

TECHNISCHE HOCHSCHULE OSTWESTFALEN-LIPPE

MEDIENPRODUKTION

BACHELORARBEIT

# Stärken und Schwächen der XR- Technologie: Eine Analyse der Entwicklung von XR mit Fokus auf Pass- Through und Screen Scripting der Quest 3

*Vorgelegt von: Anna Lisa Kramer*

*Matrikelnummer: 15454050*

*Abgabedatum: 20.08.2024*

*Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Alexander Kutter*

*Zweitprüferin: Jennifer Meier*

## ***Danksagung***

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen herzlich bedanken, die mich im Verlauf der Bachelorarbeit unterstützt haben.

Zuerst möchte ich mich bei Prof. Dr.-Ing. Alexander Kutter bedanken der als Erstprüfer meiner Bachelorarbeit fungiert. Stets konnte ich mich bei Fragen oder Unsicherheiten an ihn wenden. Seine Erfahrung und Expertise im Bereich XR gaben mir hilfreiche Anregungen, die zum Gelingen der Bachelorarbeit beigetragen haben.

Auch möchte ich mich bei Jennifer Meier bedanken, die sich bereiterklärt die Zweitprüferin dieser Bachelorarbeit zu sein.

Ich bedanke mich auch bei Evelin Lau, Leah Kerzbeck, Christoph Raitzig und Lisa Große-Föllner die sich die Zeit genommen haben, meine Arbeit Korrektur zu lesen und mir konstruktives Feedback zu geben.

Zu guter Letzt danke ich meinen Eltern, die mich stets unterstützten und auch in stressigen Phasen nie müde wurden, mich zu motivieren. Sie haben mir Kraft gegeben Herausforderungen zu meistern und meinem Abschluss näherzukommen.

## ***Zusammenfassung***

Diese Bachelorarbeit untersucht die Stärken und Schwächen von Extended Reality (XR). Ziel ist es das Potenzial dieser Technologie herauszuarbeiten und den gegenwärtigen Stand der Technologie aufzuzeigen. Dazu analysiert die vorliegende Arbeit die bisherige historische Entwicklung von XR (VR, AR, MR) aus verschiedenen Perspektiven. Sie geht auf technologische, wirtschaftliche Aspekte, sowie auf zukünftige Prognosen ein.

Im praktischen Teil der Arbeit wurde eine Anwendung in der Programmierumgebung Unity für die Oculus Quest 3 entwickelt. Diese soll den gegenwärtigen Stand der XR-Technologie veranschaulichen und die theoretischen Erkenntnisse durch eine praxisnahe Umsetzung untermauern.

## ***Abstract***

This bachelor thesis examines the strengths and weaknesses of Extended Reality (XR). The aim is to highlight the potential of this technology and present its current state. The thesis analyzes the historical development of XR (VR, AR, MR) from various perspectives, focusing on technological and economic aspects, as well as future forecasts.

In the practical part, an application was developed in the Unity environment for the Oculus Quest 3. This application demonstrates the current state of XR technology and supports the theoretical findings through practical implementation.

# Inhalt

Inhalt .....	5
Abbildungsverzeichnis .....	7
Abkürzungsverzeichnis .....	8
Tabellenverzeichnis .....	8
1 Einleitung.....	9
1.1 Persönliche Motivation .....	9
1.1.1 Wie fing es an? .....	9
1.1.2 Warum XR? .....	9
1.2 Thema der Arbeit.....	9
1.3 Zielsetzung und Forschungsfragen.....	9
1.4 Methodik und Aufbau der Arbeit .....	10
2 Grundlagen .....	11
2.1 Was ist XR? .....	11
2.1.1 VR .....	11
2.1.2 AR .....	13
2.1.3 MR.....	14
2.2 Abgrenzung zu ähnlichen Begriffen .....	15
2.2.1 Metaverse.....	15
2.2.2 Spatial Computing .....	16
2.3 Die Stärken & Schwächen von XR.....	17
2.3.1 Stärken .....	17
2.3.2 Schwächen.....	19
3 Entwicklung und Anwendung .....	22
3.1 Historie von XR.....	22
3.1.1 Technische Entwicklung .....	22
3.1.2 Zukunftsperspektiven der Technologie .....	26
3.2 XR in der Wirtschaft.....	28
3.2.1 Markt und wirtschaftliche Nutzung .....	28
3.2.2 Nutzergruppen .....	32
4 XR & KI .....	33
4.1 Grundlagen der Künstlichen Intelligenz (KI) .....	33
4.2 Stärken von KI .....	33
4.3 Verwendung von KI und XR .....	34
4.3.1 <i>KI in XR</i> .....	35
4.3.2 <i>XR in KI</i> .....	35

5	Praktischer Teil der Arbeit .....	36
5.1	Idee.....	36
5.1.1	Programm Unity .....	37
5.2	Umsetzung .....	40
5.3	Ergebnisse zum praktischen Teil .....	44
6	Ausblick.....	45
6.1	Aktuelle Herausforderungen .....	45
6.2	Technische Weiterentwicklung .....	46
6.2.1	XR-Brillen (besser Grafikkarten, CPU, etc.) - Hardware.....	46
6.2.2	Software & Entwicklung.....	48
6.2.3	KI.....	48
6.2.4	Zukunftstrends (VR, MR, AR, XR) .....	48
6.3	Anwendungsmöglichkeiten .....	49
7	Fazit.....	50
	Literaturverzeichnis .....	52
	Selbstständigkeitserklärung.....	56

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 - Snapshot von Second Life - Virtuelle Gesellschaft entwickelt mit virtuellen Avataren, die sich in virtueller Welt treffen (8) .....	12
Abbildung 2 - Vier Beispiele des "Assisted-Mixed-Reality Continuum" (9) .....	13
Abbildung 3 - Vereinfachte Repräsentation eines RV-Kontinuums (11) .....	14
Abbildung 4 - Darstellung des „3I-Modells“ (16) .....	17
Abbildung 5 - Sensorama (7) .....	23
Abbildung 6 - The Sword of Damocles (26) .....	23
Abbildung 7 - Ungefährer zeitlicher Ablauf: Buzzwords/Devices/Platforms (3) .....	24
Abbildung 8 - Gartner Hype Cycle für die entstehenden Technologien AR/VR/MR (2006-2019) (30) .....	26
Abbildung 9 - AR- & VR-Umsatz nach Markt (Stand April 2024) (32) .....	28
Abbildung 10 - AR- & VR-Umsatzverteilung 2022 (32) .....	29
Abbildung 11 - Umsatzvergleich Top 5 Länder mit Prognosen (32) .....	30
Abbildung 12 - Penetrationsvergleich Top 5 Länder mit Prognosen (Stand 2024) (32) .....	30
Abbildung 13 - AR & VR Umsatzverteilung 2022 (32) .....	32
Abbildung 14 - Vorgeschlagene Leitlinien für die Kombination von KI und XR (36) .....	34
Abbildung 15 - Screenshot des eigenen Unity Interface .....	38
Abbildung 16 - Sicht 1 Meta XR Simulator Top View .....	41
Abbildung 17 - Spieler Sicht Meta XR Simulator .....	42

## Abkürzungsverzeichnis

XR	Extended Reality
VR	Virtual Reality
AR	Augmented Reality
MR	Mixed Reality
IoT	Internet of Things
bzw.	Beziehungsweise
z.B.	zum Beispiel
etc.	et cetera
B2B	Business-to-Business
B2C	Business-to-Consumer

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 - Interaktion im Vergleich (9) .....	18
Tabelle 2 - Datenvergleich drei moderner Brillen (20), (21), (22).....	20
Tabelle 3 - Penetrationsvergleich Top 5 Länder mit Prognosen (Stand 2024) (32) .....	31

# 1 Einleitung

## 1.1 Persönliche Motivation

### 1.1.1 Wie fing es an?

Technologie begeistert durch ihre Fähigkeit, Grenzen zu überwinden und scheinbar Unmögliches möglich zu machen. Technologie erfordert Logik. Alles baut aufeinander auf. Aus diesem Aufbau bildet sich ein komplexes, zusammenarbeitendes und faszinierendes System. In gewisser Weise sind Technologie und Logik eine Form von Fantasie, die sich durch kreative Problemlösung verwirklicht.

### 1.1.2 Warum XR?

Die Verbindung von Technologie und Kreativität übt eine besondere Anziehungskraft aus. Extended Reality (XR) verbindet Technologie und Kreativität auf eine einzigartige Weise, die andere Medien nicht erreichen. XR ermöglicht es, fantasievolle Welten zu erschaffen und durch Technologie in diese einzutauchen. Es gilt, die traditionellen Gesetze der Physik zu überwinden und eigene aufzustellen. Der Entwickler gestaltet sich eine eigene funktionierende Welt. Alles Erdenkliche kann in XR dargestellt werden, was eine Vielzahl von Anwendungsmöglichkeiten eröffnet – sei es in der Lehre, der Industrie oder als Unterhaltungsmedium.

## 1.2 Thema der Arbeit

Metaverse, Extended Reality (XR), Virtual Reality (VR), Mixed Reality (MR) und Augmented Reality (AR) - all diese Begriffe sind in den letzten Jahren immer mehr in den Fokus gerückt (1).

Extended Reality (kurz „XR“) ist der Überbegriff für immersive Technologien und Umgebungen, die die natürliche Wahrnehmung des Nutzers durch digital generierte Elemente ergänzen. XR umfasst Augmented Reality (AR), Virtual Reality (VR) und Mixed Reality (MR) (2). Es handelt sich nicht um eine eigene Realität, sondern um einen Sammelbegriff für diese Technologien und die Übergangsbereiche dazwischen.

Vor einigen Jahren galt XR als eine der zukunftssträchtesten Technologien (3). Sie besitzt verschiedene Stärken, wie beispielsweise die Immersion, also das Gefühl des Eintauchens in die virtuelle Umgebung. Durch die Immersion ermöglicht XR andere Nutzungsmöglichkeiten in beispielsweise der Lehre, der Wissenschaft oder der Unterhaltung, als es bei herkömmlichen Medien, wie dem Computer, der Fall ist. XR ermöglicht das Training lebensgefährlicher Szenarien und das Üben spezieller Handgriffe und Abläufe ohne Ressourcenverschwendung.

## 1.3 Zielsetzung und Forschungsfragen

War der Hype um XR und das Metaverse nur ein weiterer „Irrtum“, so wie die Dotcom-Blase? Oder fehlt noch ein entscheidender Funke, der XR auch als Massenmedium attraktiv macht und an "normale" Konsumenten bringt? Könnte dieser Funke vielleicht KI sein? Wie und wo sind XR-Brillen verbreitet? In welchen Anwendungsfeldern werden XR-Brillen und XR-Anwendungen heutzutage verwendet?

Ziel dieser Arbeit ist es, die bisherige Entwicklung der XR-Technologie seit ihrer Erfindung auf verschiedene Faktoren zu analysieren und am Ende dieser Arbeit Hypothesen für die Zukunft aufzustellen. Es soll ein Verständnis dafür geschaffen werden, worin die Stärken und Schwächen von XR liegen. Zusätzlich zu der theoretischen Analyse soll ein praktischer Teil entwickelt werden,

der die Oculus Quest 3 von Meta und ihre neuen Features in den Mittelpunkt stellt. Diese Anwendung soll zum Verständnis des gegenwärtigen Standes der Technologie beitragen. Die eigens gemachten Erfahrungen beim Entwickeln dieser Anwendung werden die Arbeit bereichern.

Die Bachelorarbeit richtet sich an Studierende, Entwickler und Fachfremde, die sich für Extended Reality (XR) interessieren. Sie bietet eine umfassende Einführung in die Technologie und deren Entwicklungen, um allen Lesern ein fundiertes Verständnis der zukünftigen Trends und Potenziale von XR zu ermöglichen.

## 1.4 Methodik und Aufbau der Arbeit

Diese Arbeit gliedert sich in einen theoretischen und einen praktischen Teil. Nach der Einleitung definiert und grenzt das zweite Kapitel die grundlegenden Begriffe und Konzepte der Extended Reality (XR) ab. Mithilfe umfassender Literaturrecherche wird ein klares Verständnis der unterschiedlichen Technologien wie Virtual Reality (VR), Augmented Reality (AR) und Mixed Reality (MR) geschaffen.

Das dritte Kapitel beschreibt die historische Entwicklung von XR. Dieser Abschnitt bildet den zentralen Kern der Arbeit, da er die technologischen Fortschritte von den Anfängen bis zur Gegenwart chronologisch aufbereitet und einen Ausblick auf zukünftige Entwicklungen gibt. Zunächst behandelt dieses Kapitel die technischen Fortschritte und geht anschließend auf die zukünftigen Anwendungsmöglichkeiten und Perspektiven der XR-Technologie ein. Danach analysiert das Kapitel die wirtschaftlichen Aspekte von XR, wobei der Fokus auf Umsatz, Branchen und Nutzern liegt.

Das vierte Kapitel untersucht den Einfluss von Künstlicher Intelligenz (KI) auf die XR-Technologie. Zunächst folgt eine kurze Definition von KI mit wichtigen theoretischen Grundlagen, woraufhin verschiedene Stärken von KI herausgearbeitet werden. Am Ende dieses Abschnitts reißt das Kapitel außerdem die Einflüsse von KI auf andere Gebiete an. Von hier aus erfolgt ein thematischer Übergang hin zu XR und dem Einfluss von KI auf die XR-Technologie. Der Schwerpunkt liegt auf der Verwendung von KI, sowohl in XR-Anwendungen als auch in der Technologie der Brillen selbst.

Nachdem nun XR definiert und ihre Entwicklung aus verschiedenen Perspektiven seit der Erfindung bis heute veranschaulicht ist, behandelt Kapitel fünf den praktischen Teil der Bachelorarbeit. Der praktische Teil der Arbeit besteht in der Entwicklung einer Anwendung für die Oculus Quest 3 von Meta. Das Kapitel beschreibt die Idee, die Nutzung des Programms Unity, die Umsetzung der Anwendung sowie auftretende Herausforderungen und deren Lösung. Am Ende dieses Kapitels werden die Erkenntnisse aus dem Entwicklungsprozess zusammengefasst.

Kapitel sechs bietet einen Ausblick in die Zukunft der XR-Technologie. Es diskutiert die aktuellen Herausforderungen und potenziellen technischen Weiterentwicklungen basierend auf den im Verlauf der Arbeit gewonnenen Erkenntnissen. Ein Blick auf Firmenaussagen von Unternehmen wie Meta und Google tragen zu einem umfassenden Überblick über die zukünftigen Trends und Entwicklungen bei. Zusätzlich werden mögliche Anwendungsideen für XR vorgestellt, die auf der Weiterentwicklung der KI basieren.

Das abschließende Kapitel sieben zieht ein Fazit und beantwortet die zentralen Forschungsfragen der Arbeit anhand der gewonnenen Erkenntnisse.

## 2 Grundlagen

### 2.1 Was ist XR?

XR dient häufig als Oberbegriff für immersive Technologien und Umgebungen wie Virtual Reality (VR), Augmented Reality (AR) und Mixed Reality (MR) (4). Ursprünglich konkurrierte XR teilweise mit dem Begriff Mixed Reality (MR), da er sich stark auf eine Mischung von AR und VR bezog. Heute versteht sich XR meist als Abkürzung für „Extended Reality“ (zu Deutsch: „erweiterte Realität“) (4). Sinnvoller sei es, die „Extended Reality“ als Überbegriff oder „Sammelbecken“ für alle repräsentativen Formen digitaler immersiver Technologien sowie deren zwischenliegende Bereiche „hybrider“ Realitäten zu begreifen. Extended Reality bezieht sich damit auf alle kombinierten realen und virtuellen Umgebungen und deren Mensch-Maschine-Interaktionen. Der Übergang zwischen Realität und virtueller Welt ist fließend, da man visuell, akustisch und teils auch haptisch in „beiden Welten“ agieren kann. Anwender betreten die virtuellen Welten mittels XR-Brille bzw. XR-Headset. Moderne VR-Headsets unterstützen durch Ihre Ausstattung mit einer Vielzahl an Sensorik und Kameras sowohl VR- als auch AR/MR-Anwendungen und entsprechen damit Extended-Reality (XR)-Anforderungen (1).

Es herrscht keine einheitliche Konsistenz, die Terminologie betreffend. Laut Rauschnabel et al. (2022) ist die Bezeichnung Extended Reality zu eng gefasst. Sie schlagen vor, das X in XR als „alle“ zu verstehen, um alle neuen Realitätsformen zu umfassen, und sprechen von „xReality“, also „alle Realitäten“. Rauschnabel et al. (2022) spricht von „xReality“. Eine weitere Interpretation sieht XR als "Cross Reality", also die Kombination von virtuellen und physischen Plattformen.

In dieser Arbeit wird der Begriff „Extended Reality“ verwendet werden. Es wird berücksichtigt, dass XR für All-, Cross- oder Extended Reality stehen kann, solange die Technologie in ihrem Kern dieselbe ist. XR dient in dieser Arbeit als Überbegriff für VR-, AR- und MR-Technologien (4).

Die folgenden Abschnitte erläutern die vorangegangenen Begrifflichkeiten VR, AR und MR genauer.

#### 2.1.1 VR

Bei der virtuellen Realität (zu Englisch „virtual reality“; Kurz „VR“) handelt es sich um eine in Gänze simulierte Realität. Eine „virtuelle Realität“ kann als Widerspruch in sich verstanden werden. So werden an Stelle des Begriffs „virtuelle Realität“ auch „virtuelle Umgebung“ oder „virtual environment“ gebraucht. „Virtuelle Realität“ hat sich im Verlauf der Zeit jedoch durchgesetzt (5). Das Oxford Dictionary definiert VR als: „Bilder und Geräusche, die von einem Computer erzeugt werden und für den Benutzer fast real erscheinen, der durch den Einsatz von Sensoren mit ihnen interagieren kann“ (6)

Technologisch gesehen umfasst VR eine Reihe von Eingabegeräten, die viele unserer sensorischen Eingangskanäle stimulieren, wie beispielsweise ein umfassendes visuelles Sichtfeld und Stereo-Sound. Psychologisch betrachtet handelt es sich um ein Muster von Sinnesreizen, das den Eindruck erweckt, sich in einem computergenerierten Raum zu befinden (7).



Abbildung 1 - Snapshot von Second Life - Virtuelle Gesellschaft entwickelt mit virtuellen Avataren, die sich in virtueller Welt treffen (8)

Entwickler benötigen zur Entwicklung einer virtuellen Realität eine virtuelle Welt. Eine virtuelle Welt ist ein alternativer Ort, der künstlich erzeugt wurde. Er kann sowohl erfundene als auch existierende Orte darstellen. Die virtuelle Welt kann entweder nur in der Vorstellung ihres Schöpfers existieren oder durch ein teilbares Medium manifestiert werden. Daraus folgt, dass eine virtuelle Welt eine Illusion einer Umgebung als private Fantasie ist, welche durch innere oder äußere Reize ausgelöst werden kann (9).

Ziel der virtuellen Realität ist es, eine Immersion zu erzeugen. Visuelle, akustische und taktile Reize stimulierten den Nutzer, sodass er das Gefühl hat, sich in der simulierten Umgebung aufzuhalten (5). In perfekter VR würden sämtliche Sinneseindrücke des Nutzers durch den Computer, in gleicher Quantität und Qualität, wie es Menschen aus der realen Welt gewohnt sind erzeugt. Handlungen des Menschen in VR hätten die gleichen Effekte, und virtuelle Objekte würden genauso auf den Menschen einwirken wie in der realen Welt (10).

## 2.1.2 AR

Die erweiterte Realität (zu Englisch „Augmented Reality“; Kurz AR) zeichnet sich dadurch aus, dass digitale Informationen oder Einblendungen zur eigentlichen Realität ergänzt werden (9). Innerhalb der User Experience spielt die physische Umgebung, in der sich der Nutzer befindet, nach wie vor eine Rolle. Augmented Reality (AR) kombiniert reale und virtuelle Inhalte zu einer hybriden Erfahrung, bei der kontextabhängige virtuelle Inhalte mithilfe von Computern in die Echtzeitwahrnehmung des Nutzers integriert werden. Je nach Grad der Integration reicht AR von "Assisted Reality" (geringe lokale Präsenz) bis zu „Mixed Reality" (hohe lokale Präsenz).

