittels Deep Learning darauf trainiert wurde, Krebszellen in Mikroskop-Bildern zu erkennen. Wurde eine entsprechende Zelle erkannt, wird diese mittels AR visuell hervorgehoben, sodass die bedienende Person sie sofort im Blick hat. Die Anwendung wurde für die Erkennung von Brust- und Prostatakrebs entwickelt und hat bei der automatisierten Erkennung eine Genauigkeit von 92-99%, abhängig von Krebsart und Vergrößerungsstufe. Das Grundprinzip lässt sich dabei aber auf eine große Menge weiterer Anwendungsfälle, bei denen ein Mikroskop genutzt wird, übertragen (s. Abbildung 4) [17].

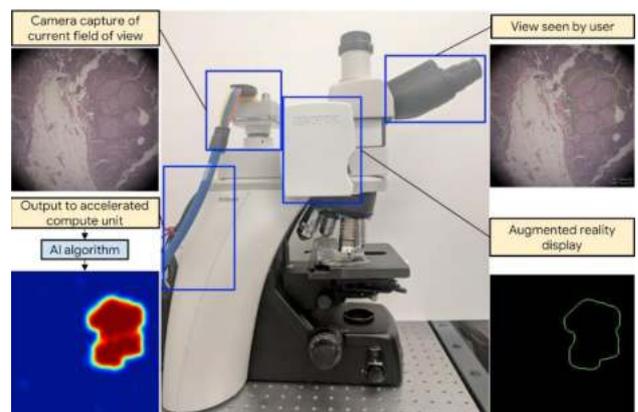


Abbildung 4. AR-Mikroskop zur Erkennung von Brust- und Prostatakrebszellen [17].

Auch im Lehrbereich finden sich KI-gestützte XR-Anwendungen. KI kann hier dabei helfen,

die Lernerfahrung umfassender zu gestalten, indem beispielsweise Lehrmaterial erkannt wird und mittels XR entsprechende Kontextinformationen bereitgestellt werden. So können Laborgeräte virtuell erweitert und in ihrer Funktion erklärt werden, Buchseiten analysiert und der Inhalt zum besseren Verständnis visualisiert werden oder 2D-Darstellungen und Schaubilder nach der Erkennung in 3D dargestellt und zum besseren Verständnis mit Interaktionsmöglichkeiten erweitert werden. Zusätzlich kann die KI im Hintergrund den Lernprozess verfolgen, analysieren und darauf basierend verbessern [18]–[20]. Auch in der Lehre und Ausbildung können die Technologien genutzt werden, indem Trainingssimulationen für verschiedene Tätigkeiten erstellt werden. KI kann dabei helfen, die Lücke zwischen Simulation und Realität zu verringern. Anhand der so erstellten digitalen Zwillinge lassen sich beispielsweise Aufgaben in der Elektronik sicher üben, medizinische Eingriffe erlernen oder gefährliche Aufgaben wie Löscharbeiten der Feuerwehr simulieren. Auch hier kann die KI das Training überwachen, die Interaktion durch Handtracking und Audio Recognition vereinfachen und sogar in Form von Chatbots das anleitende Personal entlasten [10], [21]–[23].

Auch im Entertainment Bereich wird KI in XR-Anwendungen genutzt. Hier sind zunächst KI gesteuerte NPCs oder Gegner in Spielen zu nennen, die das Spielerlebnis immersiver und realitätsnäher gestalten können. Ein Beispiel hierfür ist das VR-Game *Agence VR*, bei dem die Wesen der Spielwelt mit neuronalen Netzwerken ausgestattet werden und mittels Reinforcement Learning ihr Verhalten und ihre Interaktion untereinander innerhalb der Spielwelt selbst bestimmen [7], [24]. Als weiterer Aspekt ist KI Gestützte Occlusion zu nennen. Diese funktioniert durch ein Zusammenspiel von Object Recognition und Depth Estimation und sorgt dafür, dass sich virtuelle Elemente in AR-

Anwendungen besser in die reale Umgebung einfügen und erzeugt somit ein verstärktes Immersionsgefühl (s. Abbildung 5) [8].



Abbildung 5. Links: AR-Ansicht ohne Occlusion. Rechts: AR-Ansicht mit Occlusion [8].

