



Technische Hochschule
Ostwestfalen-Lippe
Medienproduktion

Erstprüfer: Prof. Dr. rer. nat. Guido Falkemeier

Zweitprüfer: M.A. Jan Pieniak



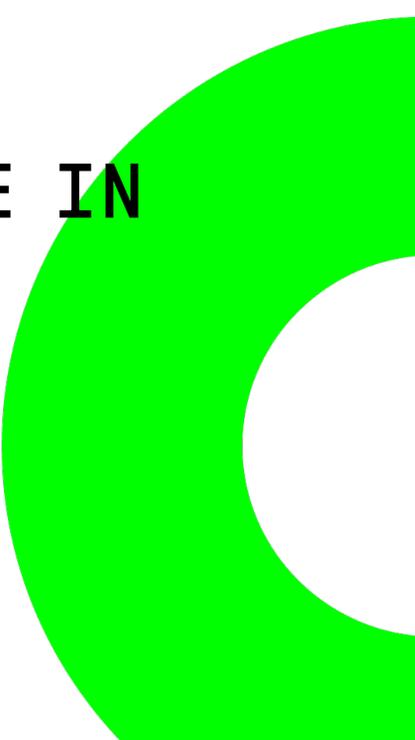
Vorgelegt von: Marc Schneider

Matrikelnummer: 15421033

Abgabedatum: 29.12.2023

Bachelorarbeit

**ZUSCHAUERPERSPEKTIVE IN
VR-APPLIKATIONEN**



1 Inhaltsverzeichnis

1	Inhaltsverzeichnis.....	2
2	Einleitung.....	4
2.1	Motivation.....	4
2.2	Zielsetzung der Arbeit	4
3	Grundlagen der VR.....	5
3.1	Virtuelle Realität (VR).....	5
3.2	Zeitleiste Geschichte VR.....	6
3.3	Immersion und Präsenz in VR	8
3.3.1	Immersionstypen.....	9
3.3.2	Immersion und Präsenz	9
3.3.3	Immersionsstufen.....	10
3.4	VR-Geräte und ihre Kategorien	11
3.4.1	Hardware: Merkmale VR-Brillen	11
3.4.2	Vorteile und Herausforderungen der verschiedenen Geräte	13
4	Zuschauerperspektiven in VR-Applikationen.....	21
4.1	Typen von Zuschauerperspektiven in VR	22
4.1.1	Cloned First-Person View	22
4.1.2	Movable Third-Person View (getrackte bewegliche Kamera oder VR-Watchman).....	23
4.1.3	Fixed Third Person View (statische Kamera).....	24
4.1.4	Mixed Reality-View	25
4.1.5	Multiplayer-View	26
4.1.6	Zuschauerperspektive auf Streaming Plattformen.....	27
4.2	Die Rolle des Zuschauers in VR-Applikationen.....	28
4.2.1	Aktiver Teilnehmer.....	28
4.2.2	Passiver Beobachter.....	28
4.2.3	Publikum und soziale Interaktion	28
4.2.4	Lernender und Schulungsteilnehmer.....	28
4.2.5	Forschung und Analyse.....	28
4.3	Herausforderungen bei der Gestaltung von Zuschauerperspektiven	28
4.3.1	Nutzerkomfort und Gesundheit	29
4.3.2	Visuelle Gestaltung.....	29
4.3.3	Benutzer-Interaktion und Steuerung	29
4.3.4	Technische Aspekte	30
4.4	Bestehende Methoden, Werkzeuge und Tools zur Generierung einer Zuschauerperspektive.....	34

4.4.1	LIV.tv	34
4.4.2	VR Spectator in Unreal	34
4.4.3	VR Spectator in Unity.....	35
4.5	Auswirkungen der Zuschauerperspektive auf das VR-Erlebnis	35
4.5.1	Vorteile der Zuschauerperspektive.....	35
4.5.2	Nachteile und Störfaktoren der Zuschauerperspektive	36
4.6	Beispiele für VR-Zuschauerperspektiven in der Unterhaltungsbranche und Berufsfeldern.....	37
4.6.1	Live-Veranstaltungen und Konzerte.....	37
4.7	VR in Berufsfeldern	38
5	Konzept: VR-Zuschauerperspektive am Beispiel des KreativInstituts Ostwestfalen-Lippe	40
5.1	Einführung in das Konzept	41
5.2	Ziele und Zweck des Konzepts	41
5.2.1	Ressourcen und Anforderungen.....	42
5.2.2	Technische Anforderungen und Ressourcen.....	43
5.2.3	Visuelle Darstellung des Konzepts	45
6	Fazit und Ausblick	48
7	Literaturverzeichnis.....	49
8	Anhang.....	52
8.1	Abbildungsverzeichnis	52
8.2	Tabellen.....	56
8.3	Design und Schriftart	57
9	Eigenständigkeitserklärung	58

2 Einleitung

2.1 Motivation

In der heutigen Ära der Zukunftstechnologien spielen Virtual Reality (VR) und Augmented Reality (AR) eine bedeutende Rolle bei der Förderung der Kreativwirtschaft, Medizin-, Gaming- und Unterhaltungsbranche. Als aktives Mitglied des KreativInstitutOWL, das sich der Erforschung dieser Technologien verschrieben hat, eröffnet sich die Möglichkeit, das Potenzial dieser innovativen Werkzeuge weiter auszuschöpfen. Die Anwendung von VR und AR verspricht nicht nur ein tieferes Verständnis der Kreativwelt, sondern auch die Schaffung einzigartiger Erlebnisse für unsere Zuschauer und Kunden. Da ich selbst die Forschung mit VR/AR unterstütze, kam mir die Idee, einen fehlenden Baustein unserer Forschung, nämlich die Zuschauerperspektive im VR-Erlebnis, genauer zu untersuchen.

Bei Events oder Präsentationen des KreativInstituts traten wiederholt Herausforderungen auf, da lediglich eine Person die VR-Brille nutzen konnte. Folglich konnten zusätzliche Zuschauer lediglich die gespiegelte Ansicht des Brillenträgers auf einem Monitor verfolgen. Diese begrenzte Darstellung verhindert eine umfassende Teilhabe an der immersiven Erfahrung, die wir für unsere Zuschauer und Kunden anstreben.

2.2 Zielsetzung der Arbeit

Das Ziel dieser Bachelorarbeit besteht darin, detaillierte Ansätze zur Verbesserung dieses Erlebnisses zu ergründen. Hierbei soll zuerst untersucht werden, ob und in welcher Weise eine Integration der Zuschauerperspektive in VR-Erlebnisse möglich ist und welche Arten von VR-Zuschauerperspektiven überhaupt existieren. Des Weiteren werden geeignete Geräte sowie verschiedene VR-Konfigurationen im Kontext der Zuschauerperspektive analysiert. Durch die detaillierte Betrachtung dieser Aspekte kann diese Arbeit dazu beitragen, die Zuschauerperspektive im VR-Erlebnis umfassender und ansprechender zu gestalten. Außerdem kann die Recherche zu einem optimalen VR-Aufbau mit Zuschauerperspektive führen. Abschließend wird anhand des Beispiels des KreativInstituts ein Konzept für den Aufbau eines VR-Systems unter Berücksichtigung der Zuschauerperspektive präsentiert.

3 Grundlagen der VR

Zunächst werden Grundlagen der VR sowie deren Definition und Geschichte erläutert. Dazu gehört die Immersion als essenzieller Bestandteil für VR und eine Erklärung der VR-Geräte und ihrer unterschiedlichen Kategorien.

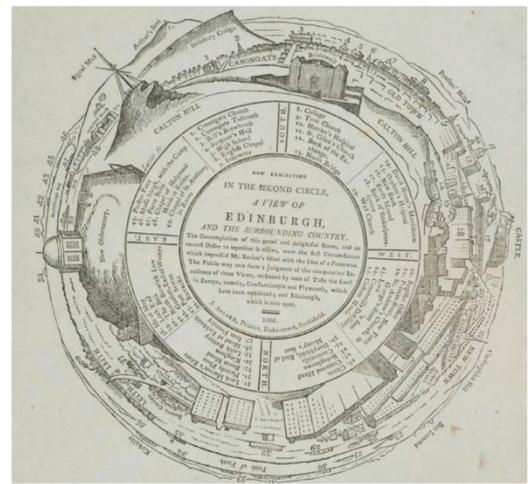
3.1 Virtuelle Realität (VR)

'Virtual Reality is the use of computer technology to create the effect of an interactive three-dimensional world in which the objects have a sense of spatial presence.' (Bryson 2013)

Virtuelle Realität (Virtual Reality, VR) ist eine computergenerierte Wirklichkeit mit Bild und in vielen Fällen auch Ton. Sie wird über Großbildleinwände, in speziellen Räumen oder über ein Head-Mounted-Display bzw. VR-Brille übertragen. Bei Mixed Reality wird entweder Realität erweitert (Augmented Reality), wobei für die Darstellung und Wahrnehmung eine AR-Brille benötigt wird, dabei wird die Virtualität mit der Realität gekoppelt.

3.2 Zeitleiste Geschichte VR

1788:
Panoramatheater von Robert Baker
VR wird geboren

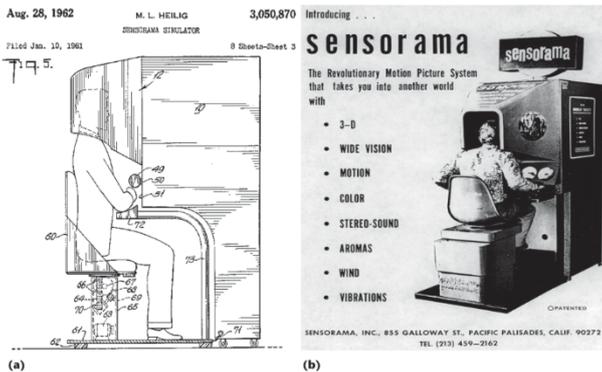


1838:
3D Bilder aus dem Stereoskop
von Physiker Sir Charles Wheatstone

1929:
Erster Flugsimulator die Blue
Box



1962:
Sensorrama macht Kino erlebbar



1968:
Erste VR-Brille
Damocles-Sword



1985:
VPL Research entwickelten ersten Datenhandschuh
und beginnen Kooperation mit NASA

1987:
VPL Research entwickelt die
erste kommerzielle
VR-Brille
für 50000 US-Dollar



1990er
Nintendo Sega und Atari
springen auf den VR Hype

Ende 1990er

VR-Brillen für den Konsumentenmarkt scheitern.
Computer sind nicht stark genug
Bildraten sind zu niedrig Latenzen sind zu hoch
was zu Übelkeit, Kopf- und Augenschmerzen führt

2010er
VR wird wiedergeboren:
Oculus, HTC, Valve und Sony
starten neues VR-Zeitalter

2012:
Palmer Luckey gründet Oculus VR
Entwicklung an Oculus Rift
beginnt



2015:
Samsung und Google wollen Virtual
Reality mit
Smartphone-VR zugänglicher machen.



2017:
VR-Brillen verkaufen sich
schlechter als erwartet: zu geringe
Auflösung, störende Kabel und ein
zu hoher Preis führen zur
Ernüchterung des VR-Hypes



2019:
Oculus Quest und Valve Index erscheinen.
Die Valve Index ist am ersten Tag ausverkauft.



2022-
Facebook heißt jetzt Meta und richtet sich
auf das Metaverse aus. Apple stellt seine
VR-Brille vor.



2014:
Facebook kauft Oculus, Sony kündigt
VR-Brille an
und Valve und HTC kooperieren



2016:
Beginn von moderner Virtual Reality
Facebook und Oculus, HTC und Valve sowie Sony
etablieren sich als Big Player von VR



2018:
VR-Superhit 'Beatsaber' erscheint



2020:
Virtual Reality in Zeiten der Pandemie
Half Life: Alyx sorgt für Hoch-Zeit



Der Zeitstrahl beschreibt die geschichtliche Entwicklung und Entstehung von VR. Während zu Beginn der Entwicklung nur analoge Geräte wie das Stereoskop oder Panoramatheater zur Verfügung standen, hat sich die Technologie im 20. Jahrhundert digitalisiert und im 21. Jahrhundert rasant entwickelt. Im 20. Jahrhundert entwickelte Morton Heilig 1955 das Sensorama, in dem ein stereoskopischer 3D-Film abgespielt wird und währenddessen Gerüche und der Fahrtwind simuliert werden. Leider blieb der Erfolg aus. In der Forschung, wie etwa bei der NASA, entstanden in Kooperation die ersten digitalen VR-Konzepte mit Datenhandschuh. Allerdings war die Computertechnologie noch nicht weit genug entwickelt, um eine VR-Brille massentauglich zu machen und eine flüssige sowie hochauflösende Wiedergabe von 3D-Inhalten zu ermöglichen.

In den 90ern wurde VR für Spieleunternehmen wie Atari, SEGA und Nintendo interessant. Erste Versuche, VR-Brillen für die Masse zu entwickeln wurden gestartet. Letztlich teilen jedoch alle VR-Brillen für den Konsumentenmarkt das gleiche Schicksal. Prozessoren von Heimcomputern und Konsolen waren in den Neunzigern einfach nicht stark genug, Bildraten waren zu niedrig und hohe Latenzen führten zu Übelkeit, Kopf- und Augenschmerzen. Überzeugende VR-Erfahrungen blieben vorerst ein Versprechen (Erl, 2023).

