The background features a complex digital pattern of glowing green and blue lines that create a sense of depth and movement, resembling a data stream or a virtual environment. In the lower right, a dark silhouette of a person is walking towards the right, adding a human element to the digital scene.

# Der aktuelle Stand des *Metaverse*

Reifegrad, Rahmenbedingungen, Technik und  
Anwendungsbeispiele

#### Herausgeber

Bitkom e. V.  
Albrechtstraße 10  
10117 Berlin  
T 030 27576-0  
bitkom@bitkom.org  
www.bitkom.org

#### Ansprechpartner

Dr. Sebastian Klöß | Leiter Märkte & Technologien  
T 030 27576-210 | s.kloess@bitkom.org

#### Verantwortliches Bitkom-Gremium

AK Metaverse Forum

#### Titelbild

© Fernand De Canne – unsplash.com

#### Copyright

Bitkom 2025

Diese Publikation stellt eine allgemeine unverbindliche Information dar. Die Inhalte spiegeln die Auffassung im Bitkom zum Zeitpunkt der Veröffentlichung wider. Obwohl die Informationen mit größtmöglicher Sorgfalt erstellt wurden, besteht kein Anspruch auf sachliche Richtigkeit, Vollständigkeit und / oder Aktualität, insbesondere kann diese Publikation nicht den besonderen Umständen des Einzelfalles Rechnung tragen. Eine Verwendung liegt daher in der eigenen Verantwortung des Lesers. Jegliche Haftung wird ausgeschlossen. Alle Rechte, auch der auszugsweisen Vervielfältigung, liegen beim Bitkom.

1	Einleitung & Use Cases	8
2	Was meinen wir? Unser Verständnis vom Metaverse	10
3	Wo stehen wir? Reifegrad und Durchdringung	12
4	Der Rahmen: Regulatorik, Standardisierung und Zusammenarbeit	15
	Der regulatorische Rahmen	15
	Internationale Zusammenarbeit für einheitliche Standards	16
5	Der Tech-Stack (Enabler-Technologien, Endgeräte, Ökosysteme)	22
	Basistechnologien des Metaverse	23
	Hardware für den Zugang zum Metaverse	30
6	Die Anwendung: Etablierte Use Cases	34
	Minecraft für Open Government, Gestaltung öffentlicher Räume, Partizipation, Integration	34
	Virtuelle Räume als Enabler in Bürgerbeteiligungs- und Partizipationsprozessen	36
	Komplexe Smart-City-Technologien erlebbar machen	38
	Vermittlung von Nachhaltigkeit	40
	Personalisiertes Onboarding und Integration mit KI-Avataren	42
	Virtuelle Meetings und Konferenzen	43
	Virtuelle Veranstaltungen und Konzerte	45
	Ein neuer Marketing- & Vertriebskanal	46
	Digitaler Zwilling Nordrhein-Westfalen	48
	Öffentlichkeitsarbeit und Entscheidungshilfe bei Großbauprojekten: Stuttgart 21	50

Immobilienvisualisierung auf Basis von BIM-Daten	51
Visualisierung von Energieinfrastrukturprojekten	53
Digitaler Zwilling einer Logistikimmobilie	55
Industrial Metaverse zur Optimierung bestehender Fabrikanlagen: Siemens Gerätewerk Erlangen	57
Industrial Metaverse in der Automobilbranche	59
Simulation, Evaluierung und Training	62
Berufsschulbildung	63
Bildungsökosystem Nordwest Metaverse	65
KI-Avatare als Coach, digitaler Begleiter und Co-Moderator	67
Hochschulbildung	69
Training für Arbeitsschutz und Betriebssicherheit	70
Training und Recruiting zur Brandbekämpfung	72
Pflegeausbildung	74
Trainings im Automobilssektor	75
Kranführer-Training	76
Aus- und Fortbildung der Polizei	77
Militärische Aus- und Fortbildung	80
Employee-Wellbeing, Stressreduktion und Stärkung der Resilienz	82
Metaverse als No/Low-Code-Plattform	84

## 7 Entscheidungsmatrix auf dem Weg ins Metaverse 86

## 8 Ausblick 88

## 9 Autorinnen und Autoren 90

1	Das Zusammenspiel verschiedener Technologien ermöglicht das Metaverse	23
2	3 Schritte zum Metaverse: Daten und Anwendungen zusammenbringen, erstellen und bereitstellen	26
3	End-to-End-Plattform zur Erstellung von Metaverse-Anwendungen für die Industrie am Beispiel Unity	26
4	Forschungsprojekt Exohaptik. (Abbildung: Lightshape)	33
5	Die Gegend um den Berliner Alexanderplatz in Minecraft.	35
6	In Minecraft nachgebaute Stadtansicht.	35
7	3D-Modelle von Bauvorhaben lassen sich gemeinsam diskutieren.	36
8	Anders als bei Videokonferenzen entstehen authentische Kommunikation und Interaktion.	37
9	Im virtuellen Raum können die Vorteile der Smart City klar kommuniziert werden.	39
10	Das räumliche Erleben fördert das Verständnis der Nutzerinnen und Nutzer.	39
11	Das System der installierten Baumrigolen wird direkt im Live-Bild des Smartphones visualisiert.	40
12	Künftige Anpassungen am Haus – etwa eine Begrünung der Fassade – können vorab vor Ort begutachtet werden.	41
13	Auch umfassende Maßnahmen für Nachhaltigkeit im Allgemeinen lassen sich anschaulich visualisieren.	41
14	Wie im echten Leben: Virtuelle Meetings bieten einen Raum, in dem sich die Teilnehmenden frei bewegen und austauschen können.	43
15	Meeting auf einem Piratenschiff? Warum nicht!	44
16	Beispiel für ein virtuelles Klubkonzert. (Abbildung: Fraunhofer IIS)	45
17	Gemeinsames Begutachten mit Headset in MR.	47
18	Visualisierung des Autos via AR am Smartphone.	47
19	VR-Fahr-Experience im Fahrzeug.	48
20	Die Stadt Köln im Digitalen Zwilling von Nordrhein-Westfalen.	49
21	Im realitätsnahen dreidimensionalen Modell lassen sich Ereignisse wie Hochwasser simulieren.	49
22	In einer CAVE kann der Bahnhof in seinem finalen Zustand erlebt werden.	50
23	Die Visualisierung dient sowohl der Öffentlichkeitsarbeit als auch den Planerinnen und Planern.	51
24	Die immersive Darstellung ermöglicht, verschiedene Entwürfe und Konstruktionsdetails zu erleben. (Abbildung: adesso mobile solutions)	52
25	Die gemeinsame Betrachtung in einer virtuellen Umgebung reduziert Missverständnisse und beschleunigt Entscheidungsprozesse. (Abbildung: adesso mobile solutions)	52

26	Unterschiedliche Planungsvarianten lassen sich direkt erleben. (Abbildung: adesso mobile solutions)	53
27	Introscreen der Anwendung REVisAR. (Abbildung: EnBW)	54
28	Die Anwendung erlaubt ein genaues Bild der geplanten Windkraftanlagen. (Abbildung: EnBW)	54
29	Die Kartenansicht erleichtert die geografische Einordnung der Visualisierung. (Abbildung: EnBW)	55
30	Blick auf die Visualisierung der Lagerhalle.	56
31	In der virtuellen Umgebung sind Informationen zum physischen Objekt hinterlegt.	56
32	Das Objekt ist bereits in der Planungsphase virtuell begehbar.	57
33	Blick auf den Siemens-Standort Erlangen.	58
34	Der Digitale Zwilling ermöglicht die Simulation und Optimierung von Prozessen im Voraus.	59
35	BMW-Testanlage eines Montagesystems mit Werkstückträgern und einer automatisierten Verkettung von mehreren Montage- und Prüfstationen.	60
36	Blick in die Anwendung, Live-Visualisierung der Anlage im Industrial Metaverse.	60
37	Verbindung des virtuellen mit dem realen Shopfloor.	61
38	Blick in die VR-Anwendung. (Abbildung: adesso mobile solutions)	62
39	Bedienung des Normlings in VR via Gesten. (Abbildung: adesso mobile solutions)	63
40	Basis des Lernens in VR ist eine umfangreiche Bibliothek mit Bildungs-XR- Software.	64
41	Schüler beim Lernen in VR.	65
42	Lernende können in einer gemeinsamen virtuellen Umgebung Wissen, Fähigkeiten und Ressourcen austauschen und erweitern.	66
43	Wissensaustausch in virtueller Umgebung.	66
44	KI-Avatare können unter anderem als digitale Coaches, Begleiter und Co-Moderatoren unterstützen.	68
45	Beim ersten Illusionsraum 2019 waren noch Rucksack-PCs nötig – heute sind sie dank Bildstreaming nicht mehr erforderlich.	70
46	Der »Guardian of Safety«, ein KI-gestützter Roboter, steht mit Rat und Tat zur Seite.	71
47	Die realistischen VR-Welten erzeugen einen hohen Immersionsgrad.	72
48	Anwenderinnen und Anwender müssen sich einzeln oder im Team immer wieder neuen Brandsituationen stellen.	73
49	Die Studierenden werden in virtuellen Patientenzimmern in realistische klinische Szenarien versetzt.	74

50	Kranführerinnen und -führer können gefahrlos und effizient üben, ohne den laufenden Betrieb zu stören.	76
51	In der Anwendung wird eine reale Kran-Fernbedienung eingesetzt, die über Video-Passthrough in die Simulation eingebunden wird.	77
52	Die Trainingssysteme für die Polizei sind komplexe Soft- und Hardware-Kombinationen.	78
53	Es lassen sich unterschiedliche Einsatzlagen in realistischen Umgebungen trainieren.	79
54	In das virtuelle Training lässt sich reale Ausrüstung integrieren.	80
55	Unterschiedlichste Szenarien lassen sich lebensecht und gefahrlos trainieren.	81
56	Die Anwendung bietet realistische 360-Grad-Naturerlebnisse.	82
57	Entspannen in ansprechenden VR-Umgebungen.	83

# 1 Einleitung & Use Cases

Das Metaverse hat seit der Einführung allgegenwärtiger KI-Chatbots an Sichtbarkeit in der Konsumenten- und Enterprise-Welt eingebüßt. Unternehmen und Investoren zeigen sich zurückhaltender, was sich beispielsweise in einem deutlichen Rückgang der Investitionen in Metaverse-, Virtual- und Augmented Reality-Startups widerspiegelt.<sup>1</sup> An medialen Abgesängen mangelt es ebenfalls nicht: War das Metaverse nicht der angekündigte große Evolutionsschritt in die digitale Zukunft, sondern ein Milliardengrab?

Keineswegs. Die Entwicklung des Metaverse verläuft in den verschiedenen Anwendungsbereichen sehr unterschiedlich dynamisch. Das Abflachen eines Hypes und das Durchschreiten des »Tals der Enttäuschung« sind gewöhnliche und gut dokumentierte Phänomene, die auch beim Metaverse zu beobachten waren. Vor knapp drei Jahren erlebte dieser Markt einen Hype bei Consumer-Anwendungen und im Enterprise-Segment. Zahlreiche innovative Unternehmen wollten schnellstmöglich ins Metaverse und kündigten Initiativen und Pilotprojekte an. Viele dieser Initiativen wurden – oftmals unter Einbindung von externen Dienstleistern – überstürzt gestartet und basierten auf Hard- und Software, die sich noch im Frühstadium befand. Es ging primär darum, »dabei zu sein«. In der Retrospektive wenig überraschend, konnten solche Projekte oft keine nachhaltigen Mehrwerte für Nutzerinnen und Nutzer liefern und wurden nach kurzer Zeit wieder eingestellt.

Anders im industriellen Metaverse, wo die Entwicklung zwar ebenfalls noch am Anfang steht, gleichzeitig aber schon von Beginn an realen Kundennutzen zu stiften vermag.

Nach dieser Enttäuschung in manchen Bereichen befindet sich das Metaverse nun auf einem stabilen Entwicklungskurs, der ein sehr großes Marktpotenzial besitzt (↗ vgl. Kapitel 3). Obwohl andere Technologien und Themen derzeit die Schlagzeilen dominieren, bedeutet dies nicht, dass das Metaverse in Vergessenheit geraten ist oder stagniert. Abseits des Rampenlichts finden maßgebliche Entwicklungen und Fortschritte statt, die in diesem Leitfaden zum aktuellen Stand des Metaverse beschrieben werden. Diese Entwicklungen finden auf regulatorischer (↗ Kapitel 4) und technologischer (↗ Kapitel 5) Ebene statt. Hierbei sehen wir unter anderem, dass Technologien wie KI und das Metaverse sich gegenseitig beeinflussen und voneinander profitieren.

Regulatorik und Technologie bilden wichtige Grundlagen, sind jedoch kein Selbstzweck. Entscheidend für den Erfolg sind reale Mehrwerte für Kunden, die sich oftmals schon heute in Anwendungsfällen und deren Umsetzung zeigen. Daher widmet sich der umfangreichste Teil dieses Leitfadens umgesetzten Use Cases in verschiedenen Branchen (↗ Kapitel 6).

<sup>1</sup> ↗ Vgl. »Startup Investors Have Fled The Metaverse«. Crunchbase. 16. Januar 2024



Obwohl der anfängliche Enthusiasmus in einigen Anwendungsbereichen nachgelassen hat, bleibt die grundlegende Bedeutung des Metaverse bestehen. Es hat das Potenzial, die Art und Weise, wie wir arbeiten, wirtschaften, lernen und interagieren, grundlegend zu verändern, und es bleibt ein unverzichtbares Element der digitalen Zukunft. Dieser Leitfaden zeigt den aktuellen Stand des Metaverse und gibt Empfehlungen, wie dieses Potenzial genutzt werden kann.

# 2 Was meinen wir? Unser Verständnis vom Metaverse

Das Metaverse entsteht im Zusammenspiel mehrerer bereits existierender Technologien (mehr dazu im ↗ Kapitel 5) und ist dabei mehr als nur die Summe seiner Teile. Es repräsentiert einen weiteren Schritt in der Entwicklung digitaler Infrastrukturen und ist obendrein als eine Fortentwicklung des bisherigen Internets zu sehen, nicht als etwas komplett Neues. Und genau wie das heutige Internet wird es private Anwendungsfälle genauso umfassen wie solche aus dem Geschäftsleben, Unterhaltung genauso wie Industrie. Mit dem Evolutionsschritt des Metaverse wird das Internet »begehrbar«.

Zentral für das Metaverse ist die Verknüpfung von realer und virtueller Welt. Geräte können unsere Umgebung verstehen, interpretieren und uns weitere Informationen dazu geben. Außerdem lassen sich virtuelle Inhalte lebensecht in unserer Umgebung anzeigen. Reale Maschinen, ganze Fabriken und Bauwerke bekommen ihre virtuellen digitalen Zwillinge, die mit ihren realen Pendanten in Echtzeit verknüpft sein können.

Die Verknüpfung zwischen realer und virtueller Welt bedingt zwei weitere Wesensmerkmale des Metaverse: Es soll in Echtzeit ablaufen und dabei persistent sein. Das bedeutet, dass Änderungen durch einzelne Teilnehmerinnen und Teilnehmer auch sofort und bleibend von anderen Nutzenden gesehen und erlebt werden können.

Zentral für das Metaverse ist ferner, dass es interoperabel gestaltet ist und eine hohe Datendurchlässigkeit gewährt. In einer Idealvorstellung soll es nicht aus vielen interoperablen Apps und Anwendungen bestehen, sondern ein gemeinsames, durchlässiges Metaverse sein. Das heißt, dass die verknüpften Informationen zwischen realer und virtueller Welt von allen Plattformen und Systemen gleichermaßen verstanden, weiterverarbeitet und dargestellt werden können, egal ob auf einem Desktop-Computer, einem Smartphone oder AR/VR-Headset, und dazu noch von einer beliebigen Anzahl von Anwenderinnen und Anwendern gleichzeitig und synchron.

Bislang ist das Metaverse noch eine Vision, es befindet sich noch in der Entwicklung. Auf dem Weg ins Metaverse gilt es noch technologische Herausforderungen zu meistern, etwa hinsichtlich Netzwerkinfrastruktur, Interoperabilität und teils auch Usability. Dennoch existieren bereits diverse einzelne Metaverse-Anwendungen, die mitunter als Betaverses oder Proto-Metaverses bezeichnet werden. Sie stellen Teilabschnitte auf dem Weg ins vorhergesehene Metaverse dar und manövrieren um derzeitige Limitationen herum. So werden Internet-Limitationen schon

durch dedizierte Edge-Lösungen umgangen, Simulationen und Visualisierungen werden durch Vorberechnungen in Datenzentren oder auf dem lokalen Rechner beschleunigt und Ergebnisse an die weniger performanten tragbaren Geräte gesendet. Komprimierungstechniken reduzieren die Datengröße auf die kleinste Menge, ohne deutliche Qualitätseinbußen zu riskieren.

Auch wenn das Metaverse also noch nicht vollumfänglich existiert, können seine Vorläuferanwendungen bereits heute eingesetzt werden. Sie stiften bereits jetzt deutlichen Nutzen. Weitere Beispiele und mehr dazu im ↗ Kapitel 6 zu den Use Cases.

Mitunter haben sich für unterschiedliche Einsatzbereiche des Metaverse unterschiedliche Terminologien etabliert. Unter dem Begriff Consumer Metaverse werden Anwendungen aus dem privaten Bereich, etwa rund um Gaming, Entertainment und private soziale Interaktion zusammengefasst. Corporate oder Enterprise Metaverse meint solche Anwendungen, welche von Unternehmen eingesetzt werden. Hierzu zählen unter anderem Anwendungen zur Fort- und Weiterbildung, zur ortsunabhängigen Zusammenarbeit oder zur Planung.

Als Industrial Metaverse schließlich werden solche Anwendungsbereiche bezeichnet, die auf einen Einsatz im industriellen Sektor zielen. Es umfasst dabei den gesamten Produktlebenszyklus von Design über Engineering, Produktion und Betrieb bis hin zum Recycling. Dazu bietet es eine digitale Umgebung, die reale industrielle Prozesse, Produktionsanlagen und gesamte Lieferketten in virtuellen, interaktiven 3D-Welten abbildet. Es vereint also Funktionen zur Visualisierung und Interaktion mit Daten auf intuitive und realitätsnahe Weise, sodass die Benutzerinnen und Benutzer industrielle Prozesse besser verstehen und steuern können. Die digitalen Welten sind dazu in der Endausbaustufe in Echtzeit mit den realen Datenströmen, Sensorinformationen und Betriebsabläufen verknüpft, sodass sie eine genaue, dynamische und jederzeit aktualisierte Darstellung der physischen Welt bieten. Im Industrial Metaverse sind also die verschiedensten Technologien und Informationen miteinander verknüpft, mit dem schon heute erfahrbaren Mehrwert, die Produktivität, Effizienz und Flexibilität in der industriellen Produktion zu steigern.

Anwendungsbeispiele für das Industrial Metaverse sind die Fabrikplanung und -steuerung, bei der in einer virtuell modellierten Fabrik Produktionsabläufe simuliert, Abläufe optimiert und mögliche Engpässe frühzeitig identifiziert werden können, bevor dann die realen Fabriken darüber auch gesteuert werden. Weitere Anwendungen des Industrial Metaverse sind Fernwartung und Zusammenarbeit oder die Schulung in virtuellen Umgebungen. Konkrete Anwendungsbeispiele des Industrial Metaverse enthält das ↗ Kapitel 6. Weitere Use Cases, Informationen und Hintergründe zum Industrial Metaverse bietet außerdem der Bitkom-Leitfaden »Industrial Metaverse. Use Cases, Mehrwerte und Potenziale für den Wirtschaftsstandort Deutschland«.

# 3 Wo stehen wir? Reife-grad und Durchdringung

Das Metaverse wird – wie das heutige Internet – all unsere Lebens- und Wirtschaftsbereiche erfassen, das hat das vorherige Kapitel gezeigt. Abhängig vom jeweiligen Anwendungssektor und dessen Bereitschaft zur technologischen Transformation entwickelt sich das Metaverse unterschiedlich schnell. Während einige Branchen wie die Gaming-Industrie und der E-Commerce bereits erhebliche Fortschritte bei der Nutzung des Metaverse gemacht haben, steht die Transformation in anderen Bereichen, wie der Industrie oder der Bildung, noch am Anfang. Auch der Bereich GovTech zeigt vielversprechende Ansätze, befindet sich jedoch noch in der frühen Entwicklungsphase. Blickt man auf einige zentrale Studien, wird jedoch klar: Die Basis des Metaverse ist gelegt, erste Anwendungsbereiche etablieren sich gerade und die Prognosen für die Zukunft gehen von Wachstum und steigender Durchdringung aus.

3,6  
Mrd. Euro

wird das Marktvolumen des Metaverse 2025 laut Statista betragen.

➤ ABI Research beispielsweise geht davon aus, dass die Auswirkungen von Metaverse-Technologien in den kommenden Jahren signifikant wachsen werden, insbesondere in den 2030er Jahren. Schon heute sei insbesondere das Industriesegment des Metaverse weit fortgeschritten. Ausgaben für Industrial-Metaverse-Lösungen und -Services würden im Jahr 2030 6,3 Milliarden US-Dollar erreichen.

Von einer wachsenden Marktgröße des Metaverse geht auch ➤ Statista Market Insights aus, wobei hier der industrielle Bereich nicht im Blick ist. Für das Jahr 2025 prognostiziert Statista in Deutschland für das Metaverse eine Marktgröße von 3,6 Milliarden Euro, die bis 2030 auf 18,0 Milliarden Euro ansteigen soll.

Laut dem ➤ Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies (2023) befindet sich das Metaverse aktuell auf dem Höhepunkt der »inflationierten Erwartungen« (»Peak of Inflated Expectations«). Dies bedeutet, dass die Technologie zwar große Aufmerksamkeit erhält und viele hohe Erwartungen daran geknüpft sind, aber auch Risiken birgt, da die Technologie sich noch in einem frühen Stadium der Umsetzung befindet. Gartner prognostiziert, dass das Metaverse in den nächsten fünf bis zehn Jahren in eine Phase der Konsolidierung eintreten wird, in der sich der Markt stabilisiert und erste praktische Anwendungen ihre Reife erlangen. Unternehmen sollten sich darauf einstellen, dass es noch einige Zeit dauern wird, bis das Metaverse vollständig ausgereifte Geschäftsmodelle und Anwendungen liefert, die großflächig skalierbar sind. Die langfristigen Potenziale bleiben jedoch weiterhin vielversprechend.

Interessant sind auch die langfristigen globalen Marktprognosen, die das generelle Metaverse-Marktpotenzial beleuchten. So variieren die Schätzungen erheblich: ➤ J.P. Morgan schätzt das Potenzial auf 1 Billion Dollar, während ➤ BCG ein Marktvolumen von 1,3 Billionen Dollar im Jahr

2030 voraussieht. ↗ McKinsey ist noch optimistischer und schätzt das Marktpotenzial auf 5 Billionen Dollar im Jahr 2030. Die höchste Schätzung kommt von ↗ Goldman Sachs, die von einem Potenzial von bis zu 8 Billionen Dollar ausgehen.

↗ Statista teilt das Metaverse in insgesamt zehn Märkte ein, von denen aktuell der Metaverse-E-Commerce und das Metaverse-Gaming, gefolgt von Metaverse-Health und -Fitness die größten seien. Bis 2030 werden diese Bereiche weiter wachsen, aber insbesondere Metaverse-Education massiv an Bedeutung gewinnen. Im Jahr 2030 werde das Metaverse in Deutschland eine Penetrationsrate von 40 Prozent aufweisen. Wohlgemerkt ohne Berücksichtigung des Bereichs Industrial Metaverse. Für andere Märkte prognostiziert ↗ Statista wesentlich höhere Penetrationsraten, für Norwegen beispielsweise 78 Prozent, für die Schweiz 74 Prozent, für Dänemark 72 Prozent, für die Niederlande 65 Prozent und für Frankreich 60 Prozent. Internationaler Spitzenreiter ist Südkorea mit 96 Prozent.

Das Metaverse ist jedoch nicht nur ein wachsendes Marktsegment, sondern birgt für die Gesamtwirtschaft ein großes Potenzial. 2035 könnten Metaverse-Technologien laut einer ↗ Studie von Meta das Bruttoinlandsprodukt in Deutschland beispielsweise um bis zu 66 Milliarden Euro pro Jahr steigern. Vor allem die Sektoren Dienstleistungen, Produktdesign und Fertigung seien bedeutend. In der gesamten EU läge der Beitrag des Metaverse zum Bruttoinlandsprodukt im Jahr 2035 zwischen 259 und 489 Milliarden Euro, also bei 1,3 bis 2,4 Prozent des gesamten Bruttoinlandsproduktes.

Neben diesen harten Marktzahlen offenbaren auch Befragungen von Unternehmen und der Bevölkerung das Potenzial des Metaverse. So zeigt eine ↗ Studie von PwC, dass 76 Prozent der Entscheiderinnen und Entscheider mit beruflicher Erfahrung eine Vielzahl von Einsatzmöglichkeiten des Metaverse sehen, 28 Prozent sehen es als Chance für ihr Unternehmen. Eine ↗ Studie von Deloitte hat gezeigt, dass fast alle (92 Prozent) der befragten Führungskräfte mindestens einen Anwendungsfall im Zusammenhang mit dem Metaverse erprobt oder implementiert haben.

Ähnliche Ergebnisse zeigt eine ↗ Unternehmensbefragung des Bitkom aus dem Jahr 2024. Immerhin 32 Prozent aller befragten Unternehmen ab 20 Mitarbeitenden halten das Metaverse für eine wichtige Zukunftstechnologie. Dabei, Metaverse-Anwendungen im eigenen Unternehmen einzuführen, sind sie jedoch noch etwas zurückhaltend. Erst 13 Prozent haben sich mit dem Einsatz von Metaverse-Technologien im eigenen Unternehmen beschäftigt – immerhin eine Verdopplung innerhalb von zwei Jahren. Weitere 9 Prozent haben dies zumindest fest vor, 26 Prozent wollen es für die Zukunft nicht ausschließen.

Einzelne Kerntechnologien des Metaverse sind in deutschen Unternehmen schon verbreiteter, zeigt eine ↗ weitere Studie im Auftrag des Bitkom. Jedes fünfte Unternehmen (20 Prozent) nutzt bereits einzelne VR- oder AR-Anwendungen, weitere 36 Prozent planen oder diskutieren den Einsatz von VR, 29 Prozent von AR.

Auch die Endverbraucherinnen und Endverbraucher sind dem Metaverse gegenüber offen eingestellt. Bei einer weltweiten Befragung fand ↗ Accenture heraus, dass über die Hälfte von ihnen (55 Prozent) aktive Nutzerinnen und Nutzer des Metaverse werden wollen. Und das Metaverse ist für sie längst nicht nur Gaming. Lediglich 4 Prozent sehen das Metaverse ausschließlich als Ort

32%

der Unternehmen in Deutschland halten das Metaverse für eine wichtige Zukunftstechnologie.

des Gamings. Die wichtigsten Branchen, mit denen sich die Verbraucherinnen und Verbraucher im Metaverse beschäftigen wollen, sind Medien (54 Prozent), Fitness (41 Prozent) und Handel (40 Prozent).

Die Bitkom-Studie <sup>7</sup> »Die Zukunft der Consumer Technology« zeigt ebenfalls eine große Offenheit der Verbraucherinnen und Verbraucher gegenüber dem Metaverse. Inzwischen hat über die Hälfte der deutschen Bevölkerung ab 16 Jahren (54 Prozent) schon vom Metaverse gehört – und rund ein Fünftel bis ein Viertel ist offen für konkrete Aktivitäten im Metaverse. 17 Prozent hätten beispielsweise gern die Möglichkeit, in der virtuellen Welt des Metaverse shoppen zu gehen, 18 Prozent möchten dort Bildungseinrichtungen besuchen, und 24 Prozent möchten sich gern mit Freundinnen und Freunden in der virtuellen Welt des Metaverse verabreden.