In diesem Bereich ebenfalls zu nennen sind Gesichtsfiler, wie sie aus Anwendungen wie Snapchat bekannt sind. Die KI sorgt hier für die Erkennung und das Tracking des Gesichts und legt den entsprechenden Filter passend darüber. Auch die Aktivierung kann durch KI gestützte Sprachsteuerung erfolgen [9], [25], [26].

Auch für die Nutzung im alltäglichen Leben werden bereits KI gestützte XR-Anwendungen entwickelt. Dabei geht es oft um virtuelle Assistenzsysteme, die verschiedene Alltagssituationen erleichtern können. Als Beispiel lassen sich hier Shoppinganwendungen nennen, über die man das gewünschte Produkt in AR direkt ausprobieren kann oder in der eigenen Wohnung platzieren kann, um so eine bessere Vorstellung davon zu bekommen. Auch Anwendungen für offline Shopping sind bereits in Entwicklung, bei denen die Möglichkeit besteht, sich mittels AR zum gewünschten Produkt leiten zu lassen und dieses durch Scannen mit zusätzlichen Informationen wie Alternativprodukten oder Bewertungen zu erweitern. Bei diesen Anwendungen unterstützt KI unter anderem beim Tracking, der Depth Estimation sowie der Objekt- oder Gesichtserkennung [27]–[29]. Ein weiteres Beispiel sind AR-gestützte Übersetzungsapps, mit denen einfach die Smartphone Kamera auf

einen zu übersetzenden Text gehalten werden kann und der Text in der gewünschten Sprache überlagert wird (s. Abbildung 6) [26], [30].



Abbildung 6. AR Übersetzungsapp [30].

Auch in diesen Bereich fällt eine Übersetzungsapp für Zeichensprache, die über die Kamera die Handbewegungen des Gegenübers trackt und übersetzt. Andersrum kann ebenfalls eine Spracheingabe erfolgen und über den Bildschirm in Form eines Avatars in Zeichensprache ausgegeben werden [31].

In der Industrie werden KI gestützte AR-Anwendungen bereits genutzt, um Produktions- und Wartungs- und Kontrollprozesse zu vereinfachen oder Produkte besser visualisieren zu können. Dafür wird auf Grundlage der vorliegenden Daten ein digitaler Zwilling eines Produkts oder Bauteils erstellt und genutzt [32]–[34]. Auch wenn es um den Prozess der Erstellung von XR-Anwendungen selbst geht, wird bereits mit KI experimentiert. So wurde ein Tool entwickelt, das Spracheingaben detektieren kann und die Befehle umsetzt. So kann ein 3D-Objekt einer Szene hinzugefügt, die Orientierung angepasst und sogar eine Bewegung erzeugt werden, ohne, dass dafür eine Zeile Code geschrieben werden muss (s. Abbildung 7) [35], [36].



Abbildung 7. Per Sprachbefehl platziertes 3D-Objekt [35].

Auch das Testing von XR-Anwendungen lässt sich KI gestützt vereinfachen, indem reale Testpersonen und -szenarien durch KI gesteuerte virtuelle ersetzt werden [37]–[39].

XR FÜR KI

Es gibt eine Vielzahl von Anwendungsfällen in denen KI eingesetzt werden kann, um XR-Anwendungen zu ermöglichen und zu unterstützen. Allerdings gibt es auch einige Bereiche, bei denen XR-Technologien genutzt werden können, um KI zu verbessern. Dabei geht es vor allem um besseres Trainieren von KI durch die Nutzung von XR.

Um ihre Funktion erfüllen zu können sind XR-Geräte in der Regel mit einer Vielzahl an Sensoren ausgestattet und verfügen im Fall von AR zudem über mindestens eine Kamera. So kommen bei der Nutzung automatisch eine Menge Daten zustande, die wiederum für die Verbesserung einer entsprechenden KI genutzt werden können [11]. Zudem können virtuelle Simulationen genutzt werden, um KI zu trainieren. Ein Beispiel dafür ist die Nutzung von VR, um KI für autonomes Fahren zu trainieren [40]. Dabei besteht völlige Kontrolle über die Testumgebung, es lassen sich Trainings- und Testsituationen erstellen, die genau auf den aktuellen Bedarf zugeschnitten sind und seltene