Ab 2012 beginnt die Ära der ersten modernen VR-Brillen. Palmer Luckey gründet die Firma Oculus VR und beginnt mit der Entwicklung der Oculus Rift. HTC und Valve kooperieren, wodurch die HTC Vive entsteht, und Sony entwickelt seine eigene VR-Brille für seine Spielekonsole. Seitdem hat sich die Technologie mit großer Geschwindigkeit entwickelt. VR-Brillen werden für den Konsumenten immer zugänglicher, bieten hohe Auflösungen und Bildraten. Tracking-Systeme werden immer genauer, wodurch Motion Sickness kaum noch vorhanden ist. Momentan ist auch der Tech-Gigant Apple in die VR-Technologie eingetreten und hat seine VR-Brille vorgestellt, deren Markteinführung für 2024 erwartet wird.

3.3 Immersion und Präsenz in VR

Im Zusammenhang mit VR fällt häufig der Begriff „Immersion“. Die Immersion ist einer der wichtigsten Bestandteile von VR und ihren Applikationen. Immersion bedeutet das Eintauchen in die Inhalte eines Mediums. Der Begriff stammt ursprünglich aus der der Physik und beschreibt das Eintauchen eines Objekts in eine Flüssigkeit mit besonderen lichtbrechenden Eigenschaften. Dabei ist das Objekt vollständig von der Flüssigkeit umhüllt. Diese vollständige Umhüllung wird bei Usern in einer VR-Umgebung verwendet. Dabei nimmt die VR-Umgebung den Zustand der Flüssigkeit ein, und diese muss so überzeugend sein, dass der Nutzer in diese vollständig „eintauchen“ kann (WorldOfVR, 2022).

3.3.1 Immersionstypen

Es gibt verschiedene Immersionstypen. Sie können sowohl mental als auch physikalisch hervorgerufen werden. Daher wird hier zunächst die Unterscheidung erklärt.

3.3.1.1 Mentale Immersion

Der Begriff 'mentale Immersion' entsteht, wenn eine Person stark in eine Handlung eintaucht und sich mental darin vertieft. Man erlebt dies beispielsweise beim Lesen eines aufregenden Buches oder beim Anschauen eines fesselnden Films. Dieser Zustand beschreibt eine intensive Einbindung des Nutzers, bei der er stark involviert ist und bereit ist, sich auf die Fiktion einzulassen („suspension of disbelief“).

3.3.1.2 Physikalische Immersion

Die Immersion in die virtuelle Realität kann einen noch weitergehenden Schritt unternehmen, indem sie nicht nur mental, sondern auch physisch erlebt wird. Dies wird als 'physische Immersion' bezeichnet. Eine ausgeprägte physische Immersion tritt auf, wenn Ein- und Ausgabegeräte verwendet werden, die die Sinne des Nutzers auf möglichst authentische Weise ansprechen. Beispielsweise fördern die typischen Head-Mounted Displays für Virtual Reality eine hohe physische Immersion, indem sie die reale Umgebung ausblenden und den Nutzer ausschließlich in die virtuelle Welt versetzen, unabhängig davon, wohin er blickt. Zusätzlich verstärken Handschuhe mit haptischem Feedback, Laufbänder zur Bewegungsnachverfolgung und andere Ein- und Ausgabegeräte die physische Immersion, was sich wiederum positiv auf die geistige Immersion auswirken kann.

3.3.2 Immersion und Präsenz

Im Kontext der Immersion wird oft auch der Begriff Präsenz genutzt, welcher das persönliche Empfinden des Nutzers beschreibt, tatsächlich in einer virtuellen Welt präsent zu sein. Die Wahrnehmung der Umgebung als real oder weniger real hängt dabei vom Ausmaß dieser Präsenz ab. Diese subjektive Empfindung der Präsenz kann erreicht werden, indem die Person gedanklich in die Umgebung eintaucht, und sie kann durch eine hohe Stufe der physischen Immersion verstärkt werden.

Die Empfindung von Präsenz kann durch eine Ortsillusion, die Plausibilitätsillusion und die Involviertheit des Nutzers hervorgerufen werden. Die Bezeichnung Ortsillusion (englisch 'place illusion') umschreibt das Empfinden des Anwenders, sich an einem anderen Ort zu befinden, obwohl ihm bewusst ist, dass seine tatsächliche Präsenz nur virtueller Natur ist. Diese Empfindung wird vornehmlich durch immersiv gestaltete Ausgabegeräte

verstärkt und besonders durch die Nutzung von dreidimensionaler Darstellungstechnologie sowie einem nutzerzentrierten Blickwinkel unterstützt (Omnia, 2023).

Die Plausibilitätsillusion (englisch 'plausibility illusion') beschreibt die Situation, in der die Ereignisse der simulierten Umgebung als tatsächlich geschehen wahrgenommen werden, obwohl man sich darüber im Klaren ist, dass sie lediglich in einer virtuellen Umgebung ablaufen. Im Gegensatz zur Ortsillusion, die hauptsächlich durch die Art der Darstellung erzeugt wird, basiert die Plausibilitätsillusion auf den Inhalten der simulierten Welt. Hierbei scheint die Authentizität der virtuellen Umgebung wichtiger zu sein als der sensorische Realismus. Ein Beispiel hierfür wäre ein virtuell perfekt modellierter Mensch, der jedoch nur in einfachen Phrasen spricht und dadurch die Plausibilitätsillusion stört. Dieser Bruch wird auch als Präsenzbruch (englisch 'break in presence') bezeichnet und kann sowohl bei der Ortsillusion als auch bei der Plausibilitätsillusion auftreten, wenn die Umgebung nicht wie erwartet reagiert (Omnia, 2023).

Die Involviertheit des Anwenders (englisch 'involvement') bezieht sich auf das Maß der Aufmerksamkeit oder des Interesses an der simulierten Welt. Ähnlich wie bei der Plausibilitätsillusion wird die Involviertheit hauptsächlich durch die Inhalte der virtuellen Umgebung beeinflusst. Zum Beispiel könnte ein Nutzer durch eine überzeugende Ortsillusion das Empfinden haben, sich an einem virtuellen Ort zu befinden, aber dennoch wenig Interesse zeigen und nur geringfügig involviert sein, was zu einer geringen Präsenzepfindung führt. Auf der anderen Seite könnte ein Nutzer aufgrund fesselnder Inhalte stark involviert und mental eingetaucht sein, während aufgrund fehlender Ortsillusion dennoch die Empfindung von Präsenz ausbleiben kann (Omnia, 2023).

3.3.3 Immersionsstufen

3.3.3.1 Vollständig immersiv

Vollständig immersiv bedeutet, dass der Nutzer vollständig in die VR-Umgebung eintaucht und das Gefühl hat, physisch präsent zu sein. Diese Perspektive bietet normalerweise die höchste Immersion und kann durch VR-Headsets erreicht werden, die das gesamte Sichtfeld des Benutzers abdecken und möglicherweise auch Bewegungssteuerungen verwenden. In dieser Kategorie gibt es keine Ablenkungen von der realen Welt.

3.3.3.2 Semi-immersiv

Semi-immersiv bedeutet, dass der Nutzer zwar in die VR-Umgebung eintaucht, aber immer noch eine Verbindung zur realen Welt hat. Dies kann durch AR-Brillen (Augmented Reality) erreicht werden, die digitalen Informationen in die reale Welt einblenden. Semi-immersive VR kann auch auf Bildschirmen

angezeigt werden, bei denen der Benutzer noch einen Teil der realen Welt sieht.

3.3.3.3 Nicht-Immerviv

Nicht-immersive VR-Perspektiven bieten die geringste Immersion und sind normalerweise auf herkömmlichen Computerbildschirmen oder mobilen Geräten zu finden. In dieser Kategorie gibt es immer noch eine klare Trennung zwischen der virtuellen Umgebung und der realen Welt.

3.4 VR-Geräte und ihre Kategorien

3.4.1 Hardware: Merkmale VR-Brillen

Im folgenden Kapitel widmen wir uns einer detaillierten Analyse der Hardwaremerkmale von Virtual-Reality Brillen. Im Anschluss daran werden die Vorteile und Herausforderungen der verschiedenen VR-Geräte näher betrachtet.

3.4.1.1 Kabelgebunden <-> Standalone

VR-Headsets können entweder an Kabeln gebunden sein oder als Standalone-Geräte funktionieren. Kabelgebundene VR-Headsets erfordern immer eine leistungsfähige Workstation wie einen PC oder ein Notebook. Diese Headsets sind normalerweise leichter, da sie keine integrierten Prozessoren und Akkus für die Stromversorgung benötigen. Die Bildübertragung und Stromversorgung erfolgen über das Kabel. Einige kabelgebundene Headsets können jedoch optional mit Akkus und drahtlosen Modulen ausgestattet werden, um ohne Kabel verwendet zu werden, wobei jedoch immer noch ein PC als Basisstation erforderlich ist. Im Gegensatz dazu kann ein Standalone-Headset ohne zusätzliche Workstation betrieben werden, da alle erforderliche Technologien im Headset selbst integriert sind und es nach dem Plug-and-Play-Prinzip funktioniert. In den meisten Fällen kann ein eigenständiges Headset jedoch optional mit einer Workstation verbunden werden, um die Leistung zu steigern, indem die Leistung der Workstation abgerufen wird.

Der wesentliche Unterschied zwischen den beiden Varianten liegt in der Leistung. Kabelgebundene Headsets nutzen immer die Leistung (Prozessor und Grafikkarte) der Workstation. Das Bildsignal wird über das Kabel oder drahtlos zum Headset übertragen, und die Trackinginformationen der VR-Brille werden über das Kabel an die Workstation zurückgesendet. Ein eigenständiges Headset kann nur auf die begrenzte Rechenkapazität des internen Prozessors zugreifen, weshalb die Leistung, die Akkulaufzeit und folglich auch die Bildauflösung bei eigenständigen Headsets eingeschränkt sind (Hermsen, o. D.).

3.4.1.2 3DoF <-> 6DoF

VR-Headsets und Eingabegeräte werden in der Regel entweder als 3DoF oder 6DoF klassifiziert. Die Abkürzung 'DoF' stammt aus dem Englischen und steht für 'Degrees of Freedom' (Freiheitsgrade), die die Anzahl der unabhängig voneinander variierbaren Parameter in einem System beschreiben.

3DoF bedeutet, dass das System über drei Freiheitsgrade verfügt, während 6DoF über sechs Freiheitsgrade verfügt. Im Kontext der Virtual Reality spielen diese Freiheitsgrade eine entscheidende Rolle für die Steuerung und Navigation im Spiel, da sie bestimmen, welche Bewegungen vom Headset oder Eingabegerät erfasst werden können.

Im Falle von 3DoF können nur Drehbewegungen erfasst werden, jedoch keine translatorischen Bewegungen. Das bedeutet, dass für das Headset festgestellt werden kann, ob der Benutzer seinen Kopf nach links oder rechts gedreht, nach oben oder unten geneigt oder von Seite zu Seite geschwenkt hat.

Im Gegensatz dazu ermöglicht 6DoF die Erfassung sowohl von Dreh- als auch von translatorischen Bewegungen. Das bedeutet, dass erkannt werden kann, ob sich der Benutzer vorwärts, rückwärts, seitlich oder vertikal bewegt hat.

Mit 3DoF ist es daher nicht möglich, sich im Raum frei zu bewegen, während dies mit 6DoF möglich ist (Hermsen, o. D.).

3.4.1.3 Externes Tracking <-> Internes Tracking

3.4.1.3.1 Externes VR-Tracking

Beim externen Tracking werden ergänzend zur VR-Brille und zum PC zusätzliche Geräte aufgestellt, die Bewegungen im Trackingbereich „beobachten“. Die Basisstationen der Valve Index oder HTC Vive können beispielsweise an der Wand oder auf Stativen montiert werden.

Diese Basisstationen senden in Abständen von Millisekunden ein dichtes Infrarot-Laserstrahlennetz in den Raum, wobei diese Laser für den Menschen ungefährlich sind. Die Infrarotstrahlen treffen auf die Sensoren, die an unterschiedlichen Stellen der VR-Brille platziert sind. Auf Basis der Messdaten kann die aktuelle Position und Bewegung der Brille im Raum trianguliert werden.

Die VR-Brille und die PC-Software synchronisieren die Bewegungsdaten laufend in Echtzeit. So wird die reale Bewegung virtuell umgesetzt und man kann sich durch eine Computerwelt bewegen wie durch die Realität. Valves SteamVR-Tracking liefert derzeit auf bis zu 20 Quadratmetern das verlässlichste und präziseste externe Tracking. Mit SteamVR-Tracking Version 2.0 können sogar noch viel größere Trackingflächen abgedeckt werden.

Vorteil des externen Trackings ist die hohe Tracking-Genauigkeit und die Größe des Spielbereiches. Zudem ist die Stabilität des Trackings sehr hoch.

Der größte Nachteil dieses Trackingsystems ist jedoch die aufwendige Installation: Die Infrarot-Sender müssen an bestimmten Punkten im Raum angebracht sein und einzeln mit Strom versorgt werden. Das System ist nicht leicht transportierbar, da die Anordnung des Raumes am Zielort mit dem vorherigen Raum übereinstimmen muss, wenn die exakten Raumattribute benötigt werden und der vorherige Raum bereits vollständig definiert wurde. Selbst eine minimale Verschiebung der Basisstation könnte zu einer falschen Kalibrierung des Trackings führen, wodurch eine erneute Kalibrierung notwendig wird (Hermsen, o. D.).