# 4

# Der Rahmen: Regulatorik, Standardisierung und Zusammenarbeit

## 4.1 Der regulatorische Rahmen

Das Metaverse eröffnet zwar viele neue Möglichkeiten. Da es jedoch auf etablierten Technologien aufbaut und lediglich eine Erweiterung des heutigen Internets ist, kann auf dem bestehenden regulatorischen Rahmen aufgebaut werden. Denn die bestehenden EU- und deutschen Gesetze zum Schutz von Verbraucherinnen und Verbrauchern, schutzbedürftigen Gruppen und personenbezogenen Daten gelten bereits für das Metaverse. Zu diesem Schluss kam auch die Europäische Kommission. Nach einer öffentlichen Konsultation hat sie im Juli 2023 ihre neue Strategie zu Web 4.0 und virtuellen Welten verabschiedet und kam zur Einschätzung, dass die EU bereits über einen soliden, zukunftsorientierten Rechtsrahmen für das Web 4.0, virtuelle Welten und das Metaverse verfügt. Hierauf sollte aufgebaut werden, wenn wir uns in das Metaverse begeben. Es kann dann beobachtet werden, ob der bestehende Rechtsrahmen (zum Beispiel die DSGVO, der Digital Services Act, der Digital Markets Act, die Verordnung über Netzneutralität und die Richtlinie über unlautere Geschäftspraktiken) für den Zweck geeignet ist. Falls nicht, könnte er dann gezielt angepasst werden.

Der Bitkom hat daher in seiner Stellungnahme ↗ »Metaverse – a Chance for Europe« eine neue Metaverse-Grundverordnung oder eine Art Lex Metaverse abgelehnt. Auch deshalb, weil eine allumfassende Metaverse-Regulierung kaum all den sehr unterschiedlichen Metaverse-Anwendungsfällen aus den Bereichen Consumer Metaverse, Enterprise Metaverse und Industrial Metaverse gerecht werden könnte. Insbesondere die B2B-Anwendungsfälle des industriellen Metaverse müssten anders betrachtet werden als beispielsweise B2C-Nutzungsfälle des Consumer-Metaverse. Ein Regulierungsansatz, der sich am B2C-Umfeld orientiert, könnte B2B-Anwendungsfälle behindern – also genau die Anwendungsfälle, bei denen Europa eine besonders gute Ausgangsposition hat.

Für das Industrial Metaverse ist deshalb eine chancenorientierte Herangehensweise essenziell, wie das Bitkom-Positionspapier ↗ »Wie wird das Industrial Metaverse zum Erfolgsfaktor für die deutsche Wirtschaft?« ausführt. Dies bedeutet, dass der Fokus auf die Schaffung von Möglichkeiten und Chancen gelegt werden sollte. Eine zu starke Regulierung oder übermäßige Beschränkungen würden hingegen Innovationen hemmen. Denn Industrial-Metaverse-Anwendungen finden in einem bereits hoch regulierten Anwendungsraum statt: Arbeitsrecht, Arbeitsschutz, Datenschutz, Gewerblicher Rechtsschutz, Zivil- und Handelsrecht gelten auch in ihm. Sie müssen

zumindest teilweise weiterentwickelt werden. Dies kann etwa durch die von der EU-Kommission vorgeschlagenen Regulatory Sandboxes für virtuelle Welten erfolgen.

## 4.2 Internationale Zusammenarbeit für einheitliche Standards

Als eine 3D-Erweiterung des Internets, bei der die virtuelle und die physische Welt eng verknüpft werden, ist das Metaverse auf eine gemeinsame Basis angewiesen. Dazu gehört beispielsweise, dass Datenformate durchlässig sind und sich die Stakeholder auf gemeinsame Standards und Spezifikationen einigen.

Die große Herausforderung für die meisten Industrien, Anwender und Kreativen ist die unglaubliche Menge an Daten, über die sie verfügen und die sie über Jahrzehnte hinweg gesammelt haben – und die sie nutzen möchten, gerade in der Entwicklung von Metaverse-Anwendungen. Daher kommt es auf Tools zur Datenverknüpfung oder auch offene Datenformate an, mit denen Silos aufgebrochen werden können. Von Anfang an mit einer einzigen Datenquelle (single source of truth) zu arbeiten – ohne sich in proprietären Datenformaten zu verlieren – wird unglaublich viel Zeit, Frustration und Nacharbeit sparen.

Derzeit wird an mehreren Stellen an Interoperabilität und Standards gearbeitet. Die folgende Übersicht nennt einige zentrale Stellen. Sie erhebt keinen Anspruch, vollumfänglich zu sein.

Bereits heute formt sich eine Vielzahl von Gremien, die für die technische Standardsetzung, aber auch für die Policy- und Best-Practice-Entwicklung bei Metaverse-Technologie und -Diensten bedeutsam sein werden.

Besonders hervorzuheben sind:

- World Economic Forum
- Metaverse Standards Forum
- VR/AR Industrial Coalition

### 4.2.1 World Economic Forum

Die Initiative »Defining and Building the Metaverse« des World Economic Forum will die Entwicklung eines sicheren, interoperablen und wirtschaftlich tragfähigen Metaverse anleiten, indem sie Interessengruppen aus verschiedenen Bereichen wie Regierung, Wissenschaft, Wirtschaft und Zivilgesellschaft zusammenbringt. Dies geschieht über zwei miteinander verknüpfte Tracks: Metaverse Governance und Wertschöpfung. Beide verfolgen einen ethischen, vorausschauenden Ansatz und arbeiten gemeinsam daran, ein Gleichgewicht zwischen Governance und wirtschaftlichen und sozialen Möglichkeiten herzustellen.



Der Governance-Track zielt darauf ab, Governance-Rahmenwerke zu definieren und zu empfehlen, die der Schadensverhütung, Risikominderung, Gerechtigkeit und Interoperabilität innerhalb des Metaverses Priorität einräumen. Dieser Track konzentriert sich auf die Erstellung von Richtlinien und Rahmenwerken, um ein sicheres und inklusives Metaverse für alle beteiligten Akteure zu gewährleisten und Empfehlungen zu geben, die eine nachhaltige und verantwortungsvolle Entwicklung des Metaverse fördern.

Der Track zur Wertschöpfung zielt darauf ab, die wirtschaftliche und soziale Wertschöpfung im Metaverse zu erforschen und Leitlinien für Organisationen bereitzustellen, um sich auf Störungen und Wertschöpfung vorzubereiten. Beginnend mit der Erforschung des Metaverse für Verbraucherinnen und Verbraucher, wird dieser Track auch das Industrial Metaverse und das Enterprise Metaverse der Zukunft untersuchen. Darüber hinaus werden die Möglichkeiten und Kompromisse in Bezug auf Zugang, Integration, Nachhaltigkeit und Wohlbefinden für diejenigen, die das Metaverse nutzen wollen, untersucht.

#### 4.2.2 Das Metaverse Standards Forum

Interoperabilität ist das Fundament des Metaverse. Sie ermöglicht die Zusammenarbeit verschiedener bahnbrechender Technologien, baut Brücken zwischen Anwendungen und skaliert über unverbundene Silos hinweg. Interoperabilität setzt definierte und offene Standards voraus. Um diese Standards zu fördern und ihre Entwicklung zu beschleunigen, wurde im Juni 2022 das Metaverse Standards Forum gegründet.

Die Initiative wurde von der Khronos Group, einem gemeinnützigen Konsortium für offene Standards in Grafik, Medien und Parallelverarbeitung, ins Leben gerufen. Zu den weiteren Gründungsmitgliedern gehören führende Technologieunternehmen und Organisationen wie Meta, Microsoft, NVIDIA, Epic Games, Google, Sony Interactive Entertainment, Huawei, Adobe, Autodesk und Alibaba. Darüber hinaus sind zahlreiche weitere Organisationen aus unterschiedlichen Branchen vertreten, darunter akademische Einrichtungen und internationale Standardisierungsorganisationen wie ISO, IEEE und W3C sowie das DIN Deutsches Institut für Normung e. V.

Das Forum erstellt selbst keine Standards, sondern arbeitet mit seinen Mitgliedern in Arbeitsgruppen an fachlichen und technischen Berichten, Empfehlungen, Pilotprojekten, Best Practices und Referenzimplementierungen. Ziel ist die Weiterentwicklung und Nutzung von Standards für Produktentwicklungen und Dienstleistungen.

Das Metaverse Standards Forum ist also ein Ort, an dem mehrere internationale Standardisierungsorganisationen zusammenkommen, um sich mit der Industrie abzustimmen und so die Verfügbarkeit von Metaverse-Interoperabilitätsstandards zu beschleunigen.

Darüber hinaus organisiert das Metaverse Standards Forum Workshops, Konferenzen und andere Veranstaltungen, um das Bewusstsein für die Bedeutung offener Stan-

dards im Metaverse zu schärfen. Ziel ist es, Innovation und Wettbewerb zu fördern, indem auch kleineren Unternehmen und Entwicklerinnen bzw. Entwicklern der Zugang zum Metaverse erleichtert wird und Monopole verhindert werden.

Das Metaverse Standards Forum unterhält verschiedene Sondierungs- und Arbeitsgruppen, die sich mit den Herausforderungen und Möglichkeiten der Interoperabilität in verschiedenen Bereichen befassen. Mitglieder können diese Gruppen initiieren, daran teilnehmen und sich für deren Leitung zur Wahl stellen.

Beispiele für Arbeitsgruppen sind:

- **Harmonisierung der Dateiformate USD und glTF:** Diese Gruppe sammelt Anwendungsfälle für die Interoperabilität von 3D-Assets und untersucht Erweiterungen der 3D-Asset-Definitionen. Anschließend werden die aktuellen Möglichkeiten von USD und glTF geprüft und Empfehlungen für deren Weiterentwicklung verabschiedet.
- **Barrierefreiheit im Metaverse:** Diese Gruppe widmet sich der Sicherstellung der Zugänglichkeit für alle Nutzerinnen und Nutzer.
- **Standardisiertes Dateiformat für Avatare:** Eine Gruppe arbeitet an Empfehlungen für ein einheitliches Avatar-Dateiformat, das ein konsistentes Erscheinungsbild, ein konsistentes Verhalten und konsistente Animationen im gesamten Metaverse sicherstellt.

### 4.2.3 VR/AR Industrial Coalition

Die Virtual and Augmented Reality Industrial Coalition ist eine Plattform für den strukturierten Dialog zwischen dem europäischen VR/AR-Ökosystem und politischen Entscheidungsträgern.

Die VR/AR Industrial Coalition wurde erstmals 2020 im Media and Audiovisual Action Plan der Kommission angekündigt. Ziel dieser Initiative ist es, die Politik zu informieren, Investitionen zu fördern, den Dialog mit Interessengruppen zu erleichtern und die wichtigsten Herausforderungen und Chancen für den europäischen VR/AR-Sektor zu ermitteln. Die Koalition ist Teil der Gesamtstrategie zum Thema »Virtual Worlds fit for people«.

Die VR/AR Industrial Coalition geht davon aus, dass das vielfältige europäische VR/AR-Ökosystem eine große Anzahl kleiner und mittlerer Unternehmen und einige wenige dominante, oft außereuropäische Marktteilnehmer umfasst. Sie sieht einen der Vorteile der EU in der starken Tradition der öffentlichen Förderung von Inhalten, Forschung, Entwicklung und Innovation, auch für VR/AR.

Die Überzeugung hinter der VR/AR Industrial Coalition ist, dass Europa über einen großen potenziellen Industriemarkt verfügt, der von diesen Technologien profitieren könnte. Um in diesem neuen Kontext relevant zu bleiben, müsse Europa digitale Kompetenzen aufbauen, nachhaltige Geschäftsmodelle für VR/AR-Unternehmen entwickeln, die Digitalisierung des europäischen Kulturerbes unterstützen, die Ent-

wicklung digitaler Publikumserlebnisse fördern und sicherstellen, dass es auf dem Business-to-Business-Markt nicht ins Hintertreffen gerät.

#### 4.2.4 Die Overture Maps Foundation

Die Overture Maps Foundation ist ein Gemeinschaftsprojekt der Linux Foundation, das 2022 gegründet wurde, um eine offene und einheitliche Kartendatenbasis zu entwickeln. Zu den Gründungsmitgliedern gehören Meta, Amazon Web Services, Microsoft und TomTom. Ziel ist es, durch offene, frei zugängliche, qualitativ hochwertige Geodaten die Fragmentierung bei Kartendiensten zu reduzieren und eine verlässliche Infrastruktur für vielfältige Anwendungen bereitzustellen. Auch deutsche Firmen leisten Beiträge wie CARIAD der Volkswagen Gruppe und con terra.

Die Ziele der Overture Maps Foundation sind:

- **Offene und standardisierte Kartendatenbasis:** Erstellung einer umfassenden, für alle nutzbaren Karteninfrastruktur.
- **Interoperabilität und Zusammenarbeit:** Ermöglichung von plattformübergreifender Nutzung und Integration.
- **Zugänglichkeit für Entwicklerinnen und Entwickler:** Bereitstellung der Daten als Open Data, um Entwicklerinnen und Entwickler bei der Entwicklung von Apps und Diensten zu unterstützen.
- **Kontinuierlich aktualisierte, standardisierte und detaillierte Datensätze** für globale Verkehrsnetze, Gebäude, Orte und Verwaltungsgrenzen zu erstellen und sie unter einer offenen Lizenz zur Verfügung zu stellen.

Die Foundation kombiniert verschiedene Datensätze (zum Beispiel von Mitgliedern wie TomTom und öffentlich zugängliche Quellen wie OpenStreetMap) und setzt auf Standards und Qualitätssicherung durch maschinelles Lernen. Über offene APIs und Entwickler-Tools wird der Zugang vereinfacht. Es werden Updates durch die Community und Partner durchgeführt, um die Kartenbasis aktuell zu halten.

Eine offene, standardisierte Karteninfrastruktur unterstützt das Metaverse durch die Bereitstellung einer gemeinsamen räumlichen Grundlage. Dies ermöglicht präzisere Augmented-Reality-Erfahrungen, fördert die Interoperabilität zwischen digitalen Welten und erleichtert die Entwicklung immersiver Anwendungen, da alle Akteure auf dieselben verlässlichen Geodaten zurückgreifen können.

Diese Initiative wird es Entwicklern und Innovationsführern ermöglichen, weltweite interoperable Kartierungsprodukte und -dienste zu erstellen. Auf diese Weise können reale Objekte über Landesgrenzen hinweg und somit auf der ganzen Welt nach einem einheitlichen Referenzrahmen in virtuellen Welten leicht zugänglich gemacht und genutzt werden. Die Erfassung und Nutzung umfassender, genauer geografischer Informationen wird innovative Kartierungsdienste vorantreiben, von digitalen Zwillingen bis hin zu Mixed Reality und dem Metaverse.

#### 4.2.5 Einheitliche 3D-Datenformate: OpenUSD

Eine wichtige Grundvoraussetzung des Metaverse ist der reibungslose Austausch von Daten zwischen den diversen Softwareökosystemen und Ausgabegeräten. Der Aufwand bei der Datenkonvertierung wird damit reduziert und mögliche Verluste von Informationen vermieden, sofern alle Komponenten dieselbe Sprache sprechen. Diverse Formate und Protokolle werden schon jetzt durchlässig weitergegeben, wie zum Beispiel HTML, aber auch glTF für die Weitergabe und Darstellung von 3D-Inhalten im Web. Ein weiteres Datenökosystem kristallisiert sich derzeit als vielseitig einsetzbar heraus: OpenUSD, kurz für Open Universal Scene Description.

OpenUSD wurde ursprünglich von Pixar erfunden, um die höchst komplexen Arbeitswege 3D-animierter Filme, in denen eine Vielzahl von Werkzeugen genutzt werden, zu vereinfachen. Nachdem Pixar sich 2016 entschloss, USD als Open Source offenzulegen, haben sich Pixar, Apple, Autodesk, Adobe und NVIDIA zur Alliance for OpenUSD zusammengeschlossen, um die Entwicklung von USD zu fördern. Unterstützt von der Linux Foundation und einer wachsenden Zahl an Mitgliedern, etabliert sich OpenUSD als ein 3D-Datenstandard, der mittlerweile auch in anderen Anwendungsbereichen und Märkten Einzug hält, inklusive Architektur, Herstellung, Industrieautomatisierung und Visualisierung sowie Geoinformatik.

#### 4.2.6 Spezifizierungen und Standardisierung der Audiokomponente des Metaverse

Ein zentraler Bestandteil vieler Metaverse-Anwendungen ist die Audiokommunikation, entweder direkt zwischen Anwendenden oder zum Beispiel auch zwischen Anwendenden und digitalen Sprachassistenten und Chatbots im Metaverse. Um eine natürliche Kommunikation zu ermöglichen, ist eine hohe Servicequalität (QoS) über die gesamte Signalkette notwendig. Insbesondere wird eine möglichst geringe Latenz zwischen den Gesprächsführenden sowie eine akustisch plausible räumliche und (wenn gewünscht) immersive Szenenwahrnehmung für eine gute Quality of Experience (QoE) benötigt. Damit Interoperabilität, QoS und QoE auch beim Gebrauch von verschiedenen Konsumergeräten, Metaverseapplikationen und Datenübertragungsverfahren garantiert werden können, definiert die Industrie offene Standards, Spezifikationen und Anwendungsprofile (siehe auch das Kapitel zum Metaverse Standards Forum).

Im Bereich der Audio- und Kommunikationstechnologien für das Metaverse sind insbesondere die Aktivitäten der Gruppen 3GPP (3rd Generation Partnership Project), MPEG (Moving Picture Experts Group), sowie der ITU (International Telecommunication Union) zu erwähnen.

- **MPEG-I Immersive Audio:** MPEG-I Immersive Audio ist ein Standard für eine komprimierte akustische Szenenbeschreibung und zum interaktiven Rendern für Virtual- und Augmented-Reality-Anwendungen. Dieser erlaubt es den Nutzenden, sich mit allen sechs Freiheitsgraden (six degrees of freedom: 6DOF), also vollkommen frei, im virtuellen Raum zu bewegen. Akustische Effekte wie Nachhall, Reflexionen, Abschattung, Beugung, Dopplereffekt und viele weitere werden dabei in Echtzeit berechnet und realistisch wiedergegeben.
- **3GPP Immersive Voice and Audio Services (IVAS):** IVAS ist eine neue Audiokomprimierungstechnologie, die im Rahmen von 3GPP entwickelt wurde. Der Codec zielt darauf ab, immersive

Audiokommunikation zu ermöglichen bzw. immersive Audioerlebnisse in Echtzeit zu teilen. Er ist speziell für Anwendungen in modernen Telekommunikationsnetzwerken, insbesondere in 5G-Netzen, optimiert.

- **3GPP Machbarkeitsstudie über Echtzeitkommunikation mit Avataren:** Diese 3GPP-Studie untersucht die technischen Anforderungen und Möglichkeiten, die Nutzung von Avataren in Kommunikationsdiensten und Metaverse-Anwendungen zu unterstützen. Dabei stehen besonders Interoperabilität-, QoE-, Sicherheits- und Datenschutzaspekte im Mittelpunkt.
- **ITU-T Fokusgruppe Metaverse:** Die ITU-T Fokusgruppe Metaverse (FG-MV) wurde gegründet, um die Entwicklung und Standardisierung von Technologien für das Metaverse zu fördern. Ihr Ziel ist es, die Anforderungen, Spezifikationen und Anwendungsfälle für immersive und interaktive digitale Umgebungen zu untersuchen. Die FG-MV konzentriert sich auf die Realisierung von VR, AR und verwandten Technologien und befasst sich mit spezifischen Aspekten wie Anwendungen und Diensten, Medienkodierung und der QoE.

# 5 Der Metaverse-Tech-Stack

Das Metaverse baut auf bestehenden Technologien auf. Indem es sie kombiniert und weiterführt, eröffnet es jedoch neue Chancen und Anwendungsfälle. Das bedeutet jedoch auch: Das Metaverse funktioniert nur, wenn Angebote, Dienste und Technologien auf verschiedenen Ebenen interagieren. Dabei lassen sich fünf Ebenen unterscheiden.

Die erste Ebene ist die der ermöglichenden Technologien, die sowohl Hardware als auch Grafik-Engines umfasst. Daran schließt sich die zweite Ebene an: die Betriebssysteme. Die dritte Ebene sind die App-Stores. Die vierte Ebene darüber sind die Virtual Experience Distribution Platforms. Die letzte Ebene sind die Enddienste, die eigentlichen Apps, die von vielen kleinen, mittleren und großen Anbietern bereitgestellt werden. Je nach Einsatzgebiet des Metaverse (zum Beispiel im Consumer-, Enterprise- oder Industriebereich) spielen über alle fünf Ebenen hinweg unterschiedliche Hersteller und Anbieter eine Rolle.

Zu diesen fünf Ebenen kommen die notwendigen Basistechnologien hinzu, zum Beispiel Cloud Computing, Hosting und Datentransfers, 3D-Modellierung, künstliche Intelligenz, digitale Zwillinge und Blockchain. Darüber hinaus gibt es Unternehmen, die Metaverse-Services nutzen und oft auch aktiv mitgestalten, etwa im industriellen Bereich. Auch diese sind Teil des Metaverse-Kosmos. Schließlich kann niemand alleine das Metaverse bauen.

Eine Bestandsaufnahme zum aktuellen Zustand des Metaverse-Ökosystems in einem Research Paper von ECIPE ergibt, dass Deutschland gut aufgestellt ist. Beispielsweise ist Deutschland bereits führend bei der Entwicklung und Einführung von digitalen Zwillingen, verfügt über einige ansässige Unternehmen, die relevante Einzelteile für XR-Hardware herstellen (darunter Osram, Fraunhofer, Infineon, Aixtron, QubeDot, 3Dmicromac, Innocise, Finetech), und ist weltweit der drittgrößte Markt für IoT-Geräte.

Abbildung 1 soll veranschaulichen, wie beim Metaverse unterschiedliche Technologien zusammenspielen müssen. Als Bild dafür wurde eine Seilbahn gewählt. Eine Seilbahn verbindet kontinuierlich in beide Richtungen Tal- und Bergstation, im Fall des Metaverse also reale und virtuelle Welt. Dabei werden die Nutzerinnen und Nutzer auf eine größere Höhe, ein höheres Niveau gebracht, ähnlich wie es das Metaverse durch die Kombination von real und virtuell macht. Und wie eine Seilbahn nur dann fahren kann, wenn sie solide gegründet ist und alle tragenden Stützen vorhanden sind, funktioniert das Metaverse nur, wenn seine Basistechnologien und Kerntechnologien zusammenkommen.

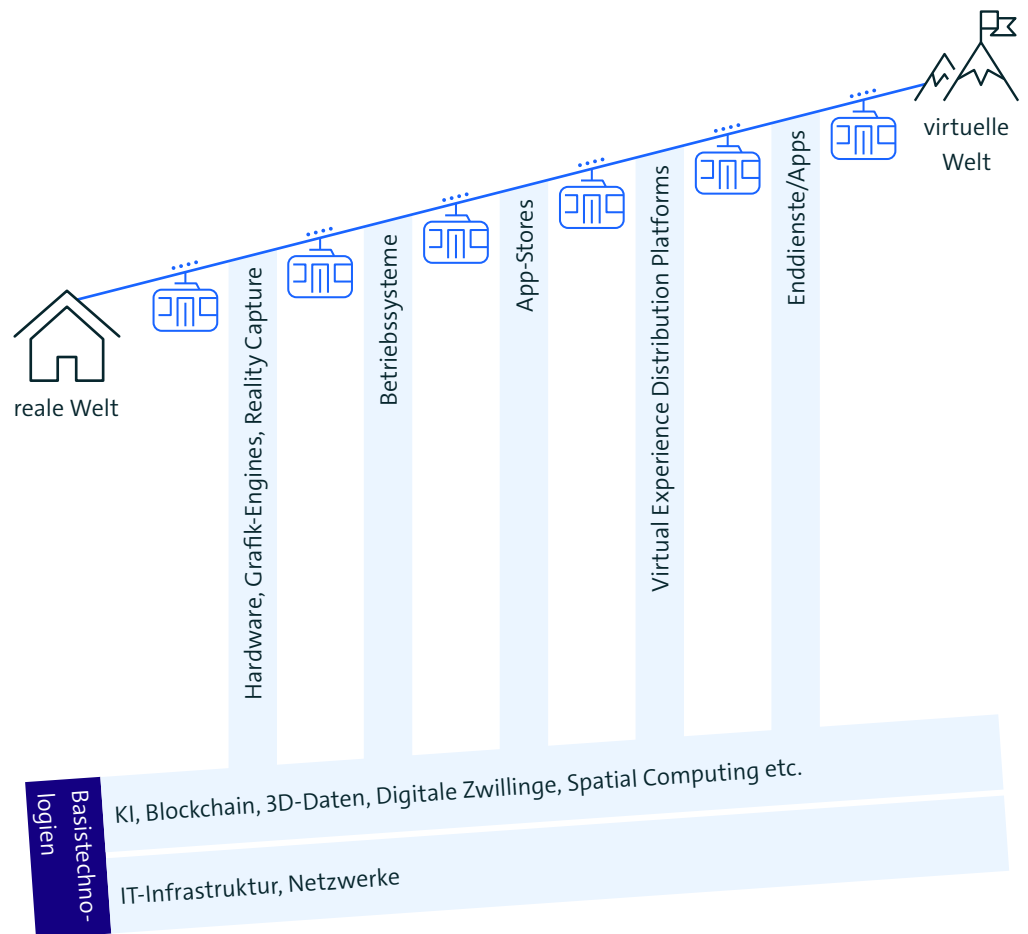


Abbildung 1: Das Zusammenspiel verschiedener Technologien ermöglicht das Metaverse

Im Folgenden sollen ein paar zentrale Technologien des Metaverse detaillierter beschrieben werden. Bereits Mitte 2022 hat der Bitkom in seinem [»Wegweiser in das Metaverse. Technologische und rechtliche Grundlagen, geschäftliche Potenziale, gesellschaftliche Bedeutung«](#) einen Überblick darüber gegeben, welche Technologien dem Metaverse zugrunde liegen. Dieser ist weiter gültig. An dieser Stelle werden daher primär weitere Technologien aufgegriffen, die damals noch eine geringere Rolle spielten. Außerdem wird die Bedeutung einiger Technologien präzisiert.

## 5.1 Basistechnologien des Metaverse

### Künstliche Intelligenz (KI)

Künstliche Intelligenz spielt eine entscheidende Rolle bei der Entwicklung des Metaverse. Zum einen wird vor allem generative KI dafür eingesetzt, neue und originelle Inhalte zu erstellen, wie Bilder, Texte, Musik oder virtuelle Umgebungen. Zeitaufwendige Prozesse wie die Erstellung von Assets, das Design von Erfahrungen und die Durchführung von Tests werden beschleunigt. Dies ermöglicht eine schnellere Entwicklung und Iteration von virtuellen Welten.

Zum anderen legt die Künstliche Intelligenz durch die Aufbereitung und strukturierte Abfragemöglichkeit von Daten den Grundstein wesentlicher Funktionalitäten. KI kann Sprache und Gesten erkennen, um natürliche Interaktionen zu ermöglichen. Nutzende können Befehle geben, Fragen stellen oder mit ihrer Umgebung interagieren. Das Metaverse dient als Frontend, um KI-betriebenen Chatbots und Nicht-Spieler-Charakteren (NPCs) eine immersive Erscheinung zu geben. So erhalten Nutzerinnen und Nutzer die Möglichkeit, mit virtuellen Figuren zu sprechen, Informationen zu erhalten oder Quests zu erfüllen.

Ein weiterer wesentlicher Aspekt von KI im Metaverse ist ihre Fähigkeit, personalisierte Erlebnisse zu schaffen. Mithilfe von maschinellem Lernen und Datenanalyse kann KI das Verhalten und die Vorlieben von Nutzerinnen und Nutzern analysieren, um maßgeschneiderte Inhalte und Interaktionen zu bieten. So werden virtuelle Welten individuell auf die Bedürfnisse und Interessen abgestimmt. Ob es sich um personalisierte Avatare, virtuelle Lernumgebungen oder maßgeschneiderte Shopping-Erlebnisse handelt – KI sorgt dafür, dass jede Nutzerin und jeder Nutzer eine einzigartige, auf sie bzw. ihn zugeschnittene Erfahrung macht.

Diese Personalisierung geht über einfache Empfehlungen hinaus. KI kann in Echtzeit auf das Verhalten der Nutzenden reagieren und die Umgebung dynamisch anpassen, sei es durch die Änderung der Inhalte oder die Anpassung der Schwierigkeitsgrade in virtuellen Spielen und Lernplattformen. Damit wird das Metaverse zu einem Ort, an dem sich alle individuell aufgehoben fühlen und das Erlebnis kontinuierlich verbessert wird.