oder Einzelfälle können wann immer gewünscht abgebildet werden. So können aufwändige, teure oder gefährliche Realtrainingssituationen vermieden werden. Zudem kann das Training beschleunigt stattfinden, da in der virtuellen Welt im Gegensatz zur realen die Geschwindigkeit des Zeitflusses erhöht werden kann. Für ein wirksames Training muss bei der VR-Welt allerdings ein der Realität entsprechender Komplexitätsgrad im Hinblick auf die relevanten Umgebungsparameter gegeben sein [7], [11], [40].

FAZIT

Betrachtet man die obigen Ausführungen kann man davon ausgehen, dass die Verbreitung und Relevanz von XR-Anwendungen in Zukunft deutlich zunehmen wird. In vielen Fällen befinden sich entsprechende Anwendungen noch im Entwicklungsstadium, allerdings gibt es auch bereits funktionierende und nutzbare Anwendungen. Es ist zu erwarten, dass KI zukünftig in fast allen Bereichen der XR-Entwicklung eine wichtige Rolle spielen wird. Andersherum wird die Entwicklung von KI aber wohl auch von XR-Technologien profitieren.

QUELLEN

[1] ChatGPT, „ChatGPT“, 2023.
<https://chat.openai.com> (zugegriffen 10. März 2023).

[2] P. D. R. Lackes, „Definition: Künstliche Intelligenz (KI)“, <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/kuenstliche-intelligenz-ki-40285>, 2018.
<https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/kuenstliche-intelligenz-ki-40285> (zugegriffen 12. März 2023).

[3] M. Barenkamp, „Künstliche Intelligenz und Erklärbarkeit“, *Wirtsch. Manag.*, Bd. 14, Nr. 5, S. 326–329, Okt. 2022, doi: 10.1365/s35764-022-00428-0.

[4] A. Qayyum u. a., „Secure and Trustworthy Artificial Intelligence-Extended Reality (AI-XR) for Metaverses“. arXiv, 24. Oktober 2022. Zugegriffen: 20. Januar 2023. [Online]. Verfügbar unter: <http://arxiv.org/abs/2210.13289>

[5] MinnaLearn, „Einführung in Extended Reality – VR, AR und MR“, *Einführung in Extended Reality – VR, AR und MR*, 2023.
<https://www.minnalearn.com/de/courses/emerging-technologies/extended-reality-vr-ar-mr/introduction-to-extended-reality-ar-vr-and-mr/> (zugegriffen 10. März 2023).

[6] Precedence Research, „Extended Reality Market Size, Trends, Share, Report 2030“, November 2022.
<https://www.precedenceresearch.com/extended-reality-market> (zugegriffen 23. Januar 2023).

[7] D. Reiners, M. R. Davahli, W. Karwowski, und C. Cruz-Neira, „The Combination of Artificial Intelligence and Extended Reality: A Systematic Review“, *Front. Virtual Real.*, Bd. 2, S. 721933, Sep. 2021, doi: 10.3389/frvir.2021.721933.

[8] B. Atiker, „THE CREATIVE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN XR APPLICATIONS“, *Turk. ONLINE J. Des. ART Commun.*, Bd. 12, Nr. 3, S. 587–605, Juli 2022, doi: 10.7456/11203100/003.

[9] J. Toole, „Combining artificial intelligence and augmented reality in mobile apps“, *Medium*, 5. Oktober 2021. <https://heartbeat.comet.ml/combining-artificial-intelligence-and-augmented-reality-in-mobile-apps-e0e0ad2cfddc> (zugegriffen 12. Januar 2023).

[10] IEEE Digital Reality, „AI in Virtual Reality - IEEE Digital Reality“, 2022.
<https://digitalreality.ieee.org/publications/ai-in-virtual-reality> (zugegriffen 13. Januar 2023).

[11] C. Dilmegani, „13+ AI Applications & Use Cases of Augmented Reality in 2023“, 4. Januar 2023.
<https://research.aimultiple.com/ar-ai/> (zugegriffen 16. Januar 2023).