3.4.1.3.2 Internes VR-Tracking

Bei dieser Variante ist das Tracking direkt in der VR-Brille verbaut. Externe Geräte sind nicht notwendig. Das Tracking erfolgt etwa bei der Oculus Quest 2 über Infrarot-Kameras in der VR-Brille, die die Position und Bewegungen des Nutzers relativ zur Umgebung verfolgen. Die VR-Brille übernimmt sämtliche Aufgaben selbst, wodurch Laien das Headset schnell und einfach an jedem Ort in Betrieb nehmen können.

Die größten Vorteile des internen Trackings sind einfache Bedienung und hohe Mobilität: Eine Oculus Quest etwa kann nahezu in jedem Raum und – wenn die Lichtbedingungen stimmen – sogar draußen genutzt werden. Dafür kann es, abhängig vom System, allerdings zu Tracking-Aussetzern kommen, wenn man die Controller außerhalb des Kamerasichtfelds führt – beispielsweise hinter dem Rücken – oder wenn es sehr hell oder zu dunkel ist. Entwickler/innen werden aber immer besser darin, diese Aussetzer zu minimieren, beispielsweise mit KI-gestützten Bewegungsvorhersagen (Hermsen, o. D.).

3.4.2 Vorteile und Herausforderungen der verschiedenen Geräte

Hier ist eine Liste verschiedener relevanter VR-Brillen mit ihren Spezifikationen. Diese Auflistung soll helfen, ein Verständnis für die technischen Merkmale und Unterschiede zu entwickeln. Die Brillen werden grob in kabelgebundene und Standalone Varianten unterteilt, da dies der entscheidende Faktor ist, der die größten Unterschiede zwischen ihnen ausmacht.

3.4.2.1 Kabelgebundene VR-Brillen

3.4.2.1.1 Varjo XR-3:



3 Varjo XR-3

Die Varjo XR-3 ist ein High-End-VR-Headset, das für professionelle Anwendungen entwickelt wurde. Es kombiniert Virtual Reality und Augmented Reality und ist besonders für industrielle Anwendungen, Simulationen und Designprozesse geeignet. Das XR-3 verfügt über eine beeindruckende Bionic-Display-Technologie, die eine sehr hohe Auflösung von bis zu 70 Megapixeln pro Auge bietet. Dies führt zu einer außergewöhnlichen Bildschärfe und Detailtreue. Die XR-3 bietet außerdem Eye-Tracking-Technologie, die die Interaktion und Präzision verbessert. Sie unterstützt auch Hand-Tracking, um natürliche Gestensteuerung zu ermöglichen. Das Headset wurde für Unternehmen konzipiert und wird in verschiedenen Branchen eingesetzt, darunter Luftfahrt, Automobilindustrie und Forschung (Varjo Technologies, 2023).

Da die Varjo XR-3 sich auf professionelle Anwendungen konzentriert, liegt der Preis deutlich über dem Durchschnitt für Verbraucher-VR-Headsets. Es ist wichtig zu beachten, dass es sich bei diesem Headset um ein spezialisiertes Gerät handelt, das für den Massenmarkt möglicherweise überdimensioniert ist, aber für anspruchsvolle Unternehmensanwendungen optimiert wurde.

3.4.2.1.2 Valve Index:



4 Valve Index mit Basisstationen und Index Controller

Die Valve Index ist ein hochwertiges PC-VR-Headset, entwickelt von Valve. Es ist mit einem 1440 x 1600 RGB-LCD pro Auge ausgestattet und einer erstaunlichen Bildwiederholrate von 120-144 Hz, was eine äußerst flüssige VR-Erfahrung ermöglicht. Im Vergleich zu neueren VR-Brillen mag die Auflösung etwas niedriger sein, doch zählt sie zu den wenigen Headsets mit einer Bildwiederholrate von bis zu 144 Hz. Diese hohe Bildrate ist besonders vorteilhaft bei dynamischen VR-Anwendungen mit schnellen Bewegungen. Die äußerst präzisen Controller unterstützen Fingertracking und bieten eine bemerkenswerte Interaktivität. Für das Raumtracking benötigt das Headset Basisstationen und ist vollständig mit SteamVR kompatibel (Valve, o. D.).

3.4.2.1.3 HTC Vive Pro 2:



5 HTC Vive Pro 2 mit Basisstationen und Vive Controller

Die HTC Vive Pro 2 ist ein High-End-VR-Headset von HTC. Mit einer Auflösung von 2.448 x 2.448 Pixel pro Auge und OLED-Displays bietet es eine beeindruckende Bildqualität. Das Headset verfügt über integrierte Kopfhörer, was die Immersion verbessert. Es benötigt externe Basisstationen für das präzise Raumtracking und ist kabelgebunden. Die Vive Pro ist kompatibel mit SteamVR und bietet eine breite Palette von VR-Erfahrungen (HTC VIVE, o.D.).

3.4.2.2 Standalone VR-Brillen

3.4.2.2.1 HTC Vive XR Elite:



6 HTC Vive XR Elite mit Controller

Das HTC Vive XR Elite ist ein hochwertiges, modulares Mixed-Reality-Headset, das sowohl kabelloses All-in-One-XR als auch PC-VR bietet. Sein flexibles Design erlaubt das Abnehmen des Akkus, wodurch es in eine leichte Brille umgewandelt werden kann. Die Auflösung von 1920 x 1920 Pixeln pro Auge, eine Bildwiederholrate von 90 Hz sowie ein Sichtfeld von bis zu 110 Grad zeichnen es aus. Es besitzt integrierte Lautsprecher und Mikrofone sowie eine anpassbare Dioptrienregelung für klare Sicht.

Die herausragende Passthrough-Funktion ermöglicht die Verschmelzung der physischen und virtuellen Welt. Mit vier Tracking-Kameras, einer 16 MP RGB-Kamera und einem Tiefensensor bietet das Headset präzises Tracking und räumliche Wahrnehmung, selbst bei variierenden Lichtverhältnissen.

Im Lieferumfang sind zwei Controller enthalten, die eine Akkulaufzeit von bis zu 15 Stunden bieten. Das HTC Vive XR Elite kann via Kabel oder Wi-Fi 6E mit einem PC verbunden werden, um PC-VR-Spiele mit niedriger Latenz und hoher Qualität zu genießen (HTC VIVE, o. D.-b).

3.4.2.2.2 Meta Quest 2:



7 Meta Quest 2 mit Controller

Meta Quest 2 ist ein eigenständiges VR-Headset von Meta, einer Tochtergesellschaft von Facebook, das ohne externe PC-Verbindung eine kabellose VR-Erfahrung ermöglicht. Das Headset ist mit einem OLED-Display ausgestattet, das eine Auflösung von 1832 x 1920 pro Auge und ein Sichtfeld von 95° bietet. Die Passthrough-Ansicht durch die Kameras erfolgt ausschließlich in Graustufen. Es gibt zwei Varianten des Headsets: eine mit 128 GB und eine mit 256 GB Speicher. Dank seines leichten Designs und den Touch-Controllern ermöglicht es eine eindrucksvolle Immersion. Die Quest 2 gewährt Zugang zu einer umfangreichen Sammlung von VR-Spielen und Anwendungen über den Oculus Store. Es ist allerdings zu beachten, dass zur Aktivierung und Nutzung des Geräts ein Facebook-Konto erforderlich ist (Meta, o. D.).

3.4.2.2.3 Meta Quest 3:



8 Meta Quest 3 mit Controller

Die Meta Quest 3 ist ein Standalone VR-Headset und Nachfolger der Quest 2. Sie ist mit einem verbesserten Chip ausgestattet, der eine bessere Grafik und Performance ermöglicht. Das Display bietet eine höhere Auflösung von 2.064 x 2.208 pro Auge und ein Sichtfeld von 110° im Vergleich zum Vorgänger. Im Gegensatz zur Quest 2 verfügt die Quest 3 über Passthrough mit Farben und einer Auflösung von 4 Megapixeln, was die Nutzung von Mixed Reality-Applikationen ermöglicht. Die Brille ist erstmals mit einem Speicher von 512 GB erhältlich (Meta, o. D.-b).

3.4.2.3 Vergleichstabelle:

In der nachfolgenden Tabelle sind die technischen Daten der zuvor präsentierten VR-Brillen aufgeführt. Diese Daten umfassen die wichtigsten Attribute, um einen umfassenden Vergleich zu ermöglichen. Die aufgeführten kabelgebundenen VR-Brillen enthalten Angaben zu den empfohlenen Mindestanforderungen seitens des Herstellers für den Prozessor und den RAM des PCs.

1 Vergleichstabelle VR-Brillen

VR-Brillen	Auflösung (pro Auge)	Bildrate	Sichtfeld	CPU GPU	RAM	Tracking	Hand-Tracking	Anschlüsse	Preis
Valve Index (kabelgebunden)	1.440 x 1.600	80 90 120 144 Hz	130°	CPU: Dual-Core GPU: NVIDIA GeForce GTX 970, AMD RX480	8 GB	SteamVR (6DOF)	Nein, Fingertracking (Index-Controller)	USB 3.0 DP 1.2	1.079 €
HTC Vive Pro 2 (kabelgebunden)	2.448 x 2.448	90 120 Hz	120°	CPU: Dual-Core GPU: NVIDIA GeForce GTX 1060, AMD RX480	8 GB	SteamVR (6DOF)	Nein	USB-C 3.0 DP 1.2+ Bluetooth	849 €
Varjo XR-3 (kabelgebunden)	2.880 x 2.720	90 Hz	115°	CPU: 8-Core GPU: NVIDIA GeForce RTX 3080 oder 4070Ti	32 GB	SteamVR (6DOF) Autark (Beta)	Ultraleap Gemini v5 Fingertracking (Index-Controller)	USB-C USB-A 2x DP	7.729 €
Meta Quest 2	1.832 x 1.920	72 90 120 Hz	95°	Snapdragon XR2	6 GB	Inside-Out (4 Kameras, 6DOF)	Ja, Nativ	Wi-Fi Bluetooth USB-C 3.0	349 €
Meta Quest 3	2.064 x 2.208	72 90 120 Hz	110°	Snapdragon XR2 Gen 2	8 GB	Inside-Out (6 Kameras, 6DOF)	Ja, Nativ	Wi-Fi Bluetooth USB-C 3.0	550 €
HTC Vive XR Elite	1.920 x 1.920	90 Hz	110°	Snapdragon XR2 Gen2	12 GB	Inside-Out (4 Kameras, 6DOF)	Ja, Nativ	Wi-Fi 6 Bluetooth USB-C 3.2	1.399 €

Die Auswahl der VR-Brille für eine Zuschauerperspektive hängt stark vom Anwendungsfall ab. Wenn sowohl Zuschauer als auch Anwender eine hochauflösende, detailreiche VR-Umgebung erleben möchten, führt der Weg nicht an einer kabelgebundenen VR-Brille vorbei, um ein stabiles Erlebnis zu gewährleisten. Dies geht jedoch oft mit höheren Kosten einher, da kabelgebundene Brillen teurer sind und die Notwendigkeit eines PCs weitere Ausgaben bedingt.

Für uneingeschränkte Bewegungsfreiheit ohne Kabelverwicklung ist die Wahl einer Standalone-Brille erforderlich, selbst wenn dies möglicherweise mit einer schlechteren Auflösung und einem eingeschränkten Blickwinkel einhergeht. Insbesondere die Standalone-Brillen von Meta bieten hierbei kostengünstige Alternativen im Vergleich zu kabelgebundenen Lösungen.

Für den Fall, dass das Budget keine große Rolle spielt und eine Kombination aus Bewegungsfreiheit und perfekter Bildqualität gefragt ist, können kabelgebundene VR-Brillen durch die Verwendung eines Traversensystems mit Seilzügen eine ähnliche Bewegungsfreiheit wie Standalone-Brillen bieten. Dennoch wird die Bewegungsfreiheit nicht identisch sein.

4 Zuschauerperspektiven in VR-Applikationen

In diesem Kapitel untersuche ich verschiedene Arten von Zuschauerperspektiven in der virtuellen Realität, außerdem die Rolle des Zuschauers in VR-Anwendungen sowie die Herausforderungen bei der Gestaltung dieser Perspektiven. Anschließend behandle ich bereits existierende Software und Tools zur Erzeugung von Zuschauerperspektiven und untersuche die Auswirkungen des Zuschauers auf das VR-Erlebnis. Abschließend präsentiere ich bestehende Anwendungen von Zuschauerperspektiven in der Unterhaltungsindustrie und in verschiedenen Berufsfeldern.

Die Zuschauerperspektive in einem VR-Erlebnis bezieht sich darauf, wie Personen, die nicht aktiv an der virtuellen Realität teilnehmen, das Geschehen und die Interaktionen in der virtuellen Umgebung beobachten und erleben. Mit anderen Worten geht es darum, wie das VR-Erlebnis für Zuschauer oder Beobachter gestaltet werden kann.

Die Bedeutung der Zuschauerperspektive in VR-Applikationen ist vielschichtig. Zunächst einmal kann sie dazu beitragen, die Immersion zu verbessern, indem sie Menschen, die nicht direkt an der VR-Erfahrung teilnehmen, dennoch ermöglicht, das Geschehen zu verfolgen und zu verstehen. Das kann wichtig sein, um eine Verbindung zwischen den VR-Nutzern und den Zuschauern außerhalb der virtuellen Umgebung herzustellen.

Die Zuschauerperspektive kann auch für pädagogische Zwecke genutzt werden. Zum Beispiel könnten Lehrer oder Ausbilder in einem Bildungskontext die VR-Erfahrung einer Personengruppe zeigen, um ihnen komplexe Konzepte oder Situationen zu vermitteln.