### Blockchain & Web3

Bei der Blockchain-Technologie handelt es sich um eine verteilte Datenbank, die besondere Eigenschaften mit sich bringt. Durch redundante Datenspeicherung und einen Konsensmechanismus zwischen Teilnehmenden des Blockchain-Netzwerkes wird sichergestellt, dass keine einzelne Partei die gespeicherten Informationen und Programmcodes (Smart Contracts) verändern oder kontrollieren kann. Dies hat ermöglicht, dass digitale Vermögenswerte (Digitale Assets) geschaffen werden können, die nicht durch eine zentrale Partei kontrolliert und nicht vervielfältigt werden können (das sogenannte Double-Spending-Problem wurde gelöst). Durch die erwähnten Smart Contracts wird es sogar möglich, Business-Logik abzubilden und damit komplexe Vermögenswerte mit Eigenschaften jenseits der viel erwähnten Kryptowährungen zu schaffen.

Aufgrund der verteilten Weise der Datenspeicherung ergibt sich jedoch ein bedeutender Nachteil aufgrund des Konsensmechanismus, welcher zu langsamen Entscheidungsfindungsprozessen führt. Denn nur, wenn eine einfache Mehrheit zustimmt, wird die Transaktion ausgeführt. Um diesen Mechanismus genau auszuführen, muss jederzeit eine Synchronisation zwischen den Knoten vorhanden sein. Das bedeutet, dass der Entscheidungsfindungsprozess umso langsamer wird, je mehr Knoten es gibt.



In hoch skalierbaren Anwendungen wie dem Metaverse könnte die Entscheidungsfindung sehr lange dauern. Daher ist es nicht unbedingt nötig, die Blockchain-Technologie zur Realisierung des Metaverse einzusetzen. Es könnte jedoch in Zukunft zeit-unkritische Anwendungen wie Identitätsmanagement oder die Verwaltung einzigartiger Assets (Artefakte) geben, die eine sinnvolle Integration der Blockchain-Technologie innerhalb des Metaverse ermöglichen. Diese Anwendungsfälle sind häufig mit der Idee des sogenannten Web3 verbunden.

Das Web3 ist eine Idee für eine neue Iteration des World Wide Web. Es umfasst Konzepte wie Dezentralisierung, Blockchain-Technologien und tokenbasierte Wirtschaftssysteme. Im Vergleich zu Web 2.0, bei dem Daten und Inhalte in einer kleinen Gruppe von Unternehmen zentralisiert sind, zielt das Web3 darauf ab, die Macht an die Nutzerinnen und Nutzer zurückzugeben. Neben lesen und schreiben können Nutzerinnen und Nutzer auf Basis dezentraler Infrastruktur auch besitzen. Die Grundlage dafür sind Blockchains, welche die Transaktionen und Daten sicher speichern. Diese dezentralen Ledger ermöglichen es den Nutzerinnen und Nutzern, ihre eigenen Daten zu kontrollieren und virtuelle Vermögensgegenstände tatsächlich zu besitzen. Neben Kryptowährungen wie beispielsweise Bitcoin und Ethereum sind auch NFTs (Non-Fungible Tokens) digitales Eigentum, das über eine Referenz im Code eine eindeutige Zuordnung zu Besitzerinnen und Besitzern aufweist. Während Kryptowährungen als Zahlungsmittel im Metaverse dienen können, sind NFTs vor allem eine Möglichkeit, digitale Identitäten, virtuelle Grundstücke oder einzigartige Sammlerstücke als Teil des Metaverse-Ökosystems abzubilden. Dadurch ergeben sich neue Wirtschaftsmodelle, wie zum Beispiel dezentrale Finanzdienstleistungen (DeFi) oder Tokenisierung virtueller, aber auch physischer Vermögensgegenstände. Im Metaverse können Benutzerinnen und Benutzer durch den Handel virtueller Güter und Dienstleistungen Einnahmen erzielen.

Gleichzeitig sollen Web3-Protokolle und Standards die Interoperabilität zwischen verschiedenen Anwendungen und Plattformen im Metaverse fördern, sodass Nutzerinnen und Nutzer nahtlos zwischen verschiedenen virtuellen Welten, Spielen und sozialen Plattformen wechseln können. Ob dies langfristig möglich sein wird, bleibt abzuwarten.

### 3D-Daten und Datenplattformen

Um erfolgreich Daten und Anwendungen für das Metaverse zusammenzubringen, zu erstellen und bereitzustellen, müssen folgende Bereiche abgedeckt werden:

- Bewältigung der Datenkomplexität, die für die Integration von Daten in interaktive 3D-Erlebnisse entscheidend ist.
- Entwicklung einer leistungsfähigen und leicht zugänglichen Entwicklungsplattform, um mehr Teams in die Lage zu versetzen, einfach Echtzeit-3D-Erlebnisse mit Mehrwert zu entwickeln, die die umfangreichen Daten nutzen.
- Veröffentlichung von Metaverse-Erlebnissen für verschiedene Interessengruppen auf Geräten eigener Wahl und Gewinnung von Nutzerdaten, um aus Erfahrungen zu lernen.

- Dies alles in einer unternehmenstauglichen Plattform, die offen, sicher und skalierbar ist und für die Integration mit den führenden Technologien auf dem Markt heute und in den kommenden Jahren ausgelegt ist.

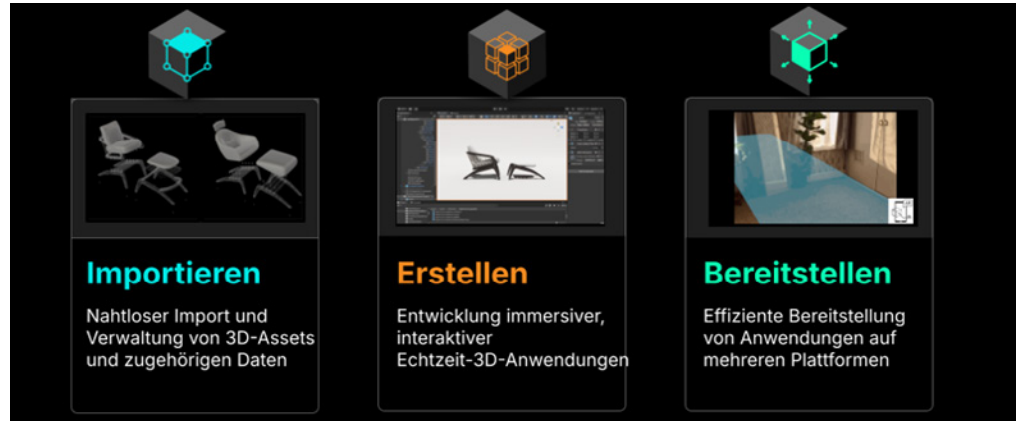


Abbildung 2: 3 Schritte zum Metaverse: Daten und Anwendungen zusammenbringen, erstellen und bereitstellen

Eine End-to-End-Plattform zur Erstellung von Metaverse-Anwendungen beginnt mit dem Verbinden vielseitiger Daten – um Produkte, Prozesse und Anlagen zu visualisieren, zu simulieren und gemeinsam zu nutzen. Solche Datensätze sind komplex und entwickeln sich ständig weiter. Indem Tools zur Datenverknüpfung und Umwandlungstechnologien genutzt werden, lassen sich Silos aufbrechen und CAD- und BIM-Daten umwandeln. Weiterhin können Echtzeit-3D-Assets in einer End-to-End-Plattform mit einer einzigen Datenquelle (single source of truth) verwaltet werden.

Eine Plattform unterstützt die Bereitstellung von Metaverse-Anwendungen überall dort, wo Anwenderinnen und Anwender arbeiten – von Desktops über Browser bis hin zu den neuesten Spatial-Computing-Headsets.

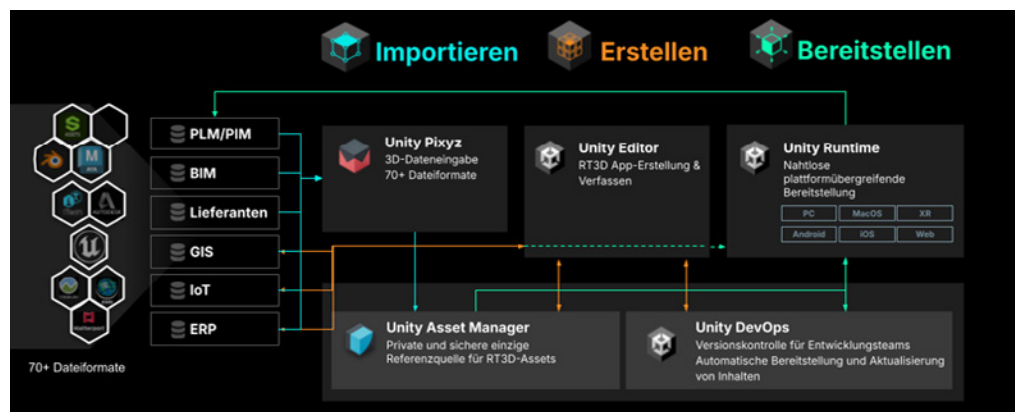


Abbildung 3: End-to-End-Plattform zur Erstellung von Metaverse-Anwendungen für die Industrie am Beispiel Unity

Wie mit einer End-to-End-Plattform Metaverse-Anwendungen erstellt werden können, wird nachfolgend am Beispiel Unity erläutert.

In diesem Beispiel kommt Unity als universelle Basis für 3D-Assets und Anwendungsentwicklung zum Einsatz. Das bedeutet, dass mehrere Möglichkeiten angeboten werden, Daten mit den Anwendungen und Plattformen zu verbinden, die Teams bereits nutzen.

Der häufigste Weg, um bestehende 3D-Assets zu verbinden, ist ein Automatisierungs- und Import-Tools in Pixyz. Dieser Technologiestrom deckt die meisten Asset- und Dateitypen ab. Die verarbeiteten Daten werden im Asset Manager verwaltet und stehen für die Zusammenarbeit mit Teamkollegen bereit, sodass die Daten für mehrere Echtzeit-3D-Erlebnisse für verschiedene Teams oder Partner wiederverwendet werden können. Der Asset Manager ist in Unity 6 in den Unity-Editor integriert. So wird sichergestellt, dass die richtigen Assets in die Echtzeit-3D-Erlebnisse und Anwendungen integriert werden, die mit dem Unity-Editor entwickelt werden. Sobald diese Anwendungen einsatzbereit sind, werden sie in der Infrastruktur der Kunden bereitgestellt und auf dem vom Endbenutzer gewählten Gerät erlebt.

Der Prozess der Anwendungsentwicklung und -bereitstellung wird von Unity Dev Ops verwaltet, um sicherzustellen, dass alle Beteiligten koordiniert zusammenarbeiten und Inhalte und Code-Updates effektiv verwaltet und bereitgestellt werden. Abhängig von der Art und den Zielen der Anwendung können die Ergebnisse dieser Echtzeit-3D-Erlebnisse direkt in die bestehenden Systeme oder in den Unity-Editor integriert werden, um sie weiter zu bearbeiten und zu verbessern.

## Digitale Zwillinge

In einer Welt, in der die Grenzen zwischen Realität und virtuellen Welten zunehmend verschwimmen, kommt den digitalen Zwillingen eine zentrale Rolle zu. Sie sind nicht mehr nur Bestandteil von Science-Fiction-Träumen, sondern werden zu einem integralen Bestandteil unseres Alltags – insbesondere im aufstrebenden Metaverse und der Virtual Reality.

Ein digitaler Zwilling (englisch Digital Twin) ist eine virtuelle Repräsentation eines physischen Objekts, Systems oder Prozesses. Digitale Zwillinge können für einzelne Gegenstände, komplette Anlagen, ganze Gebäude oder sogar Länder erstellt werden. Die bidirektionale Verbindung zwischen ihnen und ihrem realen Gegenstück ermöglicht es, Zustandsänderungen in Echtzeit zu überwachen und zu steuern.

Damit ist der digitale Zwilling das informationstechnologische Bindeglied von der Realität hinein ins Metaverse und zurück. Im industriellen Kontext erstreckt sich der Einsatz des digitalen Zwillings über den gesamten Produktlebenszyklus, vom Design und der Entwicklung eines Produkts über dessen Produktion und Betrieb bis hin zum späteren Recycling. Er ermöglicht es auf allen Stufen, Prozesse schneller, flexibler und ressourcensparender zu gestalten. Damit trägt er maßgeblich zur Prozesseffizienz in industriellen Anwendungen bei, Daten aus der physischen Welt zu sammeln, zu analysieren und auf Grundlage dieser Informationen sowohl physische als auch virtuelle Systeme zu optimieren. Dadurch spielen digitale Zwillinge im Industrial Metaverse eine zentrale Rolle.

Beispiele für den Einsatz von digitalen Zwillingen sind:

- **Automobilindustrie:** Ein digitaler Zwilling eines Fahrzeugs kann während der Entwicklung verwendet werden, um Aerodynamik, Sicherheitsfunktionen und Fahrverhalten zu simulieren, bevor ein Prototyp gebaut wird. Während des Produktionsprozesses hilft er beispielsweise, die Qualität der einzelnen Bauteile zu überwachen und den gesamten Prozess zu optimieren.
- **Fertigungsanlagen:** Ein digitaler Zwilling einer Produktionsstraße in der Fertigung kann genutzt werden, um den Betrieb zu überwachen, Engpässe zu identifizieren und die Produktion auf maximale Effizienz zu trimmen. Vor dem Einsatz neuer Maschinen oder Werkzeuge kann deren Integration in die Produktionsumgebung virtuell getestet werden.
- **Energiebranche:** In Kraftwerken können digitale Zwillinge von Turbinen oder Generatoren erstellt werden, um deren Leistung und Zustand in Echtzeit zu überwachen. So lassen sich Wartungsarbeiten gezielt planen und ungeplante Ausfälle vermeiden.
- **Umweltauswirkungen und Risikoanalysen:** Anhand von historischen Daten und Sensorik können Wettermodelle und Umweltauswirkungen auf planetarer sowie lokaler Ebene schneller errechnet und Risiken prognostiziert werden. Diese Informationen können für den Katastrophenschutz oder auch von Versicherungen genutzt werden.
- **Bauwesen:** Bei Großbauprojekten spielen digitale Zwillinge bereits eine entscheidende Rolle. Architektinnen und Architekten, Ingenieurinnen und Ingenieure sowie Bauprojektmanagerinnen und Bauprojektmanager nutzen diese Technologie beispielsweise, um komplexe Bauvorhaben zu planen, zu visualisieren und zu optimieren. Indem sie digitale Zwillinge von Gebäuden, Brücken oder ganzen Stadtvierteln erstellen, können sie verschiedene Szenarien simulieren, potenzielle Probleme identifizieren und effiziente Lösungen entwickeln, noch bevor der erste Spatenstich getan wird.
- **Geoinformation:** Digitale Zwillinge können inzwischen auch für ganze Länder bereitgestellt werden. Sie werden mit existierenden Geodateninfrastrukturen (auf Basis der Landesvermessung), mit lokaler Vermessungen durch Drohnen oder durch Technologien wie 3D-Modellierung, Datenanalyse und Künstliche Intelligenz erstellt. In Deutschland werden auf Basis amtlicher Geodaten digitale Zwillinge für ganze Bundesländer und auch bald für ganz Deutschland bereitgestellt.

Alleinstellungsmerkmale eines digitalen Zwillingen sind:

- **Echtzeit-Konnektivität:** Der digitale Zwilling ist eng mit seinem physischen Gegenstück verbunden und wird kontinuierlich mit Daten aus der realen Welt aktualisiert.
- **Simulationsfähigkeit:** Durch den Einsatz von Simulationsmodellen kann der digitale Zwilling das Verhalten des realen Objekts unter verschiedenen Bedingungen vorhersagen und optimieren.
- **Datengetrieben:** Digitale Zwillinge basieren auf einer Vielzahl von Daten, die durch Sensoren, Maschinen oder Nutzerinteraktionen gesammelt werden. Diese Daten ermöglichen fundierte, datengestützte Entscheidungen in Echtzeit.
- **Lebenszyklusbegleitung:** Ein digitaler Zwilling begleitet das physische Objekt während seines gesamten Lebenszyklus, vom Design über die Produktion bis hin zur Nutzung und Wartung.

Was ein digitaler Zwilling nicht ist:

- **Kein einfaches 3D-Modell:** Ein digitaler Zwilling ist mehr als nur eine visuelle Nachbildung. Er ist eng mit realen Daten und Systemen verbunden und ermöglicht dynamische Interaktionen zwischen der physischen und der digitalen Welt.

- **Kein statisches Modell:** Ein digitaler Zwilling wird kontinuierlich aktualisiert und verändert sich im Laufe der Zeit basierend auf den Daten, die er aus der physischen Welt erhält. Ein einmal erstelltes, unverändertes digitales Modell ist also kein digitaler Zwilling.
- **Keine isolierte Simulation:** Digitale Zwillinge sind nicht nur Simulationen, sondern werden mit Echtzeitdaten gespeist. Während eine Simulation oft als einmaliges Ereignis betrachtet wird, ist ein digitaler Zwilling ein dynamisches, fortlaufendes Modell.

Der digitale Zwilling hat sich in vielen Industrien zu einem unverzichtbaren Werkzeug entwickelt und wird zunehmend die Art und Weise prägen, wie wir in Zukunft Produkte entwerfen, produzieren und betreiben.

## Spatial Computing

Im ursprünglichen Sinn handelt es sich bei Spatial Computing um die Interaktion zwischen Menschen und Maschinen oder computergenerierten Inhalten. Es bezieht sich auf die Fähigkeit, Daten und Informationen in räumlichen Zusammenhängen zu verstehen, zu verarbeiten und darzustellen. Im Kontext des Metaverse-Ökosystems könnte Spatial Computing die Rolle des Interaktionskonzepts übernehmen, um immersive und interaktive Erlebnisse zu bieten. Es umfasst Technologien wie Augmented Reality (AR), Virtual Reality (VR) und Mixed Reality (MR). VR-Brillen und Headsets sind Beispiele für Geräte, die Spatial Computing verwenden, um Benutzerinnen und Benutzern ein immersives Metaverse-Erlebnis zu bieten.

Eine der wichtigsten Anwendungen von Spatial Computing im Metaverse könnte die Schaffung räumlicher Präsenz sein, die es ermöglicht, sich in einer virtuellen Umgebung zu bewegen, zu interagieren und zu kommunizieren. Spatial Computing ermöglicht auch die Verarbeitung von Echtzeitdaten, die verwendet werden können, um virtuelle Objekte in der Umgebung zu steuern, sowie die Erstellung von 3D-Modellen realer Objekte und Räume, die in das virtuelle Ökosystem integriert werden können.

Ein weiterer zentraler Faktor ist die Einbeziehung von Spatial Audio, da es dabei hilft, eine akustische Umgebung zu schaffen, die zur visuellen Umgebung passt. Ein Beispiel: Wenn eine Nutzerin oder ein Nutzer in einer virtuellen Umgebung steht und eine andere virtuelle Person sprechen hört, sollte der Ton so klingen, als käme er aus der Richtung, aus der die virtuelle Person spricht. Die Verwendung von Spatial Audio im Metaverse würde die Interaktion und Kommunikation verbessern, indem es eine realistische Hörerfahrung schafft, die der natürlichen menschlichen auditorischen Wahrnehmung entspricht. Dies ist besonders wichtig für Anwendungen wie virtuelle Meetings, Gaming und Bildung, bei denen eine präzise Kommunikation erforderlich ist, um eine sinnvolle Interaktion zu ermöglichen.

Zusätzlich kann Spatial Computing auch dazu beitragen, personalisierte und kontextbezogene Erfahrungen im Metaverse zu liefern. Zum Beispiel kann es Informationen über die physische Umgebung der Nutzenden sammeln, um die virtuelle Umgebung entsprechend anzupassen und so eine nahtlose Interaktion zwischen der realen und der virtuellen Welt zu ermöglichen.

Insgesamt sind das Metaverse und Spatial Computing Schlüsselkomponenten für die Schaffung einer immersiven, vernetzten digitalen Realität.

## 5.2 Hardware für den Zugang zum Metaverse

### Einstieg mit verbreiteter Standardhardware

Das Metaverse ist auf sehr niedrigschwelliger Weise zugänglich. Schon heute gibt es viele Möglichkeiten, das Metaverse mit gängiger Hardware wie Laptop und PC, Smartphone und Tablet oder Spielekonsolen zu erleben, mit gängigen Eingabegeräten wie Maus und Tastatur, Touchbedienung oder Gamepads.

Diese Geräte, die bereits vielen Nutzerinnen und Nutzern vertraut sind, ermöglichen es, ohne hohe Einstiegskosten und komplexe Hardware in die virtuelle Welt einzutauchen. So können Menschen über browserbasierte Anwendungen oder Spielekonsolen in das Metaverse eintreten, was die Barriere für den Zugang erheblich senkt. Diese Flexibilität, zwischen hochimmersiven und einfacheren Zugangsmethoden zu wählen, wird entscheidend sein, um das Metaverse einer breiten Nutzerbasis zugänglich zu machen.

Auch im industriellen Kontext setzen viele Anwendungen des Industrial Metaverse darauf, über gängige 2D-Interfaces bedient zu werden. Dadurch gelingt der Einstieg ins Metaverse hier ohne neue Hardware anschaffen zu müssen und ohne langwierige Abstimmungsprozesse hinsichtlich Gefährdungsbeurteilung und Arbeitssicherheit.

### Virtual, Augmented und Mixed Reality

Virtual Reality (VR), Augmented Reality (AR) und Mixed Reality (MR) bilden die Grundlage für immersive Technologien, weisen jedoch entscheidende Unterschiede auf. Die virtuelle Realität (VR) erzeugt eine vollständig künstliche Umgebung, die Nutzerinnen und Nutzer von der physischen Realität isoliert. Im Gegensatz zu VR überlagert AR digitale Informationen auf die reale Welt, ohne die Nutzerin oder den Nutzer von seiner Umgebung zu trennen. MR kombiniert die Elemente beider Technologien, indem es digitale und reale Objekte vermischt, die in Echtzeit interagieren können.

Häufig werden insbesondere die Begriffe AR und MR nicht trennscharf verwendet. Beide meinen dann, dass die reale Umwelt um virtuelle Inhalte angereichert wird, wobei der Grad, wie virtuelle und reale Inhalte interagieren, unterschiedlich sein kann. Hinzu kommt, dass aktuelle VR-Brillen die Bereiche Augmented Reality und Virtual Reality immer stärker verschmelzen, indem sie die reale Umgebung via Kamera anzeigen und virtuell erweitern. Dabei können physische und digitale Objekte in Echtzeit interagieren. Das ist für das Metaverse von zentraler Bedeutung, da so eine nahtlose und dynamische Verbindung zwischen physischer und virtueller Welt erreicht wird. Durch die Einbettung digitaler Inhalte in die reale Umgebung können Nutzerinnen und Nutzer virtuelle Objekte in räumlichen Kontexten manipulieren, was das Anwendungsspektrum erheblich erweitert.

Die technologische Basis hierfür bilden eine hochentwickelte Sensorik und fortschrittliche Bildverarbeitungsalgorithmen, die ein präzises Tracking von Benutzerbewegungen

und die Einbettung digitaler Inhalte in die reale Umgebung ermöglichen. Kernkomponenten solcher Systeme sind optische, inertiale und Umgebungssensoren, die eine präzise Erfassung der physischen Welt und deren dynamische Integration mit virtuellen Objekten gewährleisten.

Künstliche Intelligenz (KI) und maschinelles Lernen (ML) spielen eine zentrale Rolle bei der Verbesserung des Interaktionserlebnisses in MR-Systemen. KI-Algorithmen werden eingesetzt, um die Umgebung genauer zu analysieren und interaktive digitale Objekte realistisch in die physische Welt zu integrieren. Durch maschinelles Lernen können MR-Systeme aus den Interaktionen der Benutzerinnen und Benutzer lernen, um die Erfahrung persönlicher und intuitiver zu gestalten. Beispielsweise kann ML eingesetzt werden, um die Handgesten oder Augenbewegungen eines Benutzers oder einer Benutzerin zu interpretieren und deren Absichten besser zu verstehen, was eine natürlichere oder sogar prädiktive Steuerung der MR-Umgebung ermöglicht. Darüber hinaus bietet die kontinuierliche Analyse durch ML, dass sich die Systeme dynamisch an Veränderungen der Umgebung oder des Benutzerverhaltens anpassen, was zu einer kontinuierlichen Verbesserung der Benutzererfahrung und Anwendungsqualität führt.

Virtual Reality (VR), Augmented Reality (AR) und Mixed Reality (MR) sind mit einigen technologischen Herausforderungen verbunden. Beispielsweise stellt die Forderung, hohe Grafikleistungen bei akzeptabler Latenz zu erzielen, hohe Anforderungen an die Hardware. Des Weiteren erfordern AR, VR und MR fortschrittliche Sensoren zur präzisen Erfassung und Wiedergabe von Nutzerbewegungen und Umgebungsinteraktionen. Die Entwicklung einer intuitiven Benutzeroberfläche, die natürliche Interaktionen erlaubt, ohne die Nutzerinnen und Nutzer zu ermüden oder zu überfordern, stellt ebenfalls eine anspruchsvolle Herausforderung dar. Auch Datenschutz- und Sicherheitsfragen werden berührt, da AR-, MR- und VR-Systeme sensible Informationen über die Bewegungen, Interaktionen und Umgebungen der Nutzerinnen und Nutzer erfassen. Wie damit umzugehen ist und welche Datenschutzvorschriften zu beachten sind, erläutert das Kapitel 6 »Aspekt Datenschutz« des Bitkom-Leitfadens <sup>7</sup> »Augmented und Virtual Reality im Unternehmen einführen«.

Mittel- bis langfristig ist zu erwarten, dass MR eine zentrale Rolle im Metaverse einnehmen wird, indem es die Brücke zwischen der physischen und der digitalen Welt schlägt. Dies wird zu neuen Formen der Interaktion, Kommunikation und Arbeit führen, die unsere täglichen Erfahrungen erheblich bereichern können.

### Hardware für haptische Interaktion

Durch die Integration haptischer Technologien in das Metaverse können Nutzerinnen und Nutzer eine tiefere und realistischere Erfahrung machen, indem sie mit der virtuellen Welt in einer Art und Weise interagieren, die der Interaktion mit der realen Welt ähnelt. So können sie die Empfindung von Gewicht, Textur und anderen Merkmalen von Objekten in der virtuellen Welt erleben. Ein Beispiel für aktuelle haptische Hardware ist ein Handschuh, über den Objekte innerhalb der virtuellen Welt gespürt werden können.

Neben Handschuhen gibt es auch weitere Tools für Entwickler und Designer, die es ermöglichen, erstklassige haptische Erlebnisse einfach und schnell zu gestalten, zu testen und in Apps zu integrieren (zum Beispiel Meta Haptics Studio und Meta Haptics SDK). Eine Simulation des Tastsinns in digitalen Anwendungen trägt dazu bei, immersive und realistischere Erlebnisse zu schaffen und die Benutzerfreundlichkeit zu verbessern. Eine solche Simulation entsteht zum Beispiel aus einer Kombination von sensiblen Vibrationseffekten an Controllern und Klang, die gemeinsam ein realistisches Gefühl des Tastens erzeugen.

Meta Haptics Studio und SDK erleichtern diesen Prozess für Entwicklerinnen und Entwickler sowie Designerinnen und Designer, indem Audio-Assets direkt in die App importiert werden können und automatisch haptische Signale extrahieren. Programmierkenntnisse sind nicht erforderlich. Das Haptics SDK (für Unity und Unreal) bietet eine einheitliche, medienbasierte High-Level-API zum Abspielen von haptischen Clips, die im Haptics Studio erstellt wurden, auf Quest-Controllern.

Ein weiterer wichtiger Aspekt der haptischen Technologie im Metaverse ist ihr Potenzial, eine inklusive Erfahrung für Nutzerinnen und Nutzer mit körperlichen Einschränkungen zu schaffen. Beispielsweise können sie dazu beitragen, Barrieren für Menschen mit Seh- oder Hörbeeinträchtigungen abzubauen und ihnen ein intensiveres Erlebnis zu bieten.