[12] S. González Izard, J. A. Juanes Méndez, P. Ruisoto Palomera, und F. J. García-Peñalvo, „Applications of Virtual and Augmented Reality in Biomedical Imaging“, *J. Med. Syst.*, Bd. 43, Nr. 4, S. 102, Apr. 2019, doi: 10.1007/s10916-019-1239-z.

[13] G. N. Moawad, J. Elkhilil, J. S. Klebanoff, S. Rahman, N. Habib, und I. Alkatout, „Augmented Realities, Artificial Intelligence, and Machine Learning: Clinical Implications and How Technology Is Shaping the Future of Medicine“, *J. Clin. Med.*, Bd. 9, Nr. 12, S. 3811, Nov. 2020, doi: 10.3390/jcm9123811.

[14] P. Auloge, R. L. Cazzato, N. Ramamurthy, und P. de Marini, „Augmented reality and artificial intelligence-based navigation.pdf“, *Eur. Spine J.* 2020, Nr. 29, S. 1580–1589, Juni 2019, doi: <https://doi.org/10.1007/s00586-019-06054-6>.

- [15] K. Siemionow, K. Katchko, P. Lewicki, und C. Luciano, „Augmented reality and artificial intelligence-assisted surgical navigation: Technique and cadaveric feasibility study“, *Spine* 2020, Nr. 11, S. 81–85, Juni 2020.
- [16] Y. Long, J. Cao, A. Deguet, R. H. Taylor, und Q. Dou, „Integrating Artificial Intelligence and Augmented Reality in Robotic Surgery: An Initial dVRK Study Using a Surgical Education Scenario“. arXiv, 3. März 2022. Zugegriffen: 20. Januar 2023. [Online]. Verfügbar unter: <http://arxiv.org/abs/2201.00383>
- [17] P.-H. C. Chen *u. a.*, „An augmented reality microscope with real-time artificial intelligence integration for cancer diagnosis“, *Nat. Med.*, Bd. 25, Nr. 9, Art. Nr. 9, Sep. 2019, doi: 10.1038/s41591-019-0539-7.
- [18] P. S. Rajendran, I. S. Christian, und M. S. Shedge, „AREDAI Augmented Reality Based Educational Artificial Intelligence System“, Bd. 8, Nr. 1, 2019.
- [19] R. Carter, „XR, Machine Learning & AI: The Three Pillars of Future Enterprise?“, *XR Today*, 14. Dezember 2020. <https://www.xrtoday.com/mixed-reality/xr-machine-learning-ai/> (zugegriffen 5. Januar 2023).
- [20] W. Yin, „An Artificial Intelligent Virtual Reality Interactive Model for Distance Education“, *J. Math.*, Bd. 2022, S. 1–7, Feb. 2022, doi: 10.1155/2022/7099963.
- [21] M. Lieberman, „Council Post: How Extended Reality And Embodied AI Could Become A Power Combination For Businesses“, *Forbes*, 7. November 2018. <https://www.forbes.com/sites/forbestechcouncil/2018/11/07/how-extended-reality-and-embodied-ai-could-become-a-power-combination-for-businesses/> (zugegriffen 13. Januar 2023).
- [22] D. Sahija, „Critical review of machine learning integration with augmented reality for discrete manufacturing“, 2021.
- [23] G. Mileva, „How Artificial Intelligence Can Reshape AR, VR, And MR Technologies | ARPost“, 4. Januar 2022. <https://arpost.co/2022/01/04/artificial-intelligence-reshape-ar-vr-mr/> (zugegriffen 16. Januar 2023).
- [24] Transforms.AI, „Agence“, *Transforms.AI*, 2021. <https://www.transforms.ai/agence> (zugegriffen 13. März 2023).
- [25] K. Bell, „Snapchat adds voice commands so you don't have to search for the right filter“, *Engadget*, 11. Juni 2020. <https://www.engadget.com/snapchat-voice-scan-171501486.html> (zugegriffen 22. Januar 2023).
- [26] S. Rella und D. Onofrio, „Developing the Next Generation of Extended Reality Applications with Speech AI“, *NVIDIA Technical Blog*, 14. September 2022. <https://developer.nvidia.com/blog/developing-the-next-generation-of-extended-reality-applications-with-speech-ai/> (zugegriffen 11. Januar 2023).
- [27] T. Bezmalinovic, „IKEA Studio: Neue AR-App nutzt Lidar-Scanner des iPhone 12“, *MIXED*, 19. April 2021. <https://mixed.de/ikea-studio-neue-ar-app-nutzt-lidar-scanner-des-iphone-12/> (zugegriffen 14. März 2023).
- [28] Julia Pott, „Virtuelle Anprobe mit AR im E-Commerce“, 28. April 2022. <https://ixtenso.de/technologie/virtuelle-anprobe-mit-ar-im-e-commerce.html> (zugegriffen 14. März 2023).
- [29] R. Zimmermann *u. a.*, „Enhancing brick-and-mortar store.pdf“, *Journal of Research in Interactive Marketing*, 13. März 2022.
- [30] Textappeal, „Will Google's New Approach to Translation Make Agencies Redundant? | Textappeal“, 25. Oktober 2015. <http://textappeal.com/cultureshocks/google-ai-translation-tool/> (zugegriffen 22. Januar 2023).
- [31] K. Rogers, „Augmented Reality App Can Translate Sign Language Into Spoken English, and Vice Versa“, *Vice*, 27. März 2018. <https://www.vice.com/en/article/zmgnd9/app-to-translate-sign-language> (zugegriffen 22. Januar 2023).
- [32] G. Kaminsky, „3 Ways Manufacturers Can Use AR to Improve Maintenance and Service“, 30. Mai 2019. <https://www.ptc.com/en/blogs/ar/3-ways-manufacturers-can-use-ar-to-improve-maintenance-and-service> (zugegriffen 23. Januar 2023).
- [33] J. B. Alves, B. Marques, P. Dias, und B. S. Santos, „Using augmented reality for industrial quality assurance: a shop floor user study“, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, Bd. 115, Nr. 1–2, S. 105–116, Juli 2021, doi: 10.1007/s00170-021-07049-8.
- [34] thyssenkrupp Marine Systems, „Augmented reality in submarine construction“, 2023. <https://www.thyssenkrupp-marinesystems.com/en/teaser/augmented-reality-in-submarine-construction> (zugegriffen 14. März 2023).
- [35] M. Bastian, „ChatARKit: ChatGPT programmiert auf Zuruf AR-App“, *MIXED*, 31. Dezember 2022. <https://mixed.de/chatarkit-chatgpt-programmiert-auf-zuruf-ar-app/> (zugegriffen 23. Januar 2023).
- [36] jasmine roberts  GDC [@jasmineroberts], „thrilled our preliminary research on #generativeai in #vr