In der Unterhaltungsbranche eröffnet die Zuschauerperspektive neue Möglichkeiten für Events, Spiele oder Shows. Zum Beispiel könnten Sportveranstaltungen in VR übertragen werden, wobei Zuschauer die Perspektive von verschiedenen Plätzen im Stadion aus erleben können, ohne tatsächlich physisch anwesend zu sein.

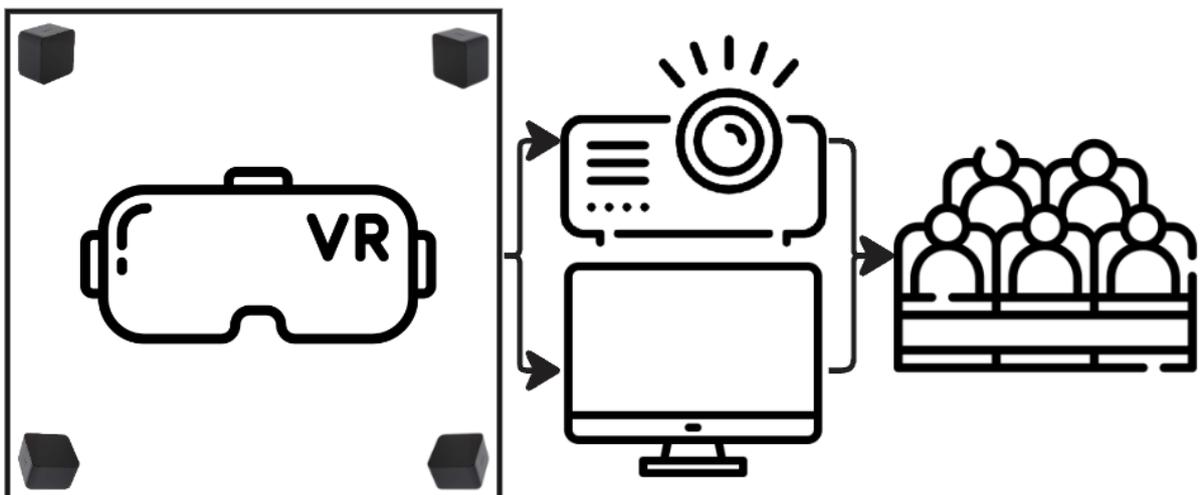
Die Zuschauerperspektive kann auch so gestaltet werden, dass sie sozialen Austausch ermöglicht, indem sie mehrere Nutzer in einer VR-Umgebung zusammenbringt. Dadurch entsteht ein gemeinsames Erlebnis, das die soziale Interaktion fördern kann.

Die Frage nach der Daseinsberechtigung der Zuschauerperspektive in VR-Applikationen ist also eng mit dem Potenzial verbunden, VR-Erlebnisse für ein breiteres Publikum zugänglich zu machen, sei es für Bildungszwecke, Unterhaltung oder soziale Interaktion.

4.1 Typen von Zuschauerperspektiven in VR

4.1.1 Cloned First-Person View

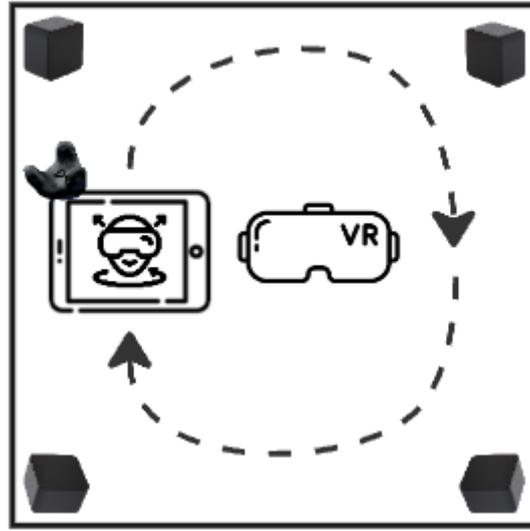
Die gängigste Umsetzungsmöglichkeit und einfachste Darstellung einer Zuschauerperspektive in VR sind Externe Bildschirme oder Projektionen, auf denen die Perspektive des VR-Anwenders übertragen wird. Die VR-Applikation wird nicht nur auf der VR-Brille, sondern auch in der VR-Software wie zum Beispiel SteamVR oder VarjoBase angezeigt. Das Fenster kann dann auf einem sekundären Bildschirm oder Projektor im Vollbildmodus angezeigt werden. Die Konfiguration der Zuschauerperspektive ist damit abgeschlossen. Diese Zuschauerperspektive ist dabei nur eingeschränkt immersiv.



9 Visualisierung Cloned First-Person View

4.1.2 Movable Third-Person View (getrackte bewegliche Kamera oder VR-Watchman)

Die Third-Person View in VR-Anwendungen ermöglicht eine Zuschauerperspektive, die sich unmittelbar in der Nähe des Nutzers befindet, vor, neben oder hinter ihm. Diese Ansicht erlaubt es, den Beobachtungswinkel frei zu wählen und ermöglicht echte Bewegungen mit gewissen Einschränkungen. Es ist wichtig, dass diese Perspektive die Bewegungen des Nutzers innerhalb seiner Reichweite nicht beeinträchtigt.



10 Visualisierung Movable Third-Person View

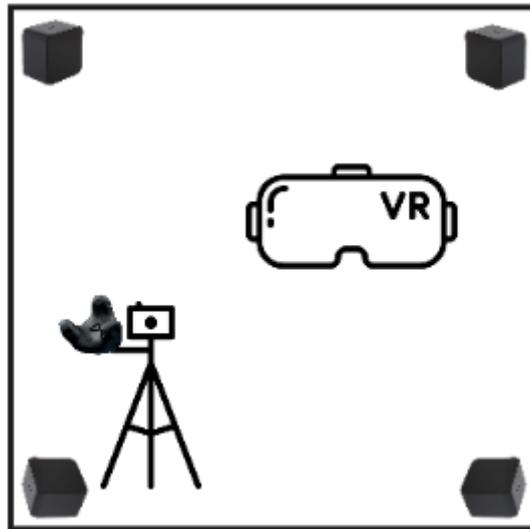
Man kann mithilfe der Software LIV.tv und einem Vive Tracker eine bewegliche Kamera einrichten. Diese Konfiguration funktioniert sowohl mit einer professionellen DSLR als auch mit einem mobilen Gerät wie einem Smartphone oder Tablet. Der Tracker wird an das Gerät angebracht, um ähnlich wie bei einer VR-Brille die Position zu erfassen. Es entsteht der VR-Watchman und so kann der Betrachter das Gerät um den Benutzer herum bewegen und in die virtuelle Realität eintauchen, um die VR-Umgebung zu erkunden.



11 VR-Watchman bestehend aus einem iPad im Rig mit Haltegriffen und Vive Tracker

4.1.3 Fixed Third Person View (statische Kamera)

Die Konfiguration der Zuschauerperspektive ähnelt der des VR-Watchman, wobei der wesentliche Unterschied darin besteht, dass die Kamera nicht bewegt wird. Stattdessen wird sie mit dem angebrachten Tracker an einer beliebigen Position in der VR-Umgebung fest zum Beispiel auf einem Stativ platziert.



12 Visualisierung Fixed Third Person View

4.1.4 Mixed Reality-View

Die Mixed-Reality-Zuschauerperspektive nutzt das Mixed-Reality-Capture, um die Umgebung der VR-Anwendung mit der realen Person zu verschmelzen. Dadurch entsteht für den Zuschauer ein Bild, in dem eine reale Person in der virtuellen Realität interagiert. Dies geschieht mithilfe eines Greenscreens und einer Kamera, die auf das Grün des Hintergrunds abgestimmt ist. Zukünftig wird eine vereinfachte Methode namens Segmentive Keying entwickelt. Diese Methode entfernt den Hintergrund, ohne dass ein Greenscreen erforderlich ist. Durch maschinelles Lernen erkennt das Segmentive Keying Menschen und bewahrt ihre Präsenz im Bild, während alles Umgebende entfernt wird, um Raum für die Virtual Reality zu schaffen. Sowohl bei der Fixed Camera Zuschauerperspektive als auch bei dem VR-Watchman kann diese Methode angewendet werden. Die LIV.tv App für Mobilgeräte, die diese Funktion bietet, befindet sich derzeit noch in der Entwicklung.



13 Beispiel für Verschmelzung realer und virtueller Welt

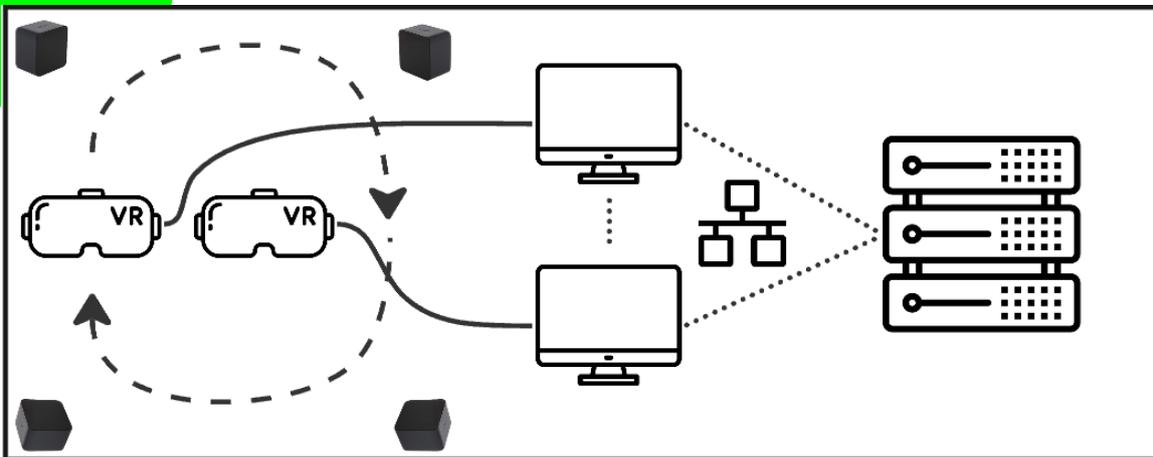


14 XR mit Greenscreen und Ergebnis in virtueller Welt in VR-Applikation Kayak-VR:Mirage

4.1.5 Multiplayer-View

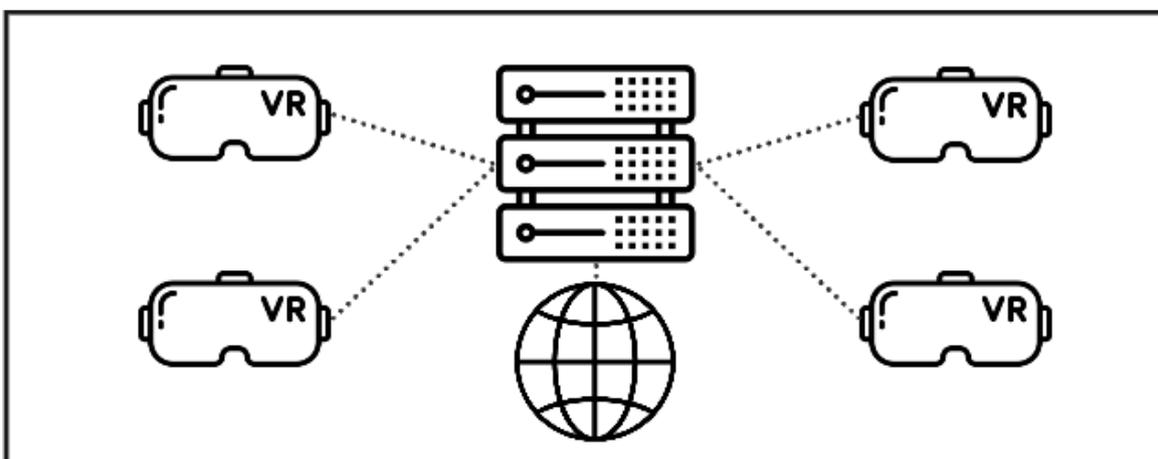
Der Multiplayer View ermöglicht es mehreren Personen, gleichzeitig eine VR-Anwendung oder -Erfahrung zu erleben. Dabei können Zuschauer entweder über separate VR-Headsets zuschauen oder über eine gemeinsame Anzeige auf einem Bildschirm oder einer anderen Oberfläche teilnehmen. Die Umsetzung des Multiplayer Views variiert je nach Art der Verbindung, ob lokal oder über das Internet. Sie ist eine Third-Person View, die mit VR-Headsets statt einem Mobilgerät oder einer Kamera funktioniert.

Bei einer lokalen Implementierung geschieht dies häufig über mehrere PCs, beispielsweise bei kabelgebundenen VR-Brillen, oder es werden mehrere eigenständige Brillen verwendet. Diese kommunizieren über dasselbe Netzwerk und treten einem Raum in der VR-Anwendung bei, der entweder auf einem der Geräte oder auf einem lokalen Server gehostet wird.



15 Visualisierung Lokaler Multiplayer-View

Für internetbasierte Implementierungen können Nutzer aus aller Welt mit ihren VR-Brillen einer VR-Anwendung beitreten. Diese Anwendung kann entweder auf einem der teilnehmenden Geräte oder auf einem Server gehostet werden, wodurch die Teilnehmer über das Internet miteinander verbunden sind.