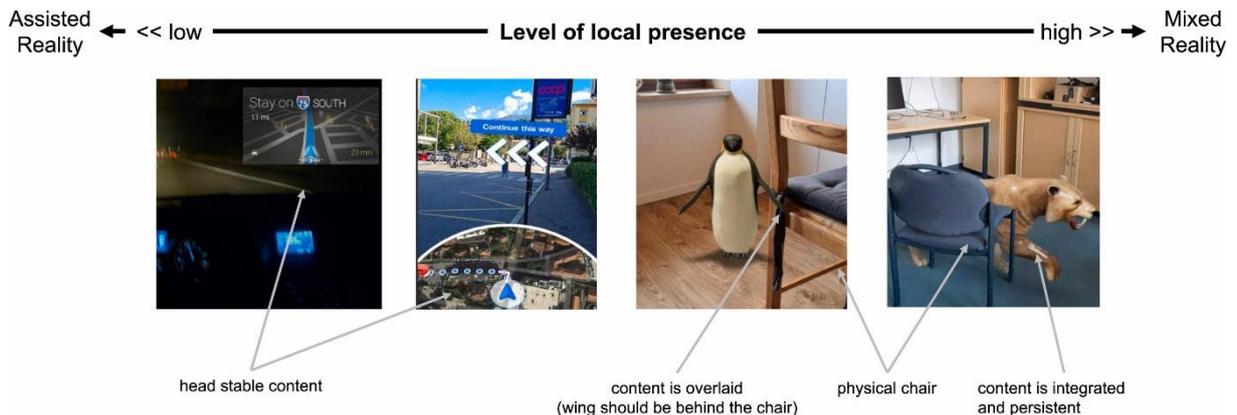


Abbildung 2 - Vier Beispiele des "Assisted-Mixed-Reality Continuum" (9)

Die Abbildung zeigt beispielhaft, wie die unterschiedlichen Grade von Assisted Reality bis zur Mixed Reality für den Nutzer einer Anwendung aussehen könnten. Unterschiedliche Elemente, die zur lokalen Präsenz („level of local presence“) beitragen sind ebenfalls dargestellt.

Assistierende Realität („Assisted Reality“) nutzt virtuelle Objekte, um dem Benutzer ein besseres Verständnis seiner physischen Umgebung zu ermöglichen. Beispielsweise können Arbeiter AR-Brillen tragen, um textbasierte Arbeitsanweisungen über ihre physische Umgebung gelegt zu sehen, oder Touristen können bei einer Besichtigungstour Informationen zu Sehenswürdigkeiten einblenden lassen (4). Hierbei findet keine Verschmelzung von virtuellen Objekten mit der realen Welt statt.

Eine Voraussetzung für die Einblendung ist, dass sie mittels eines sog. „Ankers“ an ein bestimmtes reales Objekt gebunden sind. Das bedeutet, die Position, die Orientierung und Perspektive der Einblendung wird so an einem realen 3D Objekt ausgerichtet, dass eventuelle Texte stets lesbar bleiben. Je nach Wahl des Ankers sind einige AR-Anwendungen an einen bestimmten Ort gebunden oder ortsunabhängig.

Mögliche Ausgabegeräte für AR-Anwendungen sind in der Hand gehaltene (beispielsweise Smartphones), am Kopf oder an der Wand befestigte Displays und an der Fensterscheibe verankerte Head-up-Displays (9).

### 2.1.3 MR

Die gemischte Realität (oder zu Englisch „Mixed Reality“; kurz MR) kombiniert die physische/ reale Welt mit der digitalen Welt und bietet dadurch ein nahtloses Verschmelzen von realen und virtuellen Umgebungen.

In der wissenschaftlichen Literatur gibt es hier ebenfalls keine einheitliche Definition. Einige Forscher fassen Mixed Reality als Zusammenführung von Virtual Reality (VR) und Augmented Reality (AR) auf, während andere vorschlagen, dass Mixed Reality eine spezifische Art von Realität ist, die zwischen AR und erweiterter Virtualität (AV) angesiedelt ist (4).

1994 führten Paul Milgram und Fumio Kishino das Konzept des „Realitäts-Virtualitäts-Kontinuums“ (zu Englisch „Reality-Virtuality Continuum“) ein. Dieses Kontinuum beschreibt ein Spektrum von Umgebungen, die von der vollkommen realen bis zur vollständig virtuellen Realität reichen, und alle Mischformen dazwischen einschließt:

1. **Reale Umgebung:** Die physische Welt ohne digitale Elemente.
2. **Erweiterte Realität (AR):** Die reale Welt wird durch computergenerierte Inhalte ergänzt.
3. **Erweiterte Virtualität (AV):** Eine virtuelle Umgebung wird durch reale Elemente ergänzt.
4. **Virtuelle Realität (VR):** Eine vollständig computergenerierte Umgebung ohne Bezug zur realen Welt.

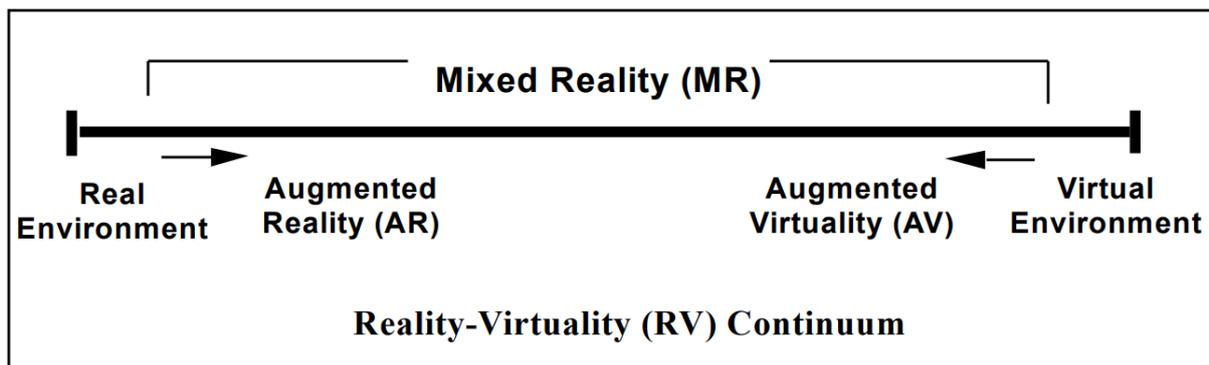


Abbildung 3 -Vereinfachte Repräsentation eines RV-Kontinuums (11)

Dieses Konzept hilft, verschiedene Stufen und Mischformen von realen und virtuellen Umgebungen zu klassifizieren, und findet Anwendung in Bereichen wie Unterhaltung (z. B. bei Videospiele), Bildung (z. B. interaktive Lernmodule), Medizin (z. B. Üben von komplexen Operationen in einer simulierten Umgebung) und Industrie (z. B. Lieferung von Echtzeit-Informationen über Maschinen und Anlagen).

MR erfordert fortschrittliche Hardware wie spezielle Brillen oder Headsets, die in der Lage sind, die reale Welt zu erfassen und virtuelle Inhalte präzise darüber zu legen. Beispiele für solche Geräte sind die Microsoft HoloLens und die Magic Leap One. Diese Geräte nutzen Sensoren, Kameras und fortschrittliche Algorithmen, um die Position und Bewegung des Nutzers zu verfolgen und die virtuellen Inhalte entsprechend anzupassen (11).

## 2.2 Abgrenzung zu ähnlichen Begriffen

Der folgende Abschnitt befasst sich mit der Abgrenzung des Begriffes XR zu in ähnlichem Kontext oft verwendeten Begrifflichkeiten „Metaverse“ und „Spatial Computing“.

### 2.2.1 Metaverse

Der Begriff Metaverse (zu Deutsch: „Metaversum“) setzt sich aus dem griechischen Präfix „meta“ (über) und „verse“ bzw. „versum“ (abgeleitet von „Universum“) zusammen. Er beschreibt somit ein „Universum, das über“ unsere analoge Welt hinausgeht. Erstmals aufgetaucht ist der Begriff in dem Roman „Snow Crash“ von Neil Stephenson aus dem Jahr 1992 (1).

Das Metaverse ist ein komplexes Konzept, dessen genaue Definition noch nicht einheitlich festgelegt ist, da verschiedene Unternehmen unterschiedliche Ansätze bei der eigenen Entwicklung verfolgen (12). Zwei repräsentative Definitionen verdeutlichen dies:

*„Ein Gefühl der Immersion, Echtzeit-Interaktivität und Nutzeragenten. Die umfassende Vision des Metaverse umfasst zudem die Kompatibilität zwischen verschiedenen Plattformen und Geräten, die gleichzeitige Interaktion von Tausenden von Nutzern sowie Anwendungsfälle, die menschliche Aktivitäten weit über das Gaming hinaus abdecken.“*

Mark Zuckerberg, Gründer und CEO von Meta Platforms (ehemals Facebook), beschreibt das Metaverse als

*„ein „verkörpertes Internet“, in dem Nutzer sich befinden, Avatare und digitale Objekte zentrale Rollen in der Selbstdarstellung spielen und neue Erfahrungen sowie wirtschaftliche Chancen eröffnet werden.“ (13)*

XR-Technologien, einschließlich Mixed Reality (MR), Augmented Reality (AR) und Virtual Reality (VR), bieten Zugang zum Metaverse (4). Die Anwendungsmöglichkeiten des Metaverse sind dabei äußerst vielfältig.

In der Industrie und Fertigung ermöglicht das Metaverse durch digitale Zwillinge und 3D-Modellierung eine Effizienzsteigerung in Produktionsprozessen, würde die Transparenz und automatisiert Prozesse mithilfe autonomer mobiler Roboter verbessern. Fortschrittliche Holographie-Techniken schaffen immersive, multisensorische Erfahrungen im Bereich des Internets der Sinne, während 6G-Kommunikationsnetzwerke die Realität optimieren.

Im Marketing bietet das Metaverse ein umfassendes wirtschaftliches Ökosystem, das den Handel mit digitalen und physischen Produkten, Peer-to-Peer-Interaktionen und Krypto-Transaktionen umfasst. Im Bildungsbereich ermöglicht es durch XR-Technologien immersive Lernerfahrungen und nutzt KI-gestützte Werkzeuge für personalisierte Lernangebote. Im Internet-of-Bio-Things ermöglicht es durch selbstversorgende Sensoren immersive Erfahrungen und die Schaffung virtueller Büros und Präsentationen.

Für die Fahrzeug-zu-Alles-Kommunikation (V2X) simuliert das Metaverse Verkehrsszenarien zur Verbesserung autonomer Fahrzeuge und überwacht Fahrzeuge zur Erkennung betrügerischer Aktivitäten. Schließlich verbessert es im Internet des Gamings die Spielerfahrungen durch VR und XR, schafft virtuelle Spielwelten und unterstützt den Handel mit NFTs, unterstützt durch fortschrittliche Spiel-Engines wie Unity und Unreal.

Diese vielfältigen Anwendungen zeigen, wie das Metaverse als Plattform für Innovation und Effizienzsteigerung in verschiedenen Branchen dient (14).

## 2.2.2 Spatial Computing

Wörtlich übersetzt bedeutet Spatial Computing „räumliches Rechnen“. Der Begriff tauchte zum ersten Mal im Jahr 2003 in der Masterarbeit des MIT-Studenten Simon Greenwold auf.

Spatial Computing bezeichnet die Interaktion zwischen Menschen und Maschinen, bei der die Maschine reale Objekte und Räume erkennt und verarbeitet. Im Gegensatz zu anderen verwandten Bereichen wie 3D-Modellierung und digitalem Design ist Spatial Computing dadurch gekennzeichnet, dass es mit Objekten und Räumen arbeitet, die bereits in der realen Welt existieren und für den Nutzer von Bedeutung sind.

Ein zentrales Merkmal von Spatial Computing ist die Notwendigkeit, dass die Formen und Räume, mit denen gearbeitet wird, physisch in der realen Welt vorhanden sein müssen. Dies unterscheidet sich grundlegend von rein virtuellen Systemen, bei denen es hauptsächlich um digitale Repräsentationen geht. Beispielsweise ermöglicht ein System für Spatial Computing es den Nutzern, virtuelle Objekte zu erstellen und diese in ihre tatsächliche Umgebung zu integrieren. Ein weiteres Beispiel wäre ein System, das es ermöglicht, reale Objekte zu digitalisieren, indem sie in eine Maschine eingeführt werden.

Spatial Computing geht über die bloße Darstellung von virtuellen Räumen hinaus. Während klassische digitale Designwerkzeuge oft virtuelle Umgebungen erzeugen, die keine direkte Beziehung zur realen Welt haben, erfordert Spatial Computing eine sinnvolle Verbindung zu realen Orten. Die Darstellung von Raum in Spatial Computing kann auch zweidimensional sein, wie auf einem Stück Papier, und muss nicht zwangsläufig dreidimensional sein.

Ein einfaches Beispiel für Spatial Computing ist eine selbstreinigende Toilette, die den Benutzer erkennt und beim Verlassen automatisch spült. Auch wenn diese Technologie grundlegend erscheint, veranschaulicht sie, wie Spatial Computing mit realen menschlichen Räumen interagiert. Der Raum, mit dem das System arbeitet, ist real, und das System reagiert auf physische Veränderungen in diesem Raum.

Zusammengefasst bedeutet Spatial Computing, dass digitale und reale Welt miteinander verbunden werden. Es erlaubt, echte Objekte und Räume in digitale Anwendungen einzubinden und umgekehrt. Dies unterscheidet sich von anderen digitalen Technologien, da Spatial Computing besonders darauf abzielt, reale Dinge und Räume in digitale Prozesse einzubeziehen (15).

## 2.3 Die Stärken & Schwächen von XR

Der folgende Teil der Arbeit untersucht die Stärken und Schwächen von Extended Reality, wobei er sich auf einige zentrale Aspekte konzentriert. Diese Untersuchung dient dazu, das Potenzial der neuen Technologien zu bewerten.

### 2.3.1 Stärken

Das 3I-Modell von Burdea & Coiffet, bekannt aus dem Bereich der Virtual Reality (VR), beschreibt die wesentlichen Merkmale und Anforderungen an VR-Systeme, um eine überzeugende und effektive virtuelle Erfahrung zu ermöglichen. Diese Komponenten tragen wesentlich zur Einzigartigkeit und Effektivität von VR/XR-Technologien bei (16).

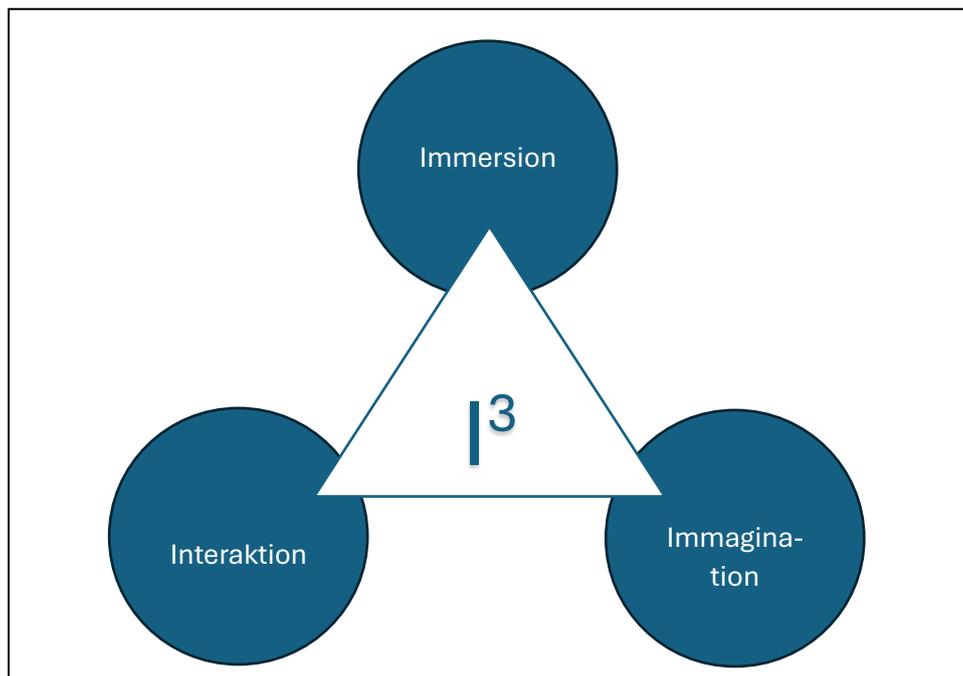


Abbildung 4 - Darstellung des „3I-Modells“ (16)

#### 2.3.1.1 Immersion

Immersion beschreibt das Gefühl, sich in einer simulierten Welt oder Umgebung zu befinden und diese als Realität anzunehmen (5). Der Begriff „Immersion“ leitet sich aus dem Lateinischen „immersio“ ab – was zu Deutsch „Eintauchen“ bedeutet (9). Ziel ist es also, dass der Nutzer in eine virtuelle Welt eintaucht und diese als Realität annimmt.

Slater und Wilbur (1997) definieren die Immersion als das Maß, in dem eine Technologie dem Menschen eine reichhaltige und lebendige Illusion der Realität vermittelt. Immersion findet sich nicht nur in virtuellen Umgebungen, sondern auch in Medien wie Büchern und Filmen, wo sie das nachhaltige Eintauchen in die fiktive Welt charakterisiert. In der Regel erhöht sich der Grad der gefühlten Immersion, je mehr äußere weltliche Einflüsse der Nutzer nicht mehr wahrnimmt (17).

Die Immersion kann durch die Kombination visueller, akustischer und taktiler Sinnesreize gesteigert werden. Beispielsweise erhöht die gleichzeitige Verwendung visueller und akustischer Reize in einer Anwendung die Immersion deutlich im Vergleich zur alleinigen Nutzung visueller Reize.

Slater und Wilbur nennen sechs Faktoren, die die Immersion erhöhen können:

1. **Reichhaltigkeit:** Die Bandbreite an sensorischen Modalitäten (z. B. optische, auditive oder auch physische Reize).
2. **Passgenauigkeit:** Die Übereinstimmung zwischen den sensorischen Modalitäten (z. B. bei der Wahrnehmung der Form eines Objektes, seiner Größe und der Rauheit seiner Oberflächen sowohl durch das Sehen als auch das Fühlen).
3. **Umschlossenheit:** Das räumliche Ausmaß der jeweiligen Reize (z. B. Sichtfeld, Raumklang).
4. **Klarheit:** Qualität der übermittelten Reize (z. B. Auflösung, Bildrate, Audio-Bitrate)
5. **Interaktionsfähigkeit:** Die Fähigkeit des Nutzers, innerhalb der virtuellen Umgebung zu interagieren (z. B. durch Freihandgestik oder Controller).
6. **Handlung:** Das eigentliche Narrativ bzw. die Erzählung oder die kohärente Schilderung und dramaturgische Entfaltung des Geschehens.

Der Faktor Immersion ist wichtig, weil sie die Grenze zwischen der realen und der virtuellen Welt verwischt. Dies ermöglicht intensive Erfahrungen, die in anderen Medienformen schwer zu erreichen sind. Eine hohe Immersion fördert das Engagement und die emotionale Verbindung der Nutzer zur virtuellen Umgebung (17).

### 2.3.1.2 Interaktion

Der Begriff „Interaktion“ ist ein Zusammenschluss aus den lateinischen Begriffen „inter“ (= zwischen) und „actio“ (= Tätigkeit). Eine Interaktion bezieht sich auf die gegenseitige Beeinflussung von Akteuren oder Systemen. Nutzer haben die Möglichkeit, durch ihre eigenen motorischen Handlungen den Verlauf äußerer Ereignisse zu beeinflussen oder zu kontrollieren.

In zweidimensionalen Benutzerschnittstellen, wie es beispielsweise bei der Nutzung eines Computers der Fall ist, ist der Nutzer auf drei Freiheitsgrade eingeschränkt, von denen meist nur zwei genutzt werden: Translation auf der x- und y-Achse ohne Rotation. Kommt nun eine dritte Dimension dazu, so ergeben sich sechs Freiheitsgrade.

Die folgende Tabelle zeigt die Unterschiede zwischen der virtuellen Umgebung gegenüber 2D-Benutzerschnittstellen und auf der anderen Seite die Unterschiede zwischen der virtuellen Umgebung gegenüber der realen Welt (9).