### Omni-Directional Hardware

Um die Kluft zwischen der physischen und virtuellen Welt nahtlos überbrücken zu können, wird omnidirektionale Hardware eine entscheidende Rolle spielen. Zur omnidirektionalen Hardware zählen Geräte und Systeme, die es ermöglichen, sich im virtuellen Raum in alle Richtungen zu bewegen und zu interagieren, beispielsweise omnidirektionale Laufbänder. Diese Technologie ist besonders relevant, da sie das Potenzial hat, die Immersion, Präsenz und Zusammenarbeit im Metaverse zu verbessern. Diese verdeutlichen die folgenden Punkte:

- **Erhöhte Immersion:** Omnidirektionale Hardware ermöglicht es, sich zu bewegen, sich umzusehen und mit Objekten im virtuellen Raum zu interagieren, als wären sie physisch anwesend. Diese Immersionsstufe trägt zu einer realistischeren und ansprechenderen Erfahrung bei und hilft, sich stärker mit der virtuellen Umgebung und anderen Teilnehmenden verbunden zu fühlen.
- **Natürliche Interaktion:** Traditionelle Eingabemethoden wie Tastaturen und Mäuse haben Grenzen, wenn es darum geht, natürliche menschliche Bewegungen zu simulieren. Omnidirektionale Hardware, wie 360-Grad-Laufbänder, Ganzkörper-Bewegungserfassungssysteme und räumliche Tracking-Geräte, erlaubt es, intuitive Gesten und Bewegungen zu verwenden. Darüber werden natürlichere und ausdrucksstärkere Interaktionen mit der virtuellen Welt und anderen Avataren möglich.
- **Räumliches Bewusstsein:** Omnidirektionale Hardware vermittelt ein räumliches Bewusstsein und eine Tiefenwahrnehmung in der virtuellen Umgebung. Dies ist entscheidend für die Navigation durch komplexe virtuelle Landschaften, die Zusammenarbeit mit anderen und das Vermeiden von Kollisionen oder Hindernissen.



## Exoskelette

Exoskelette ermöglichen es, menschliche Bewegungen in digitale Umgebungen zu übertragen, was besonders im Kontext des Metaverse revolutionär sein könnte. So könnten Nutzerinnen und Nutzer durch Exoskelette in der Lage sein, natürliche Bewegungen wie Gehen oder Greifen zu simulieren, was eine tiefere Immersion in virtuellen Welten ermöglicht. Auch für Menschen mit körperlichen Einschränkungen könnte diese Technologie von Nutzen sein, indem sie die Teilnahme an virtuellen Aktivitäten unterstützt, die im realen Leben nicht möglich wären.

Die meisten Entwicklungen im Bereich der Exoskelette befinden sich noch im Stadium der Grundlagenforschung und in Pilotprojekten. Ein praktisches Beispiel für den erfolgreichen Einsatz von Exoskeletten findet sich im medizinischen Bereich, etwa in der Rehabilitation. In Kliniken werden Exoskelette bereits verwendet, um Patientinnen und Patienten mit eingeschränkter Mobilität zu helfen, ihre Gehfähigkeit wiederzuerlangen. Diese Anwendungen zeigen, dass die Technologie bereits funktionsfähig ist, jedoch weitgehend auf spezialisierte Szenarien beschränkt bleibt.

Die Vision, Exoskelette in größerem Umfang im Metaverse zu nutzen, erfordert erhebliche technologische Fortschritte und Investitionen. Ein zentraler Aspekt dabei ist die Integration haptischer Rückmeldungen, die es Nutzerinnen und Nutzern ermöglichen, virtuelle Objekte nicht nur zu sehen, sondern auch zu spüren. Dies könnte insbesondere im Gaming und in der virtuellen Ausbildung von Nutzen sein. Dennoch sind weitere Entwicklungen notwendig, bevor Exoskelette weitverbreitet eingesetzt werden können.

Zusammenfassend bleibt die Nutzung von Exoskeletten im Metaverse ein faszinierendes, aber noch weitgehend theoretisches Konzept. Es wird noch einige Zeit dauern, bis diese Technologie ausgereift genug ist, um in größerem Umfang Anwendung zu finden.

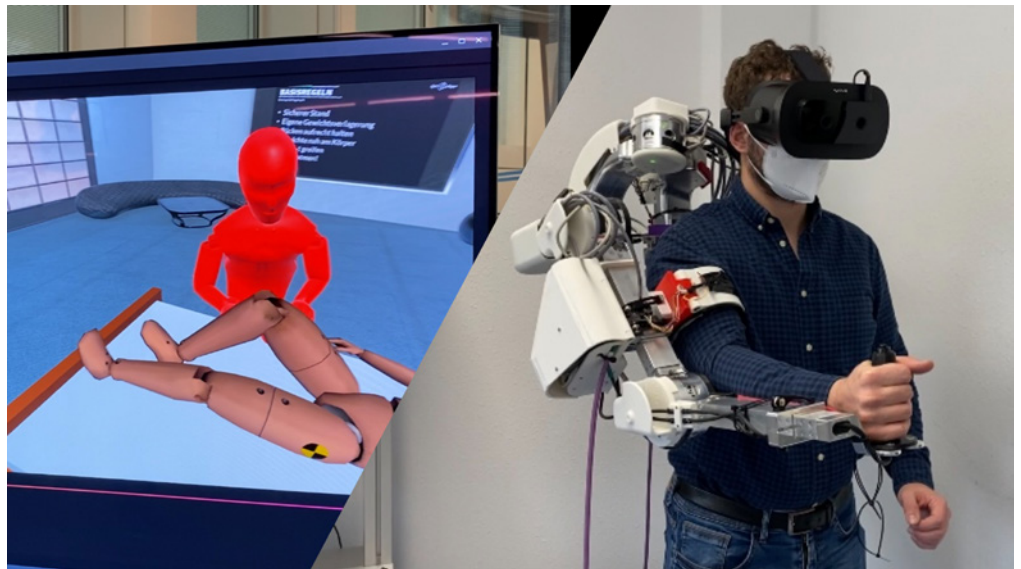


Abbildung 4: Forschungsprojekt Exohaptik. (Abbildung: Lightshape)

## 6

# Die Anwendung: Etablierte Use Cases

## Beteiligen & vermitteln

### 6.1 Minecraft für Open Government, Gestaltung öffentlicher Räume, Partizipation, Integration

Mehrwert	Einfache Beteiligung von Bürgerinnen und Bürgern (insbesondere Jugendlichen) in der Stadtplanung und schnelle Generierung und Visualisierung von Ideen, da viele das Spiel bereits beherrschen
Relevante Branchen	Public Sector
Technische Voraussetzungen	Minecraft-Lizenz, 3D-Modell kann mit FME aus vorhandenen kommunalen Daten produziert werden
Reifegrad (Forschung, PoC, marktfähig)	Marktfähig, Lösung wurde bereits mehrfach in Kommunen eingesetzt; Minecraft bereits bei Schulen und in Entwicklungsländern im Einsatz
Implementierungsaufwand (Lösung von Stange ready to use/Anpassung vor Ort nötig)	Lösung von der Stange, Integration lokaler Daten nötig

Für die einen ist es das weltweit meist verkaufte Sandbox-Computerspiel, für die anderen Teilhabe und Zugang zur Gestaltung ihrer Umwelt: Minecraft. Der Ansatz zeigt, wie wirkungsvoll sich virtuelle und reale Welten verbinden lassen, wenn (amtliche) Geodaten, die in zunehmend vielen Bundesländern als Open Data zur Verfügung stehen, in Open Government genutzt werden können, um neue Zielgruppen für mehr Bürgerbeteiligung und Integration zu nutzen. Die Technologiestiftung Berlin hat gemeinsam mit der con terra GmbH eine Minecraft-Karte der Berliner Mitte realisiert, die das Gebiet vom Potsdamer Platz bis zum Rosa-Luxemburg-Platz umfasst.

Minecraft ist ein beliebtes Computerspiel, das auch von Schulen und freien Bildungsträgern eingesetzt wird. Das Spielprinzip ist simpel, aber genial: Aus einzelnen Blöcken können Spielerinnen und Spieler gemeinsam Gebäude oder ganze Städte erbauen. Natürlich dürfen alle Gebäude auf der Karte nach Belieben verändert werden. So lässt sich Berlin Block für Block neu erfinden. Die Karte basiert auf offenen Geodaten aus dem Berliner Datenportal und der OpenStreet Map. Entwickelt wurde sie von con terra mit FME-Technologie. Die Karte kann kostenlos heruntergeladen und frei verwendet werden. Es wurde sogar ein Server eingerichtet, auf dem die Karte ausprobiert und gemeinsam mit anderen Spielerinnen und Spielern verändert werden kann.

Konkret wurde dies in einem Gestaltungswettbewerb in Berlin genutzt. Eine virtuelle Kopie der Gropiusstadt wurde in Minecraft gebaut und ein Wettbewerb ausgerufen. Teilnehmende aus der ganzen Welt konnten bereits Ende 2016 vier Wochen lang fünf Gebiete der Gropiusstadt nach ihren Vorstellungen gestalten. Die Gewinnerinnen und Gewinner wurden von einer fachkundigen Jury gekürt; ihre Ideen sollen in die Umgestaltung des Stadtviertels einfließen.



Abbildung 5: Die Gegend um den Berliner Alexanderplatz in Minecraft.

Ein weiteres Beispiel ist die hessische Stadt Oberursel, die mit den Bürgerinnen und Bürgern in einen Dialog zur Stadtentwicklung treten und so Impulse für eine Neugestaltung der Stadtmittte setzen möchte. Dazu wurde unter anderem das Spiel Oberurselcraft auf Basis von Minecraft realisiert. Spielerinnen und Spieler können damit jetzt das Stadtgebiet rund um den Bahnhof nach ihren Vorstellungen mit- und umgestalten.

Der Stadtteil konnte durch die Verwendung amtlicher und offener Geodaten in Minecraft originalgetreu abgebildet werden. Aufbereitet wurden dazu Daten aus OpenStreetMap, Gebäudedaten im City-GML-Format sowie Baumkatasterdaten der Stadt Oberursel. Mithilfe der Software FME wurden die Geodaten harmonisiert, bearbeitet und automatisiert in eine Minecraft-Welt exportiert. Bei der Umgestaltung des 3D-Stadtmodells in Minecraft sind der Fantasie keine Grenzen gesetzt. Oberurselcraft schafft somit insbesondere bei jüngeren Bürgerinnen und Bürgern einen Anreiz, sich spielerisch an der Stadtgestaltung zu beteiligen.



Abbildung 6: In Minecraft nachgebaute Stadtansicht.

## 6.2 Virtuelle Räume als Enabler in Bürgerbeteiligungs- und Partizipationsprozessen

Mehrwert	Einfacherer Zugang, unabhängig von Alter sowie beruflichen oder familiären Verpflichtungen   3D-Darstellungsmöglichkeiten, beispielsweise von Bauprojekten, schaffen Verständnis und Akzeptanz   Authentische Kommunikation und räumliches Erlebnis erleichtern politische Teilhabe
Relevante Branchen	Öffentlicher Sektor
Technische Voraussetzungen	Internetverbindung, VR-Headset oder PC
Reifegrad (Forschung, PoC, marktfähig)	marktfähig
Implementierungsaufwand (Lösung von Stange ready to use/Anpassung vor Ort nötig)	Anpassungen und Konzeptionierung notwendig

Warum sollte die öffentliche Hand virtuelle Räume zur Bürgerbeteiligung nutzen, wenn die Bürgerinnen und Bürger auch schlicht ins Rathaus kommen können?

In erster Linie erleichtern virtuelle Räume den Zugang zu Bürgerbeteiligungs- und Partizipationsprozessen. Unabhängig von persönlichen Verpflichtungen, wie Familie oder Beruf, ermöglicht die Technologie eine orts- und zeitunabhängige Teilhabe am politischen und zivilgesellschaftlichen Leben. Im hier vorgestellten Use Case bieten innovative Darstellungen von 3D-Objekten, beispielsweise für städtische Bauvorhaben, einzigartige Möglichkeiten der Visualisierung und Information – klassische Medien wie Fotos, Videos und Beschreibungstexte können ergänzend eingebunden werden. Diese verbesserte Darstellung fördert das Verständnis und die Akzeptanz bei den Beteiligten. In einem Pilotvorhaben des IT-Dienstleisters Bechtle in Kooperation mit der Münchner VR-Firma Arthur Technologies, der Stadt Aalen und der Hochschule Aalen wurden beispielsweise der Aalener Bürgerschaft die Pläne für den Neubau eines städtischen Schwimmbades auf interaktive Weise nähergebracht.



Abbildung 7: 3D-Modelle von Bauvorhaben lassen sich gemeinsam diskutieren.

Dabei konnte sich das Projektteam zunutze machen, dass eine authentische Kommunikation und Interaktion, die durch sichtbare Gestik und Mimik ermöglicht werden, einen spürbaren Mehrwert gegenüber herkömmlichen Videokonferenzen darstellen. Videokonferenzen erfolgen in 2D und

lassen Beteiligte aufgrund vieler Störfaktoren schnell ermüden. Virtuelle Räume hingegen ermöglichen eine tiefere menschliche Verbindung und ein besseres Verständnis der kommunizierten Inhalte, da Menschen die Dreidimensionalität gewohnt sind.



Abbildung 8: Anders als bei Videokonferenzen entstehen authentische Kommunikation und Interaktion.

Und nicht zuletzt sorgt die Technologie für Begeisterung bei den Teilnehmenden, wodurch politisches und zivilgesellschaftliches Engagement attraktiver werden. Virtuelle Räume sind dabei keineswegs nur eine Angelegenheit für die jüngere Generation, auch wenn sich die unter 25-Jährigen mitunter schon täglich in diesen Räumen bewegen. Im Pilotprojekt des hier vorgestellten Use Cases in der Stadt Aalen zeigte sich, dass unter den beteiligten Aalener Bürgerinnen und Bürgern die Altersgruppe der 26- bis 50-Jährigen am stärksten vertreten war (die älteste Person war übrigens 78 Jahre), was die breite Akzeptanz und die vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten dieser Technologien unterstreicht.

Das Onboarding der Bürgerinnen und Bürger, das heißt ihnen den Zugang zu virtuellen Welten zu schaffen, ist für den erfolgreichen Einsatz von zentraler Bedeutung. Dafür gibt es kein Patentrezept, aber Erfahrungswerte: Zunächst bieten mehrstufige Test- und Schnuppermöglichkeiten den Bürgerinnen und Bürgern die Chance, sich schrittweise mit der neuen, gegebenenfalls noch ungewohnten Technologie vertraut zu machen. Im Fall dieses Pilotvorhabens gab es als Einstieg eine Informationsveranstaltung für Interessierte der Stadt Aalen, die eine Einordnung des Projekts in einen größeren Kontext ermöglichte: Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler erläuterten an der Aalener Hochschule, welchen Einfluss virtuelle Welten in Zukunft haben können. Diese unabhängige Expertise eröffnete den Beteiligten ein zusätzliches Informations- und Aufklärungsangebot. Darüber hinaus hatten Bürgerinnen und Bürger im Rahmen der Veranstaltung die Möglichkeit, den virtuellen Raum selbst zu erkunden und in Fragerunden technische Probleme zu adressieren. So konnten mögliche Hürden, beispielsweise die nicht immer intuitive Bedienung der VR-Controller, früh im Projektverlauf beseitigt werden.

Ein breites gesellschaftliches Bündnis relevanter Akteursgruppen einer Stadt, zu denen Vereine, Bildungseinrichtungen und die Stadtverwaltung zählen, ist für die gewinnbringende gemeinsame Durchführung von Use Cases in virtuellen Welten von entscheidender Bedeutung. Dabei ist die Unterstützung durch die Oberbürgermeisterin oder den Oberbürgermeister immens wichtig.

Sie oder er bietet nicht nur politische Legitimation, sondern kann auch öffentliches Interesse und Vertrauen fördern – beides unerlässlich für die erfolgreiche Umsetzung. In der Stadt Aalen konnten diese wertvollen Effekte gut beobachtet werden, nicht zuletzt anhand des enorm positiven Feedbacks der Bürgerinnen und Bürger sowie der Beteiligten aus der Stadtverwaltung und weiteren zivilgesellschaftlichen Bereichen.

### 6.3 Komplexe Smart-City-Technologien erlebbar machen

Mehrwert	Besseres Verständnis komplexer Smart-City-Anwendungen
Relevante Branchen	Öffentlicher Sektor
Technische Voraussetzungen	VR-Headset, Software, Internetverbindung für Kommunikation
Reifegrad (Forschung, PoC, marktfähig)	PoC
Implementierungsaufwand (Lösung von Stange ready to use/Anpassung vor Ort nötig)	Ready to use

Ein Grund, dass Smart-City-Projekte nur schleppend in die Umsetzung kommen, ist die Herausforderung, komplexe Themen und Technologien an eine Vielzahl unterschiedlicher Stakeholder zu vermitteln. Dadurch werden die Funktionsweise und auch positive Auswirkungen einer Smart-City-Anwendung oft nicht klar kommuniziert, was zu fehlendem Verständnis und mangelnder Akzeptanz führt.

Eine lebensnahe Darstellung von Smart-City-Lösungen in einer VR-App, die beispielsweise der IT-Dienstleister Bechtle mit dem Softwareunternehmen Blare Technologies und VR-Experten der University of Cambridge entwickelt, bietet drei maßgebliche Vorteile für Städte und kommunale Unternehmen:

Erstens ermöglicht der virtuelle Raum einen schnellen und verständlichen Überblick über eine Vielzahl von Smart-City-Anwendungen. Kosten- und Zeitaufwand sind dabei auf ein Minimum reduziert, da nicht einzelne Prototypen in verschiedenen Städten persönlich vor Ort besucht werden müssen. Die Frage, was eine Smart City umfasst, kann somit interaktiver und schneller beantwortet und der fachliche und themenbezogene Diskurs früher begonnen werden. Dies schafft zeit- und ressourcensparend eine umfassende Perspektive auf die Möglichkeiten und Mehrwerte, die Smart Cities bieten.

Zweitens bietet der virtuelle Raum eine klare und einfache Kommunikation sowohl intern innerhalb der Verwaltung als auch extern gegenüber den Bürgerinnen und Bürgern, um Verständnis und Unterstützung für Smart-City-Initiativen zu fördern. Erfahrungswerte belegen, dass dies ein essenzieller Faktor für die Umsetzung von Smart-City-Anwendungen ist. Die virtuelle Darstellbarkeit von nicht sichtbaren

Elementen, wie Datenströmen von Sensoren zu Steuereinheiten, und die Interaktion der Systeme reduziert die Komplexität für Laien und veranschaulicht eindrucksvoll die Möglichkeiten einer auf verschiedensten Use Cases aufbauenden intelligenten Stadt.



Abbildung 9: Im virtuellen Raum können die Vorteile der Smart City klar kommuniziert werden. ↗ Wie das aussehen kann, verdeutlicht dieses Video.

Drittens werden durch das räumliche Erleben und die Interaktionsmöglichkeiten die Vorstellungskraft und das Verständnis der Nutzerinnen und Nutzer gefördert. Dies steigert die Akzeptanz und Begeisterung für neue Technologien, da die Bürgerinnen und Bürger wie auch die Angestellten einer Stadtverwaltung die Vorteile direkt erleben und besser nachvollziehen können. Beispielsweise kann das Dimmen von intelligenter Straßenbeleuchtung bedeutend besser in VR als auf herkömmlichen Power-Point-Folien visualisiert werden.



Abbildung 10: Das räumliche Erleben fördert das Verständnis der Nutzerinnen und Nutzer.

## 6.4 Vermittlung von Nachhaltigkeit

Mehrwert	Vermittlung komplexer Inhalte wie Nachhaltigkeit
Relevante Branchen	Kommunen und Städte
Technische Voraussetzungen	Mobile Endgeräte
Reifegrad (Forschung, PoC, marktfähig)	Marktfähig
Implementierungsaufwand (Lösung von Stange ready to use/Anpassung vor Ort nötig)	Individuallösung

Das Metaverse eignet sich hervorragend, um Nachhaltigkeit spielerisch und anschaulich zu vermitteln. Ein gutes Beispiel dafür ist die von Lightshape erstellte KlimaAR-Werk-App, welche von der EmscherGenossenschaft in Auftrag gegeben wurde. Über die App können Bürgerinnen und Bürger Maßnahmen zur Klimaanpassung in gemischter Realität auf dem Smartphone erkunden und ihre Häuser und Gärten virtuell ökologisch sinnvoll anpassen.

Der richtige Umgang mit Regenwasser ist ein wichtiger Aspekt bei der Klimaanpassung der Städte. Einige Städte setzen dafür bereits gezielte Maßnahmen um – für Bürgerinnen und Bürger sind diese aber oft nicht sichtbar, weil die technisch komplexen Systeme häufig im Untergrund verborgen liegen.

Die App bietet zwei Bereiche, einen für die Visualisierung der städtischen Themenschwerpunkte und einen zweiten für Hauseigentümerinnen und Hauseigentümer. Der erste Bereich »Klimaanpassung.Stadt« verfügt über zwei Module. Modul 1 ist die Baumrigolen-Tour für Bürgerinnen und Bürger sowie Interessierte in der Wasserstraße in Bochum. Die Tour hat vier Stationen, an denen das dort installierte System der Baumrigolen, also von Regenwasserspeichern unterhalb eines Baumes, erlebbar wird. Im Modul 2 wird das System für Fachplanerinnen und -planer mit tiefergehenden Informationen versehen. Es kann ortsunabhängig benutzt werden.



Abbildung 11: Das System der installierten Baumrigolen wird direkt im Live-Bild des Smartphones visualisiert.



Im Bereich »Klimaanpassung.Privat« finden Bürgerinnen und Bürger konkrete Ideen und Tipps zu geeigneten Anpassungen auf dem eigenen Grundstück oder am eigenen Haus, die sie mit AR live erleben können. So kann zum Beispiel die eigene Einfahrt virtuell begrünt oder die Fassade bewachsen werden.



Abbildung 12: Künftige Anpassungen am Haus – etwa eine Begrünung der Fassade – können vorab vor Ort begutachtet werden.



Abbildung 13: Auch umfassende Maßnahmen für Nachhaltigkeit im Allgemeinen lassen sich anschaulich visualisieren.

Der spielerische Umgang mit dem Thema sowie die räumliche Erfahrung, welche die Technologie ermöglicht, schaffen es, das Bewusstsein der Nutzerinnen und Nutzer nachhaltig zu beeinflussen.

## 6.5 Personalisiertes Onboarding und Integration mit KI-Avataren

Mehrwert	Reduktion von Kosten und Zeitaufwand
Relevante Branchen	Unternehmen, Regierungsorganisationen, NGOs, Bildungseinrichtungen, Schulungsanbieter, multinationale Konzerne
Technische Voraussetzungen	PC, Tablet, Smartphone, VR-Headsets, stabile Internetverbindung
Reifegrad (Forschung, PoC, marktfähig)	MVP/PoC
Implementierungsaufwand (Lösung von Stange ready to use/Anpassung vor Ort nötig)	Story- und UX-Design, Gamification-Elemente, Entwicklung von Inhalten, Schulung der HR-Abteilungen, Pflege und Aktualisierung

Das Welcome Center Integration im Metaverse bietet eine immersive Plattform, um neue Mitarbeitende, Migrantinnen und Migranten, Schulungsteilnehmende sowie Bürgerinnen und Bürger in Unternehmen, Organisationen und Kommunen willkommen zu heißen und sie durch den Onboarding- oder Integrationsprozess zu begleiten. Administrative, kulturelle und gesellschaftliche Aspekte einer Institution werden spielerisch und interaktiv an einer zentralen Anlaufstelle vermittelt.

Ein zentraler Vorteil des Welcome Centers ist, dass die Teilnehmenden nicht gezwungen sind, sich auf herkömmliche E-Learning-Systeme oder trockene Websites zu verlassen. Stattdessen erleben sie eine dynamische, interaktive Umgebung, in der sie in Echtzeit und durch natürliche sprachliche Kommunikation mit KI-Avataren oder virtuellen Beraterinnen und Beratern interagieren können. Die Teilnehmenden können Fragen stellen, sich durch die Umgebung bewegen und erhalten sofort Antworten oder Anweisungen, ohne zwischen verschiedenen Systemen oder Plattformen wechseln zu müssen. Die KI-gesteuerten Avataren erleichtern die sprachliche Kommunikation, was besonders für Menschen von Vorteil ist, die möglicherweise weniger technikaffin sind oder sprachliche Barrieren überwinden müssen. Die KI-Avatare können mehrere Sprachen unterstützen und passen sich flexibel den Bedürfnissen der Teilnehmenden an.

Das räumlich verortete Audio sorgt dafür, dass die Nutzerinnen und Nutzer sich durch die virtuelle Umgebung navigieren und gezielt mit Personen und Informationen interagieren können. Dabei wird die reale Erfahrung von Bewegung und Gesprächssituationen in einer virtuellen Umgebung nachgebildet. Dies fördert das Gefühl von Präsenz und Zugehörigkeit, selbst wenn die Teilnehmenden physisch nicht vor Ort sind.

Die Plattform erlaubt es, Inhalte in Echtzeit zu aktualisieren und individuell anzupassen. Unternehmen, Organisationen und Kommunen können spezifische Module für verschiedene Abteilungen oder Standorte einbinden und so den Onboarding- oder Integrationsprozess individuell gestalten. Auch externe Partner, wie Regierungsinstitutionen oder NGOs, können das Welcome Center nutzen, um ihre Integrationsprogramme zu digitalisieren und eine größere Reichweite zu erzielen.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Möglichkeit, digitale Zwillinge zu integrieren. So könnten digitale Zwillinge von Gebäuden, Arbeitsplätzen oder sogar von spezifischen Maschinen erstellt werden, um neue Mitarbeitende oder Migrantinnen und Migranten interaktiv mit den realen Umgebungen vertraut zu machen. Dies eröffnet enorme Potenziale, insbesondere für technische Schulungen oder Sicherheitsunterweisungen, bei denen Mitarbeitende direkt in die virtuellen Zwillinge eintauchen können, um praxisnahe Erfahrungen zu sammeln. Diese Methode erlaubt nicht nur, Fehler zu machen und aus ihnen zu lernen, ohne reale Schäden zu verursachen, sondern ermöglicht auch, verschiedene Szenarien durchzuspielen, bevor sie in der realen Welt umgesetzt werden.

## Events, Marketing & Vertrieb

### 6.6 Virtuelle Meetings und Konferenzen

Mehrwert	Austausch, Netzwerken und Informationsvermittlung unabhängig vom Standort
Relevante Branchen	Alle Unternehmen
Technische Voraussetzungen	Für immersive Teilnahme: VR-Brille   Für Teilnahme in 2D: PC/Notebook/Tablet/Smartphone
Reifegrad (Forschung, PoC, marktfähig)	Marktfähig
Implementierungsaufwand (Lösung von Stange ready to use/Anpassung vor Ort nötig)	Standardisierte Meetingräume von der Stange und ready to use; etwas Aufwand, wenn Anpassungen an eigenes Design etc. vorgenommen werden sollen

Heutige Virtual-Reality-Lösungen und künftig das Metaverse bieten für Meetings und Konferenzen eine innovative Lösung, die weit über die Möglichkeiten herkömmlicher Videokonferenzen hinausgeht. VR-Meetings ermöglichen es den Teilnehmenden, sich in einer virtuellen Umgebung zu treffen, die Diskussionen lebensechter und interaktiver gestaltet.



Abbildung 14: Wie im echten Leben: Virtuelle Meetings bieten einen Raum, in dem sich die Teilnehmenden frei bewegen und austauschen können.

Ein wesentlicher Vorteil von VR-Meetings ist die realistische Netzwerkerfahrung. Anders als bei Videokonferenzen, bei denen in der Regel das »Einer spricht, alle anderen hören zu«-Prinzip gilt, können Teilnehmende in VR-Meetings auf natürliche Weise miteinander interagieren. Wie in einem realen Raum können sie sich eins-zu-eins austauschen oder in Gruppen unterhalten, sie können sich der Bühne oder dem Podium nähern oder individuell zurückziehen. Dieses Eventerlebnis kommt einem realen Event sehr nahe und fördert eine dynamische und engagierte Teilnahme.

Ein weiterer faszinierender Aspekt von VR-Meetings ist die Möglichkeit, inspirierende Umgebungen zu schaffen. Es muss nicht unbedingt der Nachbau einer realen Location sein. Meetings können auf dem Mond, auf einem Piratenschiff, an einem Strand oder auf einem Berggipfel stattfinden. Diese kreativen und inspirierenden Umgebungen können die Teilnehmenden motivieren und die Kreativität fördern, was zu produktiveren Diskussionen führt.



Abbildung 15: Meeting auf einem Piratenschiff? Warum nicht!

Trotz der vielen Vorteile gibt es auch Herausforderungen, die es zu bewältigen gilt. Eine davon ist die maximale mögliche Teilnehmendenzahl. Während herkömmliche Videokonferenzen problemlos Hunderte Teilnehmer unterstützen können, haben viele VR-Tools ein Limit, das oft bei 50 Personen in einem virtuellen Raum liegt. Um das volle immersive Meeting-Erlebnis zu haben, ist eine VR-Brille nötig. Die meisten Tools erlauben aber auch, im Browser von Notebook oder PC teilzunehmen.