16 Visualisierung Internetbasierte Multiplayer-View

Die Implementierung von Zuschauerperspektiven in VR-Anwendungen mit Multiplayer-Views stellt eine der anspruchsvollsten Herausforderungen dar, die sowohl umfangreiche Software- als auch Hardwareanforderungen mit sich bringt. Bei VR-Anwendungen, die mehr als zwei Teilnehmer, sei es als Zuschauer oder Spieler, involvieren, sind leistungsstarke Server unerlässlich, um eine nahtlose und immersivere Erfahrung zu gewährleisten.

4.1.6 Zuschauerperspektive auf Streaming Plattformen

Die Zuschauerperspektive auf Streaming-Plattformen für VR-Anwendungen stellt eine faszinierende Entwicklung dar, die die Interaktion von Zuschauern mit virtuellen Umgebungen ermöglicht. Plattformen wie Twitch und YouTube bieten die Möglichkeit, entweder live gestreamte oder aufgezeichnete VR-Inhalte zu erleben, darunter 360-Grad-Videos, virtuelle Events und interaktive Spiele.

Ein herausragendes Merkmal ist die immersive Erfahrung, bei der Zuschauer die virtuelle Umgebung aus der Perspektive des Streamers betrachten können. Diese Plattformen setzen häufig die Cloned First-Person View und die Mixed Reality View als Standard-Zuschauerperspektiven ein, die gestreamt werden. Zuschauer können somit in Echtzeit die Sicht des Streamers verfolgen, während dieser in der virtuellen Welt interagiert, Spiele spielt oder sich innerhalb der Umgebung bewegt.

Durch die Nutzung spezialisierter Streaming-Technologien haben Zuschauer oft die Möglichkeit, zwischen verschiedenen Kameraperspektiven zu wählen. Diese können entweder von der Kameraführung des Streamers oder von vordefinierten Blickwinkeln wie die Fixed Camera Perspektive stammen. Diese Auswahlmöglichkeiten tragen dazu bei, eine immersivere Erfahrung zu schaffen, die den Zuschauern das Gefühl vermittelt, tatsächlich in der VR-Welt präsent zu sein, obwohl sie diese nur über ihren Bildschirm betrachten.

Die Interaktion wird ebenfalls unterstützt, da Plattformen oft Chat-Funktionen bereitstellen, die es Zuschauern ermöglichen, Fragen zu stellen, Feedback zu geben oder einfach zu kommunizieren, während sie die VR-Erfahrung gemeinsam erleben.

Diese Technologie unterstreicht die zunehmende Verschmelzung der Grenzen zwischen Zuschauern und Teilnehmern in der virtuellen Realität. Ihre kontinuierliche Weiterentwicklung verspricht eine erweiterte Integration von Zuschauern in virtuelle Welten und eröffnet neue Möglichkeiten für interaktive Erlebnisse in der virtuellen Realität.

4.2 Die Rolle des Zuschauers in VR-Applikationen

Die Rolle des Zuschauers in VR-Applikationen hängt hauptsächlich von der Art der Anwendung ab. Der Zuschauer nimmt dabei verschiedene Rollen ein, die ich in diesem Kapitel beschreiben werde.

4.2.1 Aktiver Teilnehmer

Der Zuschauer kann aktiv mit der VR-Umgebung interagieren, Entscheidungen treffen und das Geschehen beeinflussen, insbesondere in interaktiven Spielen und Simulationen.

4.2.2 Passiver Beobachter

Der Passive Beobachter hat keinen direkten Einfluss auf das Geschehen, ähnlich wie in einem Film oder einer Theateraufführung.

4.2.3 Publikum und soziale Interaktion

In VR-Umgebungen, die soziale Interaktion ermöglichen, kann der Zuschauer die Rolle eines Publikumsmitglieds einnehmen. Dies bedeutet, dass er mit anderen VR-Nutzern kommuniziert, gemeinsam Aktivitäten durchführt oder Veranstaltungen beobachtet, ähnlich wie in der realen Welt.

4.2.4 Lernender und Schulungsteilnehmer

In Bildungs- und Schulungsumgebungen kann der Zuschauer die Rolle eines Lernenden oder Schulungsteilnehmers einnehmen. Hier kann er neue Fähigkeiten erlernen, komplexe Konzepte verstehen und praktische Erfahrungen in einer sicheren virtuellen Umgebung sammeln.

4.2.5 Forschung und Analyse

In wissenschaftlichen und analytischen VR-Anwendungen kann der Zuschauer die Rolle eines Forschers oder Analysten übernehmen. Er kann Daten sammeln, Experimente durchführen oder komplexe Modelle untersuchen.

4.3 Herausforderungen bei der Gestaltung von Zuschauerperspektiven

Die Herausforderungen für Zuschauer mit VR-Brille in der Zuschauerperspektive ähneln denen des aktiven VR-Anwenders. Dennoch erfordern VR-Zuschauerperspektiven zusätzliche Beachtung von diversen Faktoren, die zu berücksichtigen sind.

4.3.1 Nutzerkomfort und Gesundheit

4.3.1.1 Übelkeit und Motion Sickness

Die Vermeidung von Bewegungsunschärfe ist entscheidend, um Übelkeit bei VR-Nutzern zu minimieren. Flüssige Bewegungen und stabile Bildraten sind erforderlich, um ein angenehmes Erlebnis zu gewährleisten. Implementierung von Bewegungsmethoden wie Teleportation oder sanfte Überblendungen zwischen Szenen kann dazu beitragen, die Übelkeit zu reduzieren. Die Implementierung intuitiver Bewegungsmethoden, die natürlicher sind, ist ebenfalls wichtig, um eine geringere Belastung für den Nutzer zu gewährleisten.

4.3.1.2 Orientierungsprobleme

Die Bereitstellung von visuellen oder haptischen Hinweisen ist wichtig, um dem Nutzer Orientierungspunkte zu geben. Diese können in Form von Leitlinien, Markierungen oder sogar virtuellen Karten erfolgen. Verbesserungen in der Raumwahrnehmung, wie die Hervorhebung wichtiger Elemente oder die Gestaltung klarer Grenzen in der virtuellen Umgebung, helfen dabei, Orientierungsprobleme zu mindern.

4.3.2 Visuelle Gestaltung

4.3.2.1 Sichtbarkeit und Detailgrad

Die Optimierung der Grafik ist entscheidend, um die visuelle Qualität beizubehalten und gleichzeitig die Leistung zu maximieren. Durch Anpassung des Detailgrads je nach Nähe des Betrachters kann die Immersion verstärkt und die Ressourcennutzung optimiert werden. Techniken wie Level of Detail ermöglichen es, entfernte Objekte weniger detailliert darzustellen und Ressourcen zu schonen.

4.3.2.2 Kollisionsvermeidung

Die Implementierung von Kollisions-Erkennungs-Systemen ist wichtig, um Kollisionen mit virtuellen Objekten zu erkennen und den Nutzer entsprechend zu warnen oder Interaktionen anzupassen. Durch visuelle Hinweise oder haptisches Feedback kann der Nutzer auf potenzielle Kollisionen aufmerksam gemacht werden, um Unannehmlichkeiten oder Unterbrechungen zu vermeiden.

4.3.3 Benutzer-Interaktion und Steuerung

4.3.3.1 Benutzerfreundlichkeit und Steuerung

Die Entwicklung von intuitiven Steuerungssystemen ist entscheidend für die Benutzerakzeptanz. Diese sollten einfach zu erlernen und anzuwenden sein. Anpassbare Einstellungen, die es den Nutzern ermöglichen, die Steuerung an ihre persönlichen Vorlieben anzupassen, tragen ebenfalls zur verbesserten Benutzerfreundlichkeit bei.

4.3.3.2 Dynamische Szenarien

Die Schaffung von dynamischen Szenarien, die auf Benutzerinteraktionen reagieren, ist für ein immersives Erlebnis unerlässlich. Die Möglichkeit, Elemente in Echtzeit zu verändern oder verschiedene Pfade und Optionen basierend auf Benutzerentscheidungen anzubieten, erhöht die Engagement-Möglichkeiten und die Vielfalt der Erfahrungen.

4.3.3.3 Interaktion mit VR-Nutzern

Die Integration von Social VR-Aspekten ermöglicht es VR-Nutzern und Zuschauern, miteinander zu interagieren und zu kommunizieren. Dies erfordert Funktionen, die eine nahtlose Kommunikation und Zusammenarbeit in der virtuellen Umgebung ermöglichen.

4.3.4 Technische Aspekte

Die technischen Aspekte sind je nach Anwendungsfall unterschiedlich.

Bei einfachen Zuschauerperspektiven wie der Cloned First-Person View ist nur eine zusätzliche Bildquelle erforderlich, während für andere Arten von Zuschauerperspektiven zusätzliche Hardware und mehr Rechenleistung notwendig sind. Zudem variieren die Anwendungsfelder und technischen Anforderungen zwischen Standalone-Brillen und kabelgebundenen Brillen.

4.3.4.1 Technische Herausforderungen

Bei einer lokalen Zuschauerperspektive muss die VR-Brille, unabhängig davon, ob es sich um eine eigenständige oder kabelgebundene Brille handelt, mit einem PC verbunden werden.

Bei eigenständigen Brillen besteht die Option, eine Verbindung per Kabel zum PC herzustellen, was die Brille technisch betrachtet zu einer kabelgebundenen Variante macht. Alternativ können die Informationen drahtlos an den PC gestreamt werden.

Um eine flüssige Verbindung und bessere Leistung zu gewährleisten, verwendet man dabei ein USB 3.2 Gen 2 oder Type-C auf Type-C Kabel, da es schnelle Übertragungsgeschwindigkeiten unterstützt. Bei drahtlosen Verbindungen wird ein 5 GHz fähiger Router mit neusten Wi-Fi Standards wie Wi-Fi 802.11ac, Wi-Fi 802.11ax oder Wi-Fi 6E benötigt.

Für die gewünschte Zuschauerperspektive muss der PC ausreichend Leistung bereitstellen. Jede zusätzliche Perspektive bedeutet eine zusätzliche Rechenlast für den PC, da er die Anwendung zusätzlich rendern muss. Die Auflösung und Bildrate der Brille des Benutzers sowie die Auflösung jeder

weiteren Bildquelle für die Zuschauerperspektive, wie eine weitere VR-Brille oder ein VR-Watchman, stellen höhere Anforderungen an die Rechenleistung. Es ist besonders wichtig, darauf zu achten, dass die Bildrate des Benutzers nicht stark beeinträchtigt wird. Wenn dies geschieht, können Bildstottern und Bildflackern auftreten, was die Immersion stört und möglicherweise Übelkeit sowie Bewegungskrankheit verursacht. Eine Bildrate von 60 FPS stellt eine sehr gute Basis für ein flüssiges Bild dar, wobei 30 FPS als das Minimum betrachtet werden sollten, um eine akzeptable visuelle Erfahrung sicherzustellen.

Um dies zu erreichen, bedarf es der folgenden PC-Komponenten:

Die zentrale Komponente ist die Grafikkarte, die über ausreichend Videospeicher und einen leistungsstarken Grafikprozessor verfügen muss, um den zuvor genannten technischen Anforderungen gerecht zu werden. Eine Nvidia-Grafikkarte wird empfohlen, da sie von allen VR-Brillen unterstützt wird. Die Grafikkarte sollte mindestens 12 GB Videospeicher aufweisen, um ausreichend Platz für die VR-Anwendung und die VR-Zuschauerperspektive zu bieten. Für alle herkömmlichen Brillen wird mindestens eine RTX 3080 mit 12 GB benötigt. Für sehr hochauflösende Brillen wie die Varjo XR-3 ist eine Highend-Grafikkarte wie die RTX 4090 mit 24 GB erforderlich, um die Anforderungen zu erfüllen. Es ist entscheidend zu beachten, dass jede Grafikkarte eine bestimmte Auflösungsgrenze hat. Das bedeutet, dass alle Bildquellen und VR-Brillen, die an die Grafikkarte angeschlossen sind, diese Grenze in Summe nicht überschreiten dürfen. Wenn das Limit überschritten wird, kann eine der Quellen möglicherweise nicht korrekt funktionieren. Beispielsweise liegt bei einer RTX 4090 diese Grenze bei 8K mit 60 Hz. Sollte trotzdem eine zusätzliche Bildquelle benötigt werden und das Limit bereits erreicht sein, besteht die Möglichkeit, die integrierte GPU in der CPU zu nutzen, deren Ausgang am Mainboard zu finden ist. Dies ermöglicht weitere Anschlüsse, ohne die Grenze der Hauptgrafikkarte zu überschreiten.

Die zweitwichtigste Komponente ist der Prozessor. Ein Prozessor mit mindestens 8 Kernen von Intel oder AMD wird empfohlen, um ausreichend Leistung für die Grafikkarte bereitzustellen und einen Flaschenhals zu vermeiden. Das bedeutet, dass die GPU schneller arbeitet als die CPU und dadurch von der CPU gebremst wird. Optimal wären ein AMD Ryzen 7800X(3D) oder ein vergleichbarer Prozessor oder ein Intel i7 13700k oder besser.

Die letzte wichtige Komponente ist der Arbeitsspeicher, der idealerweise Taktraten und Timings haben sollte, die die gewählte CPU gut unterstützen. Optimal wären Taktraten von 6000 MHz und niedrige Latenzen. Zusätzlich sollte die Speichergröße mindestens 32 GB betragen, jedoch wird eine Empfehlung von 64 GB gegeben, um ausreichend Kapazität für zukünftige Anwendungen und andere Aufgaben zu gewährleisten.