Interaktion im Vergleich zwischen immersiver VR und 2D-Benutzungsschnittstellen	Interaktion im Vergleich zwischen immersiver VR und der realen Welt
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Höherer Freiheitsgrad</li> <li>• Interface oft 3D, nicht 2D</li> <li>• Stereo-3D-Display, nicht mono</li> <li>• Dynamische Anpassung des Ansichtsfensters durch Kopfposition und -orientierung</li> <li>• Kein festgelegtes Sichtfenster</li> <li>• Abschottung der Außenwelt, im Gegensatz zu einer größtenteils wahrnehmbaren Außenwelt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Systemeinstellung über Menü benötigt</li> <li>• „Superhuman“-Fähigkeiten gewünscht</li> <li>• Oft fehlende Haptik</li> <li>• Geringe Präzision bei der Interaktion</li> <li>• Höhere Latenz</li> </ul>

Tabelle 1 - Interaktion im Vergleich (9)

In XR-Anwendungen ermöglicht eine hohe Interaktionsfähigkeit dem Nutzer, die Umgebung aktiv zu erkunden, zu manipulieren und auf Ereignisse zu reagieren. Dies verstärkt das Gefühl der Kontrolle und Einbindung, was die Benutzererfahrung verbessert und Anwendungen vielseitig und nützlich macht (9).

### 2.3.1.3 Imagination

Imagination, oder auch Vorstellungskraft, bezeichnet die Fähigkeit, mental über Zeit, Ort und Umstände hinauszugehen, um über alternative Szenarien nachzudenken, die Zukunft zu planen und zu antizipieren, fiktive Welten zu erschaffen und sowohl nahe als auch entfernte Alternativen zu realen Erfahrungen zu betrachten. Diese vielseitige Fähigkeit entwickelt sich bereits früh im Leben und nimmt während der Vorschuljahre erheblich zu.

In XR-Anwendungen ermöglicht Imagination die Schaffung kreativer und innovativer Erlebnisse. Nutzer können in simulierte Welten eintauchen, die über die reale Welt hinausgehen, und Szenarien erleben, die in der Realität nicht möglich wären. Dies ist besonders wertvoll in Bereichen wie Bildung, Training und Design, wo komplexe Konzepte visualisiert und interaktive Erlebnisse geschaffen werden können (18).

## 2.3.2 Schwächen

Der folgende Abschnitt beleuchtet die Schwächen der Extended Reality -Technologie im Detail. Er analysiert technische, wirtschaftliche und datenschutzrechtliche Aspekte, um ein umfassendes Verständnis der Herausforderungen und Limitierungen zu vermitteln.

### 2.3.2.1 Technische Schwächen

Ein wesentlicher technischer Aspekt von XR-Systemen sind die Hardware-Anforderungen. Viele XR-Headsets benötigen nach wie vor eine Kabelverbindung zu einem Computer, um eine hohe Leistung zu gewährleisten. Diese Kabelverbindung kann die Bewegungsfreiheit der Nutzer einschränken. Obwohl kabellose Headsets mehr Freiheit bieten, leiden sie häufig unter geringerer Rechenleistung und kürzeren Akkulaufzeiten, was die Nutzererfahrung beeinträchtigen kann.

Ein weiteres technisches Problem betrifft den Tragekomfort. Das Gewicht der Headsets kann bei längerem Tragen unangenehm sein. Zwar wiegen neuere Modelle meist weniger als 500 Gramm, doch das Tragen über längere Zeiträume kann weiterhin als störend empfunden werden.

Besondere Herausforderungen bestehen auch für Menschen mit körperlichen Einschränkungen. XR-Headsets bieten oft nicht genug Platz für das Tragen einer Brille, was für sehbehinderte Personen problematisch ist. Auch das Tragen von Hörgeräten kann Schwierigkeiten verursachen. Je nach Art der Anwendung benötigt der Nutzer ein ausreichend großes und hindernisfreies „Spielfeld“, um Verletzungsgefahr vorzubeugen (19).

### 2.3.2.2 Softwarebezogene Schwächen

Die Stärke der XR-Technologie liegt in ihrer Immersion, stellt aber gleichzeitig eine Herausforderung dar. Nutzer erwarten, dass die simulierte Umgebung realistisch auf ihre Handlungen reagiert. Den Sinnen des Nutzers sollten hoch aufgelöste, qualitativ hochwertige und über alle Displays konsistente Informationen vermittelt werden. Viele Anwendungen erreichen jedoch nicht den erforderlichen Standard, da sie oft nur einzelne Sinnesreize ansprechen. Die verwendeten Daten und Informationen sind dabei oft qualitativ minderwertig und unsynchronisiert (7).

Ein häufiges Problem ist die „VR-Sickness“ oder „visual induced motion sickness“ (kurz VIMS). Diese Art von Kinetose kann Symptome wie Schwindel, Übelkeit, Kopfschmerzen und Desorientierung verursachen. Solche Beschwerden beeinträchtigen den Nutzungskomfort erheblich und können die Benutzererfahrung negativ beeinflussen (19).

### 2.3.2.3 Wirtschaftliche Aspekte und Preis

Drei moderne Brillen auf dem Markt sind die Oculus Quest 3 von Meta und die AppleVisionPro von Apple:

	Apple Vision Pro	Varjo XR-4	Meta Quest 3
<b>Marktstart</b>	02.2024	11.2023	10.2023
<b>Auflösung</b>	23 Mio px	3840 x3744 px	2064 x 2208 px
<b>Gewicht</b>	600–650 g	665 g	515 g
<b>Preis</b>	3 999€	Startet bei 5,990 €	549€
<b>Nutzungsmodus</b>	Standalone	Kabelgebunden	Standalone & Hybrid

Tabella 2 - Datenvergleich drei moderner Brillen (20), (21), (22)

Der Preis für XR-Hardware ist ein weiterer entscheidender Faktor, der die Verbreitung beeinflusst. Moderne XR-Headsets variieren stark im Preis.

Der Nutzungsmodus einer XR-Brille bestimmt ihre Verwendungsmöglichkeiten. Dabei unterscheidet man, ob die Brille eigenständig (standalone) arbeitet oder ob sie über eine Kabelverbindung auf die Rechenleistung eines externen Geräts (wie eines PCs oder einer Konsole) angewiesen ist. Der Nutzungsmodus definiert somit, welche technischen Voraussetzungen und welche Hardware für den Betrieb der XR-Brille notwendig sind.

### 2.3.2.4 Datenschutz und gesetzliche Aspekte

Alle XR-Geräte sammeln Nutzerdaten. Dazu zählen technische Systeminformationen, Kontodaten, Transaktions- und Zahlungsdaten, von Nutzern erstellte Inhalte wie Beiträge und Kommentare, Informationen aus Chats und Sprachinteraktionen sowie Daten, die bei der Anforderung von Unterstützung oder bei der Teilnahme an Wettbewerben und Umfragen übermittelt werden. Auch Geräteinformationen, Spielstatistiken, IP-Adressen, Absturzberichte und Systemaktivitäten werden erfasst.

Zusätzlich sammeln diese Geräte sensorische Daten, wie Bewegungsprofile, biometrische Informationen und Umgebungsdaten. Diese Datensammlung kann sensible persönliche Daten betreffen, die potenziell missbraucht werden können. Die geltenden Datenschutzgesetze sind oft nicht ausreichend, um diese Risiken vollständig abzudecken, was zusätzliche Unsicherheiten für die Nutzer mit sich bringt (23).

### 2.3.2.5 Zusätzliche Herausforderungen und Barrieren

Eine Studie des vbw, die die Perspektiven bayerischer XR-Anbieter untersucht hat, zeigt weitere Gründe für die begrenzte Verbreitung von XR-Technologie auf. Die Studie sollte die Sicht von bayerischen Anbietern von XR-Lösungen auf den Markt eruieren. An ihr nahmen 22 bayerische XR-Unternehmen teil. Die Ergebnisse wurden primär qualitativ interpretiert und mit Feedback aus dem Vorstand des Branchenverbandes Extended Reality Bavaria e. V. (XRB) geschärft. Die Ergebnisse der Unternehmensbefragung haben ergeben, dass es in Deutschland gegenwärtig zahlreiche XR-Unternehmen gibt, von denen die meisten auf die Erstellung von Software bzw. Medien, wie etwa der Entwicklung von Apps oder Algorithmen, spezialisiert sind. Demgegenüber stellen deutsche Hardwareunternehmen eine Ausnahme dar, wie beispielsweise Tooz Technologies, ein Joint Venture der Deutschen Telekom AG und Zeiss.

Weitere Gründe dafür, dass XR in Unternehmen nicht ausreichend eingesetzt würden, sind:

**Niedrige Diffusionsraten:** AR-Brillen befinden sich noch in einem frühen Stadium und sind daher teuer. VR-Brillen sind zwar günstiger, aber ihre Diffusionsrate bleibt niedrig.

Dies führt zu mangelnder praktischer Erfahrung und Skepsis bei Unternehmen sowie einer geringen Nachfrage.

**Unbekanntes Potenzial:** Klein- und mittelständische Unternehmen unterschätzen das Potenzial im Bereich der Produktion und im Bereich HR/Training, und so kommt es vor, dass XR-Anbieter als Produzenten von „Gimmicks“ bezeichnet werden.

**Rechtsrahmen:** Es herrscht Unsicherheit in den Bereichen Datenschutz, Persönlichkeitsrechte oder geistiges Eigentum, beispielsweise im Hinblick auf virtuelle Inhalte. Im Arbeitskontext kommen zudem arbeitsrechtliche Fragestellungen hinzu, aus denen Konflikte mit Betriebsräten entstehen können, etwa in Bezug auf mögliche Gesundheitsrisiken bei der Nutzung oder Eingriffe in die Privatsphäre der Mitarbeitenden (24).

Zusammenfassend zeigen sich trotz der vielversprechenden Vorteile der XR-Technologie zahlreiche Herausforderungen, die adressiert werden müssen, um die Technologie weiterzuentwickeln und ihre Vorteile umfassend nutzen zu können.

## 3 Entwicklung und Anwendung

Das folgende Kapitel befasst sich mit der Geschichte von XR. Es soll betrachtet werden, wie sich sowohl die Hardware als auch die Software von XR im Laufe der Zeit entwickelt und verändert haben.

Ziel des Kapitels ist es über die Vergangenheit und Gegenwart von XR aufzuklären und ein Verständnis dafür zu schaffen, sowohl in technischer als auch wirtschaftlicher Hinsicht. Es soll ein Gefühl dafür geschaffen werden, um bestehende Zukunftsperspektiven einordnen zu können.

### 3.1 Historie von XR

Mit der Sensorama Maschine begann die Geschichte von einer simulierten/ virtuellen Realität. Morton Heilig hat diese im Jahr 1957 entwickelt und im Jahr 1962 patentiert. Die Sensorama war der erste Versuch eine virtuelle Umgebung zu erschaffen. Auf ihr lief ein voraufgezeichneter Film in Farbe. Binaurale Klang-, Duft-, Wind- und Vibrationserlebnisse haben Stereo ergänzt. Die Sensorama selbst war nicht interaktiv (7).

1965 beschreibt der englische Elektronikingenieur Ivan E. Suther in „The Ultimate Display“ seine Vision, eine hochgradig immersive und interaktive computergenerierte Umgebung zu schaffen, die die Grenzen der physischen Welt überschreitet. Er stellt sich eine Zukunft vor, in der Computerbildschirme jede denkbare Erfahrung simulieren können und den Benutzern einen „Blick in ein mathematisches Wunderland“ ermöglichen. Dieses „ultimate Display“ würde verschiedene sensorische Inputs und Outputs, einschließlich visuellem, auditivem und kinästhetischem Feedback, einbeziehen, um eine vollständig fesselnde und realistische Erfahrung zu schaffen (25). Mit der Entwicklung des „Sword of Damocles“ im Jahre 1968 vollbrachte er eine Pionierarbeit und unternahm damit einen der ersten Schritte auf dem Weg zum heutigen XR, noch vor der Entwicklung des Personal Computers (PC) 1970 (10).

Im weiteren Verlauf der Geschichte haben sich die Ideen für die Geräte und Anwendungen immer weiter verändert. Von einer simulierten nicht interaktiven Sinneswahrnehmung, über immer mehr Interaktivität und Immersion hinweg, bis hin zu einem hoch interaktiven Metaverse, von dem wir heute sprechen.

#### 3.1.1 Technische Entwicklung

Wie bereits erwähnt war der erste bekannte Simulator einer virtuellen Realität die Sensorama-Maschine im Jahr 1957.

„The Sword of Damocles“ war das erste virtuelle System, welches nicht nur als Konzept, sondern auch als Hardware realisiert wurde. Ivan Sutherland hat das erste Head Mounted Display (HMD) konstruiert, das außerdem Head-Tracking besaß. Das bedeutet, die Stereoansicht des Gerätes aktualisiert sich entsprechend der Kopfposition und Kopfausrichtung des Nutzers korrekt (7). Es ermöglichte so dem Betrachter, eine simulierte, wenn auch einfache 3D-Umgebung in der richtigen Perspektive zu sehen. Dieses System kann aufgrund seiner Durchsichtigkeit auch als das erste AR-System angesehen werden (10).

1982 entwickelte Thomas Furness in den Armstrong Medical Research Laboratories der US Air Force den Visually Coupled Airborne Systems Simulator (VCASS), einen fortschrittlichen Flugsimulator. Dabei trug der Kampfpilot ein Head-Mounted Display (HMD), das die Sicht

durch das Fenster mit Grafiken zur Zielerfassung und optimalen Flugpfadinformationen erweiterte (7).



Abbildung 5 - Sensorama (7)



Abbildung 6 - The Sword of Damocles (26)

Im Jahre 1985 (7) entwickelte Thomas Zimmermann den „DataGlove“. Der DataGlove ist ein mit Glasfasern ausgestatteter Handschuh. Die Glasfasern befinden sich an der Oberseite der Hand, um Fingerbeugungen und -bewegungen zu erfassen. Zusammen mit Jaron Lanier, der den Begriff „virtuelle Realität“ prägte, gründete er die Firma VPL. Dort entwickelten sie den „EyePhone“, eine Weiterentwicklung von Sutherland's Head-Mounted Display. Die LX-Version des EyePhone bot eine Auflösung von  $442 \times 238$  Pixeln, während die HRX-Version eine Auflösung von  $720 \times 480$  Pixeln erreichte (10).

Die Geschichte der VR-Technologie verzeichnete weitere wichtige Meilensteine, darunter die Erfindung der elektromagnetischen Tracker von Polhemus 3Space im Jahr 1989, die es erstmals ermöglichten, ein Ziel aus einer bestimmten Entfernung zu steuern. Gleichzeitig entwickelte Fake Space Labs den „BOOM“ (Binocular Omni-Orientation Monitor), ein 3D-Sichtgerät, das NTSC-Signale empfing und hochauflösende Grafiken anzeigen konnte. In den frühen 90er Jahren wurden bedeutende Fortschritte in der VR-Technologie erzielt, darunter projektionsbasierte Darstellungen wie die „Powerwall“ und die „CAVE“. Der Begriff „Augmented Reality“ (AR) wurde Anfang der 90er Jahre durch ein Boeing-Projekt geprägt. Weitere wichtige Entwicklungen folgten in den späten 90er Jahren, darunter das erste mobile AR-System „MARS“ und die Veröffentlichung von ARToolkit, die eine neue Ära der Forschung einläuteten. Fortschritte bei Tracking-Systemen und die Ablösung teurer Workstations durch PC-Cluster machten VR erschwinglicher und zugänglicher.

Seit 2013 erlebt VR durch die Einführung kostengünstiger Headsets wie der Oculus Rift einen Boom. Konsumentenversionen von VR-Brillen 2016 und dem Markteintritt zahlreicher weiterer Geräte, wie HTC Vive, Playstation VR, Microsofts „Mixed Reality“ Displays, usw. verstärkten diesen Boom. AR-Technologien wie Google Glass und Microsofts Hololens

konnten diesen Erfolg bisher nicht erreichen. Dennoch brachten Apple und Google 2017 mit ARKit und ARCore bedeutende Plattformen für mobile AR-Anwendungen auf den Markt (26).

Ende 2019 erschien die erste Oculus Quest. Tracking und eigene Positionsbestimmung verlegten sich von externen Sensoren auf die Brille selbst („Inside-Out“). Die Oculus selbst war kabellos. Mit ihr erschienen noch weitere kabellose Modelle mit größerer Bewegungsfreiheit auf dem Markt (1).

Die Veröffentlichung der mobilen App Pokémon Go war ein historischer Meilenstein für AR. Sie selbst zeichnete sich unter anderem durch eine innovative Nutzung von Geo-Tracking aus. Die App erreichte im Juni 2017 60 Millionen aktive Nutzer und bis 2019 1 Milliarde Downloads. Diese Zahlen waren zuvor im Zusammenhang mit einer dedizierten AR-Anwendung unerreichbar.

Im Juni 2020 kündigte Apple-CEO Tim Cook Augmented Reality als „das nächste große Ding“ und das XR-Jahrzehnt an. AR werde in den nächsten 5-10 Jahren „unser gesamtes Leben durchdringen“ (27). 2021 gab Mark Zuckerberg bekannt, er würde sein Unternehmen Facebook in Meta umbenennen und gab ihm ein neues Branding. Damit entstand ein neuer Hype um das Wort „Metaverse“. Apple präsentierte im Juni 2023 die VisionPro (28).

Abbildung 7 zeigt den chronologischen Ablauf der Entwicklung von Buzzwords, Geräten und Plattformen seit 2007. Sie illustriert den Übergang von VR zu AR-Geräten und ab 2019 vermehrt die Verwendung von „XR“, bis hin zur Umbenennung von Facebook zu Meta und dem Konzept des „Spatial Computing“ (3).

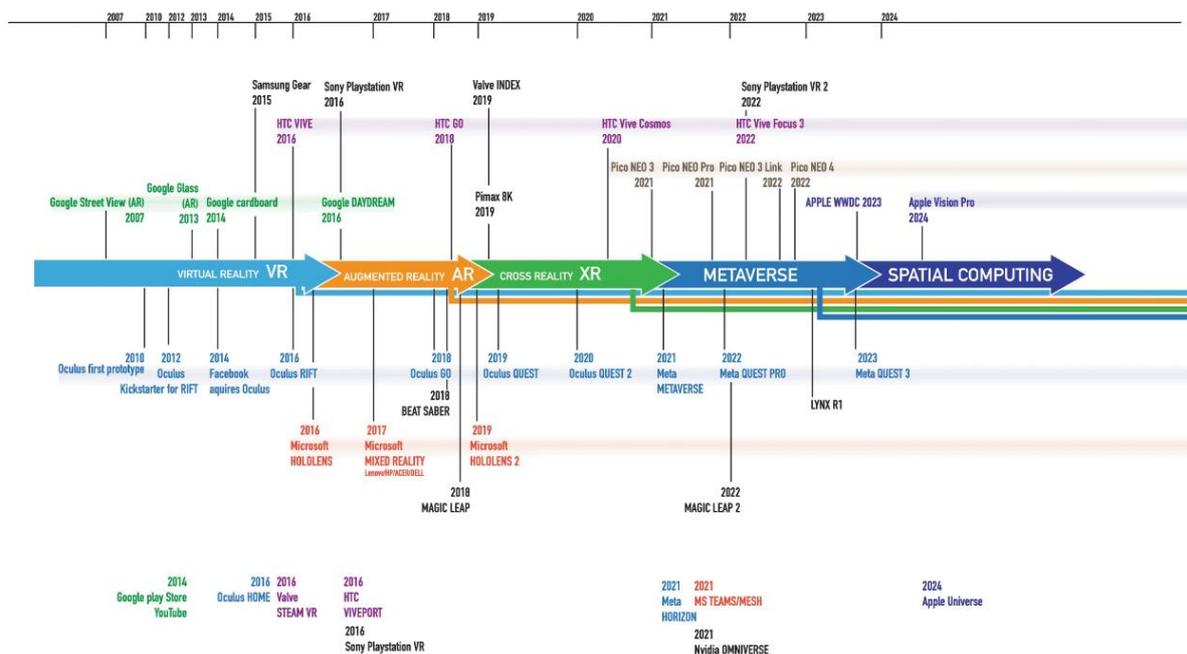


Abbildung 7 - Ungefäher zeitlicher Ablauf: Buzzwords/Devices/Platforms (3)

Um die Entwicklung von XR hinsichtlich ihres Hypes und Potenzials zu untersuchen, kann der Gartner Hype Cycle herangezogen werden. Dieses Modell, entwickelt von Gartner Inc., einem führenden Forschungs- und Beratungsunternehmen im Bereich der Informationstechnologie, veranschaulicht den Reifegrad, die Einführung und die soziale Akzeptanz neuer Technologien. Der Hype Cycle bietet wertvolle Einblicke in die Entwicklung und den potenziellen Einfluss von Technologien und ist besonders nützlich für Geschäftsstrategen, Investoren, Technologieentwickler und andere Stakeholder (29).