was accepted into #neurips2022 here is a bare-bones ,holodeck‘ #3d implementation real-time in #unity. spoken user commands are compiled at runtime. 3d objects are created, loaded and manipulated via @openai’s gpt-3. <https://t.co/4xg0FKYkEk>“, *Twitter*, 20. Oktober 2022.
<https://twitter.com/jasminezroberts/status/1583143311732142082> (zugegriffen 14. März 2023).

[37] GoodAI, „AI in Games: Use Case for Intelligent Autonomous Test Agents“, *GoodAI*, 5. Dezember 2022. <https://www.goodai.com/ai-in-games-use-case-for-intelligent-autonomous-test-agents/> (zugegriffen 12. Januar 2023).

[38] I. S. W. B. Prasetya *u. a.*, „An Agent-based Approach to Automated Game Testing: an Experience Report“, in *Proceedings of the 13th International Workshop on Automating Test Case Design, Selection and Evaluation*, Nov. 2022, S. 1–8. doi: 10.1145/3548659.3561305.

[39] R. Prada, „Artificial Intelligence test agents for automated testing of Extended Reality (XR)“, *Open Access Government*, 12. Januar 2023. <https://www.openaccessgovernment.org/article/artificial-intelligence-test-agents-for-automated-testing-of-extended-reality-xr-ai/149203/> (zugegriffen 16. Januar 2023).

[40] Cognata, „Cognata | Autonomous and ADAS Vehicles Simulation Software“, *Cognata Autonomous and ADAS Simulation*, 2023. <https://www.cognata.com/> (zugegriffen 15. März 2023).