Bei einer Zuschauerperspektive, die mehrere aktive Anwender und Zuschauer involviert, sind mindestens zwei leistungsstarke PCs erforderlich, und bei einer höheren Anzahl an Benutzern wird auch ein dedizierter Server benötigt.

Diese Konfiguration wird genutzt, um die Multiplayer-View als Zuschauerperspektive umzusetzen. Wie bereits beschrieben, muss die VR-Umgebung entweder auf einem der beiden PCs oder auf einem Server gehostet werden. Abhängig von den Anforderungen können weitere Anwender oder Zuschauer je nach Anwendungsfall in diesen virtuellen Raum eintreten.

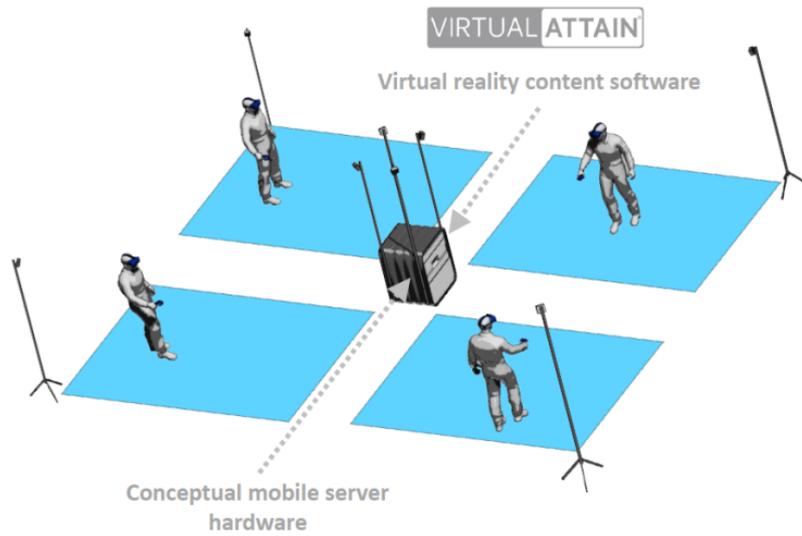
Die Anforderungen für einen VR-Server sind dabei sehr groß. 2017 hat Nvidia ein Slide über Multi-User-VR-Lösungen für den Einsatz in Unternehmen veröffentlicht, die folgende funktionierende Systemkonfiguration aufzeigt:

Item	QTY	Manufacturer	Mfg Part Number	Description
System	1	SuperMicro	4028GR-TR or 4028GR-TRT	SuperMicro SuperServer Barebones X10DRG-O+-CPU Motherboard, X9DRG-O-PCIE Daughter Board in CSE-418GTS-R3200B Chassis with redundant 1600W power supplies
CPU	2	Intel	BX80660E52640V4	Xeon E5-2640 2.4 GHz v4 10-core LGA 2011 Processor
Memory 128GB total	2	Kingston	KVR21R15D4K4/64	Kingston 64GB RAM Kit (4x16GB) 2133MHz DDR4 ECC Reg CL15 DIMM DR x 4 with TS Server Memory
SSD Drives	4	Samsung	MZ-7KE1T0BW	Samsung 850 PRO - 1TB - 2.5-Inch SATA III Internal SSD, usable with Linux.
GPU	4	NVIDIA		Quadro M6000, P4000, P5000, or P6000
USB Cards	4	Inateck	KTU3FR-502U	7-port USB 3.0 controller (2 ports are internal facing)

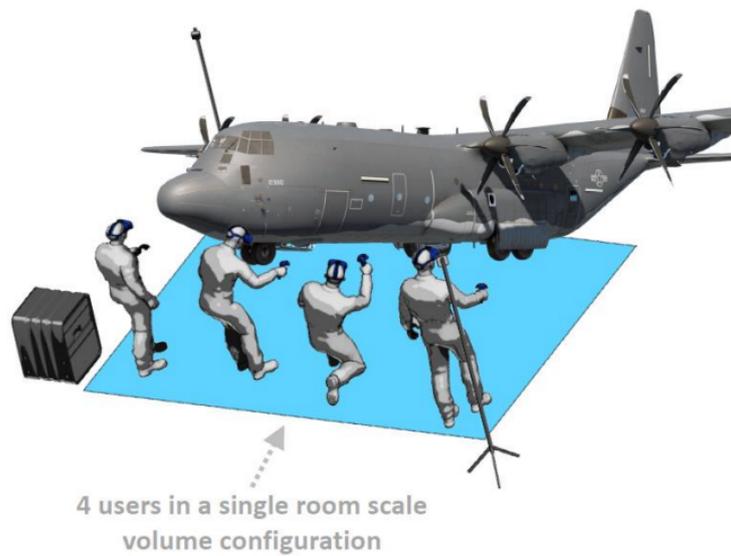
17 Nvidia Systemkonfiguration für Multi-User VR System

Die Systemkonfiguration besteht aus Komponenten aus dem Jahr 2017, wobei Nvidia angibt, dass pro Nutzer eine Enterprise-Grafikkarte erforderlich ist (nVidia, 2017). Es stellt sich die Frage, ob die Leistung dieses Systems durch aktuellere Komponenten verbessert werden kann und ob heutige Enterprise-Grafikkarten ausreichen, um mehrere Nutzer pro Grafikkarte zu unterstützen. Wenn man die in Nvidias Konfiguration verwendete Quadro M6000 mit einer aktuellen RTX 6000 in ihrer Rechenleistung in TFLOPS vergleicht, erreicht die M6000 6.844 TFLOPS, während die RTX 6000 91.06 TFLOPS erreicht. TFLOPS steht für 'Teraflops' und ist eine Maßeinheit für die Rechenleistung von Grafikprozessoren. Es misst die Anzahl der Billionen Gleitkommaoperationen pro Sekunde, die eine Grafikkarte ausführen kann. Je höher die TFLOPS-Zahl ist, desto leistungsfähiger ist die Grafikkarte in der Durchführung von rechenintensiven Aufgaben. Die RTX 6000 ist also über 13-mal schneller in ihrer groben Rechenleistung im Vergleich zur Quadro M6000. Es ist trotzdem wichtig zu erwähnen das eine Quadro M6000 Grafikkarte circa 2500 Euro kostet und eine RTX 6000 bei circa 9500 Euro liegt.

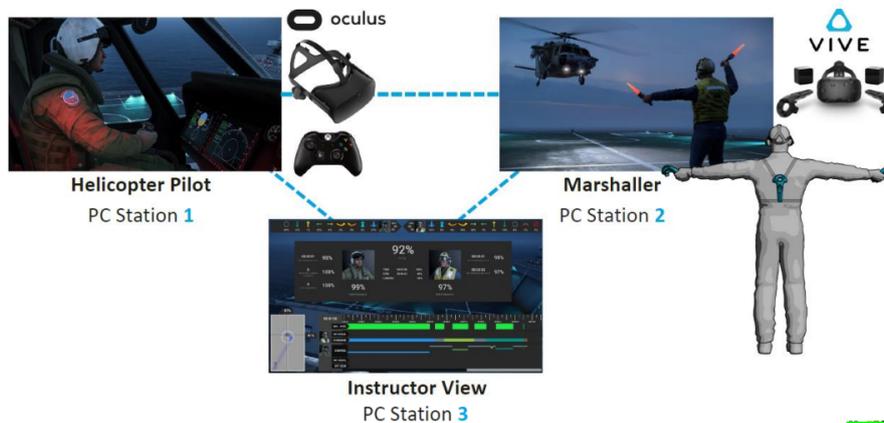
Neben der System Konfiguration hat Nvidia interessante Anwendungs-Konzepte für einen mobilen VR-Server visualisiert:



18 Nvidia Konzept: Multi-User VR mit eigenem Raum pro User



19 Nvidia Konzept: Multi-User VR in einem Raum für Fluggerätmechaniker



20 Nvidia Konzept: Zwei verschiedene aktive VR-Systeme + Eine Zuschauerperspektive als Guide

4.4 Bestehende Methoden, Werkzeuge und Tools zur Generierung einer Zuschauerperspektive

Zu den technischen Herausforderungen für die Generierung einer VR-Zuschauerperspektive zählt nicht allein passende Hardware, sondern auch Software, welche die Implementierung aktiver Zuschauerperspektiven ermöglicht.

4.4.1 LIV.tv

Im Rahmen der verschiedenen Typen von Zuschauerperspektiven wurde bereits ein Teil der Funktionalität von LIV.tv vorgestellt. LIV.tv ist ein VR-Toolkit, das Mixed Reality Capture ermöglicht. Mithilfe dieses Tools können zahlreiche zuvor beschriebene Zuschauerperspektiven zum Beispiel mit einem VR-Watchman oder einer DSLR-Kamera umgesetzt werden. Die Software unterstützt über 800 bereits veröffentlichte VR-Anwendungen und kann als Teil des kostenlos bereitgestellten Software Development Kits während der Entwicklung eigener VR-Anwendungen implementiert werden. Das SDK gibt es für die Unreal Engine und für Unity und bietet für beide Engines eine detaillierte Dokumentation, die bei der Entwicklung hilfreich ist (*LIV Mixed Reality Capture, Simplified*, o. D.).

4.4.2 VR Spectator in Unreal

Die Game Engine Unreal hat sich als eine führende Plattform in der Gestaltung von Virtual-Reality-Anwendungen etabliert. Durch die Bereitstellung einer umfassenden und robusten Entwicklungsplattform ermöglicht sie Entwicklern die Schaffung von immersiven und fesselnden VR-Erlebnissen. Ihr Toolset, das durch Leistungsstärke und Vielseitigkeit gekennzeichnet ist, hat entscheidend dazu beigetragen, die Grenzen der realen und virtuellen Realität zu verwischen. Dies ermöglicht Entwicklern die Erstellung virtueller Umgebungen von bemerkenswerter Detailgenauigkeit und Interaktivität.

Für eine Zuschauerperspektive in VR bietet die Engine bereits ein eigenes Mixed Reality Capture Framework. Die Implementierung dieses Frameworks wird in der Engine-Dokumentation ausführlich und zugleich verständlich erläutert. Hierdurch lässt sich ein Grundgerüstprojekt erstellen, das als Ausgangspunkt für sämtliche VR-Anwendungen mit einer integrierten Zuschauerperspektive dienen kann (Unreal Engine, o. D.).

4.4.3 VR Spectator in Unity

Unity ist eine äußerst leistungsfähige Game Engine, die in der Welt der Virtual Reality eine herausragende Rolle spielt. Als Entwicklungsplattform ermöglicht Unity die Erstellung beeindruckender VR-Erlebnisse, indem sie eine Vielzahl von Werkzeugen, Ressourcen und Funktionen bereitstellt. Die Engine unterstützt sowohl erfahrene Entwickler als auch Neueinsteiger im VR-Bereich, indem sie eine benutzerfreundliche Umgebung bietet. Unity bietet zudem eine breite Palette von VR-Plattformen. Diese Flexibilität und Vielseitigkeit haben Unity zu einer beliebten Wahl für die Entwicklung von Virtual-Reality-Anwendungen gemacht, und sie bleibt ein wichtiger Treiber für Innovationen in diesem aufregenden Bereich.

Anders als die Unreal Engine bietet Unity keine spezifische Dokumentation zur direkten Umsetzung einer Zuschauerperspektive, beispielsweise mittels Mixed Reality Capture. Stattdessen konzentriert sich die Unity-Dokumentation auf die Einrichtung grundlegender VR/AR- oder XR-Projekte.

Jedoch veröffentlichte Baird im Jahr 2017 einen Beitrag im offiziellen Unity-Blog über das Spectating in VR. In diesem beschreibt er ausführlich, wie er eine Zuschauerperspektive in Unity implementierte. Sein Projekt beinhaltet eine VR-Kamera, eine Zuschauer-Kamera und ein Zuschauer-Display, mit denen Interaktion möglich ist. Der Beitrag enthält Links zum Projekt und dem Quellcode, die kostenlos verfügbar sind.

Die Dokumentation von Meta enthält Anleitungen zur Implementierung von Mixed Reality Capture in Unity, speziell für ihre VR-Brillen, die hauptsächlich mit Unity-Anwendungen arbeiten. Diese Ressourcen bieten detaillierte Schritte und Hilfestellungen für Entwickler, um Mixed Reality Capture in ihre Unity-Projekte für Meta-Brillen zu integrieren (Meta, o. D.-c).

4.5 Auswirkungen der Zuschauerperspektive auf das VR-Erlebnis

Die Vor- und Nachteile sowie Störfaktoren der Zuschauerperspektive beeinflussen das VR-Erlebnis und können je nach Anwendungsfall variieren. Diese Faktoren werden im Folgenden näher beschrieben.

4.5.1 Vorteile der Zuschauerperspektive

Die Integration einer Zuschauerperspektive weist vielfältige Vorteile auf. Ein wesentlicher Vorteil liegt darin, dass Zuschauer die Immersion des Nutzers erleben können. Insbesondere bei größeren Veranstaltungen kann dies das Engagement des Publikums steigern, da sie aktiv teilnehmen, anstatt passiv zuzuhören. Dies kann zudem die Kommunikation und Zusammenarbeit zwischen den Teilnehmern verbessern. Die Zuschauerperspektive erlaubt es

dem Betrachter, aufgrund des frei wählbaren Blickwinkels Details in der virtuellen Welt genauer zu betrachten.