Der Hype Cycle besteht aus fünf Phasen, die auf die geschichtliche Entwicklung von XR angewendet werden können:

1. **Technologieauslöser** (Technology Trigger)
  - a. Die erste Phase des Gartner Hype Cycles beginnt mit der Einführung einer neuen Technologie oder Idee. Diese Einführung kann durch bedeutende Durchbrüche, Innovationen oder bahnbrechende Entwicklungen ausgelöst werden. In dieser frühen Phase sind die öffentliche Aufmerksamkeit und das Interesse oft gering, da die Technologie noch wenig bekannt ist.
2. **Gipfel der überzogenen Erwartungen** (Peak of Inflated Expectations)
  - a. Sobald die Technologie in den Fokus der Öffentlichkeit rückt, steigt das Interesse exponentiell an. Es entsteht ein regelrechter Hype, begleitet von überzogenen Erwartungen und optimistischen Prognosen über die potenziellen Auswirkungen der Technologie auf Gesellschaft und Wirtschaft.
3. **Tal der Enttäuschung** (Trough of Disillusionment)
  - a. Wenn die Technologie die hohen Erwartungen nicht sofort erfüllt oder auf unerwartete Herausforderungen trifft, folgt eine Phase der Ernüchterung. Die anfängliche Begeisterung weicht der Erkenntnis, dass die Technologie nicht alle Probleme lösen kann und diverse Schwierigkeiten mit sich bringt. Dies führt zu einem deutlichen Rückgang des Interesses und der Aufmerksamkeit.
4. **Anstieg der Erkenntnis** (Slope of Enlightenment)
  - a. In dieser vierten Phase wird das Verständnis für die praktischen Anwendungsmöglichkeiten und die tatsächlichen Vorteile der Technologie klarer. Unternehmen und Nutzer beginnen, die Technologie effektiver zu nutzen und entwickeln realistischere Erwartungen. Neue Lösungen und Verbesserungen tragen zu einem erneuten Anstieg des Interesses bei.  
Jedoch besteht die Möglichkeit, dass die Technologie in dieser Phase auch Rückschläge erlebt und zu früheren Phasen zurückkehrt, wodurch ein neuer Zyklus beginnt. Ein Beispiel hierfür ist die Virtual Reality (VR), die in den 1990er Jahren einen großen Hype erlebte. Unternehmen wie Sega und Nintendo zeigten großes Interesse an VR-StartUps wie der Virtuality Group. Jedoch scheiterten diese Konzepte daran, dass die damalige Computer- und Grafikkartentechnologie nicht ausgereift genug war, um VR für den Massenmarkt zu realisieren.
5. **Plateau der Produktivität** (Plateau of Productivity)
  - a. Die Technologie erreicht breite Akzeptanz und Integration. Sie wird erfolgreich in verschiedenen Branchen eingesetzt und ihre Vorteile sind klar erkennbar. Die Technologie etabliert sich und wird zu einem festen Bestandteil des Alltags oder der Geschäftswelt (29).

Es herrscht keine einheitliche Einordnung der XR-Technologie bzw. der Begriffe AR & VR in den Gartner Hype Cycle. Die folgende Abbildung zeigt eine Einordnung dieser Begriffe in die verschiedenen Phasen über die Jahre 2006 bis 2019 hinweg (30):

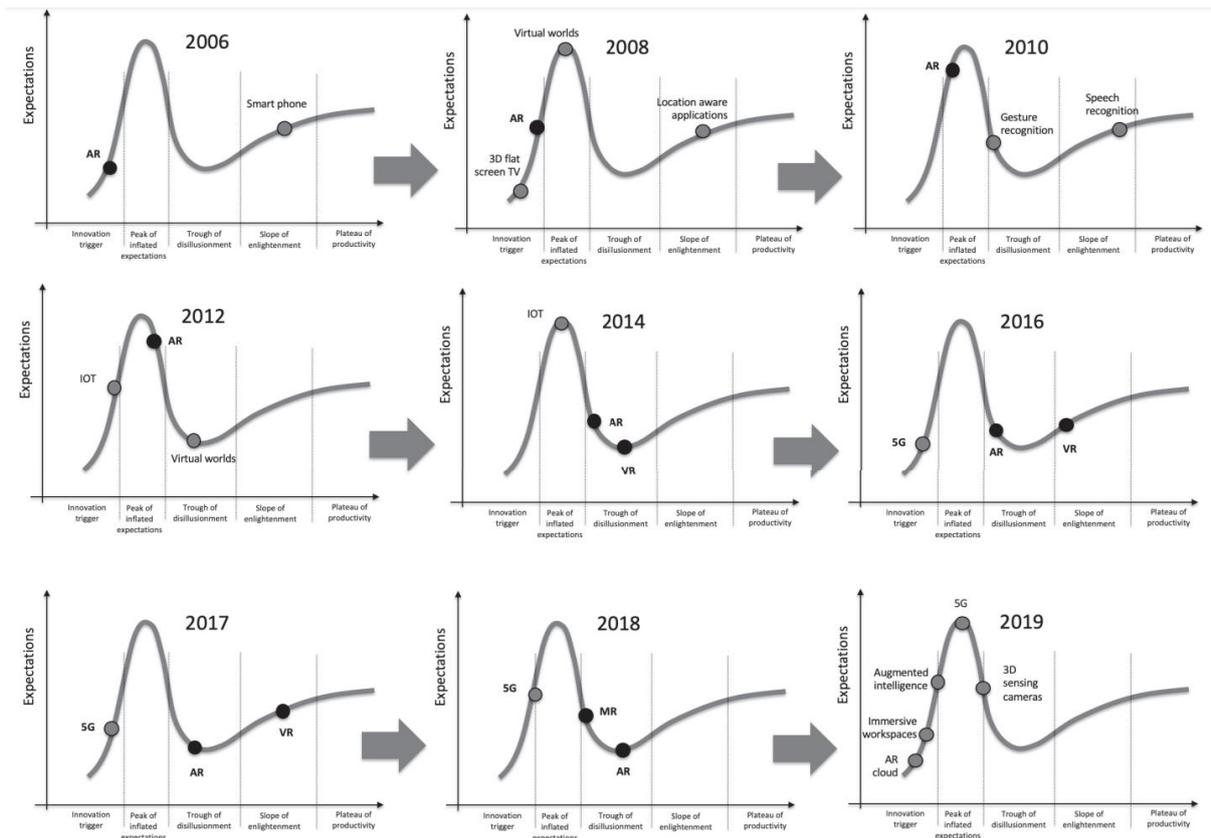


Abbildung 8 - Gartner Hype Cycle für die entstehenden Technologien AR/VR/MR (2006-2019) (30)

Dieses Hype Cycle-Modell zeigt, dass der Weg zur breiten Akzeptanz einer Innovation oft mit Höhen und Tiefen verbunden ist und dass Geduld und realistische Erwartungen im Verlauf des Hype Cycles wichtig sind. Basistechnologien wie Künstliche Intelligenz (KI) oder Blockchain (Distributed-Ledger-Technologien, DLT) schaffen neue Anwendungsmöglichkeiten und Grundlagen neuer Märkte. Sie beeinflussen jedoch auch die Entwicklung von XR, denn Technologien entwickeln sich nicht unabhängig voneinander.

In den letzten Jahren hat sich XR erheblich weiterentwickelt und hat die anfänglichen Herausforderungen in Bezug auf Hardware, Kosten und Benutzererfahrung überwunden. XR erreicht somit Phase 5 das „Plateau der Produktivität“ (30). Andererseits galt VR, als Teil von XR, über längere Zeit als überbewertet und befand sich im „Tal der Enttäuschung“. Mit dem Aufkommen erschwinglicher und verbrauchergerechter VR-Headsets für Spiele und Unterhaltung erlebte VR jedoch einen neuen Aufschwung und erreichte 2016 den „Anstieg der Erkenntnis“ (31).

### 3.1.2 Zukunftsperspektiven der Technologie

Ein entscheidender Faktor für das Wachstum des AR- & VR-Marktes ist die zunehmende Verfügbarkeit von Breitband-Internet und die Verbesserung der Netzwerktechnologie. Eine zuverlässige und schnelle Internetverbindung ist für die Nutzung von AR- & VR unerlässlich. Fortschritte in der Hardware-Technologie haben zu erschwinglicheren und leistungsfähigeren AR & VR-Geräten geführt, was die Attraktivität und Zugänglichkeit für eine breitere Verbraucherschicht erhöht hat (32).

Mit der Einführung von 5G-Netzen soll sich die Nutzung von VR über den Bereich der Unterhaltung hinaus auf virtuelle Büros und Teamarbeit ausweiten. Virtuelles Co-Working und Meetings mit Einsatz von Avataren, könnten die Art und Weise verändern, wie Menschen arbeiten. Plattformen

wie WebVR und WebAR, die gemeinsam unter dem Begriff WebXR bekannt sind, werden voraussichtlich als barrierefreie Plattform weiter an Bedeutung gewinnen. Prognosen deuten darauf hin, dass es eine Zunahme an immersiven virtuellen Nachbildungen, VR-Raumrekonstruktionen und persistierenden, gemeinsam nutzbaren virtuellen Objekten geben wird. Immer mehr physische Gegenstände werden einen digitalen Zwilling mit einem VR-Zugangspunkt haben (27).

Die Gründung von Facebook im Jahr 2004 markierte den Beginn einer neuen Ära der sozialen Online-Netzwerke. 2005 kam dann ein zweiter Boom der Internetökonomie durch die Social-Media-Anwendungen. Diese Entwicklungen führten zur Entstehung des Web 2.0. Seitdem hat sich das Internet weiterentwickelt (33). Heute befindet sich das Internet im Zeitalter des Web 4.0, dessen Ziel ein intelligentes, interaktives und vernetztes Internet ist. Web 4.0 bezeichnet den Übergang zum mobilen Web sowie eine Verknüpfung von physischer und virtueller Welt verstanden. Web 4.0 weist drei wesentliche Merkmale auf:

1. Internet der Dinge (IoT)
2. Künstliche Intelligenz
3. Virtuelle und Erweiterte Realität (VR/AR) (1)

Das Internet of Things (kurz IoT) beschreibt die Vernetzung von physischen Alltagsgegenständen mit dem Internet, wie zum Beispiel Haushaltsgeräte wie Autos, Toaster und Waschmaschinen, aber auch Handys oder Überwachungsgeräte (34). Das Internet of Things ermöglicht eine umfassende Erfassung von Daten in Echtzeit, was zu innovativen Anwendungsfeldern, wie Smart Homes, Smart Cities und Industrie 4.0 führt, in denen Geräte autonom agieren und miteinander kommunizieren können.

Ein detaillierter Abschnitt über die Rolle der künstlichen Intelligenz in AR und VR folgt im Kapitel „Verwendung von KI in XR“.

Das Web 4.0 integriert immersive Technologien wie VR und AR nahtlos und ermöglicht interaktive 3D-Erlebnisse im Internet zu schaffen, die den Nutzern neue Dimensionen der Kommunikation und des Konsums bieten.

Zukünftige Entwicklungen könnten das Web 5.0 umfassen, das als „symbiotisches Web“ bezeichnet wird. Dieses Web soll mit Wearables in Symbiose mit dem täglichen Leben agieren, ohne direkt mit dem menschlichen Körper verbunden zu sein. Diese Symbiose könnte durch Implantate erreicht werden, mit denen beispielsweise Smartphones oder Rollstühle durch Gedanken gesteuert werden können. Die nächste große Stufe dieser technologischen Evolution wäre dann das Metaversum (28).

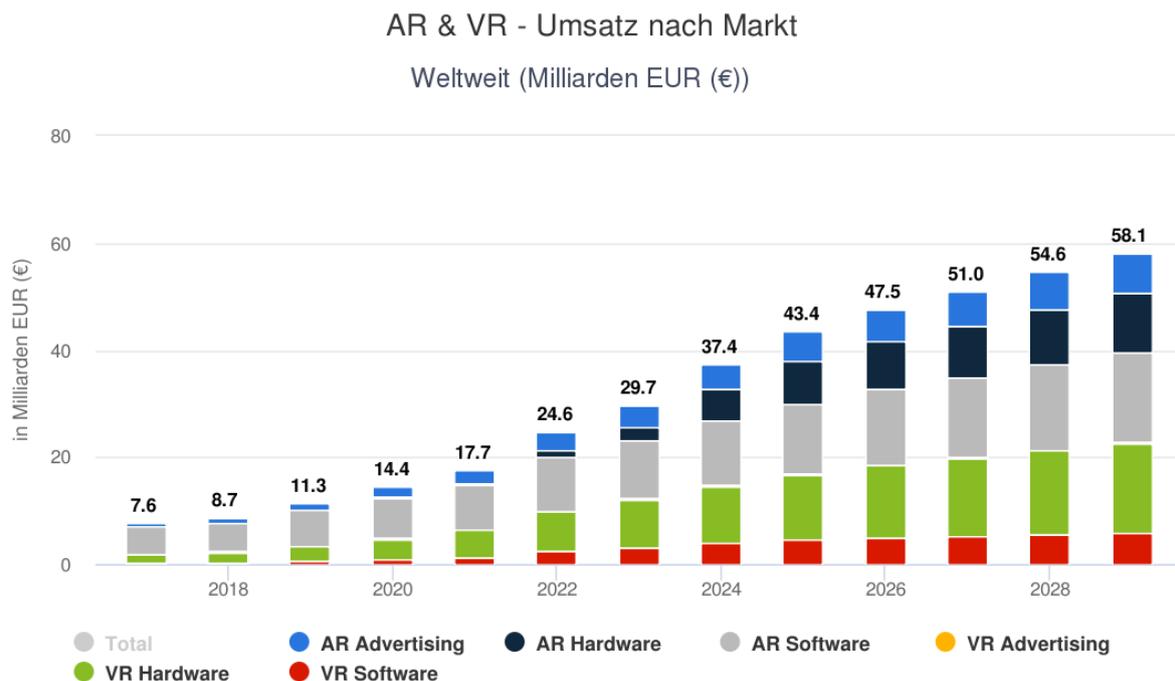
## 3.2 XR in der Wirtschaft

Der folgende Abschnitt analysiert die wirtschaftliche Bedeutung der XR-Branche. Zunächst werden verschiedene Branchen und ihre Umsatzzahlen sowohl in Branchen- als auch in geografischer Hinsicht untersucht. Anschließend erfolgt eine Betrachtung der Nutzergruppen, um festzustellen, ob es sich eher um Konsumenten oder Unternehmen handelt.

### 3.2.1 Markt und wirtschaftliche Nutzung

Der XR-Markt gliedert sich in sechs Hauptbereiche:

1. **AR-Werbung:** Mobile Werbung, die über bekannte Social-Media-Apps verbreitet wird
2. **AR-Hardware:** Bezieht sich auf AR-Headsets und -Brillen
3. **AR-Software:** Anwendungen für Social Media, Gaming und E-Commerce, die in gängigen App-Stores erhältlich sind
4. **VR-Werbung:** In-Game-Werbung sowie Werbung in VR-Videos
5. **VR-Hardware:** Sowohl kabelgebundene als auch eigenständige Head-Mounted Displays (HMDs)
6. **VR-Software:** Umfasst VR-Spiele und VR-Videos, die die Nutzung von Headsets erfordern



Quelle: Statista Market Insights

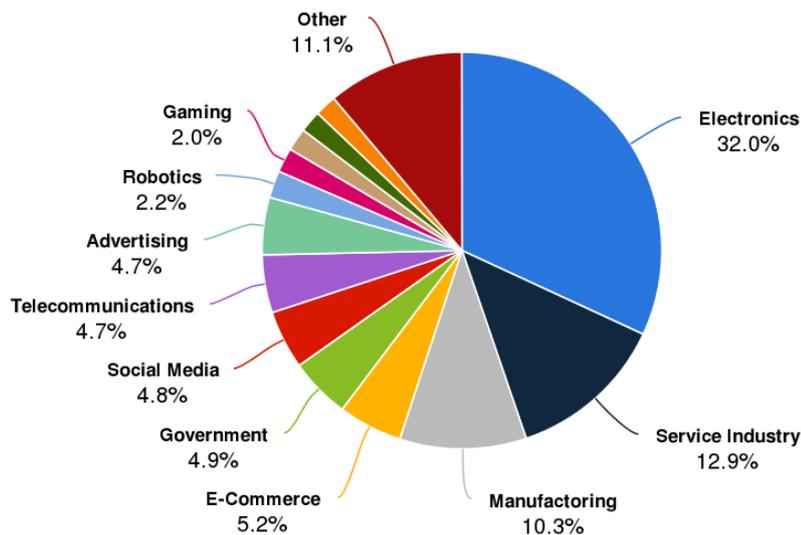
statista

Abbildung 9 - AR- & VR-Umsatz nach Markt (Stand April 2024) (32)

Die Abbildung 9 zeigt den vergangenen Absatz nach den genannten Märkten. Die Daten beziehen sich auf den B2C-Bereich. Für das Jahr 2024 wird der weltweite Umsatz im AR- und VR-Sektor auf etwa 37,4 Mrd. € prognostiziert (Stand April 2024). Diese Zahl stellt eine Umsatzveränderung gegenüber dem Vorjahr von 26,6% dar. Der Abbildung ist zu entnehmen, dass der Umsatz in den

AR-Märkten in den Jahren 2022 bis 2024 verhältnismäßig stärker angestiegen ist als in den VR-Märkten.

### AR & VR - Umsatzverteilung nach Industrien Weltweit (Prozent)



Quelle: Statista Market Insights

statista

Abbildung 10 - AR- & VR-Umsatzverteilung 2022 (32)

Die Abbildung 10 zeigt die Umsatzverteilung im AR- und VR-Markt weltweit, aufgeteilt nach verschiedenen Industrien im B2B- und B2C-Bereich. Die Elektronikindustrie trägt mit 32% den größten Anteil am Umsatz bei, gefolgt von der Serviceindustrie mit 12,9%. Ein bedeutender Trend im AR- und VR-Markt ist die zunehmende Integration von AR- und VR-Technologien in mobile Geräte. Die wachsende Verbreitung von Smartphones hat diese Technologien für den Massenmarkt zugänglich gemacht, was nicht nur die Akzeptanz, sondern auch die Marktgröße erheblich erhöht hat. Parallel dazu nimmt der Einsatz von AR und VR im Bildungssektor zu. Schulen und Universitäten setzen diese Technologien ein, um interaktive und immersive Lernerfahrungen zu schaffen, die das Verständnis komplexer Konzepte verbessern.

Die Analyse regionaler Besonderheiten zeigt deutliche Unterschiede in der Marktdynamik. In den USA und Westeuropa herrscht eine starke Gaming-Kultur. Der Gaming-Sektor trägt zwar nur 2 % zur weltweiten Umsatzverteilung bei, jedoch investieren Verbraucher in diesen Regionen bereitwillig in hochwertige AR- und VR-Geräte, um ein immersives Spielerlebnis zu erleben. Im asiatischen Raum hingegen wächst der Markt für AR & VR besonders in den Bereichen Unterhaltung und E-Commerce. In Ländern wie China und Südkorea nutzen die Verbraucher AR & VR, um sich virtuelle Einkaufserlebnisse zu verschaffen und ihre Kaufentscheidungen zu beeinflussen.

Gemessen am Umsatz liegen die USA auf Platz eins. Abbildung 11 zeigt die Top-5-Länder und deren Umsatzentwicklung von 2017 bis 2029, wobei China auf Platz zwei folgt.