Darüber hinaus erfordern VR-Meetings neue Vortragskonzepte. Eine einfache 2D-PowerPoint-Präsentation in einer virtuellen Umgebung ist nicht das Non-Plus-Ultra. Stattdessen müssen Präsentationen und Vorträge speziell für die immersive VR-Erfahrung konzipiert werden. Dies kann interaktive 3D-Modelle, virtuelle Whiteboards und andere innovative Präsentationstechniken umfassen, die die Teilnehmenden aktiv einbeziehen und die Inhalte auf eine völlig neue Weise vermitteln.

## 6.7 Virtuelle Veranstaltungen und Konzerte

Mehrwert	Veranstaltungen ohne Notwendigkeit zur Anreise   Zusammen Erlebnisse generieren, obwohl sowohl Künstlerinnen und Künstler als auch das Publikum geografisch verstreut sein können
Relevante Branchen	Konzert- und Veranstaltungsbranche
Technische Voraussetzungen	VR-Brillen mit WiFi-Streaming und Audiowiedergabe
Reifegrad (Forschung, PoC, marktfähig)	Marktfähig
Implementierungsaufwand (Lösung von Stange ready to use/Anpassung vor Ort nötig)	Ready to use in der Basisanwendung, mit Optionen zur Personalisierung

Ein Metaverse-Szenario ist der Besuch von virtuellen Konzerten, bei denen ein oder mehrere Nutzende die Darbietungen einer Künstlerin oder eines Künstlers virtuell miterleben können. Diese Darbietungen können voraufgezeichnet, live bzw. gestreamt oder vollständig virtuell in Echtzeit produziert sein.



Abbildung 16: Beispiel für ein virtuelles Klubkonzert. (Abbildung: Fraunhofer IIS)

Eine Konzertbesucherin oder ein Konzertbesucher kann sich im virtuellen Veranstaltungsort mit allen sechs Freiheitsgraden (6DOF) frei bewegen und den Klang von verschiedenen Positionen erleben. Weiterhin ist es auch möglich, die Bühne oder den Orchestergraben zu betreten und sich zwischen den Musikerinnen und Musikern zu bewegen. Das Publikum kann auf die Künstlerin oder den Künstler reagieren, indem es beispielsweise (virtuell) klatscht, verbales Feedback gibt oder auch auf andere Arten reagiert. Alles wird aber so wiedergegeben, dass es sich natürlich in die Akustik des Veranstaltungsortes integriert. Interaktion und Kommunikation mit anderen Besuchenden sind ebenfalls möglich, zum Beispiel durch Gespräche, gemeinsames Klatschen oder Tanzen (was durch den Avatar dargestellt wird).

Als Künstlerin oder Künstler ist es möglich, wie bei einem traditionellen Konzert, mit dem Publikum zu interagieren und es zu animieren (zum Beispiel durch gemeinsames Klatschen und Singen), aber auch selbst (akustisches) Feedback als Reaktion des Publikums in Echtzeit zu erhalten. Darüber hinaus können Künstlerinnen und Künstler, die sich nicht am selben physikalischen Ort befinden, gemeinsam virtuell auftreten. Die Akustik des virtuellen Raumes kann frei angepasst werden. So lässt sich beispielsweise die Akustik eines berühmten Konzertsaals oder auch die eines künstlichen und real nicht existierenden Raumes simulieren.

## 6.8 Ein neuer Marketing- & Vertriebskanal

Mehrwert	Produkte können unabhängig von ihrer Größe von überall, jederzeit realitätsnah individuell erlebt werden   Auf Wunsch kann zusätzlich parallel zur immersiven Ansicht eine virtuelle Beratung integriert werden
Relevante Branchen	Automobil- & Konsumgüterindustrie
Technische Voraussetzungen	Endnutzerseite: Ein Endgerät zur Wiedergabe immersiver Inhalte zum Beispiel eine MR-Brille oder als Einstieg ein Smartphone zur Ausgabe als AR-Modell   Unternehmen: Bereitstellung einer MR-/AR-Applikation mit einer Auswahl der Produktpalette sowie ggf. Konfigurationsoptionen
Reifegrad (Forschung, PoC, marktfähig)	PoC
Implementierungsaufwand (Lösung von Stange ready to use/Anpassung vor Ort nötig)	Die wesentlichen Bausteine der Lösung, wie benötigte Hardware oder CAD-Daten der Produkte, sind bereits vorhanden. Dennoch muss je nach Anforderung die Lösung auf die gewünschte Zielgruppe und entlang der Wertschöpfungskette angepasst werden.

Im Bereich der Adoption von Metaverse-Anwendungsfällen zeichnen sich aktuell verschiedene Kernbereiche als besonders vielversprechend ab. Innovatives Marketing und erweiterte Kundenkanäle, um Endnutzerinnen und Endnutzer zu erreichen, sind eine wesentliche Transformation. Diese neuen Möglichkeiten motivieren Unternehmen, innovative Technologien wie Virtual Reality (VR) und Augmented Reality (AR) zu nutzen.

Ein erstes Beispiel für diesen Wandel zeigt das Automobilunternehmen CUPRA. Gemeinsam mit Partnern hat CUPRA das vollelektrische Fahrzeug CUPRA Born in einer Mixed-Reality-Anwendung umgesetzt. Durch den Einsatz von MR können Kundinnen und Kunden überall flexibel das Fahrzeug in seiner realen Größe erleben. Zukünftig kann das Erlebnis durch weitere Funktionen wie eine virtuelle Beratung oder Konfigurationsmöglichkeiten erweitert werden.

Die Anwendung kann sowohl über eine MR-Brille als auch in AR via Smartphone erlebt werden. Insgesamt verdeutlicht die Applikation das Potenzial von XR-Technologien, Produkte innovativ zu präsentieren und Kunden erlebbar zu machen.



Abbildung 17: Gemeinsames Begutachten mit Headset in MR.



Abbildung 18: Visualisierung des Autos via AR am Smartphone.



Abbildung 19: VR-Fahr-Experience im Fahrzeug.

## Planen, visualisieren & entscheiden

### 6.9 Digitaler Zwilling Nordrhein-Westfalen

Mehrwert	Intuitiver Zugang in 3D zu öffentlichen Daten des Bundeslandes NRW (bzw. geschlossener Daten beim Digitalen Zwilling Gefahrenabwehr für den Katastrophenschutz)
Relevante Branchen	Public Sector
Technische Voraussetzungen	Browser oder Integration über I3S
Reifegrad (Forschung, PoC, marktfähig)	Operativ
Implementierungsaufwand (Lösung von Stange ready to use/Anpassung vor Ort nötig)	Digitaler Zwilling NRW (und Digitaler Zwilling Gefahrenabwehr) seit 09/2024 operativ und unter dz.nrw.de öffentlich verfügbar   Daten und Dienste können über Open.NRW auch in eigene Anwendungen integriert werden.

Als erstes Flächenland stellt seit 2024 Nordrhein-Westfalen allen Interessierten einen großräumigen Digitalen Zwilling bereit. Er wurde durch Befliegungen erfasst und ist in Form eines 3D-Oberflächenmodells einfach integrierbar. Als Open Data steht er zur freien Nutzung, als Schnittstelle dient der OGC Community Standard I3S. Das 3D-Datenprodukt dient zudem als Grundlage für weitere Fachzwillinge, welche sich in aktiver Entwicklung befinden.

Der Digitale Zwilling Gefahrenabwehr NRW ist ein 2023 gestartetes Vorhaben des Ministeriums des Innern des Landes Nordrhein-Westfalen in enger Kooperation mit IT.NRW, GeoBasisNRW und con terra. Er unterstützt die landesweite Bekämpfung von Gefahren aus Luft, Wasser, Erde und Feuer und steht NRW-weit auch allen Kommunen zur Verfügung.





Abbildung 20: Die Stadt Köln im Digitalen Zwilling von Nordrhein-Westfalen.

Kernmerkmale und Nutzen dieses digitalen Zwillings sind:

- realitätsnahes dreidimensionales digitales Modell von NRW
- für Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS)
- nach Bedarf sortierte verwaltungsübergreifende Geodaten zu Erde, Feuer, Wasser, Luft
- Unterstützung bei Planung/Begleitung/Nachbereitung
- für Zwecke des Brandschutzes, der Hilfeleistung und des Katastrophenschutzes
- bedarfsgerechter Viewer auf Basis von map.apps
- einfache Anwendungen zur Nutzung der Geodaten und Dienste

Das Projekt wurde im September 2024 produktiv geschaltet.

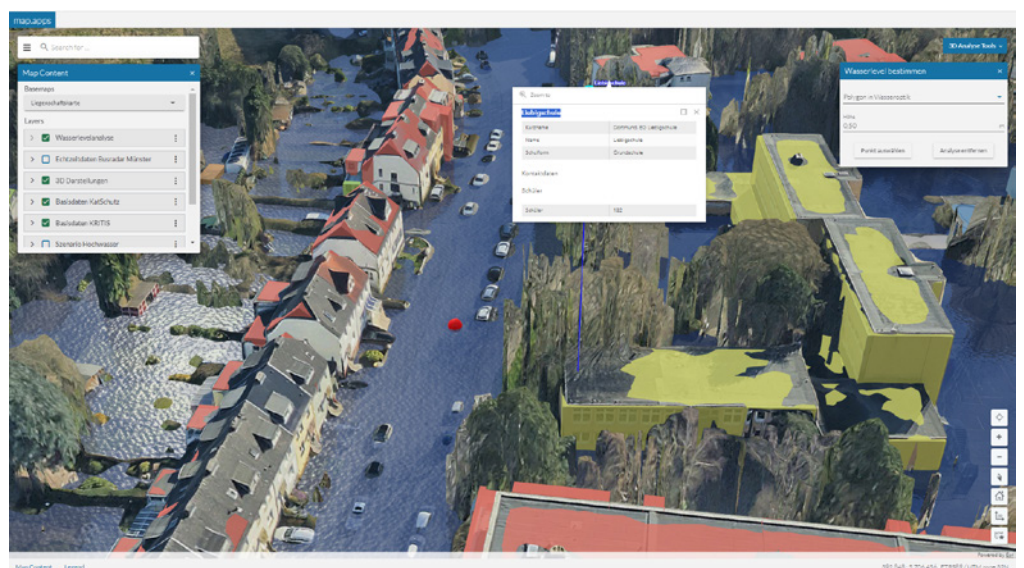


Abbildung 21: Im realitätsnahen dreidimensionalen Modell lassen sich Ereignisse wie Hochwasser simulieren.

## 6.10 Öffentlichkeitsarbeit und Entscheidungshilfe bei Großbauprojekten: Stuttgart 21

Mehrwert	Öffentlichkeitsarbeit & Entscheidungshilfe
Relevante Branchen	Bau
Technische Voraussetzungen	Plandaten, CAVE/Desktop
Reifegrad (Forschung, PoC, marktfähig)	marktfähig
Implementierungsaufwand (Lösung von Stange ready to use/Anpassung vor Ort nötig)	Individuallösung

Der Einsatz digitale Zwillinge bei Großbauprojekten im Metaverse bietet zahlreiche Vorteile. Durch die Möglichkeit, virtuelle Simulationen in Echtzeit durchzuführen, können Kosten gesenkt, Risiken minimiert und die Effizienz gesteigert werden. Darüber hinaus ermöglichen digitale Zwillinge eine bessere Zusammenarbeit zwischen den Projektbeteiligten. Außerdem verbessern sie die Kommunikation während des gesamten Bauprozesses, sowohl intern als auch extern.

Gerade bei Großbauprojekten ist die transparente Kommunikation mit Bürgerinnen und Bürgern essenziell, wie das Bahnprojekt Stuttgart-Ulm/Stuttgart 21 gezeigt hat. Nach anfänglichem Widerstand zählt die Öffentlichkeitsarbeit des Projekts mittlerweile zu den Aushängeschildern der Deutschen Bahn. In einem dafür eigens gebauten Infoturm neben den Gleisen wird rund um den Bahnhof informiert. Dabei kommt der digitale Zwilling des künftigen Stuttgarter Hauptbahnhofs gleich mehrfach in Mixed- und Virtual-Reality-Anwendungen zum Einsatz, welche die Bürgerinnen und Bürger spielerisch und anschaulich informieren. Die verschiedenen Installationen wurden von den Firmen Plan B, CDM Tech und Lightshape ausgeführt. Dazu zählt unter anderem eine mehrwandige Cave-Installation (Cave Automatic Virtual Environment), bei welcher die Nutzerin und der Nutzer mittels eines Joysticks und einer virtuellen Drohne das vollständige Areal sowohl ober- als auch unterirdisch in seinem finalen Zustand begehen und erleben kann. Das Besondere bei der Cave ist, dass sich die Besucher gemeinsam auf Erkundungstour begeben, ohne isoliert eine VR-Brille nutzen zu müssen. Das Areal ist belebt mit Zügen, die aus- und einfahren, sowie mit virtuellen Menschen, die bereits das Gefühl von Geschäftigkeit vermitteln.



Abbildung 22: In einer CAVE kann der Bahnhof in seinem finalen Zustand erlebt werden.

Der digitale Zwilling des Hauptbahnhofs wird aber nicht nur in der Öffentlichkeitsarbeit mehrfach genutzt, sondern auch von den Planern, um Sichtbezüge und Weggeleitsysteme zu überprüfen.

In einer Welt, die sich unaufhaltsam in Richtung einer digitalen Zukunft bewegt, werden digitale Zwillinge eine Schlüsselrolle bei der Gestaltung unserer gebauten Umgebung spielen. Von der Planung bis zur Fertigstellung werden sie dazu beitragen, innovative und nachhaltige Lösungen zu entwickeln, die die Grenzen des Möglichen neu definieren.

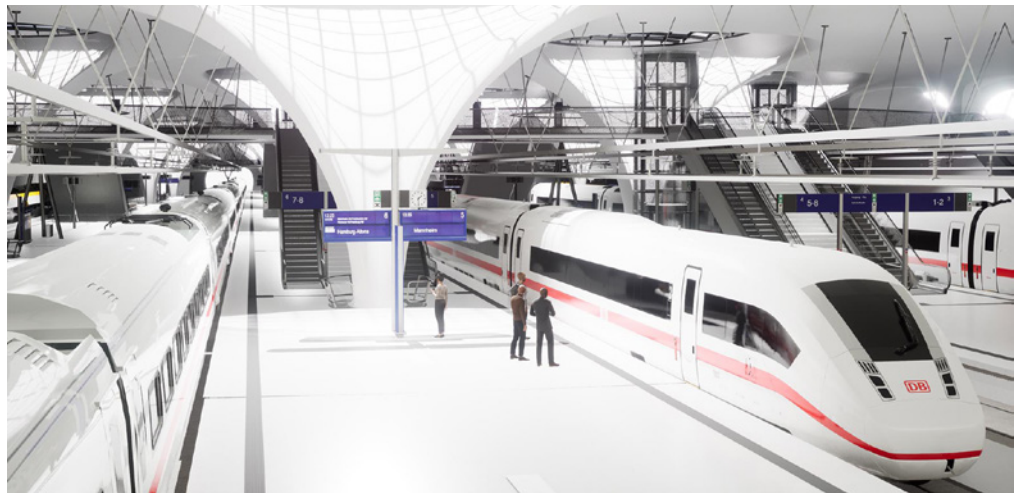


Abbildung 23: Die Visualisierung dient sowohl der Öffentlichkeitsarbeit als auch den Planerinnen und Planern.

## 6.11 Immobilienvisualisierung auf Basis von BIM-Daten

Mehrwert	Kommunikationsoptimierung im Bauprozess   Simulation von Ausstattung und Einrichtung   Vertriebs erleichterung
Relevante Branchen	Bau- und Immobilienbranche, Facility-Management
Technische Voraussetzungen	Beliebige Endgeräte, XR-Headset für maximale Immersion, BIM-Daten
Reifegrad (Forschung, PoC, marktfähig)	Marktfähig
Implementierungsaufwand (Lösung von Stange ready to use/Anpassung vor Ort nötig)	Ready to use, Anpassungsaufwand abhängig von Datenqualität und gewünschtem Detailgrad

Die Visualisierung und Simulation von Immobilien auf Basis von BIM-Daten (Building Information Modeling) in Virtual Reality (VR) oder Mixed Reality (MR) ist ein fortschrittliches Werkzeug, das den gesamten Lebenszyklus eines Bauprojekts optimieren kann. Die Technologie bietet eine realitätsnahe und detailgetreue Darstellung von Bauprojekten, die eine Vielzahl von Vorteilen im Planungs-, Bau- und Vermarktungsprozess eröffnet. Die immersive Darstellung von Gebäudemodellen in VR oder MR

ermöglicht Architektinnen und Architekten, Ingenieurinnen und Ingenieuren sowie Bauträgerinnen und Bauträgern, verschiedene Entwürfe und Konstruktionsdetails in einer realistischen Umgebung zu erleben. So können potenzielle Planungsfehler frühzeitig erkannt und korrigiert werden, bevor kostenintensive physische Bauarbeiten beginnen.



Abbildung 24: Die immersive Darstellung ermöglicht, verschiedene Entwürfe und Konstruktionsdetails zu erleben. (Abbildung: adesso mobile solutions)

Die 3D-Visualisierung erleichtert die Kommunikation zwischen allen an einem Bauprojekt Beteiligten, inklusive der Kundinnen und Kunden. Die gemeinsame Betrachtung des 3D-Modells in einer virtuellen Umgebung reduziert Missverständnisse und beschleunigt Entscheidungsprozesse. Die Möglichkeit, verschiedene Szenarien und Bauphasen mit BIM-Daten in VR oder MR durchzuspielen, macht die Projektplanung und -entwicklung präziser und nachhaltiger. Die Simulationen optimieren den Bauablauf und dienen der effizienteren Nutzung von Ressourcen.



Abbildung 25: Die gemeinsame Betrachtung in einer virtuellen Umgebung reduziert Missverständnisse und beschleunigt Entscheidungsprozesse. (Abbildung: adesso mobile solutions)

Potenzielle Käuferinnen und Käufer oder Mieterinnen und Mieter haben die Möglichkeit, die betreffende Immobilie virtuell zu begehen und sich mit deren endgültigem Erscheinungsbild vertraut zu machen. Diese Darstellungsform ist überzeugender als herkömmliche 2D-Pläne oder statische 3D-Renderings und kann dazu beitragen, den Verkaufs- oder Vermietungsprozess zu beschleunigen. Bauarbeiterinnen und Bauarbeiter und andere Fachkräfte können in einer sicheren virtuellen Umgebung geschult werden, wodurch das Risiko von Unfällen auf der Baustelle reduziert wird. Darüber hinaus können Sicherheitsprotokolle und -maßnahmen in der VR-Umgebung realitätsnah simuliert und trainiert werden.



Abbildung 26: Unterschiedliche Planungsvarianten lassen sich direkt erleben. (Abbildung: adesso mobile solutions)

Die Kombination von BIM-Daten mit VR- und MR-Technologie stellt somit eine leistungsfähige Methode dar, um den Bauprozess effizienter, sicherer und wirtschaftlicher zu gestalten. Die innovative Technologie ermöglicht es, die Lücke zwischen digitaler Planung und physischer Umsetzung zu schließen, und bietet zahlreiche Vorteile für alle Beteiligten in der Bau- und Immobilienbranche. Die von adesso mobile solutions entwickelte Anwendung läuft auf verschiedenen XR-Headsets sowie auf Smartphones und Tablets und bildet damit unterschiedliche stationäre und mobile Nutzungsszenarien ab.

## 6.12 Visualisierung von Energieinfrastrukturprojekten

Mehrwert	Verbesserte Stakeholder-Beteiligung   beschleunigte Genehmigungsprozess   erhöhte Planungsgenauigkeit bei Projektierung und Umsetzung
Relevante Branchen	Energiewirtschaft, Anlagenbau, Immobilien
Technische Voraussetzungen	Apple iPad/Vision Pro, GIS-Daten
Reifegrad (Forschung, PoC, marktfähig)	Marktfähig
Implementierungsaufwand (Lösung von Stange ready to use/Anpassung vor Ort nötig)	Hochgradig modularisiert, ready to use mit minimalem Anpassungsaufwand

Die Anwendung REVisAR der EnBW revolutioniert die Visualisierung von Windenergieanlagen und Energieinfrastruktur. Mit dynamischen und interaktiven Darstellungen, die weit über die Möglichkeiten von klassischen Fotomontagen hinausgehen, ermöglicht REVisAR die Darstellung komplexer Projekte wie Ladeparks und Photovoltaikparks aus verschiedenen Perspektiven und bei unterschiedlichen Lichtverhältnissen. REVisAR wurde gemeinsam mit dem Fachbereich in der EnBW-IT für das iPad entwickelt und zeigt im App Store einen technischen Ausblick auf eine Apple-Vision-Pro-Umsetzung. REVisAR nutzt Spatial-Computing-Technologie, um virtuelle Modelle direkt in die reale Umgebung einzufügen. Dieser technologische Fortschritt ermöglicht eine nahtlose Integration in das entstehende Metaverse. Das verbessert die Bürgerbeteiligung und unterstützt Genehmigungsprozesse durch schnelle und realitätsnahe Visualisierungen.



Abbildung 27: Introscreen der Anwendung REVisAR. (Abbildung: EnBW)

Diese innovative Technologie hilft nicht nur bei der Planung und Entwicklung, sondern auch bei der Kommunikation und öffentlichen Darstellung der Projekte. Projektentwicklerinnen und -entwickler, Planerinnen und Planer und die interessierte Öffentlichkeit können sich mit REVisAR ein genaues Bild vom geplanten Aussehen der Anlagen machen. Durch die Anpassung an die aktuellen Wetterbedingungen und Tageszeiten kann REVisAR die visuelle Wirkung der Anlagen unter realistischen Bedingungen simulieren. Dies ist besonders in frühen Planungsphasen wichtig, in denen visuelle Aspekte eine entscheidende Rolle bei der Genehmigung und Akzeptanz von Projekten spielen können.



Abbildung 28: Die Anwendung erlaubt ein genaues Bild der geplanten Windkraftanlagen. (Abbildung: EnBW)

Darüber hinaus ermöglicht REVisAR eine verbesserte Zusammenarbeit zwischen den verschiedenen Akteuren. Durch die Bereitstellung einer einheitlichen und klaren visuellen Plattform werden Missverständnisse reduziert und die Effizienz von Besprechungen und Präsentationen erhöht. Die Integration dieser Technologie in moderne Headsets wie die Apple Vision Pro ermöglicht es Entscheidungsträgerinnen und Entscheidungsträgern und den Stakeholdern, geplante Anlagen in ihrer geplanten Umgebung zu sehen, ohne physisch vor Ort sein zu müssen.



Abbildung 29: Die Kartenansicht erleichtert die geografische Einordnung der Visualisierung. (Abbildung: EnBW)

Insgesamt stellt REVisAR sowohl in der Umsetzung auf dem Apple iPad als auch in der Erweiterung für Apple Vision Pro einen bedeutenden Fortschritt in der Spatial-Computing-Technologie dar, der nicht nur die Art und Weise der Darstellung und Bewertung von Projekten im Bereich der erneuerbaren Energien verbessert, sondern auch ein Beispiel für die Anwendung moderner Technologien bei der Planung und Realisierung von Energieinfrastrukturprojekten darstellt. Durch die Integration in das Metaverse wird diese Technologie in Zukunft noch breitere Anwendung finden und neue Formen der Interaktion und Zusammenarbeit in virtuellen Welten ermöglichen.

## 6.13 Digitaler Zwilling einer Logistikimmobilie

Mehrwert	Visuelle und immersive Eindrücke bereits vor dem Bau   Unterstützung bei der Bauplanung
Relevante Branchen	Real Estate
Technische Voraussetzungen	Ausreichende Dokumentation zur Erstellung des 3D-Modells (digitale Abbildung des Lagers mit realistischen Proportionen)   Grafik Engine, welche das Lager begebar und interaktiv macht   VR-Headset oder Webbrowser, je nach Ausgestaltung.
Reifegrad (Forschung, PoC, marktfähig)	PoC
Implementierungsaufwand (Lösung von Stange ready to use/Anpassung vor Ort nötig)	Individuallösung; Implementierungsaufwand moderat bis hoch, je nach gewünschtem Detailgrad

Im Rahmen eines Projekts hat GARBE gemeinsam mit Partnern einen digitalen Zwilling eines Bauprojekts realisiert. Bei der Immobilie handelt es sich um eine reine Holzbau-Logistikhalle, welche die neuesten Standards erfüllt. Der digitale Zwilling der Immobilie fungiert als zusätzliches Marketing-Tool, um zukünftige Bauprojekte bereits in der Planungsphase virtuell für Kundinnen und Kunden begehbar zu machen. Die Visualisierung des Projekts in einer immersiven Umgebung ermöglicht es Kundinnen und Kunden, das Bauprojekt im Detail kennenzulernen und Investitionsentscheidungen besser zu treffen.



Abbildung 30: Blick auf die Visualisierung der Lagerhalle.

Für eine verbesserte Zugänglichkeit ist der digitale Zwilling in diesem Fall nicht nur über ein VR-Headset erreichbar, sondern auch über den Webbrowser. Darüber hinaus kann der Prototyp die Möglichkeit bieten, Baufortschritte in der Zukunft in Echtzeit virtuell zu verfolgen, was zu einem effizienteren Projektmanagement führen kann. Zusammengefasst bietet die VR-Technologie der Immobilienbranche neue Chancen, indem sie die Art und Weise, wie Bauvorhaben geplant, präsentiert und umgesetzt werden, revolutioniert.



Abbildung 31: In der virtuellen Umgebung sind Informationen zum physischen Objekt hinterlegt.





Abbildung 32: Das Objekt ist bereits in der Planungsphase virtuell begehbar.

## Industrial Metaverse

### 6.14 Industrial Metaverse zur Optimierung bestehender Fabrikanlagen: Siemens Gerätewerk Erlangen

Mehrwert	Risiko-, Aufwandsminimierung   kürzere Hochlaufzeiten   Invest-Optimierung   Kostenreduktion   Ressourcenoptimierung
Relevante Branchen	Produzierende Industrie (diskrete Fertigung)
Technische Voraussetzungen	Einheitliches Datenmanagementsystem, Schnittstellen zu CAD-Layout-Software, 3D-Scan-Tool, VR-Anbindung
Reifegrad (Forschung, PoC, marktfähig)	Marktfähig
Implementierungsaufwand (Lösung von Stange ready to use/Anpassung vor Ort nötig)	Ready to use mit empfohlenem Software-Paket möglich, ansonsten Schnittstellenanpassungen notwendig

Mit einer Investition von 500 Millionen Euro entwickelt Siemens den Standort Erlangen zu einem globalen Forschungs- und Entwicklungszentrum für das Industrial Metaverse. Diese strategische Investition zielt darauf ab, das Wachstum zu beschleunigen, Innovationen voranzutreiben, die Widerstandsfähigkeit zu stärken und die Nachhaltigkeitsbemühungen zu intensivieren.



Abbildung 33: Blick auf den Siemens-Standort Erlangen.

Das Industrial Metaverse ermöglicht die virtuelle Zusammenarbeit von Menschen und Technologie zur Lösung konkreter Probleme. Das Gerätewerk in Erlangen (GWE) fungiert dabei als Prototyp und zeigt den Mehrwert auf, den das Industrial Metaverse für bereits installierte Fabrikanlagen (Brownfield) bieten kann. Das Industrial Metaverse befindet sich noch in den Anfangsstadien, wobei Siemens derzeit Pilotprojekte durchführt und dabei in enger Zusammenarbeit mit Partnern eine steile Lernkurve durchläuft.

Die verschiedenen Anwendungsbereiche des Industrial Metaverse ermöglichen es, den Betrieb zu optimieren, Effizienz zu steigern und sich besser an Marktveränderungen anzupassen.

Der hier vorgestellte Anwendungsfall zeigt die Anwendung kollaborativer und immersiver 3D-Layoutplanung in einem Brownfield-Szenario. Konkret geht es um ein 30 Jahre altes Materialfluss- und Produktionslayout mit bestehenden Restriktionen. Das Ziel besteht darin, dieses Layout zu transformieren und dabei Risiken und Unterbrechungen zu minimieren. Das Industrial Metaverse spielt dabei eine entscheidende Rolle, Kommunikation und Planungsaufwand effizient zu gestalten.