Schulungs- und Ausbildungs- Szenarien in VR mit Zuschauerperspektive sind ressourcenschonend, da Verbrauchsmaterialien, die in der realen Welt zum Üben benötigt werden, in der virtuellen Welt unbegrenzt verfügbar sind. Darüber hinaus ermöglicht es die virtuelle Umgebung, mit gefährlichen Werkzeugen und in gefährlichen Situationen zu üben, ohne Verletzungsgefahr ausgesetzt zu sein.

Eine Lehrkraft oder ein Übungsleiter kann als VR-Zuschauer präziser die Handlungen und Vorgänge der Teilnehmer oder Schüler betrachten und unterstützen, indem sie diese aus deren Blickwinkel heraus beobachten können.

Dies ermöglicht eine gezielte Anleitung und Unterstützung, die auf den individuellen Perspektiven und Bedürfnissen der Lernenden basiert.

4.5.2 Nachteile und Störfaktoren der Zuschauerperspektive

Die Implementierung weist neben einigen Vorteilen aber auch Nachteile auf, wobei bestimmte Störfaktoren berücksichtigt werden müssen. Der Hauptnachteil liegt darin, dass das Immersionserlebnis für VR-Zuschauer eingeschränkter ist, da sie eine eher passive Rolle im Vergleich zu aktiven Benutzern einnehmen. Abhängig von der Art der Implementierung für den VR-Zuschauer könnten möglicherweise nicht alle Details wahrgenommen werden oder es fehlen Informationen, die man bei aktiver Beteiligung an der VR-Erfahrung erhalten würde. Dies kann zu einem begrenzten Verständnis des Geschehens führen. Besonders bei VR-Anwendungen mit Storytelling oder überraschenden Momenten wie beispielsweise Spielen können für den VR-Zuschauer Handlungsverläufe vorweggenommen werden, was dazu führen kann, dass die Erfahrung für sie weniger immersiv wirkt, wenn sie später selbst als aktiver Benutzer in die VR-Welt eintauchen.

Der physische Aufbau der VR-Zuschauerperspektive ist von großer Bedeutung und kann potenzielle Störungen hervorrufen. Sowohl für VR-Anwender als auch für Zuschauer kann ein Verheddern der Kabel bei einer verkabelten Einrichtung die Immersion unterbrechen. Daher sind spezifische Richtlinien und Regelungen erforderlich, um dies für die Teilnehmer zu vermeiden. Es ist wichtig, dass der VR-Zuschauer keinen physischen Kontakt mit dem VR-Anwender hat.

4.6 Beispiele für VR-Zuschauerperspektiven in der Unterhaltungsbranche und Berufsfeldern

4.6.1 Live-Veranstaltungen und Konzerte

VR-Konzerte: AmazeVR

AmazeVR ist eine Plattform, die VR-Konzerte anbietet und dabei eine besondere VIP-Erfahrung vermittelt. Das Unternehmen strebt die Vision an, dass es möglich sein soll, seinen Lieblingskünstler aus der ersten Reihe zu sehen, unabhängig vom aktuellen Aufenthaltsort und zu einem erschwinglichen Preis. Einige Konzerte sind sogar kostenlos zugänglich. Diese Erfahrung wird durch aufwendig erstellte 180-360° Videos in Kombination mit virtuellen Welten, die in der Unreal Engine erstellt wurden, realisiert. Die Anwendung ist sowohl für die Meta Quest als auch für Steam VR verfügbar (*AmazeVR / About, o. D.*).

VR-Sportübertragungen: NextVR

NextVR war ein führendes Unternehmen in der Produktion und Bereitstellung immersiver Virtual-Reality Inhalte. Spezialisiert auf Live-Events wie Sportübertragungen setzte NextVR VR-Technologie ein, um den Nutzern das Gefühl zu vermitteln, live an diesen Ereignissen teilzunehmen, als wären sie physisch vor Ort. Ihre Inhalte ermöglichten es den Zuschauern, in immersive und interaktive Erlebnisse einzutauchen, die durch hochwertige 180-360°-Videos und virtuelle Umgebungen in der Unreal Engine geschaffen wurden. Für die NBA platzierte das Unternehmen 360-Grad-Kameras an strategischen Punkten wie den Körben und Seitenlinien, was den Zuschauern das immersive Erlebnis vermittelte, sich direkt am Spielgeschehen zu befinden (Carp, 2018).



21 NextVR NBA Übertragung

Im Jahr 2020 wurde NextVR von Apple übernommen. Seit dieser Übernahme fanden keine Übertragungen mehr statt. Die Technologie und das Fachwissen von NextVR könnten jedoch möglicherweise in Apples VR-Brille, die sich in Entwicklung befindet, integriert worden sein (Bastian, 2021)

4.7 VR in Berufsfeldern

4.7.1.1 VR in der Bildung und Industrie

VR-Technologie wird zunehmend in Bildung und Lehre eingesetzt, um immersive Lernumgebungen zu schaffen. Ein Beispiel dafür ist die Technische Universität München, die Virtual Reality in verschiedenen Studienprogrammen nutzt.

Die TUM hat beispielsweise ein Projekt namens 'Viscopic' ins Leben gerufen, das Virtual Reality in der Ausbildung von Ingenieuren und Architekten einsetzt. Diese Technologie ermöglicht es den Studierenden, komplexe technische Konzepte zu visualisieren und interaktiv zu erleben. Sie können virtuelle Prototypen entwerfen, Simulationen durchführen und Konstruktionsprozesse in einer immersiven Umgebung erkunden. Diese Anwendung von VR unterstützt das Verständnis komplexer Strukturen und fördert kreatives Denken und Problemlösungsfähigkeiten.

Viscopic ist mittlerweile Teil des Unternehmens TeamViewer und entwickelt AR-Anwendungen, die Fachkräfte in der Industrie bei ihren täglichen Aufgaben unterstützen und ausbilden. Diese Anwendungen werden von namhaften Industriekunden wie Audi, Siemens Energy und der Deutschen Bahn genutzt (TeamViewer, 2022).



22 Anwendungsbeispiel von Viscopic

4.7.1.2 VR im chirurgischen Training

Das Unternehmen Brainlab hat eine Mixed Reality Brille und Plattform für die Medizin entwickelt. Diese Brille bietet Chirurgen und medizinischem Personal die Möglichkeit, medizinische Bilder, 3D-Modelle und andere relevante Informationen während oder vor einen Eingriff direkt vor ihren Augen einzublenden (Mixed Reality Viewer - Brainlab, 2023). Mit der XR-Brille können Ärzte beispielsweise präzise anatomische Darstellungen von Patienten einsehen, bevor sie einen Eingriff durchführen. Dies verbessert die Genauigkeit und Sicherheit während des gesamten Behandlungsprozesses. Die Technologie kann auch für Ausbildungszwecke genutzt werden, indem sie Studenten und angehenden Chirurgen detaillierte Einblicke in komplexe anatomische Strukturen bietet (Roth, o. D.).



23 Anwendungsbeispiel der XR-Brille von Brainlab

5 Konzept: VR-Zuschauerperspektive am Beispiel des
KreativInstituts Ostwestfalen-Lippe

VR-ZUSCHAUER PERSPEKTIVE

am Beispiel des KreativInstituts
Ostwestfalen-Lippe



5.1 Einführung in das Konzept

Der Forschungsbereich für digitale Medienproduktion am KreativInstitut Ostwestfalen-Lippe widmet sich intensiv der Erforschung von Virtual Reality und Augmented Reality. Im Zentrum stehen die Gestaltung immersiver, interaktiver virtueller Umgebungen und die nahtlose Integration digitaler und physischer Realitäten. Diese Forschung zielt darauf ab, neue Produktionsprozesse zu entwickeln, Visualisierungsmethoden zu verbessern und die Auswirkungen von VR und AR auf die Nutzer zu analysieren.

Ein spezieller Fokus liegt auf der Erreichung höchstmöglicher Immersion und der Frage, ob virtuelle Welten eine Form von beruflicher Erfahrung vermitteln können. Die Untersuchung konzentriert sich darauf, wie eine virtuelle Umgebung nicht nur visuell, sondern auch sensorisch wahrgenommen werden kann, um sämtliche Sinne einzubeziehen.

In diesem Konzept betrachte ich die VR-Zuschauerperspektive als einen Bestandteil der Forschung und entwerfe Szenarien, wie VR-Zuschauerperspektiven im KreativInstitut umgesetzt werden können.

5.2 Ziele und Zweck des Konzepts

Das KreativInstitut braucht die VR-Zuschauerperspektiven, um bei der Forschung von VR im Allgemeinen zu unterstützen. Die Integration der VR-Zuschauerperspektive in die Forschung über Virtual Reality und Immersion spielt eine entscheidende Rolle bei der Untersuchung der Nutzererfahrung und der Gestaltung immersiver Umgebungen. Diese Perspektive ermöglicht es, die Reaktionen, Interaktionen und das Verhalten von Betrachtern außerhalb der virtuellen Realität zu beobachten und zu analysieren, während andere aktiv in der VR-Umgebung agieren und andersherum.

Die Zuschauerperspektive eröffnet die Möglichkeit, eine breitere Palette von Informationen zu sammeln, indem sie Einblicke in die emotionale Resonanz, das Engagement und die Benutzerinteraktionen bietet, die zum Erreichen einer höheren Immersion beitragen können. Dieser Aspekt ermöglicht eine ganzheitlichere Betrachtung der Nutzererfahrung, indem er die Perspektiven sowohl der aktiven Teilnehmer als auch der passiven Betrachter berücksichtigt.

Darüber hinaus dient die Zuschauerperspektive als wertvolle Quelle für Feedback und Evaluierung. Die Beobachtungen und Rückmeldungen von Zuschauern ermöglichen es, Stärken und Schwächen der VR-Erfahrung zu identifizieren und bieten damit die Grundlage für mögliche Verbesserungen.

Die Einbindung der Zuschauerperspektive in die Forschung über VR und Immersion trägt auch zur Entwicklung neuer Techniken bei, um die Erfahrungen aus der virtuellen Welt verständlich und zugänglich für Betrachter außerhalb der VR-Umgebung zu machen. Durch die Exploration dieser Perspektive können

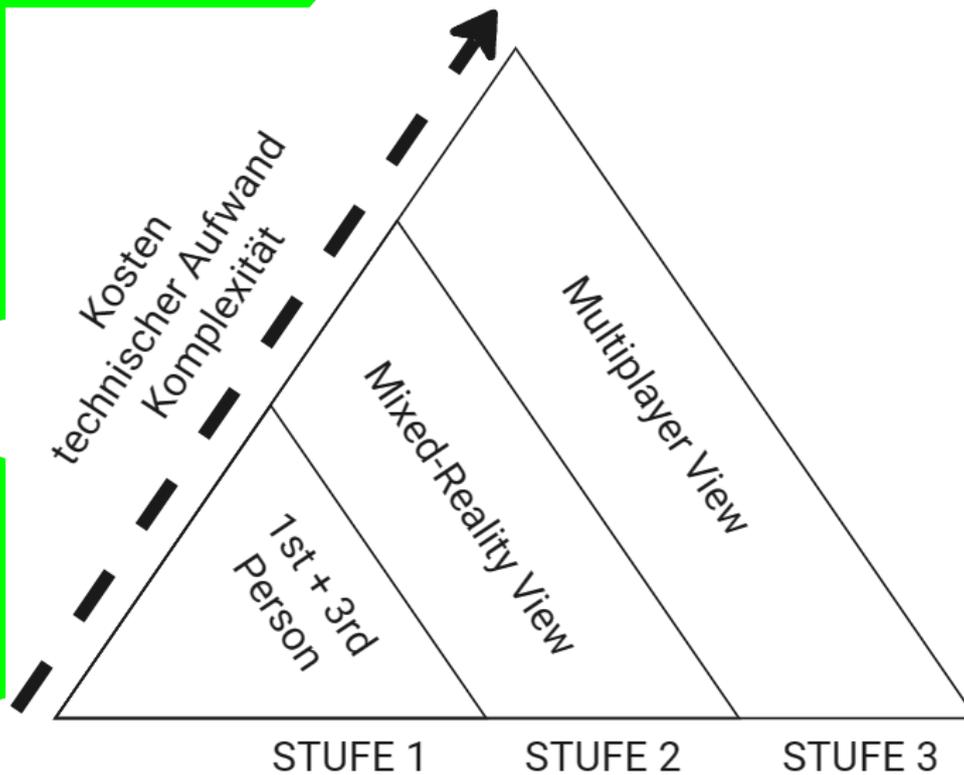
somit neue Wege gefunden werden, um die Erlebnisse und Informationen aus der VR-Welt auf anschauliche Weise zu vermitteln.

VR-Forschungsergebnisse und Projekte werden regelmäßig auf verschiedenen Veranstaltungen des KreativInstituts, sowohl in den eigenen Räumlichkeiten als auch extern, präsentiert. Die Integration der VR-Zuschauerperspektive in diese Präsentationen ermöglicht dem Publikum eine unmittelbare und intensive Erfahrung der vorgestellten Inhalte. Diese Perspektive erlaubt den Zuschauern, aktiv an den Forschungsergebnissen und Projekten teilzuhaben und in die virtuelle Umgebung einzutauchen, anstatt lediglich passiv zuzuhören oder zu beobachten. Während normalerweise nur eine Person aktiv in die virtuelle Umgebung eintaucht, erhalten Zuschauer die Möglichkeit, ebenfalls teilzunehmen.

5.2.1 Ressourcen und Anforderungen

Das KreativInstitut nutzt VR in drei spezifischen Szenarien, in denen die Integration einer VR-Zuschauerperspektive sinnvoll ist. Dies umfasst erstens die Forschungsaktivitäten im hauseigenen VR-Labor, zweitens die Durchführung von Präsentationen und Workshops innerhalb der Institutsräumlichkeiten sowie drittens die Außendarstellung des Instituts durch Präsentationen und Workshops an externen Veranstaltungsorten.