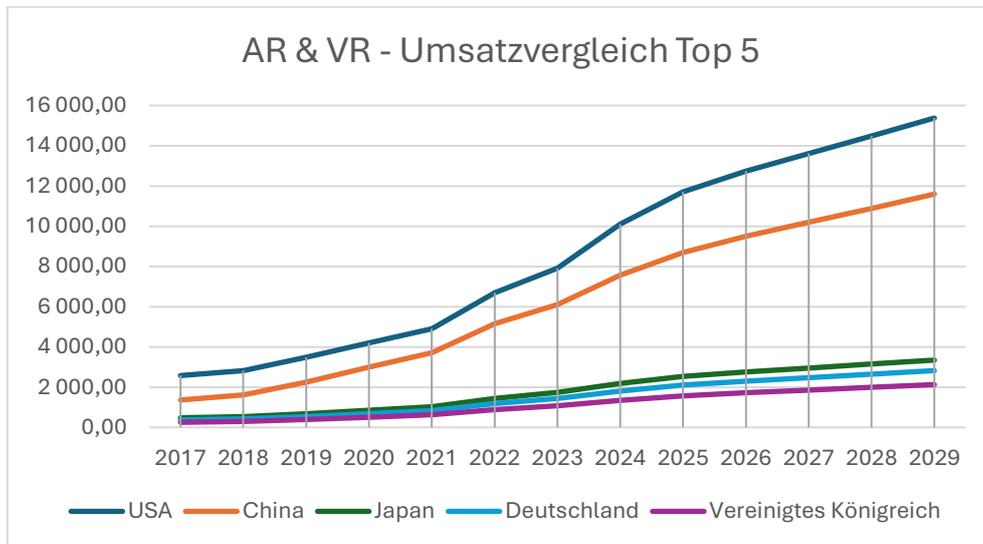


Abbildung 11 - Umsatzvergleich Top 5 Länder mit Prognosen (32)

Ein weiterer relevanter Aspekt ist die Penetrationsrate, die den Anteil der Bevölkerung misst, der ein bestimmtes Produkt oder eine Dienstleistung nutzt.

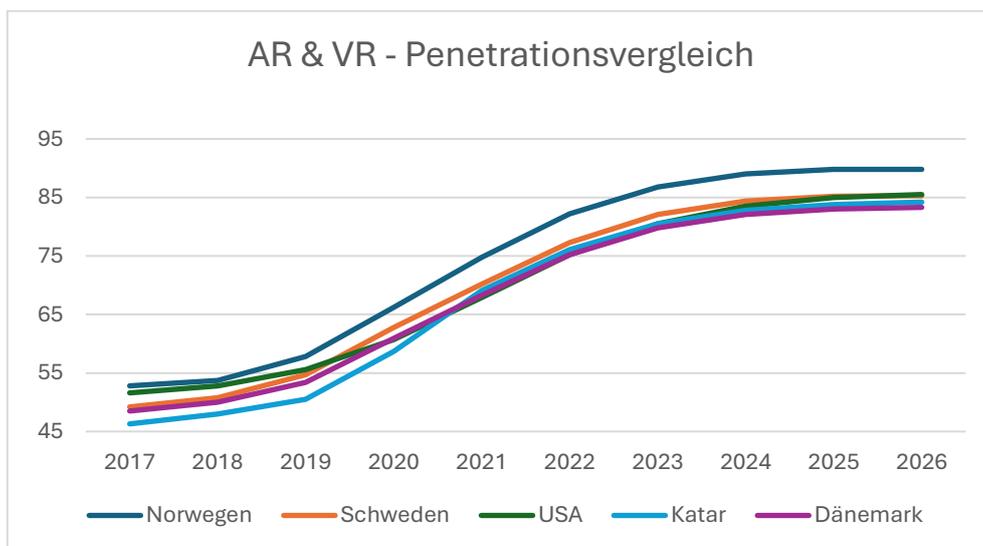


Abbildung 12 - Penetrationsvergleich Top 5 Länder mit Prognosen (Stand 2024) (32)

	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
<b>Norwegen</b>	52,8	53,7	57,8	66,2	74,8	82,2	86,8	89	89,8	89,8
<b>Schweden</b>	49,2	50,8	54,7	62,8	70,2	77,3	82,1	84,4	85,2	85,3
<b>USA</b>	51,6	52,8	55,6	60,7	67,9	75,2	80,5	83,5	85	85,5
<b>Katar</b>	46,3	48	50,5	58,7	69,1	76,1	80,5	82,8	83,8	84,2
<b>Dänemark</b>	48,5	50	53,4	60,9	68,3	75,2	79,8	82,1	83	83,3

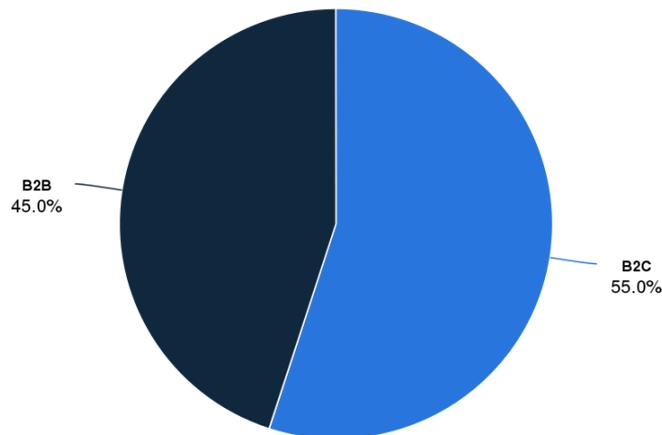
*Tabelle 3 - Penetrationsvergleich Top 5 Länder mit Prognosen (Stand 2024) (32)*

Hierbei zeigen sich deutliche Unterschiede zu den reinen Umsatzzahlen. Obwohl die USA beim Umsatz führend sind, belegen sie bei der Penetrationsrate nur den dritten Platz. Norwegen führt mit einer Penetrationsrate von 86,8% im Jahr 2023, gefolgt von Schweden mit 82,1% im Jahr 2023. Weitere Länder in den Top 5 der Penetrationsraten sind Katar und Dänemark, die nicht zu den umsatzstärksten Ländern im AR- und VR-Bereich gehören. Die Analyse der Penetrationsraten zeigt, dass hohe Umsätze nicht notwendigerweise mit einer hohen Marktdurchdringung einhergehen. Während die USA im Umsatz dominieren, weist die hohe Penetrationsrate in Ländern wie Norwegen und Schweden darauf hin, dass dort ein größerer Anteil der Bevölkerung AR- und VR-Technologien nutzt.

Die regionalen Unterschiede im AR- und VR-Markt werden auch in den Kundenvorlieben deutlich. In entwickelten Ländern wie den USA und Westeuropa sind Konsumenten eher bereit in qualitativ hochwertige AR- und VR-Geräte zu investieren. Sie bevorzugen immersive und realistische Erlebnisse mit hoher Qualität. Dagegen sind Konsumenten in den Schwellenländern preissensibler und ziehen preisgünstigere AR- und VR-Produkte vor. Sie wünschen sich erschwingliche Optionen, durch die sie in die Welt von AR und VR einsteigen können (32).

## 3.2.2 Nutzergruppen

AR & VR - Umsatzverteilung B2B & B2C  
Weltweit (Prozent)



Quelle: Statista Market Insights

statista

Abbildung 13 - AR & VR Umsatzverteilung 2022 (32)

Die vorangegangenen Daten und Statistiken waren B2B- & B2C-Zahlen. Weltweit ist der Umsatz auf dem AR- & VR-Markt recht gleichmäßig aufgeteilt. Der Umsatz von B2C ist mit 55% nur leicht höher (Abbildung 13) als der B2B Umsatz mit 45% (32).

Ein häufiges Missverständnis im Zusammenhang mit XR-Technologien ist die Annahme, dass diese hauptsächlich für Unterhaltungszwecke verwendet werden. Diese Sichtweise beruht oft auf der hohen Medienpräsenz von Konsum-Anwendungen wie Spielen, die mit großen Marketingbudgets beworben werden. In Wirklichkeit bieten XR-Technologien jedoch weitreichende Anwendungen, die über Unterhaltung hinausgehen. Viele Unternehmen haben Schwierigkeiten, das volle Potenzial von XR-Technologien zu erkennen und zu nutzen, da sie sich zu sehr auf die Unterhaltungsaspekte konzentrieren (35).

Zusammenfassend zeigt die Analyse der wirtschaftlichen Bedeutung und Nutzung von XR-Technologien, dass diese Branche erheblich wächst und sich in verschiedenen Märkten unterschiedlich entwickelt. Während AR- und VR-Technologien in entwickelten Ländern vor allem im Unterhaltungssektor stark verbreitet sind, erleben sie in Asien ein starkes Wachstum in den Bereichen Unterhaltung und E-Commerce. Die Unterschiede zwischen Umsatz und Penetrationsrate verdeutlichen, dass hohe Umsätze nicht zwangsläufig mit einer breiten Marktdurchdringung korrelieren. Die Analyse verdeutlicht auch, dass XR-Technologien weit über Unterhaltung hinaus Anwendung finden und sowohl im B2B- als auch im B2C-Sektor Potenzial für Innovation und Wachstum bieten. Die Herausforderung für Unternehmen besteht darin, die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten von XR zu erkennen und zu nutzen, um das volle Potenzial dieser Technologie auszuschöpfen.

## 4 XR & KI

Das folgende Kapitel untersucht die Schnittstelle zwischen Extended Reality (XR) und Künstlicher Intelligenz (KI). Es untersucht die Grundlagen der KI, ihre Stärken und Anwendungsgebiete sowie deren Einsatz in Verbindung mit XR-Technologien. Ziel des Kapitels ist es, die Synergien zwischen XR und KI zu verstehen und deren Auswirkungen auf unterschiedliche Anwendungsbereiche zu beleuchten.

### 4.1 Grundlagen der Künstlichen Intelligenz (KI)

Eine künstliche Intelligenz (kurz „KI“) beschreibt hochentwickelte, softwaregestützte Systeme, die in der Lage sind, autonom zu verstehen, zu lernen, Vorhersagen zu treffen, sich anzupassen und zu handeln. Sie ahmt menschliches Denken und Verhalten nach, um verschiedene Aufgaben effizient und intelligent zu erledigen. Die KI entwickelt sich ständig weiter, indem sie aus neuen Daten und Erfahrungen lernt und ihre Modelle kontinuierlich anpasst (36). Es ist wichtig zu beachten, dass die Ergebnisse auf den analysierten Daten basieren und daher eher „wahrscheinlich“ als „wahr“ sind (37). Die Forschung zur Künstlichen Intelligenz begann offiziell mit der sechswöchigen „Dartmouth Conference“ im Sommer 1956, die als Meilenstein und Auftakt für das Feld gilt (36).

### 4.2 Stärken von KI

Die Stärken der Künstlichen Intelligenz (KI) lassen sich durch mehrere zentrale Merkmale charakterisieren:

1. **Autonomie:** KI-Systeme können ohne menschliches Eingreifen arbeiten. Sie verstehen und verarbeiten Daten eigenständig und treffen auf dieser Basis Entscheidungen.
2. **Lernen:** KI hat die Fähigkeit, aus Erfahrungen zu lernen. Durch das maschinelle Lernen können KI-Systeme Muster und Zusammenhänge in Daten erkennen und diese Informationen nutzen, um ihre Leistung zu verbessern.
3. **Vorhersagen und Prognosen:** KI kann anhand der analysierten Daten Wahrscheinlichkeiten berechnen und zukünftige Ereignisse vorhersagen. Dies wird häufig in Bereichen wie Wettervorhersage, Finanzmärkte und medizinische Diagnosen genutzt.
4. **Anpassungsfähigkeit:** KI kann sich an neue Umgebungen und Daten anpassen. Wenn sich die Bedingungen ändern oder neue Daten verfügbar werden, kann KI ihr Verhalten und ihre Entscheidungen entsprechend modifizieren.
5. **Datenverarbeitung:** KI-Systeme verarbeiten eine große Menge an Daten. Sie nutzen bekannte Daten und fügen neue Daten hinzu, um neue Informationen und Erkenntnisse zu generieren.
6. **Anwendung in der Praxis:** In der Wirtschaft und Technologie wird KI als integraler Bestandteil vieler Softwarelösungen gesehen. Auch wenn dies nicht immer sichtbar ist, steckt KI hinter vielen Anwendungen, die unser tägliches Leben beeinflussen.
7. **Breites Einsatzspektrum:** KI reicht von einfachen Anwendungen, die spezifische Aufgaben erledigen, bis hin zu komplexen Systemen wie denkenden Computern oder autonomen Robotern, die komplexe Probleme lösen können (36).

Laut M. Wolan, der KI in „Künstliche Intelligenz verändert alles“ als „Megatrend“ beschreibt, steht KI an einem Wendepunkt der Technologiesgeschichte und wird als zentrale Schlüsseltechnologie des nächsten Jahrzehnts betrachtet (36). KI ist in der Lage, prinzipiell

alle kognitiven Routineaufgaben in jedem Berufsfeld zu übernehmen. Menschen können die KI als Werkzeug nutzen, um ihre eigenen Leistungen zu steigern, schneller Resultate zu erzielen und sich auf kreativere sowie komplexere Aufgaben zu konzentrieren (37).

Der Bildungsprozess beispielsweise nutzt KI schon heute als persönlichen Assistenten für Lernende. Sie erstellt Konzepte, schreibt Lernpläne und generiert Content für die Bearbeitung und Überprüfung von Inhalten. KI unterstützt bei der Produktion von Inhalten, wie Lernaufgaben oder Zusammenfassungen, und begleitet die Planung und Strukturierung. Auch in Wissenschaft und Technologie hat KI erhebliche Veränderungen bewirkt. Im Maschinenbau und der Industrie gilt sie mittlerweile als Schlüsseltechnologie. Ein konkretes Beispiel ist das Projekt des Mittelstand-Digital Zentrums Hannover mit dem Start-up „Lower Impact“. Ziel dieses Projekts ist es, durch KI-gestützte Bildauswertung eine nachhaltige Proteinquelle aus Mehlkäfer-Larven zu entwickeln. Eine automatische Mehlwurm-Sortieranlage sortiert die Larven nach Größe und optimiert so die wirtschaftliche Produktion (38).

### 4.3 Verwendung von KI und XR

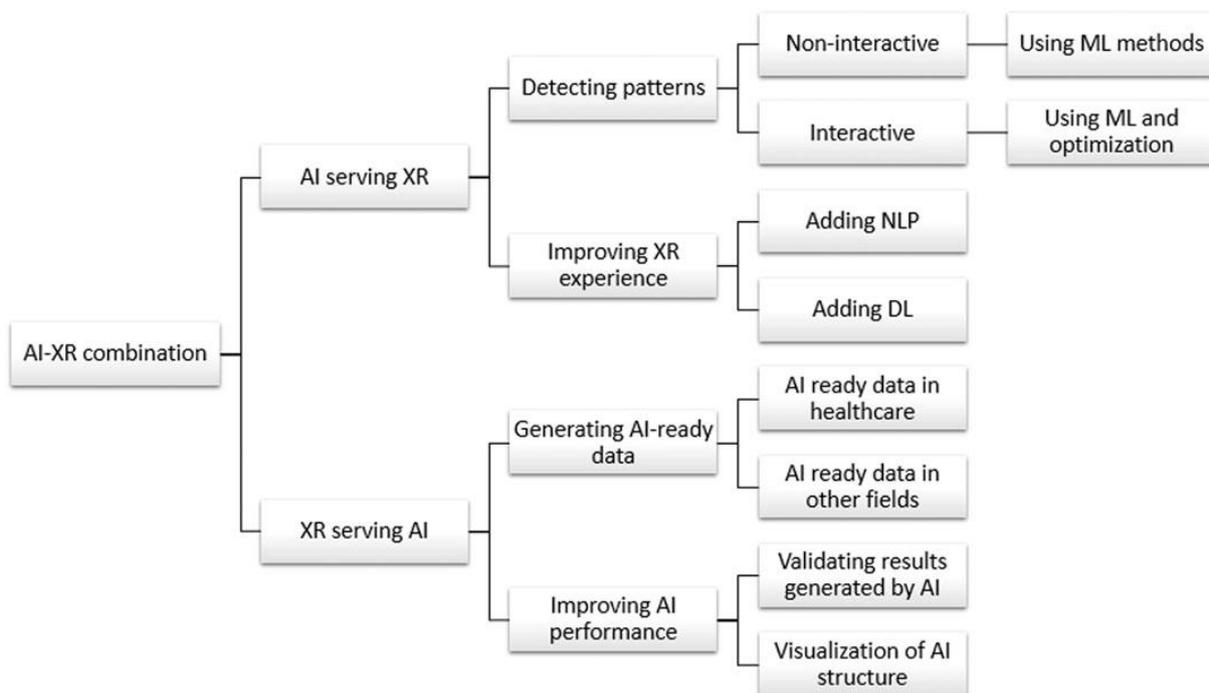


Abbildung 14 - Vorgeschlagene Leitlinien für die Kombination von KI und XR (36)

Die funktionalen Bereiche von KI-Systemen lassen sich in neun Kategorien unterteilen:

1. Maschinelle Wahrnehmung von Objekten, Tönen oder Berührungen
2. Verarbeitung natürlicher Sprache (NLP)
3. Logisches Schlussfolgern
4. Maschinelles Planen und Lösen von Problemen
5. Maschinelle Bewegung und Handhabung (z.B. Robotik)
6. Emotionserkennung und soziale Intelligenz
7. Expertensysteme
8. Machine Learning (ML)
9. Deep Learning (DL = Nachahmung des menschlichen Gedächtnisses)

Diese Kategorien unterstützen die Erkennung von XR-Datenmustern und die Verbesserung des XR-Erlebnisses. Abbildung 14 zeigt vorgeschlagene Leitlinien für verschiedene Kombinationen von KI und XR (36).

#### 4.3.1 KI in XR

Künstliche Intelligenz kann Muster in XR-generierten Daten auf zwei wesentliche Arten erkennen und analysieren: durch nicht-interaktive und durch interaktive Methoden.

**Nicht-interaktive Methoden:** KI analysiert XR-Daten, um spezifische Muster zu identifizieren, ohne dass eine Rückmeldung an das XR-System erfolgt. Dadurch lassen sich Leistungsmetriken der Nutzer erfassen und bewerten. Ein Beispiel hierfür ist die Auswertung von Trainingsdaten aus einer VR-Fitnessanwendung, um die Effizienz und Ergebnisse der Workouts zu überprüfen und Verbesserungspotenziale zu identifizieren.

**Interaktive Methoden:** Diese beinhalten die Analyse von XR-Daten und die Rückgabe von Ergebnissen an das XR-System. Dadurch können Prozesse optimiert und XR-Erlebnisse in Echtzeit angepasst werden. Ein Beispiel ist die dynamische Anpassung des Schwierigkeitsgrads einer XR-Anwendung, basierend auf der Leistung und den Reaktionen des Nutzers.

Zusätzlich kann die Einbindung natürlicher Sprachverarbeitung (NLP) das XR-Erlebnis erheblich verbessern. Die Integration von NLP in virtuelle Patienten ermöglicht es ihnen, menschliche Sprache zu verstehen und natürliche Dialoge zu führen, was die Interaktivität und Benutzerfreundlichkeit von XR-Anwendungen erhöht. Ebenso steigert die Implementierung KI-basierter Elemente in Spielen die Zufallsgenerierung und damit die Spielerfahrung (39).

#### 4.3.2 XR in KI

Umgekehrt unterstützt XR auch in der Entwicklung von KI-Systemen. XR bietet eine wertvolle Quelle für die Generierung von hochwertigen KI-fähigen Daten, wenn physische Daten begrenzt oder schwer zugänglich sind. Als Lernumgebung für KI kann XR das Training mit experimentellen Daten ersetzen. Dies reduziert Infrastruktur-, Finanz- und Personalkosten und überwindet zahlreiche logistische Herausforderungen. Außerdem vermeidet es die Erhebung physischer Daten und ermöglicht die Simulation neuer Szenarien für das KI-Training.