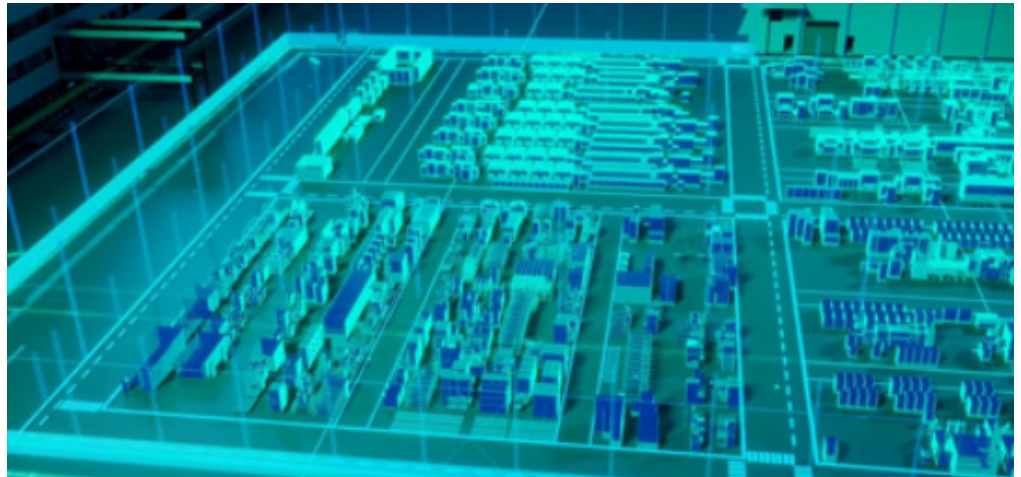


Abbildung 34: Der Digitale Zwilling ermöglicht die Simulation und Optimierung von Prozessen im Voraus.

Zuerst wird durch umfassende 3D-Scans der Produktionsfläche ein genaues Abbild des aktuellen Zustands erstellt. Dies bildet die Grundlage für die Erstellung eines digitalen Zwillings. Während der digitalen Planung des neuen Layouts können Expertinnen und Experten und Stakeholder mithilfe von virtueller Realität (VR) einen Einblick in die zukünftige Fabrik erhalten und diese validieren. Ihre eingehende Analyse hilft dabei, bereits vor dem Umbau potenzielle Probleme oder Verbesserungen zu identifizieren, die berücksichtigt werden müssen.

Damit ermöglicht der Digitale Zwilling die Simulation und Optimierung von Prozessen im Voraus. Durch die realitätsnahe Simulation verschiedener Szenarien kann die Effizienz und Effektivität unterschiedlicher Layouts bewertet und können potenzielle Engpässe identifiziert werden.

Insgesamt sind die Vorteile dieses Industrial-Metaverse-Anwendungsfalls signifikant. Durch die virtuelle, gemeinsame Validierung und Optimierung von Layouts können Unternehmen Zeit, Kosten und Ressourcen im Transformationsprozess reduzieren. Dies führt zu kürzeren Hochlaufzeiten, reduziertem Planungsaufwand und reduzierten Non-Konformitätskosten. Darüber hinaus bietet der Einsatz des Industrial Metaverse in der 3D-Layoutplanung die Möglichkeit der Investioptimierung und durch optimierten Ressourceneinsatz auch positive Nachhaltigkeitseffekte.

## 6.14 Industrial Metaverse in der Automobilbranche

Mehrwert	Produktion im Industrial Metaverse führt zu resilienter Fabrik, spart Kosten und steigert die Effizienz
Relevante Branchen	Verarbeitendes Gewerbe
Technische Voraussetzungen	Vernetzte Produktionsumgebung, handelsübliche Computer oder Cloud-Umgebung mit entsprechender Grafikerunterstützung
Reifegrad (Forschung, PoC, marktfähig)	Marktfähig
Implementierungsaufwand (Lösung von Stange ready to use/Anpassung vor Ort nötig)	Ready to use, IT-OT-Konvergenz, Online-Konfiguration

Die BMW Group hat gemeinsam mit Ascon Systems in seinem Innovation Hub in Dingolfing getestet, mit welchen Zukunftstechnologien sich die Fabrik der Zukunft im Industrial Metaverse umsetzen lässt. Die Fragen zu Beginn: Wie sollte die Fabriksteuerung gestaltet sein, dass sie künftig die Produktion durch digitale Zwillinge live monitoren und steuern kann? Wie kann im Industrial Metaverse die Visualisierung von realen Anlagenpositionen, von Maschinenstatus und Prozessparametern live erfolgen? Lassen sich mögliche Zukünfte simulieren und so testen, dass das wiederholte Durchspielen verschiedener Szenarien, Visionen und Ereignisse zu Erkenntnissen über Verbesserungspotenziale in den Produktionsabläufen führt?



Abbildung 35: BMW-Testanlage eines Montagesystems mit Werkstückträgern und einer automatisierten Verkettung von mehreren Montage- und Prüfstationen.

Für die Testphase wurde im BMW Innovation Hub ein Montagesystem mit Werkstückträgern und einer automatisierten Verkettung von mehreren Montage- und Prüfstationen nachgebaut. Die Prozesssteuerung der Anlage wurde mit der Low-Code-Automatisierungsplattform Ascon Qube mittels digitaler Zwillinge virtuell abgebildet. Sie werden direkt als IT-Services ausgeführt, steuern die reale Anlage und setzen so eine Software-definierte Produktion um. Zudem stellen sie umfassende Informationen zu Produktionsprozessen und Produktrealisierungen unternehmensweit zur Verfügung.



Abbildung 36: Blick in die Anwendung, Live-Visualisierung der Anlage im Industrial Metaverse.

Im nächsten Schritt hat Ascon Systems diese simulierte Produktionslinie ins Industrial Metaverse überführt. Zur Visualisierung wurde die 3D-Plattform NVIDIA Omniverse angebunden. Damit kann BMW aktuelle Materialflüsse sowie Anlagenzustände und den Produktionsfortschritt in der virtuellen Umgebung live und von jedem Ort der Welt mitverfolgen, optimieren und ändern oder auch Replays für X-in-the-Loop-Simulationen fahren. Diese Kopplung ermöglichte es BMW ferner, Probleme und Fehler beim Aufbau von Anlagen frühzeitig zu erkennen und zu vermeiden.

Drei Beispiele für Lösungen, die so im Industrial Metaverse entstanden sind:

- **Kollaboration:** Alle Mitarbeitenden arbeiten mit denselben Informationen. Sie können den wirklichen Wertstrom in ihrer Fabrik beobachten und erhalten Informationen – angereichert mit Daten aus ERP- und MES-Maintenance- und anderen Systemen – im Prozesskontext und mit Realitätsbezug.
- **Anywhere:** Ob vor Ort oder von Remote – die Daten aus der realen Fertigung werden überall auf der Welt angezeigt und Mitarbeitende müssen nicht mehr am Ort der Fabrik sein.
- **Intuitive Bedienung:** Alle Daten werden über eine grafische Oberfläche auf dem Tablet oder dem Rechner in einem klaren Design und einer intuitiven Bedienung angezeigt.



Abbildung 37: Verbindung des virtuellen mit dem realen Shopfloor. ↗ Weitere Eindrücke bietet dieses Video.

Für BMW war der Test, den realen Shopfloor mit dem virtuellen Industrial Metaverse zu verbinden, ein voller Erfolg. Die Ergebnisse zeigen, wie tägliche Arbeitsschritte in Planung und Steuerung durch die Kombination von neuen Technologien zu einer resilienten Fabrik führen, in der Prozesse ressourcenschonend, weltweit vernetzt und maximal flexibel umgesetzt werden können. Die Fabrik im Industrial Metaverse ist flexibel, sie kann skalieren und sie ist in allen Ebenen effizienter. BMW und Ascon Systems arbeiten jetzt am Rollout der Lösungen in den BMW-Werken.

## 6.14 Simulation, Evaluierung und Training

Mehrwert	Optimierung von Planungsprozessen   Benchmarking
Relevante Branchen	Prozessindustrie, Maschinenbau
Technische Voraussetzungen	Beliebige Endgeräte, XR-Headset für maximale Immersion, CAD-Daten
Reifegrad (Forschung, PoC, marktfähig)	Marktfähig für Basiskomponenten
Implementierungsaufwand (Lösung von Stange ready to use/Anpassung vor Ort nötig)	Basiskomponenten ready to use, Anpassungsaufwand abhängig von den zu simulierenden Zielsystemen

Der 4OPMC-Normling stellt ein umfassendes, standardisiertes Evaluierungsinstrument dar, welches in Zusammenarbeit mit der adesso SE zur Bewertung und Vergleichbarkeit von industriellen Prozessen und Dienstleistungen entwickelt wurde. Die Masterinitiative Benchmark des 4.OPMC e.V. – einer Interaktionsgruppe von Entscheidungsträgerinnen und Entscheidungsträgern und technischen Anlagenbetreibern – hat sich der Frage gewidmet, wie ein unternehmensübergreifender Benchmark in der Zukunft aussehen kann und wie er aussagekräftig abgebildet werden kann.



Abbildung 38: Blick in die VR-Anwendung. (Abbildung: adesso mobile solutions)

Das Benchmarking-Tool ermöglicht es Unternehmen, ihre Prozesse effizient zu bewerten, Schwachstellen zu identifizieren und Verbesserungspotenziale zu erkennen. Der Normling basiert auf der DIN SPEC 77221 und dient als Grundlage, um durch einheitliche Standards eine höhere Effizienz und Qualität in der Produktion und Instandhaltung zu erreichen. Der Normling fördert den Austausch bewährter Verfahren und unterstützt die Integration innovativer Technologien in industrielle Abläufe.

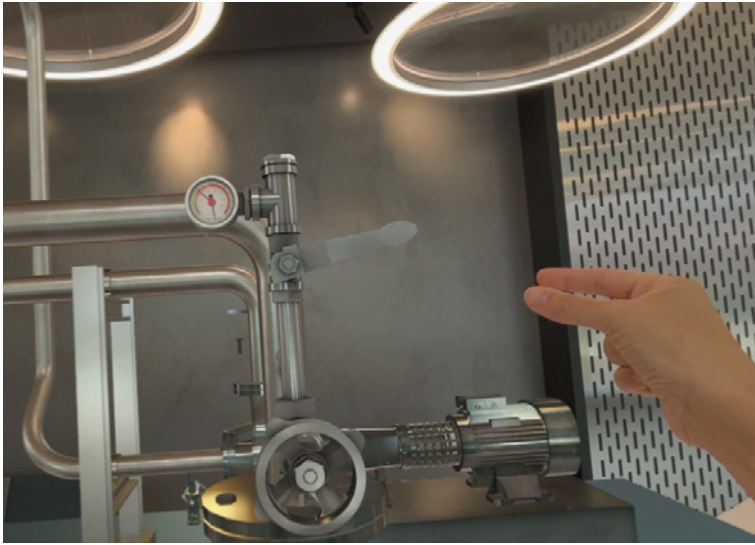


Abbildung 39: Bedienung des Normlings in VR via Gesten. (Abbildung: adesso mobile solutions)

Die Verwendung des 4OPMC-Normlings ermöglicht es Unternehmen, ihre Leistung auf objektive Weise zu messen und sich mit anderen Marktteilnehmern zu vergleichen. Dies fördert die kontinuierliche Verbesserung und unterstützt Unternehmen dabei, ihre Wettbewerbsfähigkeit zu steigern. Der Normling stellt somit ein wesentliches Instrument für Unternehmen dar, die in einer zunehmend globalisierten und technologisch fortschrittlichen Industrieumgebung bestehen möchten.

## Lehren & lernen

### 6.15 Berufsschul Ausbildung

Mehrwert	Verbesserte Ausbildungsqualität   Steigerung des Selbstvertrauens   Effizienzsteigerung   standardisierte Ausbildung   nahtlose Integration von Theorie und Praxis in der Ausbildung
Relevante Branchen	Bildungseinrichtungen
Technische Voraussetzungen	Verfügbarkeit von hochwertigen XR-Kit-Komponenten und entsprechender Software. Qualitätsprüfung und Training zur kontinuierlichen Erweiterung der XR-Softwarebibliothek
Reifegrad (Forschung, PoC, marktfähig)	Marktfähig
Implementierungsaufwand (Lösung von Stange ready to use/Anpassung vor Ort nötig)	Ready-to-use-Software wird kuratiert, was einen hohen Aufwand bedeutet

Bildungseinrichtungen in Flandern (Belgien) stehen vor der Herausforderung, praxisnahe Lernerfahrungen für Schülerinnen und Schüler in verschiedenen Ausbildungsberufen zu ermöglichen. Traditionelle Unterrichtsmethoden stoßen an Grenzen, wenn es

darum geht, theoretisches Wissen in praktische Fähigkeiten umzusetzen. Die Einführung von XR-Technologie bietet eine Lösung.

Im September 2023 startete das Regionale Technologische Zentrum (RTC) in Flandern im Rahmen des XR-Aktionsplans einen XR-Verleihdienst, der es 150.000 Schülerinnen und Schülern ermöglicht, XR-Technologie für immersive Lernerfahrungen in verschiedenen Branchen zu nutzen. VR Expert stellte 1.000 Pico 4 Enterprise-Headsets für 250 XR-Kits zur Verfügung, die an 690 Schulen verteilt wurden. Diese Kits ermöglichen es den Schülerinnen und Schülern, die Kluft zwischen Theorie und Praxis zu überbrücken.



Abbildung 40: Basis des Lernens in VR ist eine umfangreiche Bibliothek mit Bildungs-XR-Software.

Ziel ist es, XR-Training und Ressourcen für 30 verschiedene Branchen bereitzustellen, was einzelne Schulen möglicherweise nicht aus eigener Kraft hätten finanzieren können. Dies ermöglicht es den Berufsschulen, einen nahtlosen Übergang von Theorie zur Praxis zu erleichtern.

Das RTC baut auf dieser technologischen Grundlage eine umfangreiche Bibliothek mit Bildungs-XR-Software auf, die auf den Headsets hochgeladen und von den Schulen genutzt werden kann. Alle Software wird vom RTC getestet, um sicherzustellen, dass hauptsächlich Inhalte mit Bildungswert in der Sammlung enthalten sind. Die Schulen werden durch die XR Academy geschult, um das XR-Kit und die Inhaltsbibliothek effektiv zu nutzen.

Die Implementierung des XR-Aktionsplans integriert XR-Technologie effektiv in den technischen und berufsbildenden Schulen in Flandern. Die Schüler profitieren von immersiven Lernerfahrungen, die ihre theoretischen Kenntnisse in praktischen Anwendungen vertiefen. Die Initiative trägt dazu bei, die Schülerinnen und Schüler besser auf die Anforderungen des modernen Arbeitsmarktes vorzubereiten.





Abbildung 41: Schüler beim Lernen in VR.

## 6.16 Bildungssystem Nordwest Metaverse

Mehrwert	Räumlich unabhängige B2B- und B2C-Veranstaltungen mit Multi-Player-Interaktionen und verortetem Ton   Flexible Anpassung der Inhalte
Relevante Branchen	Bildungseinrichtungen, Unternehmen (Weiterbildung, Personalentwicklung), Regierungsorganisationen, Schulungsanbieter, Beratungsfirmen
Technische Voraussetzungen	PC, Tablet, Smartphone, VR-Headsets, stabile Internetverbindung, UX-Design, Story-Design
Reifegrad (Forschung, PoC, marktfähig)	Marktfähig – bereits im Einsatz, flexibel skalierbar
Implementierungsaufwand (Lösung von Stange ready to use/Anpassung vor Ort nötig)	Entwicklung von Story- und UX-Design, Integration von Inhalten, Schulung der Nutzenden

Das Bildungssystem Nordwest Metaverse stellt ein innovatives Konzept dar, das Bildung, Arbeit und sozio-technische Interaktionen in einer virtuellen Umgebung miteinander verbindet. Diese immersive Plattform ermöglicht es, Bildungsinhalte und berufliche Schulungen ortsunabhängig und interaktiv zu gestalten. Der Kern dieses Metaverse besteht darin, Bildungseinrichtungen, Unternehmen und Lernende in einer gemeinsamen virtuellen Umgebung zusammenzuführen, in der Wissen, Fähigkeiten und Ressourcen effizient ausgetauscht und erweitert werden können.

Das Besondere am Bildungssystem Nordwest Metaverse ist der niedrighschwellige Zugang, der über gängige Endgeräte wie PCs, Tablets, Smartphones und VR-Headsets ermöglicht wird. Dies bedeutet, dass die Teilhabe an Workshops, Fortbildungen und

Konferenzen nicht nur auf spezialisierte Hardware beschränkt ist. Stattdessen können die Nutzenden je nach Verfügbarkeit auf das Metaverse zugreifen, ohne große technische Hürden überwinden zu müssen.



Abbildung 42: Lernende können in einer gemeinsamen virtuellen Umgebung Wissen, Fähigkeiten und Ressourcen austauschen und erweitern.

Virtuelle Workshops und Veranstaltungen bieten die Möglichkeit, in einem interaktiven 3D-Raum zusammenzukommen. So können beispielsweise Seminare, Konferenzen und Projektarbeiten nicht nur digital, sondern auch interaktiv und in Echtzeit durchgeführt werden. Diese interaktiven Events bieten den Teilnehmenden eine Erfahrung, die sich von herkömmlichen Online-Meetings deutlich unterscheidet. Der Einsatz von 3D-Avataren sowie räumlichem Ton ermöglicht eine intuitive und nahtlose Kommunikation, als wären die Teilnehmenden tatsächlich im selben Raum. Das erhöht die Effizienz und Effektivität von Lernprozessen.



Abbildung 43: Wissensaustausch in virtueller Umgebung.

Darüber hinaus lassen sich Inhalte in Echtzeit austauschen. Lehrkräfte und Unternehmen können ihre Schulungsinhalte einfach in das System integrieren und jederzeit aktualisieren. So kann schnell auf neue Entwicklungen oder Schulungsanforderungen reagiert werden. Lernende können sich wiederum in eigenen Räumen bewegen, Fragen stellen und mit den Schulungsinhalten interagieren, um ein tiefgehendes Verständnis zu erlangen.

Ein weiterer wichtiger Aspekt des Bildungsökosystems Nordwest Metaverse ist seine Funktion als sozio-technisches System, das sowohl für B2B- als auch B2C-Anwendungen genutzt werden kann. Unternehmen haben die Möglichkeit, überregionale Workshops und Schulungen durchzuführen, die keine physischen Grenzen kennen. Dabei können sie nicht nur eigene Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter schulen, sondern auch externe Partnerinnen und Partner oder Kundinnen und Kunden in die virtuelle Umgebung einladen und so den Wissenstransfer beschleunigen und optimieren.

Die Nutzung der Plattform ist nicht auf große Events oder langfristige Schulungen beschränkt. Durch den einfachen Zugang und die jederzeitige Verfügbarkeit können auch kurzfristige Meetings, Besprechungen oder Team-Workshops unkompliziert abgehalten werden. Die Teilnehmenden haben die Möglichkeit, die Plattform eigenständig zu nutzen, Inhalte auszuprobieren und sich mit der virtuellen Umgebung vertraut zu machen.

## 6.17 KI-Avatare als Coach, digitaler Begleiter und Co-Moderator

Mehrwert	Personalisierte Unterstützung in Lern- und Arbeitsumgebungen   Echtzeit-Feedback   automatisierte Moderation und Zusammenfassungen
Relevante Branchen	Unternehmen, Bildungseinrichtungen, Regierungsorganisationen, Konferenzzentren, Schulungsanbieter
Technische Voraussetzungen	KI-basierte Systeme, stabile Internetverbindung, Holografie-Technologie (für Holoterminals), KI-Integration in bestehende Plattformen
Reifegrad (Forschung, PoC, marktfähig)	Webbasiert: marktreif   Holoterminals: fortgeschrittene Entwicklungsphase, erste Implementierungen
Implementierungsaufwand (Lösung von Stange ready to use/Anpassung vor Ort nötig)	Webbasiert: moderat, einfache Integration in bestehende Systeme   Holoterminals: höher, da spezielle Hardware und Infrastruktur nötig

Im Metaverse spielen KI-Avatare eine transformative Rolle als digitale Coaches, Begleiter und Co-Moderatoren. Diese Avatare sind sowohl webbasiert als auch über Holoterminals zugänglich, was bedeutet, dass die Avatare flexibel und in verschiedenen Umgebungen eingesetzt werden können.

In webbasierten Anwendungen agieren die KI-Avatare als digitale Coaches, die Lernende durch Kurse, Schulungen und Projekte führen. Sie überwachen den Lernfortschritt und bieten individuell zugeschnittene Empfehlungen, um den Lernprozess zu optimieren. Beispielsweise können sie Lerninhalte dynamisch anpassen, falls eine Nutzerin oder ein Nutzer Schwierigkeiten bei bestimmten Themen hat. Zusätzlich agieren KI-Avatare als Co-Moderatoren in Meetings oder Schulungen. Sie übernehmen Aufgaben wie das Strukturieren von Diskussionen, die automatisierte Beantwortung von Fragen und das Erstellen von Echtzeit-Zusammenfassungen oder Protokollen.



Abbildung 44: KI-Avatare können unter anderem als digitale Coaches, Begleiter und Co-Moderatoren unterstützen.

Ein herausragendes Beispiel für den Einsatz von KI-Avataren in Lernszenarien ist die Möglichkeit, virtuelle Gespräche mit historischen Figuren zu führen. So könnten Lernende eine Unterhaltung mit einem Avatar von Albert Einstein in seinem Arbeitszimmer simulieren. Der Avatar ist in der Lage, auf Fragen zu seiner Forschung und seinen Entdeckungen zu antworten, während er in einer realistisch rekonstruierten Umgebung arbeitet.

Neben den webbasierten Anwendungen bieten Holoterminals eine noch immersivere Interaktion mit den KI-Avataren. Sie projizieren Avatare als holografische Darstellungen in den Raum. Nutzerinnen und Nutzer können mit einem holografischen Coach in einem physischen Raum sprechen und den Avatar fast so erleben, als ob er tatsächlich anwesend wäre. Diese Technologie findet Anwendung in Konferenzräumen, Schulungszentren oder stark frequentierten Bereichen, in denen ein hohes Maß an Präsenz und Interaktivität gewünscht ist. Holoterminals bieten sich auch für Unternehmen an, die weltweit verteilte Teams haben oder Schulungen und Workshops durchführen möchten, bei denen eine physische Präsenz simuliert wird.

Die Mehrwerte des Einsatzes von KI-Avataren sind vielseitig. Sie bieten skalierten, individuellen Support, der sich nicht auf die Verfügbarkeit menschlicher Moderatoren oder Lehrkräfte beschränkt. KI-Avatare können rund um die Uhr aktiv sein und in Echtzeit auf die Bedürfnisse der Nutzerinnen und Nutzer reagieren. Sie sind zudem in der Lage, durch die Analyse von Nutzerverhalten gezielt Inhalte vorzuschlagen, was die Lernkurve verkürzt und die Effizienz steigert. Darüber hinaus erleichtern sie die Erstellung von automatisierten Berichten, Protokollen und Zusammenfassungen, die in Meetings und Schulungen sofort verfügbar sind.

Insgesamt bringen KI-Avatare als Coaches, Begleiter und Co-Moderatoren das Potenzial mit, sowohl den Lern- als auch den Arbeitsprozess zu revolutionieren. Sie eröffnen neue Wege für interaktive und immersive Erlebnisse und passen sich flexibel an die Bedürfnisse der jeweiligen Anwendung und der Nutzerinnen und Nutzer an.

## 6.18 Hochschulbildung

Mehrwert	Gestalterische Freiheit   kostengünstig   Zukunftsfähigkeit vermitteln
Relevante Branchen	Hochschulen
Technische Voraussetzungen	VR-Brillen, Wi-Fi-Router, leistungsstarke Gaming-PCs
Reifegrad (Forschung, PoC, marktfähig)	marktfähig
Implementierungsaufwand (Lösung von Stange ready to use/Anpassung vor Ort nötig)	Individuallösung

Bereits seit 2019, lange bevor das Metaverse eine breite Öffentlichkeit erreichte, setzt die Hochschule Anhalt innovative XR-Technologien in der Lehre ein. Das Metaverse mit den dazugehörigen Technologien versteht man dort als ein Querschnittsthema vieler Fachgebiete.

Wie soll zukünftig in der Architektur, im Design, in der Landschaftsarchitektur, im (Online-)Marketing, in der Immobilienwirtschaft, in der Spieleentwicklung, im Mediendesign etc. Wissen vermittelt werden, und was für Erlebnisse sollen erschaffen werden? Studierende sollen für diese Fragen, die Möglichkeiten der Technologie und ihre Herausforderungen sensibilisiert werden. Dafür ist ein aktiver Umgang essenziell.

Das Prinzip der Anreicherung der Realität mit virtuellen Elementen bis hin zum völligen Eintauchen in virtuelle Welten lässt eine Vielzahl an Anwendungsmöglichkeiten in den unterschiedlichen Fachgebieten offen. Die Stuttgarter Firma Lightshape wurde deshalb damit beauftragt, für die Hochschule einen »Illusionsraum«, eine Art Holodeck, aufzubauen, damit die Studierenden der unterschiedlichen Fachrichtungen Erfahrungen sammeln können.

Auf einer Fläche von 7x15 Metern wurde ein großflächiges Trackingsystem aufgebaut. Auf ihr können sich mehrere Studierende gleichzeitig mit einer VR-Brille und Gestiksteuerung frei bewegen.

Das Herzstück des Illusionsraums bildet die HCC-Kommunikationssoftware, welche zuvor bereits in einem Entwicklungsprojekt mit Audi für die Bewertung von Fahrzeugprototypen entwickelt wurde. Die Software übernimmt die Verwaltung und Synchronisation aller Nutzenden. Außerdem sind darin bereits etliche Funktionen enthalten, wie das Zuweisen von Avataren, das Zuladen von Objekten oder Umgebungen während der Laufzeit, Variantenschaltung, Gruppenteleport, diverse Präsentationsinstrumente, Objekte schneiden etc. Obendrein können nicht nur die lokalen Nutzenden innerhalb des Raumes in die Session integriert werden, sondern auch standortunabhängig weitere Nutzende oder ganze Holodecks.

Mittels eines Software-Development-Kits können Studierende und Lehrkräfte eigenständig Anwendungen für den Illusionsraum entwickeln. Die Software integriert auch

reale Objekte (die mit einem Tracker versehen werden) in virtuelle Szenen. Das System erleichtert die Kommunikation und Bewertung komplexer Themen ohne physische Einschränkungen.

Das XR-System ist benutzerfreundlich, selbst für Neulinge in VR. Mobile VR-Setups sind so konzipiert, dass sie leicht zu starten und zu verwalten sind, sodass alle Teilnehmenden, unabhängig von ihrer technischen Expertise, sich einbringen und basierend auf ihren Erfahrungen Entscheidungen treffen können.

Der erste Illusionsraum musste 2019 noch mit kostspieliger und komplexer Hardware (professionelle Trackingsysteme, Rucksack-PCs) umgesetzt werden. Bei aktuellen Anschlussprojekten werden derartige Installationen mit wesentlich einfacheren und günstigeren Optionen ausgestattet, die auch ein komfortables Bildstreaming ermöglichen, womit Rucksack-PCs ihre Daseinsberechtigung verloren haben.



Abbildung 45: Beim ersten Illusionsraum 2019 waren noch Rucksack-PCs nötig – heute sind sie dank Bildstreaming nicht mehr erforderlich.

## 6.19 Training für Arbeitsschutz und Betriebsicherheit

Mehrwert	Arbeitssicherheit nachhaltig und gefahrlos vermitteln
Relevante Branchen	Alle Betriebe
Technische Voraussetzungen	VR-Brillen mit Wi-Fi-Streaming und leistungsstarke Laptops
Reifegrad (Forschung, PoC, marktfähig)	Marktfähig
Implementierungsaufwand (Lösung von Stange ready to use/Anpassung vor Ort nötig)	Ready to use in der Basisanwendung

Jedes Unternehmen ist verpflichtet, in regelmäßigen Abständen die Mitarbeitenden zum Gesundheitsschutz der Betriebsangehörigen zu schulen. Bislang findet dies in der Regel in Form von Frontalunterricht statt, was für die Teilnehmenden wenig motivie-

rend und für eine nachhaltige Wissensvermittlung nicht förderlich ist. Zudem sind viele Szenarien in Schulungen schwer vermittelbar, weil sie zu teuer, zu riskant oder gar nicht darstellbar sind. Da Virtual Reality gleichzeitig mehrere Sinne, inklusive des Muskelgedächtnisses, anspricht, verbessert es die Lernfähigkeit laut Studien um bis zu 76 Prozent.

In Deutschland ereignen sich laut DGUV jährlich etwa 18 Betriebsunfälle pro 1.000 Mitarbeitenden. Damit versprechen Metaverse-Schulungen mit Virtual Reality ein erhebliches Potenzial bei der Unfallminimierung und Einsparung von Folgekosten, die pro Unfall mit durchschnittlich 2.300 EUR zu Buche schlagen, und in extremen Fällen bis in die Millionen gehen können oder sogar Menschenleben kosten.