In Anwendungsbereichen wird XR zur Ausbildung von KI-Systemen genutzt. In der Automobilindustrie etwa werden selbstfahrende Autos in virtuellen Testumgebungen auf Leistung und Sicherheit geprüft, bevor sie im realen Straßenverkehr eingesetzt werden. Auch in der Robotik, der Spieleentwicklung und im militärischen Training zeigt XR seine Vielseitigkeit. Die Technologie ermöglicht es, KI-Systeme in kontrollierten virtuellen Szenarien zu schulen, was zu effizienteren und sichereren Entwicklungsprozessen führt.

Im Gesundheitswesen stellt der Datenschutz eine besondere Herausforderung dar. Hier bietet XR eine wertvolle Alternative: Virtuelle Patientendaten ermöglichen das Training von KI-Systemen, ohne auf reale Daten angewiesen zu sein. Dies wahrt die Vertraulichkeit und ermöglicht eine präzise Ausbildung der KI-Modelle.

Zusätzlich verbessert XR die Leistung von KI-Systemen durch detaillierte Visualisierungen und Unterstützung bei der Validierung von Ergebnissen. Ein konkretes Beispiel ist die Medikamentenforschung, bei der XR verwendet wird, um die Eigenschaften und Wechselwirkungen von Molekülen in 3D-Modellen zu analysieren. Diese detaillierte Betrachtung beschleunigt den Entdeckungsprozess und führt zu präziseren Ergebnissen (39).

## 5 Praktischer Teil der Arbeit

Nach der Darstellung der wichtigsten theoretischen Grundlagen folgt nun der praktische Teil der Arbeit. Dieser besteht aus der Entwicklung einer XR-Anwendung in Unity für die Quest 3. Das Kapitel setzt sich mit der Idee der praktischen Arbeit, dem Programm Unity und der Umsetzung des Projektes auseinander. Im Anschluss folgt ein kurzes Zwischenfazit, das die gesammelten Erkenntnisse aus der Entwicklung zusammenträgt und analysiert.

### 5.1 Idee

Die Anwendung verfolgt das Ziel, den aktuellen Stand der XR-Entwicklung praktisch zu erfassen. Dabei werden die neuesten Features und Techniken genutzt, um einen umfassenden Überblick darüber zu erhalten, welche Möglichkeiten moderne XR-Technologien bieten.

Für die Entwicklung fiel die Wahl auf die Quest 3 aufgrund ihrer fortschrittlichen Features, wie verbessertem Passthrough, SceneScripting und präzisiertem Handtracking. Der Vergleich mit einer bereits vorhandenen Quest 2, erleichtert die Unterschiede zwischen den beiden Head-Mounted Displays (HMDs) zu bewerten.

Die Anwendung basiert auf einem „Hide and Seek“-Spiel im eigenen Zimmer. Sie nutzt die vom Nutzer gescannte Raum-Modelle der Quest 3, um verschiedene Charaktere im Raum zu verstecken. Diese Charaktere haben feste Verstecke, zum Beispiel auf dem Boden oder auf einem Stuhl. Das Spiel folgt einem konsistenten Schema, bleibt jedoch in jedem Raum und bei jedem Durchgang einzigartig.

Der grobe Ablauf der Entwicklung sieht wie folgt aus:

- Einrichten der XR-Szene in Unity
- Konfigurieren des Passthroughs und des Handtrackings
- Auswahl und Integration der Charaktere, Sounds und Animationen
- Festlegen von Spawnpunkten für die Charaktere, die an bestimmte Möbelstücke gebunden sind
- Programmierung eines Skripts, das die Charaktere bei Erscheinen unsichtbar macht und bei Auffinden sichtbar werden lässt
- Zuweisen von Sounds und Animationen zu den Versteck- und Auffindzuständen
- Einrichten der DepthAPI, um die räumliche Tiefe korrekt zu erfassen
- Hinzufügen von weiteren Details und Verbesserungen

### 5.1.1 Programm Unity

Der folgende Abschnitt bietet eine detaillierte Einführung in den Aufbau und die Struktur des Programms Unity. Er erläutert die grundlegenden Komponenten und spezifischen Einstellungen von Unity und gibt einen umfassenden Überblick über den Entwicklungsprozess der Anwendung, die im Rahmen der Bachelorarbeit entstanden ist.

Unity ist eine plattformübergreifende Game Engine, die von Unity Technologies entwickelt wurde. Engines dienen als umfassende Umgebung für die Erstellung von virtuellen Welten. Sie vereinen Technologien und Programmiergerüste, die notwendig sind, um Spiele zu bauen, zu rendern, die Spiellogik zu verarbeiten und den Speicher zu verwalten. Game Engines werden hauptsächlich zur Erstellung von Videospielen und interaktiven 3D- und 2D-Inhalten verwendet. Unity bietet Entwicklern eine umfassende Entwicklungsumgebung, die Werkzeuge für das Design, die Animation und die Programmierung von Spielen und Anwendungen umfasst (13).

Neben Unity gibt es auch andere bedeutende Game Engines, wie die Unreal Engine von Epic Games. Für den Bereich AR haben Apple und Google ihre eigenen Frameworks entwickelt: ARKit (Apple) und ARCore (Google). Unity und UnrealEngine verfolgen unterschiedliche Schwerpunkte. Unity verwendet hauptsächlich C# und ist bekannt für seine Benutzerfreundlichkeit, was es besonders für Einsteiger und mobile Entwickler attraktiv macht. Es bietet starke Unterstützung für 2D- und VR/AR-Projekte. Die Unreal Engine nutzt C++ und die visuelle Skriptsprache Blueprints. Dies ermöglicht tiefere Kontrolle und fortschrittliche Grafik, und ist einer der Gründe, weshalb sie oft bei Triple-A-Titeln eingesetzt wird. In Bezug auf Kosten bietet Unity eine kostenlose Version mit einkommensbasierter Pro-Lizenz, während Unreal Engine keine Vorauszahlung verlangt, jedoch eine Umsatzbeteiligung von 5% ab 1 Million USD erhebt. Während Unity eine flachere Lernkurve aufweist, bietet die Unreal Engine herausragende Grafik und High-End-Rendering-Techniken. Beide Engines verfügen über große Communitys und Asset-Stores, die eine Vielzahl von Ressourcen und Plugins bereitstellen und den Entwicklungsprozess unterstützen (26).

Die Wahl der Game Engine fiel auf Unity, da diese leicht erlernbar ist. Die Engine unterstützt verschiedene Plattformen, einschließlich mobiler Geräte, VR/AR und Konsolen. Für das geplante Projekt sind keine High-End-Grafiken oder fortgeschrittene Rendering-Techniken erforderlich.

### 5.1.1.1 Aufbau

Unity bietet eine anpassbare Arbeitsfläche, die nach den Bedürfnissen des Projekts gestaltet werden kann:

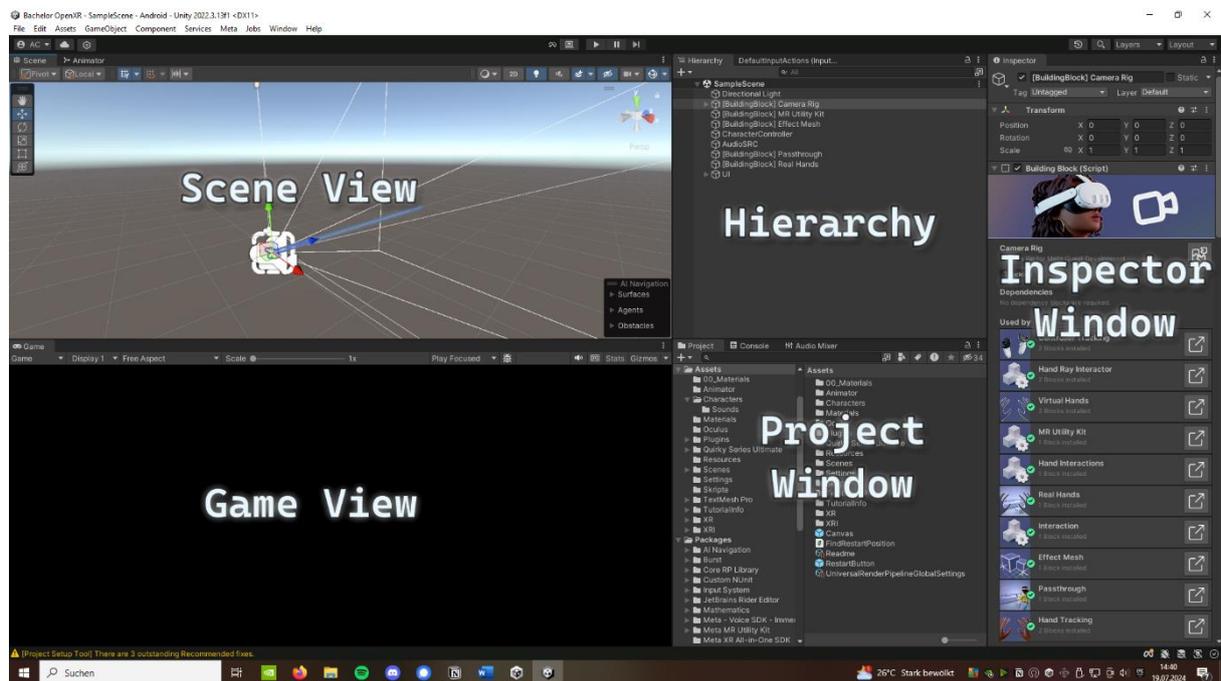


Abbildung 15 - Screenshot des eigenen Unity Interface

Die wesentlichen Elemente des Interfaces umfassen:

**Scene View:** Hier navigieren und bearbeiten Entwickler die Szene visuell. Je nach Projektart kann die Szenenansicht in 3D- oder 2D-Perspektive erfolgen.

**Game View:** Die Ansicht zeigt, wie das endgültige gerenderte Spiel durch die Kameras in der Szene aussehen wird. Durch Klicken auf den „Play Button“ startet die Simulation.

**Hierarchy:** Dieses Fenster stellt alle GameObjects in der Szene hierarchisch dar und zeigt deren Verknüpfungen.

**Project Window:** Hier sehen Entwickler die Bibliothek der im Projekt verwendeten Assets. Beim Import erscheinen die Assets in dieser Bibliothek.

**Inspector Window:** Ermöglicht es, alle Eigenschaften des aktuell ausgewählten GameObjects anzuzeigen und zu bearbeiten. Layout und Inhalt ändern sich je nach Typ des GameObjects. (40)

Zu den Kernelementen in Unity zählen außerdem Skripte, das Konsolenfenster und der Package Manager. Entwickler steuern das Verhalten von GameObjects durch die mit ihnen verknüpften Komponenten. Mit Skripten erstellen sie eigene Komponenten, um Spielereignisse auszulösen, Eigenschaften zu ändern und auf Benutzereingaben zu reagieren. Unity unterstützt standardmäßig die Programmiersprache C# (sprich: C-sharp), eine Industriestandardsprache, ähnlich wie Java oder C++. Darüber unterstützt Unity auch andere .NET-Sprachen, sofern sie eine kompatible DLL kompilieren (41).

Das Konsolenfenster zeigt Fehler, Warnungen und andere Meldungen des Editors und unterstützt die Problemlösung. Entwickler können die Debug-Klasse nutzen, um eigene Nachrichten auszugeben und die Anzeigeeinstellungen anzupassen (42). Der Package Manager bietet Erweiterungen für Unity an, darunter Editor-Werkzeuge, Laufzeitbibliotheken, Asset-Sammlungen und Projektvorlagen. Über das Menü „Fenster > Package Manager“ lässt sich der Package Manager aufrufen und verwalten (43).

#### 5.1.1.2 Neuerungen

Neueste Entwicklungen im Asset Store von Unity bringen spezielle Tools und Pakete für XR-Anwendungen hervor, die den Einstieg in die VR-Entwicklung erleichtern. Das „Meta XR All-in-One SDK“ bündelt die neusten Versionen aller Meta-SDKs und erleichtert die Entwicklung immersiver Erlebnisse auf Meta-Headsets wie der Oculus-Reihe. Es enthält eine umfassende Sammlung von Programmierwerkzeugen und -bibliotheken, die speziell für die Erstellung von Virtual Reality und Mixed Reality-Anwendungen entwickelt wurden. „SDK“ ist die Abkürzung für ‚Software Development Kit‘, also eine Sammlung von Programmierwerkzeugen und -bibliotheken, die zur Entwicklung von Software dient (44). Obwohl es nur für Meta-Headsets verfügbar ist, bietet es wertvolle Werkzeuge wie das „Project Setup Tool“. Das Tool testet eine Reihe von Konfigurationsaufgaben, die als „Configuration Tasks“ bezeichnet werden. Standardregeln werden zur Verfügung gestellt, um das Projekt Meta Quest-fähig zu machen, wobei auch eigene Regeln hinzugefügt werden können (45).

Das „Meta XR All-in-One SDK“ umfasst auch „BuildingBlocks“, die eine Reihe von Funktionen bereitstellen, die sich per Drag & Drop in die Projektszene integrieren lassen. Dazu gehören beispielsweise ein XR-spezifisches CameraRig, Passthrough, Hands und RayInteraction. Beim Hinzufügen eines BuildingBlocks installiert das System automatisch alle benötigten Abhängigkeiten und nimmt notwendige Konfigurationen über das Project Setup Tool vor.

Der Meta XR Simulator ist eine XR-Laufzeitumgebung für Entwickler, die die Simulation von Meta Quest Headsets und Funktionen auf API-Ebene ermöglicht. Entwickler können Anwendungen testen und debuggen, ohne ein physisches Headset zu benötigen. Der Simulator stellt verschiedene Funktionen zur Verfügung, darunter Passthrough-Simulation, Szenenrekorder, Session Capture, Multiplayer-Tests sowie Körper- und Hand-Tracking, und bietet eine benutzerfreundliche Oberfläche. Über das Fenster „Device Setup“ konfigurieren Entwickler das simulierte Gerät, das Modell, den IPD (Interpupillary Distance) und die Aktualisierungsrate. Das Fenster „Grafikdetails“ zeigt die von der Anwendung gesendeten Kompositionsschichten und Swapchains, während das Fenster „Geräteeingabe“ den Zustand der Controller und des Headsets anzeigt (46).

## 5.2 Umsetzung

Das Projekt verwendet Unity Version 2022.3.13f in Kombination mit der Universal Render Pipeline. Der erste Schritt besteht im Einrichten einer XR-fähigen Szene. Die Build Settings sind dafür von Desktop auf Android gestellt und das XR-Plugin Management verwendet Oculus XR. Nach dem Herunterladen der Assets und der Installation des Meta XR All-In-One SDKs folgt das Hinzufügen grundlegender Komponenten in die Szene. Hierbei erleichtern BuildingBlocks den Prozess, indem sie benötigte Komponenten durch Drag & Drop bereitstellen. Der XR-CameraRig-BuildingBlock und der Controller-BuildingBlock werden zu Beginn integriert, gefolgt von spezialisierten BuildingBlocks für Passthrough, Ray Interaction und Handtracking, die die spezifischen Anforderungen der Anwendung erfüllen. Die manuelle Einrichtung dieser Komponenten wäre wesentlich aufwändiger.

Die spätere Anwendung benötigt Assets von Charakteren, Animationen und Sounds. Die Charaktere, die später im Raum versteckt werden sollen, stammen aus dem „Quirky Series - FREE Animals Pack“. Dieses Paket umfasst eine Vielzahl von Tieren und verschiedene Animationen. Innerhalb von Unity erhalten die Tiere vorläufig Animationen, was erste Tests ermöglicht. Anschließend erfolgt die Auswahl der Sounds für die Charaktere. Diese Sounds umfassen unterschiedliche Geräusche für verschiedene Zustände der Charaktere.

Die nächste Aufgabe besteht darin, die Charaktere an bestimmten Möbelstücken im Raum beim Spawn zu platzieren. Hierfür kommt das MRUK (= „Mixed Reality Utility Kit“) zum Einsatz, das Szenen „versteht“ und Objekten wie Tischen, Böden und Wänden im Raum Labels zuweist, die für unterschiedliche Anwendungen nützlich sind. Dabei kann man sowohl auf Raum-Prefabs aus dem MRUK zugreifen, als auch eigene RaumScans aus der Brille hinzufügen. Diese Räume erscheinen nicht im GameView von Unity. Das „EffectMesh Prefab“ ermöglicht bestimmte Labels von Möbelstücken des Raums auszuwählen und ihnen ein anderes Material zuzuweisen. So kann man beispielsweise alle Tische in einem Raum markieren, indem man diese umrandet, oder man gibt ihnen eine Steintextur, die sichtbar im GameView ist.



Abbildung 16 - Sicht 1 Meta XR Simulator Top View

Das Meta MR Utility Kit verwendet Labels zur Festlegung der Spawn Points. Jeder der fünf zu platzierenden Charaktere erhält ein eigenes Label.

**Affe** – hängt von der Decke

**Gecko** - sitzt auf einem Tisch

**Tintenfisch** - ist auf dem Sofa

**Hering** - ist auf dem Boden

**Schlange** – ist an einem Surface irgendwo im Raum (Global Mesh)

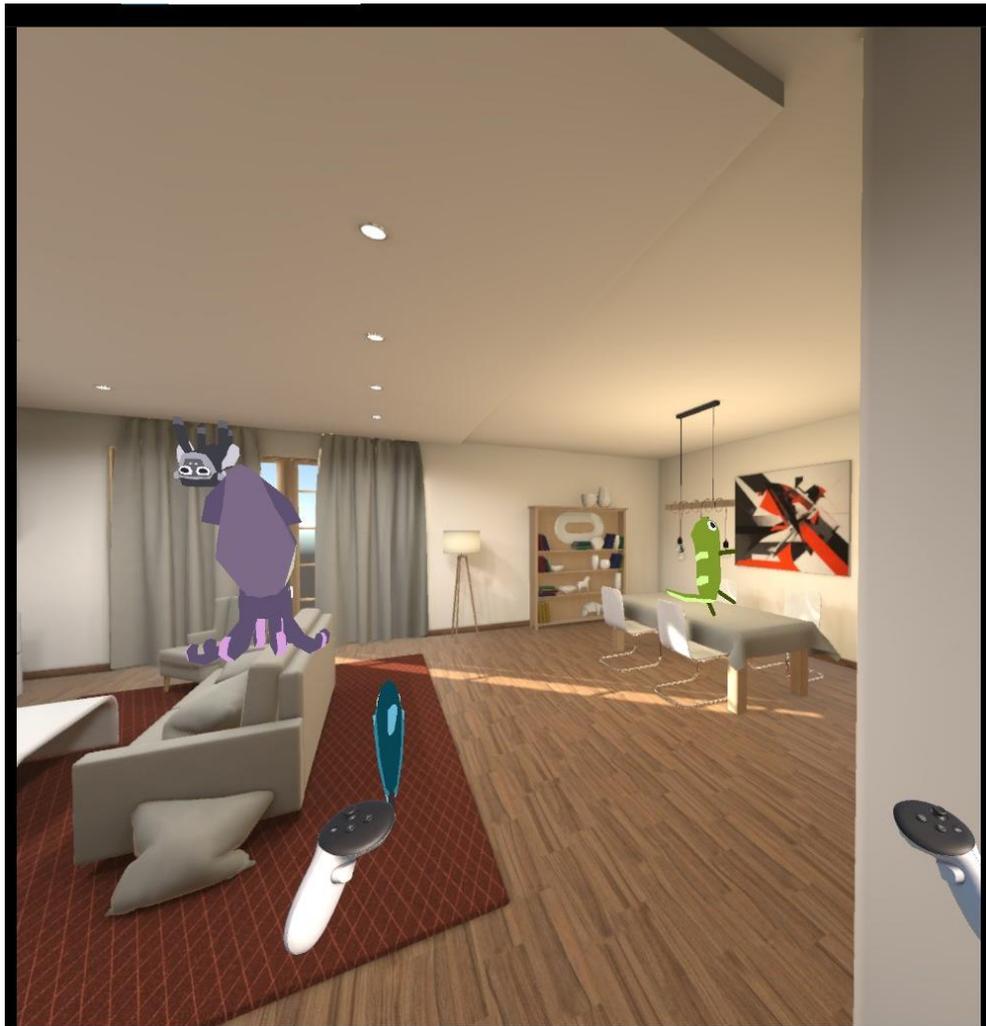


Abbildung 17 - Spieler Sicht Meta XR Simulator

In der fertigen Anwendung benötigen die Charaktere zwei Zustände: „versteckt“ (hide) und „gefunden“ (found). Bei Start der Anwendung spawnen die Charaktere im versteckten Zustand, sind unsichtbar und erzeugen bestimmte Geräusche, die dem Spieler helfen sollen, sie zu finden. Beim Wechsel zum gefundenen Zustand machen die Charaktere ein Geräusch, zeigen eine Animation und werden sichtbar. Ein neues Skript, das „AnimalController-Skript“, steuert die Zustände und das Verhalten der Charaktere in Unity. Jeder der fünf CharacterPrefabs erhält ein AnimalController-Skript. Da die CharacterPrefabs mehrere MeshRenderers besitzen, deaktiviert das Skript mit einer Liste all ihre MeshRenderers in einer Liste im void start(). Das AnimalController-Skript enthält eine Abfrage zu OnTouchOrClick. Es ruft diese Methode auf, wenn der Spieler das Tier berührt oder anklickt. Sie aktiviert den MeshRenderer des jeweiligen Charakters und macht ihn sichtbar. Für zukünftige Entwicklungen kann der Charakter auch durch andere Methoden sichtbar gemacht werden. Daher wird OnTouchOrClick nicht vom Charakter selbst, sondern von außen getriggert.

Nun folgt das Einrichten der Sounds für die verschiedenen Zustände der Charaktere. Jedes Tier erhält einen hiddenSound, einen FoundSound und einen FoundedSound. Im versteckten Zustand gibt der Charakter den hiddenSound von sich. Die unterschiedlichen Charaktere haben insgesamt drei unterschiedliche hiddenSounds, um die Anwendung unterhaltsamer zu gestalten. Bei der Sichtbarkeit spielt der Charakter den FoundSound einmal ab. Danach befindet sich der Charakter im gefundenen Zustand und spielt den FoundedSound im Loop. Dadurch erzeugt der

Charakter kontinuierlich Geräusche, während er sich sichtbar im Raum befindet. Jeder Charakter erhält eine AudioSource, um den Ton abzuspielen. In der Start-Methode des Skripts wird die PlayNormalSound-Methode aufgerufen, die den normalen Sound im Loop startet und die Standardanimation triggert. Im Animator sind für jeden Charakter zwei Animationen zugewiesen: eine FoundAnimation, die einmalig abgespielt wird, wenn der Spieler den Charakter findet, und eine NormalAnimation, die wie der FoundSound kontinuierlich wiederholt wird, wenn der Charakter sichtbar und gefunden ist.

Um Interaktion in der Anwendung zu ermöglichen, benötigt es zum einen Interactors und Interactables. Interactors sind Geräte oder Objekte, die Interaktionen initiieren, Eingaben erfassen und die Welt, basierend auf diesen Eingaben, beeinflussen. Interactables sind Objekte in der Welt, die auf Interaktionen von Interactors reagieren und Feedback geben. In diesem Fall sind die Interactors Rays an den Controllern. Standardmäßig sind keine Rays im RayInteraction BuildingBlock enthalten. Das XR Interaction Toolkit Package bietet vorgefertigte Rays mit der XR Ray Interactor-Komponente sowie LineRenderern zur Visualisierung. Jeder Controller erhält einen „XR Ray Interactor“, dessen Rays so konfiguriert werden müssen, dass sie die Controller tracken, sich an den Controllern mitbewegen, ihre Farbe ändern, wenn sie über Collider eines Tieres hovern, und weitere Anpassungen für das gewünschte Verhalten erhalten. Ein separates Skript steuert das Deaktivieren der Rays, wenn keine Controller verbunden sind. Die Tiere fungieren als Interactables. Sie erhalten die XR Simple Interactables-Komponente, die das OnTouchOrClick-Ereignis auslöst.

Zur Sicherstellung der korrekten Funktion von OnTouchOrClick müssen die Charaktere Collider und Rigidbodies erhalten. Diese sind nicht in den ursprünglichen CharakterPrefabs aus dem Asset enthalten. Die Renderpipeline des Materials der Charaktere befindet sich standardmäßig in der „DummyPipeline“. Das führt zu Problemen im Unity-Projekt, da es mit der UniversalRenderPipeline arbeitet. Die Lösung besteht darin, neue Materialien in URP zu erstellen und die Images für die Texturen den neuen Materialien anzuhängen.

Ein weiterer Schritt besteht im Einrichten von Depth API. Die Depth API ist eine Funktion, die Entwicklern ermöglicht, die Tiefeninformationen von Szenen zu nutzen. Diese API ist besonders nützlich für AR- und VR-Anwendungen, da sie hilft, digitale Objekte realistischer in die physische Welt zu integrieren. Eine der Hauptfunktionen der Depth API ist die Tiefenerkennung, die es ermöglicht, die räumliche Position von Objekten in einer Szene präzise zu bestimmen. Diese Fähigkeit ist besonders nützlich für die Okklusion, bei der virtuelle Objekte korrekt hinter physischen Objekten platziert werden. Dies verbessert die visuelle Kohärenz und sorgt dafür, dass AR-Anwendungen natürlicher und realistischer wirken. Darüber hinaus unterstützt die Depth API die Umgebungswahrnehmung, indem sie es Anwendungen ermöglicht, die räumliche Struktur der Umgebung besser zu verstehen und darauf zu reagieren. Dies ist besonders wertvoll für interaktive Anwendungen, die auf die physische Umgebung reagieren müssen, wie zum Beispiel in der Innenraumgestaltung oder in Navigations-Apps. Durch die genaue Kenntnis der Position und Tiefe von Objekten ermöglicht die Depth API auch verbesserte Interaktionen zwischen virtuellen und physischen Objekten (47).

Das Einrichten von Depth API erfolgt über den Import eines Git Paketes (com.meta.xr.depthapi) in Unity. Innerhalb des Paketes befindet sich das EnvironmentDepthOcclusion-Prefab. Dieses muss in die Hierarchy gezogen und eingestellt auf „Soft Occlusion“ sein. Alle Gegenstände, die DepthAPI haben sollen, benötigen einen bestimmten Shader aus dem Git-Paket unter Meta/Depth/URP/. Die neuen Shader ersetzen die alten Shader der Materialien aller Charaktere.

Abschließend enthält die Szene einen Neustart-Button, der bei Klick auf den Button die Szene neu lädt und dadurch die Tiere neu versteckt. Der Neustart-Button spawnet an der Tür im Raum.

### 5.3 Ergebnisse zum praktischen Teil

Die Entwicklung der XR-Anwendung hat die geplanten Ziele weitgehend erreicht. Die Anwendung bietet ein interaktives „Hide and Seek“-Spiel, das die neuartigen Features der Quest 3, wie Passthrough und Handtracking, effektiv nutzt. Dabei traten im Entwicklungsprozess zahlreiche technische und ergonomische Erkenntnisse zutage.

Die Oculus Quest 3 erwies sich als deutlich komfortabler im Vergleich zu ihrem Vorgängermodell. Die verbesserte Passthrough-Funktion und das geringere Gewicht der Quest 3 ermöglichten es, die Anwendung über längere Zeiträume hinweg problemlos zu nutzen. Im Vergleich zur Quest 2 bietet die Quest 3 ein deutlich höheres Maß an Benutzerfreundlichkeit und technischer Leistung, was die Entwicklung und das Testen der Anwendung erleichterte. Die schwächere Passthrough-Leistung der Quest 2 hätte es unmöglich gemacht, die Anwendung erfolgreich zu testen.

Jedoch gab es bei der Nutzung des AirLink-Systems zur direkten Anwendungstestung auf der Quest 3 erhebliche Herausforderungen. Latenzen und Darstellungsprobleme, wie das langsame Laden des Passthrough-Bildes und fehlerhafte Ausrichtungen der Ansicht bei Bewegungen, beeinträchtigten die Testprozesse erheblich. Um diese Probleme zu umgehen, erwies sich der Meta XR Simulator als wertvolles Werkzeug, das es ermöglichte, die Anwendung direkt am PC zu testen. Obwohl der Simulator für den Umfang der Bachelorarbeit angemessen ist, stößt er bei komplexeren Anwendungen, die eine höhere körperliche Aktivität erfordern, an seine Grenzen.

Die Nutzung des Meta XR All-in-One SDK sowie weiterer Packages und Assets vereinfachte den Entwicklungsprozess erheblich. Diese Tools reduzierten die Anzahl der manuellen Arbeitsschritte und minimierten potenzielle Fehlerquellen, was besonders für Einsteiger von Vorteil ist. Der Einsatz von BuildingBlocks beschleunigte die Entwicklung, indem komplexe Funktionen wie Passthrough und Kameratracking durch einfache Drag-and-Drop-Operationen implementiert werden konnten. Ohne diese Hilfsmittel hätte die manuelle Implementierung deutlich mehr Zeit in Anspruch genommen und erweiterte Kenntnisse der Oculus Passthrough-API erfordert.

Trotz der Erleichterungen zeigt sich, dass tiefere Kenntnisse in Unity und der XR-Entwicklung notwendig sind, um komplexere Anwendungen erfolgreich zu realisieren. Meta führte während der Entwicklung regelmäßig Updates und neue Features ein. Dies bietet wertvolle Möglichkeiten zur Verbesserung der Anwendung und verdeutlicht die dynamische Entwicklung der Plattform. Die Anwendung selbst demonstriert, dass es nach einer kurzen Einarbeitungszeit möglich ist, funktionierende Lösungen auch ohne ein professionelles Entwicklerstudio zu erstellen. Dies bestätigt die hohe Relevanz solcher Technologien für unabhängige Entwickler und kleinere Projekte.

Während der Entwicklung traten jedoch auch mehrere Herausforderungen auf. Die fehlenden Colliders und RigidBodyes im Charakter-Asset-Paket, die Inkompatibilität der Standard-Shader mit der Universal Render Pipeline sowie Schwierigkeiten bei der Integration der Depth API führten zu Verzögerungen und erforderten umfangreiches Troubleshooting. Diese Herausforderungen verdeutlichten, dass trotz der Vereinfachungen durch BuildingBlocks ein tiefes Verständnis der zugrunde liegenden Technologie notwendig ist, um solche Probleme effektiv zu lösen. Auch die Nutzung von Tools wie ChatGPT, die in der Entwicklung hilfreich

sein können, erfordert eine kritische Anpassung der generierten Inhalte an das spezifische Projekt, um den individuellen Anforderungen gerecht zu werden.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Entwicklung sowohl die Stärken der verwendeten Technologien als auch die Notwendigkeit eines tiefen technischen Verständnisses unterstrichen hat. Die Kombination aus verbesserter Hardware, leistungsfähigen Entwicklungstools und kontinuierlicher Weiterbildung ermöglichte es, die Herausforderungen der XR-Entwicklung erfolgreich zu bewältigen und wertvolle Erkenntnisse für zukünftige Projekte zu gewinnen.

## 6 Ausblick

Das folgende Kapitel analysiert die aktuellen Herausforderungen und zukünftigen Entwicklungen im Bereich der Extended Reality (XR) sowie deren Technologie. Es zielt darauf ab, bestehende Probleme wie technische Limitierungen, ergonomische Herausforderungen und regulatorische Hürden zu beleuchten und die Fortschritte bei der technischen Weiterentwicklung und den Zukunftstrends aufzuzeigen. Zudem stellt das Kapitel aktuelle Unternehmensinitiativen und die Integration von Künstlicher Intelligenz (KI) in XR-Technologien vor, um mögliche zukünftige Anwendungsmöglichkeiten und die Weiterentwicklung der Technologie zu erörtern.

### 6.1 Aktuelle Herausforderungen

Die aktuellen Herausforderungen in der XR-Technologie sind vielfältig und betreffen sowohl technische als auch regulatorische Bereiche. Eine der zentralen Herausforderungen besteht in der Weiterentwicklung fortschrittlicher Trackingsysteme. Die Präzision und Zuverlässigkeit dieser Systeme sind entscheidend für ein immersives Nutzererlebnis, wobei bestehende Lösungen oft an ihre Grenzen stoßen. Parallel dazu besteht ein dringender Bedarf, natürlichere Interaktionsmöglichkeiten zu schaffen und die Bedienung virtueller Welten intuitiver und zugänglicher zu gestalten. Hierbei stehen Entwickler vor der Schwierigkeit, auf spezialisierte VR-Eingabegeräte zurückzugreifen, da nur wenige Unternehmen solche Technologien anbieten. Oftmals müssen sie auf Technologien aus anderen Bereichen ausweichen, was die Entwicklung verlangsamt und potenziell weniger optimale Lösungen hervorbringt.

Die Erstellung realistischer virtueller Umgebungen stellt eine weitere bedeutende Herausforderung dar. Diese Prozesse sind zeitaufwendig und erfordern teils über ein Jahr Entwicklungsarbeit. Die Kombination aus komplexer Technologie und hohem Anspruch an die Detailtreue führt zu Verzögerungen und erhöhten Kosten, was die Skalierbarkeit und Markteinführung neuer Produkte erschwert.

Ein weiteres Problemfeld betrifft die Ergonomie der Hardware. Viele der derzeit verfügbaren Geräte sind unhandlich und bringen physische Einschränkungen mit sich, die nicht nur den Komfort beeinträchtigen, sondern auch zu Cybersickness führen können. Symptome wie Desorientierung und Übelkeit treten hierbei häufig auf und stellen eine erhebliche Hürde für die breite Akzeptanz von XR-Technologien dar (7).

Neben den technischen Hürden stehen Entwickler und Unternehmen auch vor regulatorischen Herausforderungen. Die bestehende Gesetzgebung deckt nur teilweise die Risiken von AR/VR ab. Bestimmte Anforderungen erschweren die Datenerfassung, die für die Bereitstellung robuster und sicherer immersiver Erlebnisse in allen Sektoren erforderlich ist. Es herrscht eine unübersichtliche Mischung aus einzelstaatlichen und nationalen Richtlinien, die bei

Datenschutzrisiken sowohl kritische Lücken als auch Überregulierung aufweisen. Dies führt dazu, dass die Politik bei der Regulierung von XR und den damit verbundenen Technologien der Innovation zurückbleibt (48).

## 6.2 Technische Weiterentwicklung

Wie bereits aufgezeigt sind Metaverse und XR eng miteinander verbunden, da das Metaverse XR-Technologien nutzt, um den Nutzern ein tiefgreifendes und immersives Erlebnis zu bieten. Demnach fördert die technische Weiterentwicklung des Metaverse auch die Entwicklung von XR. Im Jahr 2021 investierten Risikokapitalgeber 1,9 Milliarden USD in Software und Hardware, um die technologische Basis des Metaverse zu unterstützen (14).

Die Technologie von XR befindet sich noch in der frühen Entwicklungsphase. Eine Analyse der Patenttechnologien im Bereich der Extended Reality (XR) von 2016 bis 2021 zeigt einen kontinuierlichen Anstieg der Anzahl der Publikationen. Dies weist auf ein wachsendes Interesse an dieser Technologie hin. Besonders stark vertreten sind Patente in der Kategorie Eingabe- und Ausgabegeräte, die für die Verarbeitung von Daten zuständig sind. Dazu gehören beispielsweise VR-Controller, haptische Handschuhe und XR-Brillen (Head-Mounted Displays, HMDs).

Auf dem zweiten Platz der Patentkategorien stehen Technologien im Bereich Computergrafik, 3D-Modellierung, Bildbearbeitung, Animation und Bildverfolgung. Zu diesen gehören Softwarelösungen wie Blender für die 3D-Modellierung und Rendering-Engines wie Unity oder Unreal Engine, die für die Erstellung von Echtzeit-3D-Visualisierungen und Animationen verwendet werden (49).

### 6.2.1 XR-Brillen (besser Grafikkarten, CPU, etc.) - Hardware

Zukünftige XR-Headsets werden voraussichtlich leichter und komfortabler sein, um längere Nutzungssitzungen zu ermöglichen. Die Fortschritte in der Hardware, insbesondere bei Grafikkarten, Prozessoren und Displays, adressieren aktuelle Herausforderungen wie die Lesbarkeit von kleinen Texten und verbessern die allgemeine Benutzererfahrung. Diese Fortschritte unterstützen die Vision eines XR-basierten virtuellen Büros langfristig. Eye-Tracking und Gleitsichtoptik sollen die visuelle Qualität erhöhen und neue Möglichkeiten für gesellschaftliche VR mit Blickkommunikation eröffnen (27).

#### 6.2.1.1 Aussagen & Releases von Firmen

##### **Meta**

Meta strebt an, das Metaverse als nächste Evolution der sozialen Technologie zu etablieren. Im Jahresbericht zum Jahr 2023, welcher im Februar 2024 veröffentlicht wurde, kündigte Meta bedeutende Investitionen in AR- und VR-Technologien an. Dazu gehören die Weiterentwicklung der Geräte wie Meta Quest Pro und Meta Quest 3 sowie der Ray-Ban Meta Smart Glasses. Reality Labs ist ein Geschäftsbereich von Meta, der sich auf die Forschung, Entwicklung und Vermarktung von Extended Reality (XR) Technologien konzentriert. Dieser Bereich umfasst sowohl Virtual Reality (VR) als auch Augmented Reality (AR), sowie verwandte Technologien. Von den Betriebskosten des Reality Labs-Segments plant Meta etwa 50% für AR zu verwenden, rund 40% für VR- und MR-Technologien und etwa 10% in soziale Plattformen und andere Projekte zu investieren. Die langfristigen XR-Initiativen umfassen die Entwicklung neuer XR-Geräte, Software für soziale Plattformen und grundlegender Technologien, deren vollständige Realisierung möglicherweise erst in den nächsten zehn Jahren erfolgt. Vorerst generieren die XR-Initiativen noch Verluste. Daher ist Meta auf ausreichende Gewinne aus anderen Geschäftsbereichen, insbesondere dem Werbegeschäft, angewiesen, um diese Investitionen zu unterstützen (50).

## **Apple**

Apple bewegt sich in Richtung AR. In einem Interview von Oktober 2017 äußerte der damalige Apple CEO Tim Cook, er wäre „begeistert über AR“, da er den Nutzen dieser Technologie klar erkennen könne. Im Gegensatz dazu sei er kein „Fan“ von VR, da diese Technologie seiner Meinung nach nicht so tiefgreifend sei wie AR (51).

Für dieses Jahr hat Apple die Vision Pro als Spatial Computer auf den Markt gebracht. Auf der WWDC 2024 am 10.6.2024 stellte Apple unter anderem das „VisionOS 2“-Betriebssystem für die VisionPro vor. Dieses Update soll das Nutzungserlebnis noch immersiver und benutzerfreundlicher machen. Zu den Neuerungen gehören räumliche Fotos, die es ermöglichen, Bilder in einem dreidimensionalen Raum zu betrachten, eine verbesserte Gestensteuerung für eine intuitivere Bedienung und ein verbessertes virtuelles Mac Display mit höherer Auflösung (52).

## **Google & MagicLeap**

Google und Magic Leap, ein US-amerikanisches Start-Up mit Fokus auf AR, gaben Ende Mai 2024 ihre Partnerschaft zur Entwicklung neuer „AR-Lösungen und -Erlebnissen“ bekannt. Julie Larson-Green, Chief Technology Officer von Magic Leap, erklärte: „Diese Partnerschaft treibt die transformative Kraft von AR voran, indem wir unsere umfangreichen optischen Fähigkeiten mit den Technologien von Google kombinieren, um immersive Erlebnisse für das Entwickler-Ökosystem und für Kunden weiter voranzutreiben. Wir freuen uns darauf, das Potenzial von XR zu erweitern - die Verschmelzung der physischen Welt mit wertvollen, kontextbezogenen Lösungen.“ (53).

## **Samsung & Google**

Auf dem Galaxy Unpacked Event 2024 in Paris kündigte Rick Osterloh, Senior Vizepräsident für Plattformen und Geräte bei Google, eine kommende XR-Plattform an. Diese würde in enger Zusammenarbeit mit Samsung und Qualcomm entwickelt und soll die nächste Generation von Geräten unterstützen. „Wir freuen uns, dass wir zusammenarbeiten, um die nächste Generation von Galaxy-Produkten zu ermöglichen. Von Smartphones und Wearables bis hin zu zukünftigen Technologien wie der kommenden XR-Plattform, die wir in enger Zusammenarbeit mit Samsung und Qualcomm entwickelt haben.“ Auf der Veranstaltung ergänzte TM Roh, der Chef der Samsung Mobile Division, dass die neue XR-Plattform noch in diesem Jahr auf den Markt kommen soll (54).