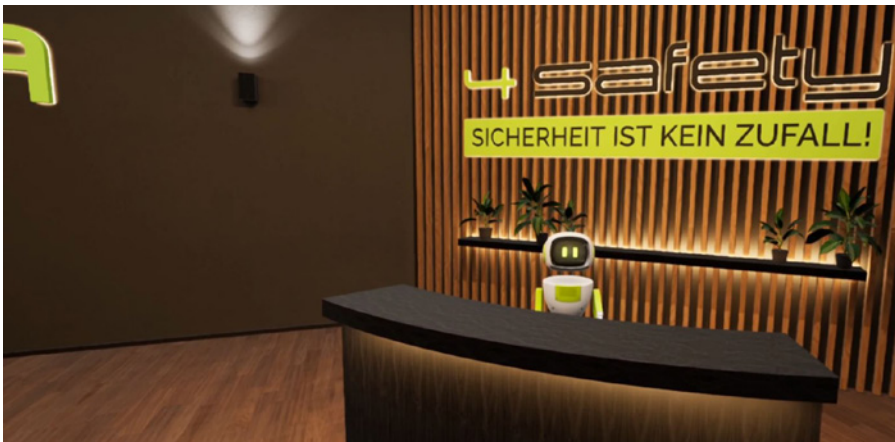


Abbildung 46: Der »Guardian of Safety«, ein KI-gestützter Roboter, steht mit Rat und Tat zur Seite.

Eine Lösung bietet SAFEA, eine KI gestützte virtuelle Lernwelt für Arbeits- und Gesundheitsschutz, in der Sicherheitsbeauftragte geschult und geprüft werden. Entwickelt wurde die VR-Trainingsplattform in einem Kooperationsprojekt von den 4Safety-Arbeitsschutzexperten und der Digitalagentur Lightshape. Das portable VR-Equipment, inklusive Personal und Prüferin bzw. Prüfer, wird den Lernenden zur Verfügung gestellt. Teil der Sicherheitsprüfung ist das Aufspüren von Fehlern in den verschiedenen themenspezifischen Arbeitswelten.

Der Vorteil einer VR-Anwendung in der Sicherheitsarbeit ist die dynamische, zufällige Veränderung der Fehler in der Lernwelt. Außerdem muss für das Training keine reale Lernumgebung vorgehalten werden. Die realistischen VR-Welten erzeugen bei jedem Teilnehmenden einen hohen Immersionsgrad. Die Grenzen zwischen virtueller und tatsächlicher Realität werden aufgehoben und die Einschränkungen des traditionellen Lernens erweitert.



Abbildung 47: Die realistischen VR-Welten erzeugen einen hohen Immersionsgrad.

Das Schulungsszenario ist so angelegt, dass eine Ausbilderin oder ein Ausbilder mehrere Auszubildende gleichzeitig in der VR-Welt betreuen kann. Unterstützt werden die Auszubildenden vom »Guardian of Safety«, einem KI-gestützten Roboter, der stets mit Rat und Tat – und hin und wieder auch mit Humor – zur Seite steht. Die Multi-Player-Applikation steigert nicht nur die User Experience (UX), sondern ermöglicht es, Wissen mithilfe von Gamification gezielt zu vermitteln. Zu Beginn treffen sich alle Teilnehmenden in einer Lobby. Dort haben sie die Möglichkeit, spielerisch den Umgang mit den Controllern zu erlernen, bevor die Ausbilderin oder der Ausbilder die Schwierigkeitsstufen festlegt und anschließend die Lernwelten betreten werden. Gerade in Fällen mit einer breiten Nutzergruppe, die in der Regel viele ungeübte VR-Nutzende enthält, ist eine spielerische und leicht verständliche Einführung der Interaktionsinstrumente essenziell. Die Lernzonen können in verschiedenen Modi (Führungskraft, Fachkraft etc.) und in unterschiedlichen Schwierigkeitsgraden betreten werden.

Um einen speziellen, in die Tiefe gehenden pädagogischen Ansatz zu bewahren, wurden fachspezifische Arbeitswelten eingerichtet. So werden beispielsweise im Lagerbereich Sicherheitsaspekte des Transports, Umschlags und der Lagerung betrachtet. In den weiteren Lernwelten wie Verwaltung, Produktion, Küche, Werkstatt etc. werden deren spezielle Sicherheitsanforderungen behandelt.

## 6.20 Training und Recruiting zur Brandbekämpfung

Mehrwert	Gefahrenlose Wissensvermittlung & Recruiting
Relevante Branchen	Feuerwehr
Technische Voraussetzungen	VR-Brille (Standalone)
Reifegrad (Forschung, PoC, marktfähig)	Marktfähig
Implementierungsaufwand (Lösung von Stange ready to use/Anpassung vor Ort nötig)	Individuallösung



Das Bevölkerungsschutz-Mobil des Innenministeriums von Baden-Württemberg ist eine Initiative für das Ehrenamt im Rettungsdienst, bei der Feuerwehr und im Bevölkerungsschutz. Für den Bereich Feuerwehr wurde in einer Zusammenarbeit von ASP Tech und der Digitalagentur Lightshape eine Multi-User-VR Anwendung entwickelt, in der sich die Anwenderinnen und Anwender entweder einzeln oder zu zweit im Team immer wieder neuen Brandsituationen stellen müssen. In diesem Serious Game wird ein ernstes und ansonsten gefährliches Thema spielerisch vermittelt. Dies ist ein ideales Einsatzszenario für VR, mit dem Ziel, Nachwuchs für die freiwillige Feuerwehr, das Technische Hilfswerk etc. zu gewinnen.

Die Übung beginnt vor einem zu löschenden Gebäude mit einer kurzen Lernsequenz, um die Bedienung des virtuellen Strahlrohrs zu erlernen. Danach geht es mit der Leiter hoch hinaus in das brennende Appartement. Im Innenraum angekommen, brennen bereits einige Gegenstände und der Funke springt schnell auf weitere Teile des Mobiliars über und entzündet sie. Dahinter steckt eine Spielmechanik, die bei jedem Durchlauf eine andere Situation und andere brennende Gegenstände erzeugt.

Je realistischer ein Trainingsszenario ist, desto besser der Lernerfolg. Um eine maximale Immersion zu ermöglichen, wurden die Controller in 3D-gedruckte Strahlrohre integriert, um eine stufenlose Steuerung des Wasserstrahls zu ermöglichen. Ebenso wie in der Realität verfügen die Nutzerinnen und Nutzer nicht über endlosen Wassernachschub. Sie müssen sich den Einsatz effizient einteilen, damit der Wasserdruck nicht zu stark abfällt. Andernfalls muss die Nutzerin oder der Nutzer warten, bis wieder genügend Druck aufgebaut wurde, während wertvolle Zeit verstreicht. Benötigen die Nutzenden zu lange, senkt sich die Rauchdecke ab, die Sicht wird schlechter und dem virtuellen Nutzenden geht nach einem bestimmten Zeitraum die Luft aus, was die Anwendung beendet.



Abbildung 48: Anwenderinnen und Anwender müssen sich einzeln oder im Team immer wieder neuen Brandsituationen stellen.

Weil der Spielablauf, die Brandherde und die brennenden Objekte variieren, hat es der nachfolgende Spieler, der dem aktuellen Spieler auf einem großen Monitor zuschauen kann, nicht so leicht. Es werden am Ende auf einem Score-Board der Wasserverbrauch, die gelöschten Feuer und der Grad der Rauchvergiftung angezeigt. Daraus errechnen sich eine Punktzahl und die Platzierung.

Solche Anwendungen, die einen spielerischen Wettbewerbscharakter haben, sprechen die tendenziell junge Zielgruppe der Feuerwehr besonders gut an.

## 6.21 Pflegeausbildung

Mehrwert	Verbesserte Ausbildungsqualität   Steigerung des Selbstvertrauens   Effizienzsteigerung   Standardisierte Ausbildung
Relevante Branchen	Bildungseinrichtungen, Krankenhäuser, Gesundheitswesen allgemein
Technische Voraussetzungen	VR-Headsets (Standalone)
Reifegrad (Forschung, PoC, marktfähig)	Marktfähig
Implementierungsaufwand (Lösung von Stange ready to use/Anpassung vor Ort nötig)	Anpassung an jeweilige Szenarien nötig

Helios, als Europas führender privater Gesundheitsdienstleister, ist mit einem Netzwerk von 87 Kliniken, rund 240 Medizinischen Versorgungszentren (MVZ), 6 Präventionszentren und 21 arbeitsmedizinischen Zentren in Deutschland vertreten. Mit jährlich rund 5,5 Millionen behandelten Menschen und einem Team von über 76.000 Mitarbeitenden spielt die Ausbildung von Pflegekräften eine zentrale Rolle.

Durch den gezielten Einsatz von Virtual-Reality-Technologie ist es Helios möglich, jedes Jahr bis zu 5.000 neue Pflegekräfte in einer transformativen Lernumgebung auszubilden. Diese innovative Herangehensweise zielt darauf ab, die nächste Generation von Pflegefachkräften optimal vorzubereiten und eine hochwertige Patientenversorgung sicherzustellen.



Abbildung 49: Die Studierenden werden in virtuellen Patientenzimmern in realistische klinische Szenarien versetzt.

In virtuellen Patientenzimmern werden die Studierenden in realistische klinische Szenarien versetzt, in denen sie wichtige Aufgaben mit beispielloser Realität und Tiefe üben können. Durch die Simulation realer Patientenpflegesituationen verbessert das VR-Training das Verständnis und die Retention komplexer Verfahren, vermittelt Selbstvertrauen und bereitet die Studierenden auf

die klinische Praxis vor. Die interaktive Natur der VR-Simulationen ermöglicht zudem eine individuelle Rückmeldung und Bewertung, um den Lernerfolg zu optimieren.

Der messbare Lerneffekt von VR-Trainings zeigt, dass Virtual Reality einen signifikanten Beitrag zur Verbesserung des Lernerfolgs leistet. Erste Ergebnisse zeigen einen besseren Notendurchschnitt im Vergleich zu herkömmlichen Lehrmethoden. Dieser innovative Ansatz wird durch die Unterstützung des Digitalpakts finanziert und von den Studierenden begeistert aufgenommen, da die virtuellen Umgebungen eine sichere Umgebung für das Lernen schaffen, in der sie aus Fehlern lernen können. Die Einsparungen durch den Einsatz von VR-Trainings in Form von reduzierten Kosten für physische Ressourcen und verbesserte Ausbildungsqualität zeigen sich deutlich im Return on Investment (ROI). Solche Trainings tragen langfristig zu einer verbesserten Patientenversorgung und zu reduzierten Fehlerquoten bei.

## 6.22 Trainings im Automobilsektor

Mehrwert	Realistische Interaktion und Skalierung   Größere Attraktivität im Vergleich zu klassischen Online-Trainings
Relevante Branchen	Alle
Technische Voraussetzungen	VR-Geräte-agnostisch, funktioniert auch mit Browser, Internet notwendig
Reifegrad (Forschung, PoC, marktfähig)	Marktfähig und Effekt erforscht
Implementierungsaufwand (Lösung von Stange ready to use/Anpassung vor Ort nötig)	Ready to use mit Lizenz

Das Münchner Unternehmen Straightlabs hat gemeinsam mit dem Praxispartner Bertrandt AG und mit Unterstützung von Meta den Einsatz von Virtual Reality (VR) in der Mitarbeiter-Weiterbildung erforscht. Das VR-Training »The Others' Thoughts« nutzt immersive Technologien und Gamification, um Soft Skills – in diesem Fall interkulturelle Kommunikation – effektiv zu vermitteln, und dient zugleich als vielseitiges Framework für verschiedene Trainingsansätze. Das dazugehörige Whitepaper behandelt nicht nur die Entwicklung des Trainings und die Herausforderungen kultureller Vielfalt in geschäftlichen Kontexten, sondern adressiert auch Fragen wie Datenschutz und die Rolle von Arbeitnehmervertretungen.

Dieses Whitepaper wurde mit 73 Mitarbeitenden von Bertrandt, die als Kerngruppe für die Untersuchung dienten, durchgeführt. Zusätzlich wurden 322 Teilnehmende aus verschiedenen Branchen rekrutiert, um die Studienergebnisse zu erweitern und zu validieren. Die Wirksamkeit des VR-Trainings wurde im Rahmen der Studie durch quantitative und qualitative Daten bestätigt.

Die Ergebnisse der Studie heben das Potenzial von VR-Trainings in der beruflichen Weiterbildung hervor: 83 Prozent der Teilnehmenden bewerteten das Training als sehr nah an realen Praxissituationen. Dies ist ein entscheidender Aspekt, da realistische VR-Umgebungen zu erhöhtem Engagement und höherer Konzentration der Teilnehmenden führen und dadurch den Transfer in reale Situationen erleichtern. Außerdem berichteten 81 Prozent der Teilnehmenden von einem erhöhten Bewusstsein für interkulturelle Nuancen sowie von verbesserten interkulturellen Kommuni-

kationsfähigkeiten, und 96 Prozent sprachen sich für mehr VR-Trainings in ihrem Unternehmen aus. Insgesamt verdeutlicht das Forschungsprojekt das Potenzial von VR als transformatives Werkzeug für zukunftsorientierte Trainingsprogramme.

## 6.23 Kranführer-Training

Mehrwert	Effiziente Schulung ohne Risiken für Mitarbeitende oder Materialien   Beeinträchtigt den Arbeitsablauf nicht   Reduziert Ausfallzeiten und Kosten   Flexibel und ortsunabhängig
Relevante Branchen	Stahlindustrie, Kraftwerke, Chemieindustrie, Bauindustrie und andere Branchen, die Kranführer beschäftigen
Technische Voraussetzungen	XR-Brillen für die Teilnehmer, Original Kranfernsteuerungen, Softwarelösung von Motion & Strategy, geliefert über TÜV SÜD XR Academy
Reifegrad (Forschung, PoC, marktfähig)	Marktfähig
Implementierungsaufwand (Lösung von Stange ready to use/Anpassung vor Ort nötig)	Ready to use, kaum Implementierungsaufwand

Die Entscheidung von Kloeckner Metals – Germany, am Standort in Nürnberg auf Simulationstraining mit der XR-Brille zu setzen, markiert einen wegweisenden Schritt in Richtung mehr Sicherheit und Effizienz in der Industrie. Das Projekt wurde in Partnerschaft mit dem TÜV Süd implementiert, der die maßgeschneiderte Kran-Animation bereitstellt.



Abbildung 50: Kranführerinnen und -führer können gefahrlos und effizient üben, ohne den laufenden Betrieb zu stören.

Die traditionelle Schulung in einer realen Umgebung birgt zahlreiche Risiken für Mitarbeitende und Materialien. Sie bindet Ressourcen und begrenzt die Anzahl der Auszubildenden sowie die praktische Zeit am Kran. Die Flexibilität und Ortsunabhängigkeit des virtuellen Trainings ermöglichen es, diese Einschränkungen zu umgehen. Mit der

XR-Brille können Kranführerinnen und Kranführer gefahrlos und effizient üben, ohne den laufenden Betrieb zu stören. Dabei kommt eine reale Original-Kran-Fernbedienung zum Einsatz, die die Trainierenden in den Händen halten und die mittels Video-Passthrough-Technologie in die virtuelle Simulation eingebunden wird. So entsteht eine Mixed Reality, in der sowohl echte haptische als auch visuelle Elemente mit der digitalen Welt fusionieren.



Abbildung 51: In der Anwendung wird eine reale Kran-Fernbedienung eingesetzt, die über Video-Passthrough in die Simulation eingebunden wird.

Durch die Simulation von verschiedenen Kran-Hebe-Situationen und das Einbeziehen von Gefahrensituationen wird ein realistisches Schulungserlebnis geschaffen. Die objektive und ausführliche Auswertung nach jeder Übung ermöglicht es den Kranführerinnen und Kranführern, ihre Fähigkeiten gezielt zu verbessern und sicherer zu werden.

Die Investition in die XR-Trainings spiegelt sich beim Unternehmen in der Reduzierung von Ausfallzeiten und Kosten wider, trägt zur Effizienz bei und steigert die Sicherheit am Arbeitsplatz erheblich.

## 6.24 Aus- und Fortbildung der Polizei

Mehrwert	Keine logistisch aufwendige Fortbildungsinfrastruktur nötig   weniger Personal nötig   Ausbildung ist nicht limitiert und darum effektiv
Relevante Branchen	Polizei
Technische Voraussetzungen	Komplexe Multi-User-VR-Systeme (bestenfalls mobil), Netzwerkinfrastruktur für Bild-Streaming, polizeiliche Interaktionsgeräte als Replika, physischer Interaktionsbereich ab 100 m <sup>2</sup>
Reifegrad (Forschung, PoC, marktfähig)	Marktfähig
Implementierungsaufwand (Lösung von Stange ready to use/Anpassung vor Ort nötig)	Lösung von der Stange möglich

XR-Systeme werden von der deutschen Polizei der Länder bereits seit geraumer Zeit genutzt und sind in unterschiedlichen Entwicklungsstufen Teil der Ausbildung oder zumindest Teil der strategischen Entwicklung von Handlungskonzepten. Die Lösungen variieren hierbei teils von Bundesland zu Bundesland. Innerhalb der DACH-Region ist

die Schweiz mit der Implementierung führend. Gegenüber den USA liegt die DACH-Region jedoch zurück, sowohl was die Implementierung als auch die Herstellung von Lösungen betrifft.

Bei der Polizei ist gerade die nicht spezialisierte Ebene, welche nur über begrenzte Mittel, Ausbilder und Infrastruktur verfügt, der größte Profiteur von XR-Systemen. Sie kann die Technologie für sich mit großem Hebel einsetzen, um das auszubilden, was sonst unmöglich, zu teuer oder zu gefährlich ist.



Abbildung 52: Die Trainingssysteme für die Polizei sind komplexe Soft- und Hardware-Kombinationen.

Systeme für die Polizei sind komplexe Soft- und Hardware-Kombinationen. Sie bestehen aus Interaktionsgeräten, Trackingtechnologie, Wireless-Netzwerken auf allen verfügbaren Frequenzen für PCVR-Streaming und aus spezialisierter Software. Diese Software bietet sehr weitreichende und freie Funktionen. Beispiele, die umgesetzt werden können, sind es, Täter in lebensbedrohlichen Einsatzlagen zu erstellen, die Entscheidung schießen oder nicht schießen zu simulieren, Einsatzmitteln bei aggressiven Tieren anzuwenden, Force-on-Force (menschliche Interaktion gegen menschlichen Rollenspieler) und allgemeine Fahrzeugkontrolle. Solche Szenarien können von den Einsatztrainerinnen und -trainern in realistischen Umgebungen gestaltet, gespeichert, geladen und getauscht werden.



Abbildung 53: Es lassen sich unterschiedliche Einsatzlagen in realistischen Umgebungen trainieren.

Als Software-Basis kommen Unity und Unreal Engine infrage, welche als Multi-User-Anwendungen mit vier bis acht Usern nicht nur die Echtzeit-Interaktion ermöglichen, sondern als Live-Replay auch jede Handlung, jedes Wort und jede Bewegung für eine Auswertung aufzeichnen und Statistiken mit Rohdaten wie beispielsweise Biofeedback füllen. Dabei sind die Systeme bestenfalls mobil und schnell einsatzbereit, was die Hardware, Ladeinfrastruktur der Interaktionsgeräte und die Interaktionsgeräte selbst auf die Probe stellt. Im Einsatz sind Kurzwaffen, Langwaffen, Distanz-Elektro-Impuls-Geräte, Reizstoffsprühgeräte, Einsatzstöcke, taktische Lampen und Funkgeräte. Mit XR-Systemen können die Polizei, aber auch Justiz, Zoll und andere Kräfte der zivilen Sicherheit zuverlässig, skalierbar und kostenschonend ausgebildet werden.

Zukünftig sollen automatisierte und autonomisierte Softwareprodukte außerdem die Entlastung von Ausbilderinnen und Ausbildern ermöglichen und Auszubildenden wertvolle Ausbildungszeit zur Verfügung stellen, indem sie ihre persönlichen Ausbildungsmängel mit hoher Wiederholungszahl auf das eigene Leistungsoptimum bringen. Government-to-Government-Marktplätze zum Tausch zwischen den Behörden ermöglichen, dass polizeiliche Szenarien, Lösungsmöglichkeiten und Probleme mit Partnern geteilt werden. Dadurch wird der Zeitraum zwischen Problemerkennung und Adaptierung einer Lösung überregional auf wenige Tage statt Monate verkürzt.

## 6.25 Militärische Aus- und Fortbildung

Mehrwert	Keine logistisch aufwendige Fortbildungsinfrastruktur nötig   weniger Personal nötig   Ausbildung ist nicht limitiert und darum effektiv
Relevante Branchen	Militär
Technische Voraussetzungen	Komplexe Multi-User-VR-Systeme (bestenfalls mobil), stationäre Ausbildungszentren, Netzwerkinfrastruktur für Bild-Streaming, militärische Interaktionsgeräte als Replika und real, physischer Interaktionsbereich ab 1000 m <sup>2</sup>
Reifegrad (Forschung, PoC, marktfähig)	teils marktfähig, teils POC
Implementierungsaufwand (Lösung von Stange ready to use/Anpassung vor Ort nötig)	Lösung von der Stange möglich; Anpassung vor Ort an zahlreiche Stakeholder

Streitkräfte im 21. Jahrhundert haben das Problem, dass die Gefechtsführung sich durch moderne und verbundene Waffensysteme nur noch schwer ganzheitlich üben lässt. Sicherheitsvorschriften, welche seit Jahrzehnten für eine unfallfreie Ausbildung sorgen, können und sollten nicht abgeschafft werden, um die Ausbildung auf das Niveau eines realen Gefechts zu heben, da die Ausbildung stets ungefährlich sein sollte.

Für die Ausbildung von Soldatinnen und Soldaten und allen militärischen Kräften halten Armeen national und international große Ausbildungsinfrastrukturen bereit. Die Vorteile der XR-Technologie wurden in der Bundeswehr bereits früh (2018) erkannt und es wurde versucht, diese mit größtmöglicher Hebelwirkung zum Beispiel beim Thema Stressimpfung (2022) wissenschaftlich zu untersuchen.



Abbildung 54: In das virtuelle Training lässt sich reale Ausrüstung integrieren.

Die Ergebnisse wurden 2024 in verschiedenen Studien veröffentlicht, mit der Erkenntnis, dass XR-Systeme eine notwendige und sinnvolle Ergänzung zur bestehenden Ausbildung auf allen Ebenen sind. Folglich ist eine querschnittliche Rüstung der Bundeswehr der nächste Schritt, welcher in diesem Fall von Haushaltsmitteln und Beschaffungsprozessen abhängt.



Auch für eine mögliche Neuausrichtung zurück zur Wehrpflicht könnte die XR-Technologie die vorhandenen Flaschenhälse öffnen, da sie skaliert (parallele Systeme = mehr qualitativer Output) und autonomisiert (wenige Ausbilderinnen und Ausbilder überwachen eine große Zahl an Auszubildenden) werden kann.



Abbildung 55: Unterschiedlichste Szenarien lassen sich lebensecht und gefahrlos trainieren.

Mittelfristig werden Militärs große XR-Ausbildungszentren einrichten und aufbauen, um dort in ihrer Einsatzgliederung in Kompanie- oder Bataillonsstärke gleichzeitig zu üben. Vorhandene Strukturen, wie das Gefechtsübungszentrum in Letzlingen, bieten einen etablierten Rahmen, welcher sich allerdings mit XR auf eine neue Dimension heben lässt, da nun auch im trockenen Altmarkkreis Drohnenabwehr auf Fregatten ausgebildet werden kann. Mittelfristig wird eine Dezentralisierung mit mobilen Systemen in den Kasernen vor Ort und zentralen Ausbildungseinrichtungen für hardwareintensive Ausbildung weiterhin eine gute Möglichkeit der Struktur sein. Auch reisende Ausbildungszentren sind denkbar, da mit 6G-Technologie Inhalte direkt auf die XR-Headsets gestreamt werden können.

Durch jahrelangen Ausbau der Strukturen hat die untere Führungsebene relativ viel Erkenntnis über das Gefecht; auf Stabsoffizier-Ebene und darüber fehlt das Feedback oft, ob ein Entschluss zweckmäßig oder unzweckmäßig war. Im Gegensatz zu virtuellen, können reale Situationen nicht einfach repliziert, verglichen und entsprechend analysiert werden, sodass alle Ebenen gleichermaßen ihre Kompetenz verbessern können.

Durch die vorhandene militärische Ausrüstung verschiedener Waffensysteme und den Fokus auf den scharfen Schuss wird zukünftig speziell die Mixed-Reality-Technologie im militärischen Bereich noch eine ganz neue Dimension der Ausbildung ermöglichen, da mit realen Geräten, Fahrzeugen in Bewegung und in der realen Umgebung geübt werden kann.

Gesundheit & Wellbeing

## 6.26 Employee-Wellbeing, Stressreduktion und Stärkung der Resilienz

Mehrwert	Senken der psychischen Belastung am Arbeitsplatz   Reduzierung der Ausfälle aufgrund psychischer Erkrankungen   Resilienztraining   Steigerung von Kreativität und Produktivität
Relevante Branchen	Keine Begrenzung
Technische Voraussetzungen	VR-Brillen mit guter Bild- und Tonqualität und hoher Auflösung   Optional: Fernsteuerung via Smartphone oder Tablet für Teambuilding-Sessions
Reifegrad (Forschung, PoC, marktfähig)	Bereits am Markt: Wird in unterschiedlichen Branchen erfolgreich als Maßnahme zum Employee-Wellbeing in Deutschland und international eingesetzt
Implementierungsaufwand (Lösung von Stange ready to use/Anpassung vor Ort nötig)	Ready to use: im Komplettmodell inklusive VR-Headsets oder im Software-Lizenzmodell auf eigener VR-Hardware. Alles ist auf den VR-Brillen bereits vorinstalliert. Kein Internetzugang und keine IT-Einbindung nötig. 100 Prozent DSGVO-kompatibel

Die Microsoft Deutschland GmbH hat in Zusammenarbeit mit Magic Horizons innovative VR-Anwendungen eingesetzt, die speziell darauf abzielen, Mitarbeitende im stressigen Arbeitsalltag mental zu entlasten. Diese VR-Lösung, als Medizinprodukt zertifiziert, basiert auf wissenschaftlichen Erkenntnissen und wird zur gezielten Stressreduktion, Entspannung und Stärkung der psychischen Resilienz eingesetzt.



Abbildung 56: Die Anwendung bietet realistische 360-Grad-Naturerlebnisse.

Die VR-Software bietet eine Vielzahl an Einzelanwendungen, darunter realistische 360-Grad-Naturerlebnisse, die vom Unternehmen selbst mithilfe spezieller VR-Kameras aufgenommen wurden. Diese Erlebnisse umfassen malerische Mittelmeerstrände, plätschernde Bachläufe in den Voralpen, eisige Landschaften des Nordpols und den urzeitlichen Dschungel Thailands.

Die Naturvideos werden durch binaurale, dreidimensional gemischte Musik untermalt, die optimal auf die visuellen Reize abgestimmt ist.

Zusätzlich bietet die Software eigens entwickelte VR-Szenarien, bei denen binaurale Audio-Frequenzen eine zentrale Rolle spielen. Diese Szenarien nutzen Delta- (1 bis 2 Hz), Theta- (4 bis 7 Hz), Alpha- (9 bis 10 Hz) und Betawellen (16 bis 18 Hz), um die Nutzenden in einen meditativen oder energispendenden Entspannungszustand zu versetzen. Weiterhin sind geführte Atem- und Meditationsübungen in fantastischen Welten sowie visuell untermalte Märchenerzählungen verfügbar, die helfen, die Atemfrequenz zu verlangsamen und sowohl Körper als auch Geist zu entspannen.



Abbildung 57: Entspannen in ansprechenden VR-Umgebungen.

Microsoft setzt diese VR-Anwendungen im Hauptquartier in München und an sechs weiteren Standorten in speziellen Ruheräumen ein. Diese Maßnahme ist Teil des betrieblichen Gesundheitsmanagements und der betrieblichen Wiedereingliederung. Mitarbeitende können über MS Booking halbstündige Slots buchen. Sie erhalten Kalenderblocker, Erinnerungen und weitere Anleitungen zur Nutzung. Die Wellness-Räume sind abschließbar und bieten Video-Tutorials zur Nutzung sowie klare Hygieneregeln und Desinfektionsmittel.