## 6.2.2 Software & Entwicklung

Mit der Einführung von OpenXR 1.0 im Jahr 2019 begann der erste Schritt in Richtung Erleichterung des Austausches zwischen Plattformen für Designer und Entwickler. Das Standardisierungsprogramm zielt darauf ab, Probleme der Fragmentierung von XR-Plattformen, Engines und Technologien zu lösen. Einheitliche Standards tragen dazu bei, das Controller-Mapping und das Interaktionsdesign zu harmonisieren. Dadurch wird plattformübergreifendes Spielen und Testen einfacher, schneller und effektiver (27).

## 6.2.3 KI

ChatGPT4, eine KI, die über textbasierte Nachrichten kommuniziert, erhielt 2023 Trainingsdaten durch eine Live-Verbindung zum Internet. Die KI nutzte mehrere hundert Milliarden Parameter, Bildverarbeitung, Auswertung handgeschriebener Post-Its, HTML-Programmierung und kreative Arbeit. Prognosen deuten darauf hin, dass die KI von ChatGPT-X im Jahr 2029 den Turing-Test bestehen wird. Menschen könnten dann nicht mehr unterscheiden, ob sie mit einem Menschen oder einer KI interagieren. Dies würde zu einer Aufhebung der Spezialisierung von neuronalen Netzen und zu einer Verknüpfung zwischen KI und Mensch kommen, was die Interaktivität und Immersion in XR-Anwendungen erheblich verstärken könnte (37).

## 6.2.4 Zukunftstrends (VR, MR, AR, XR)

In Zukunft sollen VR und AR in einem vielseitigen XR-Wearable-Gerät miteinander verschmelzen. Entwickler haben bereits erste Ansätze für diese Integration getestet. Sie integrierten AR-Funktionen in VR-Headsets durch VR-Passthrough-Optionen und ermöglichten VR auf AR-Geräten durch Abdunkeln der transparenten Brille. Der nächste Schritt besteht darin, diese experimentellen Funktionen in einem XR-Gerät zu vereinen, das sowohl AR als auch VR bietet. Solche All-in-One-XR-Headsets könnten ein einheitliches räumliches Erlebnis bieten und mit tragbaren AR- und VR-Geräten sowie mobilen Displays kombiniert werden. Zusätzlich erwartet man in naher Zukunft eine verbesserte und erweiterte Haptik sowie mehr Optionen zur Einbeziehung der menschlichen Sinne.

Nicht-invasive Gehirn-Computer-Schnittstellen (BCI) zeigen vielversprechende Fortschritte zur Verbesserung der Interaktion und Navigation in virtuellen Welten, unterstützt durch maschinelles Lernen. Wahrscheinlich wird BCI zunächst zur Unterstützung der Interaktion mit Händen und Controllern eingesetzt, um neurounterstützte, freihändige Kommunikation zu ermöglichen. Dies könnte Barrieren für Menschen mit Behinderungen abbauen und Interaktionen schneller und intuitiver gestalten (27).

## 6.3 Anwendungsmöglichkeiten

Verschiedene Unternehmen haben begonnen, das Metaverse und XR-Technologien auf innovative Weise zu nutzen, und entwickeln maßgeschneiderte Lösungen für unterschiedliche Branchen.

- 1. Technologien zur Bewegungssteuerung:** Objekterkennung, Tracking und KI-gestützte AR- und VR-Projekte verbessern zunehmend die Bewegungssteuerung. Erklärbare KI-Modelle spielen hierbei eine wichtige Rolle, um Fairness und Transparenz zu gewährleisten. Beispielsweise hat das Projekt XMANAI im Bereich der intelligenten Fertigung vier reale Anwendungsfälle demonstriert, in denen solche Modelle zur Sammlung von Mensch-in-der-Schleife-Daten genutzt werden.
- 2. Soziale Medien und Unterhaltung:** TikTok hat den chinesischen VR-Headset-Hersteller Pico erworben, was die Integration von VR-Technologie in soziale Medien und Unterhaltungsplattformen vorantreibt. Auf Gaming-Plattformen wie Roblox und Fortnite werden Spiele entwickelt, die Handel und immersive Interaktionen zwischen Spielern ermöglichen und so die Nutzererfahrung erweitern.
- 3. Einzelhandel:** Walmart plant die Einführung einer VR-gestützten Online-Shopping-Plattform, die Käufern virtuelle Anproben bietet.
- 4. Medizin:** Microsoft HoloLens ermöglicht Fachkräften, bei chirurgischen Eingriffen mittels Handgesten und Sprachbefehlen zusammenzuarbeiten.
- 5. KI-Avatare:** NVIDIA hat die Omniverse Avatar-Plattform vorgestellt. Diese Plattform ermöglicht die Erstellung von selbstgesteuerten KI-Avataren in Echtzeit, die sehen, sprechen und über verschiedene Themen kommunizieren können.

Abschnitt 2.2.1. behandelt ausführlichere Aspekte und weitere Anwendungsmöglichkeiten des Metaverse, weshalb hier eine Wiederholung vermieden wird.

Auch Künstliche Intelligenz soll in den kommenden Jahren eine zentrale Rolle bei der Weiterentwicklung der XR-Technologie spielen. Die Kombination von KI und XR wird die Erstellung von Inhalten und die Interaktion innerhalb von virtuellen Umgebungen verändern. Die Automatisierung und Verbesserung von Prozessen durch KI steigern die Effizienz und ermöglichen gleichzeitig personalisierte Erfahrungen. Die Fortschritte in der KI könnten auch die Regulierung von XR-Anwendungen vorantreiben, indem sie die Einhaltung von ethischen und gesetzlichen Standards sicherstellen (14).

## 7 Fazit

Ziel dieser Arbeit war es, die Entwicklung der XR-Technologie umfassend zu analysieren, ihre Stärken und Schwächen herauszuarbeiten und den aktuellen Stand sowie die bestehenden Herausforderungen umfassend zu beleuchten.

Zur Beantwortung der Forschungsfrage fand eine gründliche Untersuchung der XR-Technologie aus verschiedenen Perspektiven statt, einschließlich ihrer historischen Entwicklung, zukünftigen Prognosen und wirtschaftlichen Aspekte. Zusätzlich entstand eine XR-Anwendung, die darauf abzielte, neue Funktionen wie das Screen Scripting und die Passthrough-Technologie der Oculus Quest 3 zu nutzen. Diese praktische Umsetzung unterstützte die theoretischen Erkenntnisse und half, die Forschungsfrage präzise zu beantworten.

Die Analyse zeigt, dass die XR-Technologie erhebliche Fortschritte gemacht hat, insbesondere durch die Verbesserungen in der Oculus Quest 3. Neue Headsets bieten ein höheres Maß an Komfort und Funktionalität im Vergleich zu ihren Vorgängern. Die Passthrough-Funktion und das Screen Scripting stellen wesentliche Fortschritte dar, die sowohl die Anwendungsentwicklung als auch das Nutzererlebnis verbessern. Diese Fortschritte belegen, dass XR bereits breite Akzeptanz gefunden hat und einen erwiesenen Nutzen bietet. Trotz dieser Fortschritte ist XR noch nicht vollständig ausgereift und steht vor bedeutenden Herausforderungen, insbesondere in Bezug auf Performance und Skalierbarkeit komplexer Anwendungen. Diese Herausforderungen deuten darauf hin, dass weiterhin erheblicher Forschungs- und Entwicklungsbedarf besteht, um die Technologie für ein breiteres Anwendungsspektrum zu optimieren.

Der Einsatz von XR in Unternehmen ist derzeit noch begrenzt und erfordert weitere Entwicklungen sowie Förderungen und Investitionen. Führende Unternehmen wie Meta, Apple, Google oder Samsung investieren in Forschung und Entwicklung und machen Ankündigungen für nächste Schritte und Ziele in der Entwicklung von XR. Diese Investitionen sind jedoch mit Herausforderungen verbunden: Derzeit generieren XR-Initiativen noch Verluste, weshalb Unternehmen wie Meta auf Gewinne aus anderen Geschäftsbereichen angewiesen sind, um ihre XR-Investitionen zu finanzieren. Trotz dieser finanziellen Belastung setzen die Unternehmen ihre Anstrengungen fort und streben langfristige Fortschritte und Marktgewinne an. Der Trend verschiebt sich von spezialisierten VR- und AR-Modellen hin zu vielseitigen All-in-One-XR-Headsets, die die menschlichen Sinne integrieren und mit Konzepten wie dem Internet der Sinne und dem Metaverse verknüpft sind. Die Analyse deutet auf eine zunehmende Relevanz von AR hin, unterstützt durch Fortschritte in verwandten Technologien wie dem Metaverse, WebXR und künstlicher Intelligenz.

Der weltweite Umsatz von XR-Technologien hat in den letzten Jahren zugenommen und wird voraussichtlich weiter steigen. Parallel dazu hat die Anzahl der Patente, insbesondere in den Bereichen Datenverarbeitung und Bildverarbeitung, zugenommen, was auf Fortschritte bei der Bewältigung bestehender Herausforderungen hinweist. Die Einführung neuer Tools und Updates, wie BuildingBlocks und Meta XR Simulator, hat die Entwicklung von XR-Anwendungen erleichtert und kostengünstiger gemacht, obwohl weiterhin Ressourcen erforderlich sind.

Die Anwendung des Gartner Hype Cycles auf die bisherige historische Entwicklung von XR zeigt, dass sich XR gegenwärtig in Phase 5, dem „Plateau der Produktivität“, befindet. Dies markiert den Übergang von einer Phase anfänglicher Begeisterung und spekulativen Entwicklungen zu einer Phase, in der die Technologie ihre Relevanz und ihren Nutzen unter Beweis gestellt hat und sich als etabliert und produktiv erweist. Die fortschreitende Entwicklung erschwinglicher und

leistungsfähiger Geräte, wie der Quest 3, bestätigt die zunehmende Marktdurchdringung und Relevanz von XR für verschiedene Branchen und Anwendungsbereiche.

Abschließend zeigt diese Arbeit, dass XR eine bedeutende Rolle in der Zukunftstechnologie einnimmt und sowohl für Entwickler als auch für Endnutzer großes Potenzial bietet. Zukünftige Forschungen könnten sich auf die Verbesserung der Benutzererfahrung und die weitere Vereinfachung im Entwicklungsprozess von XR-Anwendungen konzentrieren, um das volle Potenzial dieser Technologie auszuschöpfen. Die Optimierung der Hardware, der Software und der Datenschutzmechanismen, sowie eine verstärkte Forschung und Entwicklung sind entscheidend für weitere Fortschritte und die Akzeptanz von XR-Technologien.

# Literaturverzeichnis

1. Malterer C. VR to XR – von digitalen immersiven Realitäten zur Digitalität: Springer eBooks; 2023.
2. Appelfeller , Feldmann. Die digitale Transformation des Unternehmens: Springer eBooks; 2023.
3. Likafu , Malterer. VR to XR – von digitalen immersiven Realitäten zur Digitalität: Springer eBooks; 2023.
4. Rauschnabel PA, Felix R, Hinsch C, Shahab H, Alt F. What is XR? Towards a Framework for Augmented and Virtual Reality. Computers in Human Behavior. 2022: p. 107289.
5. Brill M. Virtuelle Realität: Springer eBooks; 2009.
6. Oxford Advanced Learner’s Dictionary at OxfordLearnersDictionaries.com. [Online]. Available from: <https://www.oxfordlearnersdictionaries.com/definition/english/virtual-reality>.
7. Mandal S. Brief Introduction of Virtual Reality & its Challenges. International Journal Of Scientific & Engineering Research. 2013: p. 304–9.
8. LaValle SM. Virtual Reality: Cambridge University Press; 2023.
9. Wölfel M. Immersive virtuelle Realität: Springer eBooks; 2023.
10. Dörner R, Broll W, Grimm P, Jung B. Virtual und Augmented Reality (VR / AR). 1st ed.: eXamen.press; 2013.
11. Milgram P. KF. A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays. IEICE Transactions on Information and Systems. 1994 Dezember: p. 1321–1329.
12. Sury U. Metaverse – parallele Welt(en). Informatik-Spektrum. 2022 Oktober: p. 407–409.
13. Kreuzer RT, Klose S. Metaverse kompakt : Springer eBooks; 2023.
14. Bhattacharya P. SD,SD,SS,VASV,ea. Towards Future Internet: The Metaverse Perspective for Diverse Industrial Applications. Mathematics. 2023: p. 941.
15. Greenwold. Spatial Computing. Massachusetts Institute of Technology, Master of Science in Media Arts and Sciences; 2003.
16. Burdea G, Coiffet P. Virtual Reality Technology. Presence: Teleoperators and Virtual Environments. 2003 Dezember: p. 663–4.
17. Slater M, Wilbur S. A Framework for Immersive Virtual Environments (FIVE): Speculations on the Role of Presence in Virtual Environments. Presence: Teleoperators and Virtual Environments. 1997 Dezember: p. 603–616.

18. Taylor M. Imagination. In (ed.) PDZ. The Oxford Handbook of Developmental Psychology, Vol. 1: Body and Mind.; 2013.
19. Luiz T, Elsenbast C, Breckwoldt J. Der Notfall – unendliche Welten? Anaesthesiologie. 2023 Juni ; p. 596–607.
20. Apple. Apple Vision Pro - technische daten. [Online]. Available from: <https://www.apple.com/de/apple-vision-pro/specs/>.
21. Varjo Technologies. Mixed reality headset for professionals – Varjo XR-4 Series. [Online].; 2024. Available from: <https://varjo.com/products/xr-4/>.
22. Meta Store. Meta Quest 3: New mixed reality VR headset – Shop now. [Online].; 2024. Available from: <https://www.meta.com/de/en/quest/quest-3/#specs>.
23. Noah N, Shearer S, Sanchari D. Security and Privacy Evaluation of Popular. Colorado: University of Denver, InSpirit Lab; 2022.
24. XR Bavaria e. V. , Brossardt B. Extended Reality - Zukunftstechnologie mit breitem Anwendungsspektrum. Studie. Universität der Bundeswehr; 2022.
25. Sutherland IE. The Ultimate Display. Information Processing Techniques; 2003.
26. Dörner R, Broll W, Grimm P, Jung B. Virtual und Augmented Reality (VR/AR): Springer eBooks; 2019.
27. Hillmann C. UX for XR: User Experience Design and Strategies for Immersive Technologies: Springer eBooks; 2021.
28. Öztürk H, GEMİ S. VON WEB 1.0 BIS ZUM METAVERSUM - Die Revolution des Internets. International Journal of Social Sciences. 2022; 6(1): 28-61.
29. Linden A, Fenn J. Understanding Gartner's Hype Cycles. Gartner Research; 20023.
30. Kress B, Peroz C. Optical Architectures for Displays and Sensing in Augmented, Virtual, and Mixed Reality (AR, VR, MR). paper. Proc. SPIE; 2020. Report No.: 11310.
31. Alcañiz M, Sacco M, Tromp JG. Roadmapping Extended Reality: Fundamentals and Applications: Wiley eBooks; 2022.
32. Wohlgenannt I, Simons A, Stieglitz S. Virtual Reality. Business & Information Systems Engineering. 2020: p. 455–461.
33. Statista. AR & VR - Weltweit | Statista Marktprognose. [Online].; 2024 [cited 2024. Available from: <https://de.statista.com/outlook/amo/ar-vr/weltweit#umsatz>.
34. Wirtz BW. Digital Business: Strategien, Geschäftsmodelle und Technologien : Springer eBooks; 2024.
35. Bök P, Noak A, Müller M, Behnke D. Computernetze und Internet of Things: Technische Grundlagen und Spezialwissen: Springer eBooks; 2020.

36. Dalton J, Acker O. Immersive Unternehmenswelten: Wie Augmented, Mixed und Virtual Reality die Wirtschaft transformieren: Springer eBooks; 2022.
37. Wolan M. Künstliche Intelligenz verändert alles. In Wolan M. Next Generation Digital Transformation.: Springe eBooks; 2020. p. 25.50.
38. Fischer N. KÜNSTLICHE INTELLIGENZ. [Online]. Available from: [https://gidw.de/images/downloads/digitalisierung/KI\\_Kuenstliche\\_Intelligenz.pdf](https://gidw.de/images/downloads/digitalisierung/KI_Kuenstliche_Intelligenz.pdf).
39. Seel T, Kolditz T, Overmeyer L, Lukas M, Leineweber S, et al.. KI im Maschinenbau: Zu den Auswirkungen und Veränderungen in Wissenschaft und Arbeitswelt. Artikel. Leibniz Universität Hannover, Informatik; 2024.
40. Reiners D, Davahli M, Karwowski W, Cruz-Neira C. The Combination of Artificial Intelligence and Extended Reality: A Systematic Review. Frontiers in Virtual Reality. 2021 September.
41. Unity Technologies. Unity - Manual: Unity's interface. [Online].; 2024 [cited 2024]. Available from: <https://docs.unity3d.com/Manual/UsingTheEditor.html>.
42. Unity Technologies. Unity - Manual: creating and using scripts. [Online].; 2024 [cited 2024]. Available from: <https://docs.unity3d.com/Manual/ScriptingSection.html>.
43. Unity Technologies. Unity - Manual: Console Window. [Online]. Available from: <https://docs.unity3d.com/Manual/Console.html>.
44. Unity Technologies. Unity - Manual: Unity's Package Manager. [Online]. Available from: <https://docs.unity3d.com/Manual/Packages.html>.
45. Unity Technologies. Meta XR All-in-One SDK | Integration | Unity Asset Store. [Online].; 2024 [cited 2024]. Available from: <https://assetstore.unity.com/packages/tools/integration/meta-xr-all-in-one-sdk-269657>.
46. Meta Platforms Technologies. The Project Setup Tool. [Online].; 2024. Available from: <https://developer.oculus.com/documentation/unity/unity-upst-overview/>.
47. Meta Platforms, Inc. Meta XR Simulator Introduction: Unity | Oculus Developers. [Online].; 2024 [cited 2024]. Available from: <https://developer.oculus.com/documentation/unity/xrsim-intro/>.
48. GitHub. Depth API. [Online].; 2024. Available from: <https://github.com/oculus-samples/Unity-DepthAPI/tree/main?tab=readme-ov-file#getting-started-with-depth-api>.
49. Dick E. Balancing User Privacy and Innovation in Augmented and Virtual Reality. Information Technology and Innovation Foundation; 2021.
50. Liu L, Chiang C. Patent Trend Analysis: Extended Reality (XR) and Future Virtual Adventure. Scientific Press International Limited. 2023: p. 27-45.
51. Meta Platforms, Inc. 2023 Annual Report on Form 10-K. [Online].; 2024. Available from: <https://d18rn0p25nwr6d.cloudfront.net/CIK-0001326801/c7318154-f6ae-4866-89fa-f0c589f2ee3d.pdf>.

52. Kelion L, BBC. Apple's Tim Cook prefers augmented reality to VR. [Online].; 2017. Available from: <https://www.bbc.com/news/technology-41590323>.
53. Apple. WWDC 2024 — June 10 | Apple. [Online].; 2024. Available from: <https://www.youtube.com/watch?v=RXeOiiDNNek>.
54. Magic Leap. Magic Leap and Google Are Entering into a Partnership to Advance the Potential of XR Technologies. [Online].; 2024. Available from: <https://www.magicleap.com/newsroom/magic-leap-and-google-partnership>.
55. Samsung India. Samsung Galaxy Unpacked July 2024: Official Livestream. [Online].; 2024. Available from: <https://www.youtube.com/watch?v=5EaW590Lb80>.

## Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit mit dem Titel:

*Stärken und Schwächen der XR-Technologie: Eine Analyse der Entwicklung mit Fokus auf Pass-Through und Screen Scripting der Quest 3*

Selbstständig, ohne unerlaubte fremde Hilfe verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe.

Die Stellen der Arbeit, die dem Wortlaut oder dem Sinn nach anderen Werken (dazu zählen auch Internetquellen) entnommen sind, wurden unter Angabe der Quelle kenntlich gemacht.

Kalletal, 10.08.2024

---

Ort, Datum



---

Unterschrift