Die Effektivität dieser VR-Anwendungen wurde durch eine Metastudie der Humboldt-Universität zu Berlin evaluiert. Unter der Leitung von Dr. Christian Stein am gamelab.berlin des Exzellenzclusters »Bild Wissen Gestaltung« wurden weltweite Studien zu Entspannungswirkungen, Regeneration nach Stress, Virtual Reality und interaktiven Inhalten herangezogen. Die Ergebnisse bestätigten die positiven Effekte der Kombination aus stereoskopischen 360-Grad-Erlebnissen und binauralen Audio-Inhalten.

Die VR-Anwendungen wurden von den Mitarbeitenden sehr positiv bewertet: 80 Prozent der Nutzenden bewerten die Anwendungen mit »sehr gut« oder »gut«. 86 Prozent würden die Anwendung weiterempfehlen. 92 Prozent fühlten sich nach der Anwendung besser. Aufgrund der nachgewiesenen positiven Effekte lassen sich die VR-Anwendungen erfolgreich in das betriebliche Gesundheitsmanagement (BGM) einbinden. In der heutigen Arbeitswelt, die oft von hohem Druck geprägt ist, bietet diese Lösung den Mitarbeitenden eine offizielle Möglichkeit, effektiv und kurzzeitig aus dem stressigen Alltag auszubrechen und einen Ruhepol zu finden.

Durch die immersive Natur der VR-Erlebnisse können Mitarbeitende direkt am Arbeitsplatz tief entspannen und ihre Resilienz gegenüber äußerem Druck stärken.

## 6.25 Metaverse als No/Low-Code-Plattform

Mehrwert	Erstellen von 3D-Inhalten und interaktiven Anwendungen ohne tiefgehende Programmierkenntnisse   Zeit- und Ressourcenschonung
Relevante Branchen	Bildungseinrichtungen, KMUs, Startups, Kreativagenturen, Personalentwicklung, Marketing
Technische Voraussetzungen	PC, Tablet, Smartphone, VR-Headset, Metaverse-Plattform mit No/Low-Code-Integration, stabile Internetverbindung
Reifegrad (Forschung, PoC, marktfähig)	Marktreif, aber stetig in Entwicklung
Implementierungsaufwand (Lösung von Stange ready to use/Anpassung vor Ort nötig)	Gering bis moderat. Schulungen für Mitarbeitende im Umgang mit No/Low-Code-Plattformen erforderlich

Das Metaverse entwickelt sich nicht nur als immersive Umgebung für Kommunikation, Arbeit und Unterhaltung, sondern auch als leistungsfähige No/Low-Code-Plattform. Diese Funktion ermöglicht es Nutzenden, digitale Inhalte, Applikationen und Erlebnisse zu erstellen, ohne tiefgehende Programmierkenntnisse zu benötigen. Das Ziel ist es, die Barriere für die Erstellung von Anwendungen im Metaverse zu senken und die Plattform auch für weniger technisch versierte Nutzer zugänglich zu machen.

Mit No/Low-Code-Plattformen im Metaverse können Nutzer durch einfache Drag-and-Drop-Oberflächen oder vordefinierte Templates komplexe 3D-Umgebungen, virtuelle Erlebnisse und interaktive Anwendungen gestalten. Zusätzlich ist es möglich, ganze virtuelle Welten durch einfache Eingabeaufforderungen (Prompts) zu generieren. Nutzerinnen und Nutzer können ihre Ideen oder Anforderungen in Form von Text- oder Sprachbefehlen eingeben, und die Plattform erstellt automatisch eine virtuelle Umgebung, die diesen Anforderungen entspricht. Dies erleichtert nicht nur die schnelle Erstellung von Inhalten, sondern fördert auch die Kreativität und den Innovationsgeist.

Ein weiteres Feature solcher Plattformen ist, KI-Avatare mit einfachen Mitteln erstellen und sie mit Inhalten füttern zu können. Diese Avatare können über Content-Uploads oder den Zugriff auf Datenbanken konfiguriert werden, um spezifische Informationen zu liefern oder interaktive Konversationen mit Nutzenden zu führen. Zum Beispiel könnte ein Unternehmen, das einen KI-Avatar als virtuellen Berater nutzen möchte, diesen durch Uploads von Produktinformationen und FAQ-Datenbankeinträgen füttern. Auf diese Weise können die KI-Avatare nahtlos in interaktive Geschäftsprozesse integriert werden.

Nutzerinnen und Nutzer können sowohl über Browser als auch native Metaverse-Plattformen auf diese No/Low-Code-Tools zugreifen. Dies bedeutet, dass Unternehmen, Schulen oder Einzelpersonen von überall aus in der Lage sind, Inhalte zu erstellen und zu teilen. Sie können virtuelle

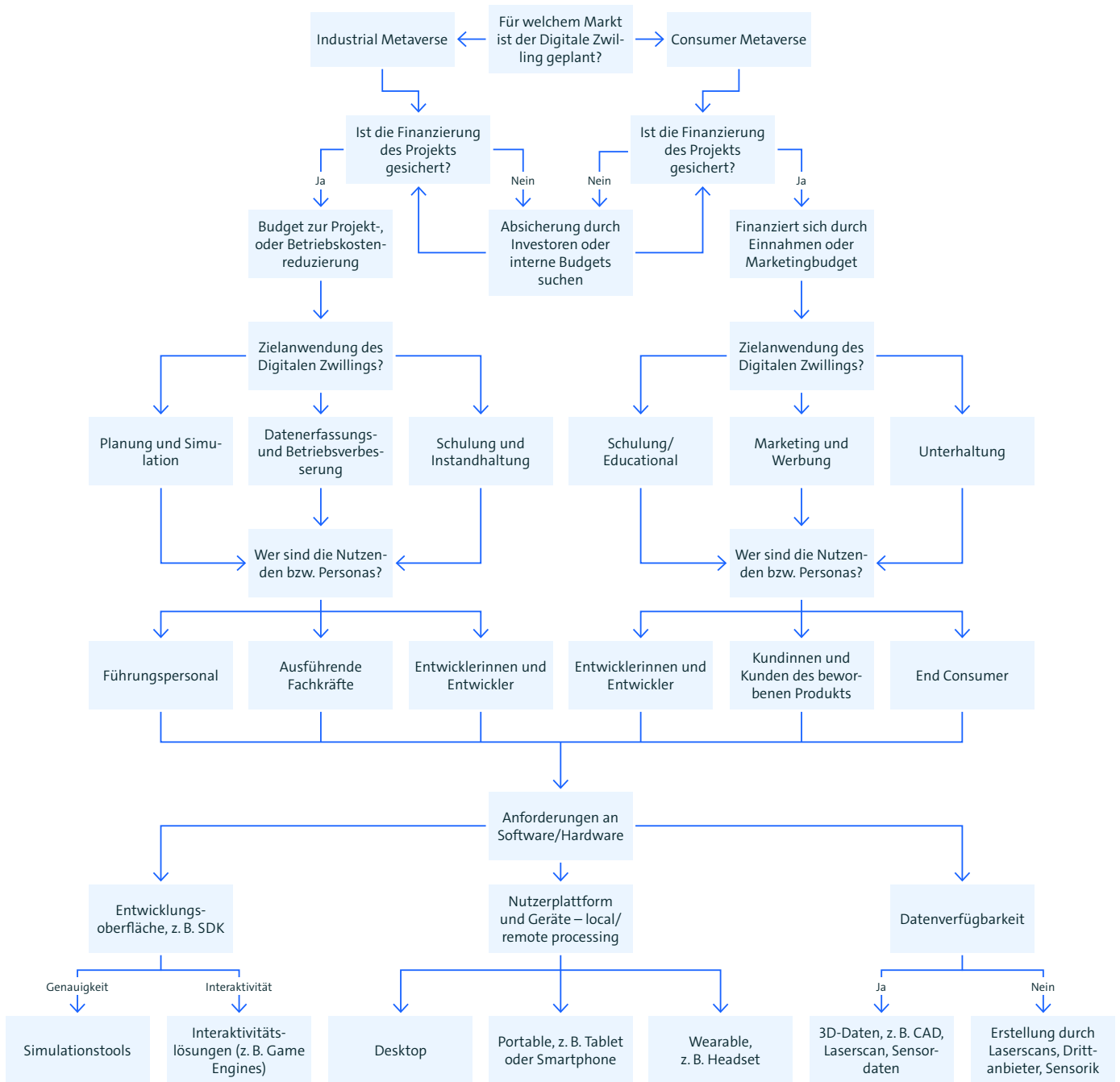
Räume designen, Geschäftsprozesse digitalisieren oder Bildungsinhalte in immersive Welten übertragen, ohne in teure Entwicklerteams investieren zu müssen.

Ein praxisnahes Beispiel ist ein Lehrer, der ohne Programmierkenntnisse eine virtuelle Klassenumgebung erstellt, in der Lernende interaktive Quizfragen beantworten, mit virtuellen 3D-Objekten arbeiten und Lernfortschritte in Echtzeit überwachen können. Durch No/Low-Code-Lösungen können diese Szenarien binnen kürzester Zeit erstellt und angepasst werden.

# 7 Entscheidungsmatrix auf dem Weg ins Metaverse

Die Entscheidungsmatrix ist ein wertvolles Instrument, um den richtigen Weg zu einem erfolgreichen Use Case im Metaverse zu finden. Sie hilft dabei, verschiedene Dimensionen und Anforderungen zu bewerten, die bei der Auswahl und Implementierung eines Use Cases berücksichtigt werden sollten. Da das Metaverse eine Vielzahl an Technologien und Anwendungen vereint (siehe ↗ Kapitel 5 und ↗ Kapitel 6), bietet die Matrix eine strukturierte Vorgehensweise, um sicherzustellen, dass der ausgewählte Use Case

Konkret ist die Matrix aufgeteilt in die zwei grundlegende Marktsegmente des Metaverse: Industrial Metaverse und Consumer Metaverse. Bei diesen beiden fallen die Kundinnen und Kunden sowie die Anwendungsbereiche oft sehr unterschiedlich aus. Dennoch gibt es einige Gemeinsamkeiten und Überschneidungen, die hier grafisch zum Ausdruck kommen sollen. Dies fängt an beim Budget und endet schließlich in den technischen Anforderungen der Systeme, mit denen die Anwendungen genutzt werden sollen.



# 8

## Ausblick

Das Metaverse hat das Potenzial, die nächste Generation des Internets zu werden. Es verbindet unser digitales und physisches Leben durch Immersion, Interaktivität in Echtzeit, Nutzerautonomie und Interoperabilität von Plattformen und Geräten. Es wird eine entscheidende Rolle als zentrale und katalytische Infrastruktur spielen, die nicht nur die Art und Weise, wie wir Technologie erleben, grundlegend verändern wird, sondern auch unsere sozialen und wirtschaftlichen Strukturen. Die Integration einer Vielzahl fortschrittlicher Technologien wird das Metaverse prägen und eine Ära einläuten, in der digitale und physische Realitäten nahtlos ineinander übergehen. Ermöglicht wird diese Konvergenz durch den Einsatz der oben skizzierten Schlüsseltechnologien, deren stetige Weiterentwicklung in den kommenden Jahren zu erwarten ist.

Die Einführung virtueller Güter, Dienstleistungen und Immobilien wird traditionelle Geschäftsmodelle im Metaverse revolutionieren. Die digitale Wirtschaft wird durch digitale Zwillinge realer Unternehmen und Produkte ergänzt, die in einer synchronisierten Wirtschaftslandschaft agieren. Unternehmen werden das Metaverse für globale Kooperationen und Fusionen nutzen und innovative Plattformen für Marketing und Kundenservice schaffen. Die wirtschaftliche Bedeutung des Metaverse wird durch seine Fähigkeit, neue Märkte zu erschließen und die Grenzen zwischen Produktion und Konsum zu verwischen, erheblich gesteigert.

Im industriellen Umfeld schafft das Metaverse nicht nur eine neue Ebene der Informationsdurchgängigkeit und Integrationsmöglichkeiten der heute immer öfter diskutierten Datenräume (zum Beispiel Catena-X), sondern ermöglicht Menschen auch die immer komplexer werdenden Zusammenhänge einfacher zu fassen und dabei intuitiver zu arbeiten. Komplizierte Spezialapplikationen zu beherrschen und deren Aussagen einzuschätzen, wird immer weniger nötig sein, was auch hilft, den Bedarf nach Fachkräften zu reduzieren.

Das Metaverse wird die Virtualisierung von Arbeitsprozessen ermöglichen, wodurch ortsunabhängiges Arbeiten und virtuelle Zusammenarbeit erleichtert werden. Diese Flexibilisierung erfordert jedoch auch Anpassungen der Unternehmensstrukturen und -kulturen, um die Effizienz virtueller Teams zu gewährleisten. Neue Berufsfelder werden entstehen, während sich bestehende kontinuierlich weiterentwickeln müssen, um mit dem technologischen Fortschritt Schritt zu halten.

Aus soziokultureller Sicht fungiert das Metaverse als globales Instrument für kulturellen Austausch und soziale Interaktion, das traditionelle geografische und sozioökonomische Barrieren überwindet. Die kontinuierliche Interaktion in virtuellen Gemeinschaften fördert transkulturelle Identitäten und Netzwerke, die bestehende soziale Strukturen herausfordern. Es besteht jedoch die Gefahr, dass der Zugang zu diesen Technologien soziale Ungleichheiten verstärkt, wenn Teile der Bevölkerung vom technologischen Fortschritt ausgeschlossen werden. Die »digitale Kluft« ist



eine reale Herausforderung, die gezielte Maßnahmen zur Gewährleistung einer breiten Zugänglichkeit zum Metaverse erfordert.

Im Bereich der allgemeinen und beruflichen Bildung eröffnet das Metaverse neue Möglichkeiten für flexibles, personalisiertes und lebenslanges Lernen. Immersive Lernumgebungen machen komplexe Konzepte verständlicher und erhöhen das Engagement der Lernenden. Darüber hinaus beeinflusst die Nutzung virtueller Welten die Entwicklung kultureller Normen und Werte, weshalb es unerlässlich ist, dass die Inhalte und Dienste des Metaverse kultursensibel und integrativ gestaltet werden.

Wir stehen an der Schwelle zu einer neuen Ära, in der digitale Erweiterungen unsere physische Realität ergänzen und grundlegende Konzepte wie Identität, Gemeinschaft und Eigentum neu definieren. Das Metaverse ist nicht nur ein technologischer Fortschritt, sondern vielmehr ein Katalysator für die Transformation zentraler Lebensbereiche wie Arbeit, Bildung, Freizeit, Konsum, Kommunikation und elementare soziale Interaktionen. Es verkörpert die Vision einer global vernetzten Zukunft, in der digitale und physische Realitäten zunehmend verschmelzen und bestehende soziale, ökonomische und kulturelle Strukturen neu definiert werden. Diese Entwicklung birgt nicht nur Potenziale, sondern auch Herausforderungen mit ethischen und sozialen Implikationen. Fragen der digitalen Teilhabe, der sozialen Gerechtigkeit und der Gewährleistung von Autonomie im virtuellen Raum gewinnen an Bedeutung.

Es ist daher unerlässlich, dass wir uns aktiv an der Gestaltung dieser neuen Dimension beteiligen. Nur wenn wir uns gezielt und gemeinsam mit den Chancen und Risiken des Metaverse auseinandersetzen, können wir die Voraussetzungen für eine gerechte, inklusive und nachhaltige digitale Zukunft schaffen.

# 9 Autorinnen und Autoren

## Dr. Alexander Adami

leitet die Gruppe »Audio für AR & VR« beim ↗ Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS. Sein Schwerpunkt liegt in der Entwicklung von Audiowiedergabesystemen, die es Nutzenden erlauben, sich innerhalb von VR/XR-Welten mit allen sechs Freiheitsgraden (6DoF) frei zu bewegen. Weiterhin ist er als aktives Mitglied der MPEG-Audio-Arbeitsgruppe in der Standardisierung tätig.



## Elmar Arunov

ist ein anerkannter Experte und Keynote Speaker zum Thema Metaverse. Er ist Forschungsleiter bei der ↗ Deutschen Telekom AG als auch Gründer von Symbol Hub. Er ist außerdem wertvolles Beratungsmitglied des Lenkungsausschusses der Initiative »New European Media« und trägt seine Erkenntnisse zur Entwicklung der europäischen Medien bei.

## Henning Behrens

ist Co-Founder und CEO von ↗ WattWeiser. Seit 2015 arbeitet er in dem Bereich, der heute als Metaverse bezeichnet wird. In dieser Zeit hat er für zahlreiche Unternehmen und Bildungseinrichtungen innovative Lern- und Arbeitsmethoden in 2D und 3D entwickelt und implementiert. Für seine Projekte wurde er mit dem HR Innovation, dem eLearning und dem Digital Champions Award ausgezeichnet. Aktuell entwickelt er eine No-/Low-Code-Metaverse-Plattform. Seine Arbeit fokussiert sich zudem auf die Bereiche GovTech, EdTech, Stadtmarketing, digitale Zwillinge und KI-Avatare.





### Gunnar Beister

ist Senior Expert im Bereich Technology and Business Consulting bei ↗ Bosch Digital und gestaltet seit 2015 digitale Innovationen und Transformationsprozesse. Mit einem Studium in Wirtschaftsinformatik und fundierter Berufserfahrung bei Bombardier Transportation und Texas Instruments fokussiert er sich heute auf XR, VR, AR sowie AI/GenAI. Diese Schwerpunkte kombiniert er mit tiefgehender Expertise in IoT und Software Engineering, um zukunftsweisende Technologien voranzutreiben.

### Florian Bliesch

leitet den Bereich Innovation und Consulting bei der ↗ adesso mobile solutions GmbH und ist Dozent für Mobile Systeme an der Hochschule Düsseldorf HSD. Nach langjähriger Tätigkeit in der Finanzbranche, wo er internationale mobile Projekte verantwortete, liegen seine Schwerpunkte als Berater, Speaker und Autor auf der Integration von Schlüsseltechnologien wie Spatial Computing, AI oder 5/6G in mobile Ökosysteme, dem Industrial Metaverse sowie auf hochverfügbaren und geschäftskritischen mobilen Anwendungen und den Themen Change Management und Agilität.



### Dr. Alexander Fink

studierte Wirtschaftsingenieurwesen am Karlsruher Institut für Technologie und promovierte anschließend an der ETH Zürich, Departement für Management, Technologie und Ökonomie. Er gestaltet die strategische Ausrichtung und Weiterentwicklung des Innovationsmanagements der ↗ Bechtle Public Sector Division. Dazu gehören Projekte in den Bereichen virtuelle Welten und KI, die sowohl intern als auch extern umgesetzt werden.

### Lara-Louissa Genz

ist seit über fünf Jahren bei ↗ Deloitte im Tech-Innovations-Team. Sie verantwortet Themen rund um die Weiterentwicklung des Internets und hat umfangreiches Wissen im Bereich Web3. Ihr Schwerpunkt liegt auf dem Einsatz von (disruptiver) Technologie zur Steigerung der Prozess- und Produkteffizienz sowie der Kundenerfahrung. Häufig begleitet sie Kunden bei der Definition und Implementierung neuer Anwendungen und der Entwicklung innovativer Geschäftsmodelle unter Berücksichtigung technologischer Markttrends.





### Marc Kleemann

setzt sich seit 25 Jahren für bessere Entscheidungen durch (Geo-)Daten und seit zehn Jahren für Geo Open Data ein. Bei ↗ con terra treibt er innovative Themen wie Digitale Zwillinge für Kunden in der digitalen Verwaltung voran. Seit sieben Jahren arbeitet er im Vorstand des Bitkom-Arbeitskreises Open Data Open API mit vielen Arbeitskreisen erfolgreich zusammen. Seit 2024 ist er Vorstandsmitglied des Bitkom-Arbeitskreises Geoinformation. Zuvor war er tätig bei Esri Deutschland und Schweiz im Partner Management, bei ISB AG für Vertrieb von Open Source GIS und bei con terra für Open Data. Bei CGI und CSC Ploenzke führte er IT-Teams in Telekommunikation und Verteidigung.

### Dr. Sebastian Klöß

ist Leiter Märkte & Technologien beim Digitalverband ↗ Bitkom. Er betreut die Arbeitskreise »Metaverse Forum«, »Augmented & Virtual Reality« sowie »NewTV«. Außerdem ist er für die Erstellung der Studie ↗ »Die Zukunft der Consumer Technology« zuständig. Vor seiner Zeit beim Bitkom hat er als Redakteur gearbeitet und sich schon damals mit Tech-Themen beschäftigt. Davor war er wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Humboldt-Universität zu Berlin, wo er in Geschichte promoviert wurde.



### Antje Kunze

ist Senior Client Partner bei ↗ Unity Technologies. Sie begann im wissenschaftlichen Bereich als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl für Informationsarchitektur an der ETH Zürich und gründete das ETH-Spin-off CloudCities in der Schweiz und den USA. In den letzten zehn Jahren hat sie für Softwareunternehmen gearbeitet, die heute technologisch führend im Bereich 3D-Echtzeit und digitale Zwillinge sind, wie Esri, Dassault Systèmes, Virtual Cities Systems und Unity Technologies. Sie arbeitet mit vielen führenden Unternehmen zusammen, um deren Metaverse Strategien und Umsetzung voranzutreiben. Antje ist Vorstandsvorsitzende des Arbeitskreises Metaverse Forum beim Bitkom und Chapter President für Deutschland der globalen AR/VR Association.

## Nicole Krämer

ist eine etablierte Autorin und Expertin im Bereich des Metaverses. Sie bringt ihre bisherige Erfahrung als IT Specialist mit und hat als Mitwirkende an diesem Werk ihre umfassenden Kenntnisse und Erfahrungen eingebracht, um das Verständnis und die Möglichkeiten dieses aufstrebenden Bereichs zu erkunden und zu erweitern. Seit ihren Anfängen in der IT hat sie sich kontinuierlich weitergebildet und engagiert sich aktiv für die Entwicklung und Umsetzung innovativer Metaverse-Technologien. Ihre Arbeit spiegelt eine tiefe Leidenschaft für das Thema wider, und sie ist bestrebt, die Zukunft dieses digitalen Raums aktiv mitzugestalten.



## Dr. Siccó Lehmann-Brauns

ist Head of Digital Policy Germany der ↗ Siemens AG im Bereich Government Affairs, wo er sich mit Themen der Datenwirtschaft, der Künstlichen Intelligenz und neuer digitaler Geschäftsmodelle beschäftigt. Er ist Sprecher des ZVEI- und BDI-Arbeitskreises »Datenwirtschaft und Künstliche Intelligenz« und Mitglied im Expertenkreis des »Zukunftsdialoges« der Deutschen Bundesregierung sowie Mitglied im »European Data Innovation Board« (EDIB) der Europäischen Kommission. Siccó Lehmann-Brauns hat Berufserfahrungen in verschiedenen Funktionen in der wissenschaftsbasierten Politikberatung sowie im Technologie- und Wissensmanagement. Er hat Philosophie und Wissenschaftstheorie studiert und ist Lehrbeauftragter an privaten und öffentlichen Hochschulen.

## Robertino Pereira

ist Commercial Director für Healthcare, Training und Education bei der Enterprise Division von ↗ PICO XR. Er ist ein Experte für innovative Technologien mit über 15 Jahren Erfahrung in der Zusammenarbeit mit Unternehmen und akademischen Institutionen weltweit. Er hat an zahlreichen Projekten mit aufkommenden Technologien wie VR/XR, Eyetracking, Biometrie und Technologien zur Verhaltensanalyse gearbeitet. Mit seiner Arbeit hat er sowohl im akademischen als auch kommerziellen Umfeld zum Erfolg und der Adoption dieser Technologien im Markt beigetragen.





### Prof. Dr. Nils Peters

ist Associate Professor für Audiosignalverarbeitung an der ↗ Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg und an den ↗ International Audio Laboratories Erlangen. Seine Forschung konzentriert sich auf die Nutzbarmachung des Internets der Dinge für zukünftige Audio- und Multimediaanwendungen. Bevor er zu den International Audio Laboratories kam, war er unter anderem leitender Entwicklungsingenieur bei Qualcomm in San Diego, USA.

### Marie von Stauffenberg

arbeitet seit 2019 im Public Policy Team von ↗ Meta und verantwortet dort Themen wie Metaverse und Bildung und Jugendmedienschutz. Vor dieser Position war sie fünf Jahre in der politischen Kommunikation tätig.



### Marco Tillmann

ist seit Mai 2022 Senior Product Manager bei ↗ NVIDIA. Zuvor war er als Product Manager bei Blackshark.ai beschäftigt, einem Startup, das 3D-Zwillinge der Welt mithilfe von Machine Learning erstellt. Er arbeitete außerdem als Product Manager bei Here Technologies in Frankfurt am Main sowie bei der Maxon Computer GmbH in Friedrichsdorf, als Partnership Manager bei Apple Ltd. in Uxbridge, England, und Product Manager und Künstler bei Integrated Computing Engines Inc. in Waltham, MA, USA. Zuvor absolvierte er ein Studium in Computer-Kunst und Animation am Savannah College of Art and Design in Savannah, GA, USA.

### Dr. Steven Vettermann

studierte Maschinenbau an der TU Darmstadt und promovierte dort zum Thema IT-Security im kollaborativen Produktdatenmanagement. Seit 2022 leitet er gesamtverantwortlich die Forschungsaktivitäten bei ↗ Ascon Systems. Er ist Fachautor und Speaker und setzt sich dafür ein, Software-definierte Produktion und Industrial-Metaverse-Lösungen in der Industrie zu etablieren.





### Robin Wenk

ist Co-Founder der 2007 gegründeten Digital-Agentur ↗ Lightshape. Schon während seines Architekturstudiums an der Universität Stuttgart und der California Polytechnic State University entdeckte er seine Faszination für virtuelle Welten. Während zunächst noch der Fokus auf computergenerierten Bildern und Filmen für Technikkommunikation lag, begann er 2012, die Sparte »interaktive Medien« bei Lightshape voranzutreiben. Dabei entstanden diverse Pionierprojekte mit namhaften Firmen. In den Bereichen XR und Metaverse ist er verantwortlich für die Beratung und Konzeption digitaler Einsatzfelder, sowohl im Kreativbereich als auch bei der Schaffung neuer Arbeitswelten. Zudem ist er Speaker und war Mitgründer der XR Expo, welche 2017 als Tech Event für digitale Realität ins Leben gerufen wurde.

### Harmen Zell

arbeitet seit 2018 im Public Policy Team von ↗ Meta für die D/A/CH-Region. Er verantwortet die Themenbereiche KI- und Datenschutzregulierung sowie immersive Technologien.



### Michael Zoll

ist Head of Extended Reality bei der ↗ adesso mobile solutions GmbH und leitet das branchenübergreifende Competence Center für immersive Technologien. Er verantwortet das Business Development und die operative Leitung eines interdisziplinären Teams aus Beraterinnen und Beratern, UX-Designern, 3D-Artists und Entwicklerinnen und Entwicklern. Er unterstützt Kundinnen und Kunden sowie Partnerinnen und Partner bei der Umsetzung innovativer Lösungen in den Bereichen Extended Reality, Spatial Computing und Metaverse.

Bitkom vertritt mehr als 2.200 Mitgliedsunternehmen aus der digitalen Wirtschaft. Sie erzielen allein mit IT- und Telekommunikationsleistungen jährlich Umsätze von 190 Milliarden Euro, darunter Exporte in Höhe von 50 Milliarden Euro. Die Bitkom-Mitglieder beschäftigen in Deutschland mehr als 2 Millionen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Zu den Mitgliedern zählen mehr als 1.000 Mittelständler, über 500 Startups und nahezu alle Global Player. Sie bieten Software, IT-Services, Telekommunikations- oder Internetdienste an, stellen Geräte und Bauteile her, sind im Bereich der digitalen Medien tätig oder in anderer Weise Teil der digitalen Wirtschaft. 80 Prozent der Unternehmen haben ihren Hauptsitz in Deutschland, jeweils 8 Prozent kommen aus Europa und den USA, 4 Prozent aus anderen Regionen. Bitkom fördert und treibt die digitale Transformation der deutschen Wirtschaft und setzt sich für eine breite gesellschaftliche Teilhabe an den digitalen Entwicklungen ein. Ziel ist es, Deutschland zu einem weltweit führenden Digitalstandort zu machen.

**Bitkom e.V.**

Albrechtstraße 10  
10117 Berlin  
T 030 27576-0  
[bitkom@bitkom.org](mailto:bitkom@bitkom.org)

[bitkom.org](https://www.bitkom.org)

**bitkom**