Die Einbindung der VR-Zuschauerperspektive in diese Szenarien wird in drei Stufen gegliedert, die jeweils die Umsetzbarkeit unterschiedlicher Zuschauerperspektiven im Hinblick auf Kosten, technischen Aufwand und Softwarekomplexität anzeigen. In Stufe 1, die die Cloned First Person View und Third-Person View umfasst, die sowohl mit als auch ohne Bewegung umsetzbar sind, ist die Umsetzung leicht und erfordert den geringsten technischen Aufwand. Diese Perspektiven sind einfach zu realisieren und erfordern keine selbst erstellten Frameworks. Stufe 2 beinhaltet die Mixed-Reality View, bei der die Einbeziehung eines Greenscreens für die Umsetzung benötigt wird. Diese Stufe stellt eine mittlere Umsetzbarkeit dar, mit durchschnittlichen Kosten, einem gewissen technischen Aufwand und einer höheren Komplexität im Vergleich zu Stufe 1. Es sind möglicherweise Anpassungen oder bereits vorhandene Frameworks erforderlich, jedoch nicht in dem Maße wie bei Stufe 3. Die Stufe 3 bezieht sich auf die Umsetzung einer Multiplayer View, die eine herausfordernde Realisierung mit sich bringt. Diese Perspektive ist anspruchsvoll umzusetzen, ist mit hohen Kosten verbunden, erfordert erheblichen technischen Aufwand und die Implementierung eigener Frameworks für eine gelungene Umsetzung.



24 Stufen der Umsetzbarkeit von VR-Zuschauerperspektive

5.2.2 Technische Anforderungen und Ressourcen

5.2.2.1 Hardware-Anforderungen

Das KreativInstitut verfügt über diverse Arten von VR-Brillen, sowohl Standalone als auch kabelgebunden. Das VR-Labor bietet Platz für bis zu vier gleichzeitigen VR-Nutzern mit einer Standalone VR-Brille oder zwei VR-Nutzern mit kabelgebundener VR-Brille. Geplant ist die Installation einer Traverse, die einen Greenscreen sowie Kabelführungen für kabelgebundene VR-Brillen und zusätzliche Peripheriegeräte wie VR-Laufbänder umfasst. Das Institut besitzt zudem eine Vielzahl von DSLR-Kameras und einen VR-Watchman, bestehend aus einem iPad und einem Vive Tracker. Für die Umsetzung der Mixed-Reality View wird die Plattform LIV.tv verwendet, was die problemlose Realisierung der Stufen 1 und 2 ermöglicht.

Jedoch für Stufe 3 bedarf es im KreativInstitut eines leistungsstarken Servers mit Grafikkarten, um Multiplayer-VR-Anwendungen und die Multiplayer-VR-Zuschauerperspektive umzusetzen.

5.2.2.2 Software-Entwicklung

LIV.tv ermöglicht die Umsetzung der Mixed-Reality View bei vielen unterstützten VR-Anwendungen mittels Mixed Reality Capture. Es ist jedoch zu beachten, dass nicht jede VR-Anwendung unterstützt wird, da nicht jede Engine Eingriffe durch LIV.tv zulässt, die für dieses Feature erforderlich sind. Die Nutzung von Mixed Reality Capture bei Anwendungen, die LIV.tv nicht unterstützen, erfordert eine nachträgliche Implementierung der Funktion durch die Entwickler der Anwendung. Dies kann nicht eigenständig durchgeführt werden.

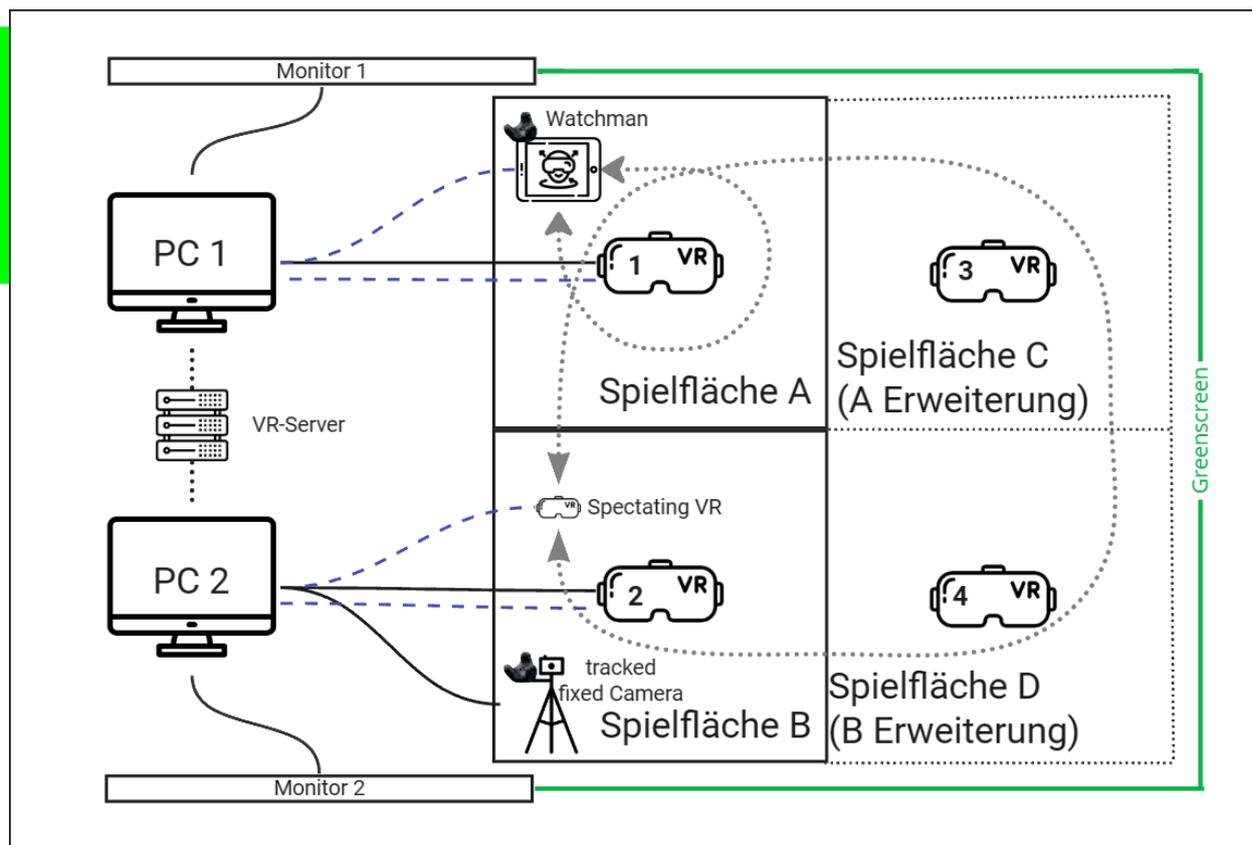
Für die hauseigenen VR-Anwendungen des KreativInstituts ist es daher notwendig, das SDK von LIV.tv zu implementieren, um das Mixed Reality Capture nutzen zu können. Alternativ bieten die Entwicklungsumgebungen Unreal Engine und Unity die Möglichkeit, Mixed Reality Capture ohne die Verwendung von LIV.tv zu integrieren.

Für die Realisierung der Multiplayer-View sind umfangreiche Netzwerkfähigkeiten erforderlich, insbesondere im Bereich des Netzwerkcodes, um die Softwarekommunikation zwischen mehreren VR-Anwendern und Zuschauern zu ermöglichen.

Die Entwicklung eines eigenen Frameworks oder SDKs, das ähnlich wie LIV.tv funktioniert, aber nicht nur Mixed-Reality-Capture, sondern auch sämtliche anderen verfügbaren VR-Zuschauerperspektiven ermöglicht, wäre ein bedeutender Schritt. Dieses Framework oder SDK würde die Integration und Nutzung aller VR-Zuschauerperspektiven in VR-fähigen Engines wie Unreal, Unity und anderen erheblich erleichtern.

5.2.3 Visuelle Darstellung des Konzepts Szenario 1: VR-Labor

Das VR-Labor dient als Ort für die Forschung im Bereich der VR-Technologie. Die Implementierung aller Stufen innerhalb dieses Labors wäre hilfreich, um ein breites Spektrum an VR-Zuschauerperspektiven zu erforschen. Durch die Realisierung jeder Stufe könnten verschiedene Perspektiven und deren Auswirkungen auf Nutzererfahrungen und Interaktionen umfassend untersucht werden. Dies ermöglicht eine ganzheitlichere Erforschung und Evaluation von VR-Anwendungen sowie die Identifizierung von Stärken und Schwächen in Bezug auf die verschiedenen hauseigenen VR-Anwendungen des KreativInstituts.

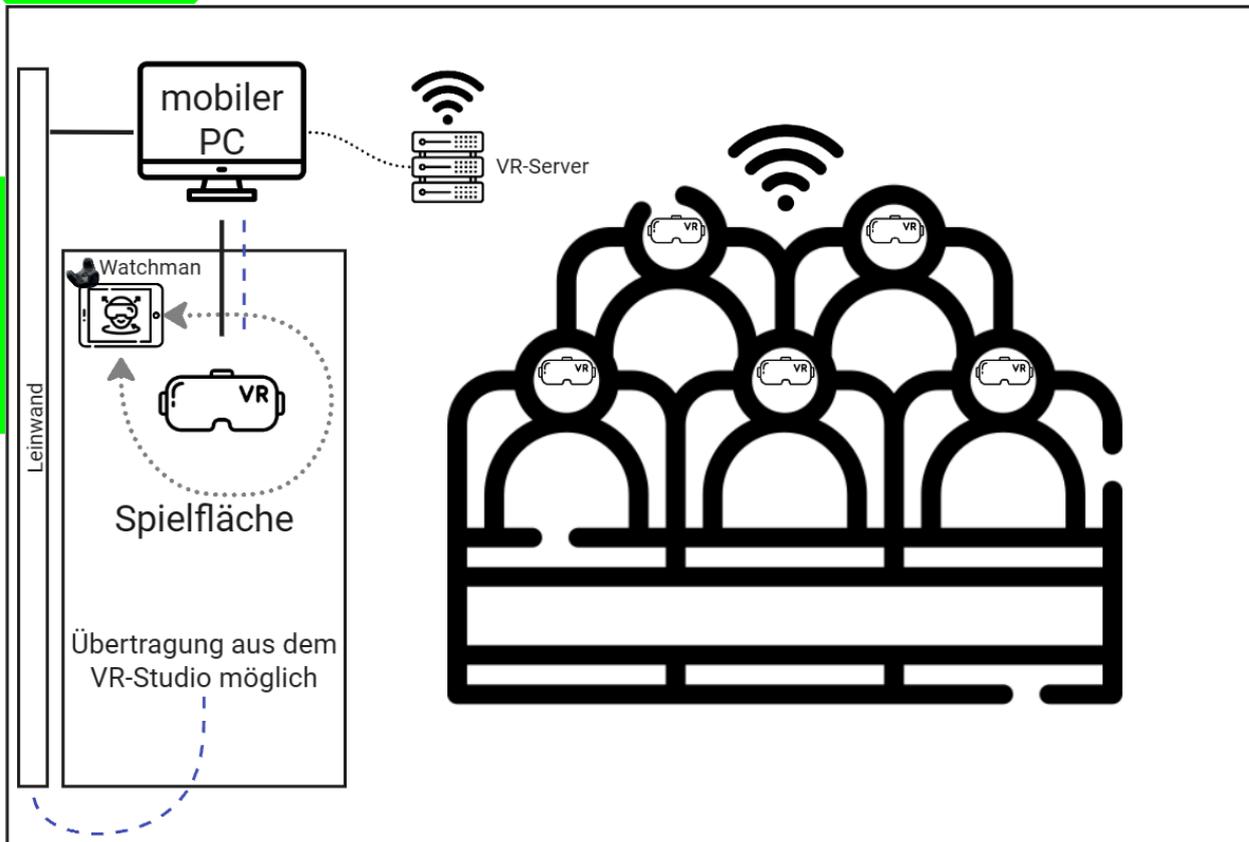


25 Konzept für VR-Aufbau im VR-Labor

Die Abbildung zeigt eine mögliche Konfiguration des VR-Labors mit Zuschauerperspektive. Zwei PCs steuern die VR-Brillen 1 und 2 sowie die Geräte auf den Spielflächen A und B. Die gestrichelten blauen Linien zeigen drahtlose Verbindungen an, während die durchgezogenen schwarzen Linien kabelgebundene Verbindungen darstellen. Die Monitore ermöglichen eine Cloned First Person View der angeschlossenen Geräte. Die gestrichelten grauen Linien stellen Beispielpfade für einen VR-Watchman oder eine VR-Brille als Zuschauer dar. Durch den Einsatz eines Greenscreens und einer statischen Kamera wird die Mixed Reality View ermöglicht. Die VR-Brillen 3 und 4 werden über einen VR-Server betrieben und ermöglichen die Multiplayer-View. In diesem Szenario kann die Nutzung der VR-Brillen zwischen den Anwendern und den Zuschauern frei gewählt werden, wobei die Nicht-Nutzung der Brillen 3 und 4 eine größere Spielfläche für die Brillen 1 und 2 ermöglicht.

Szenario 2: Präsentationen in den eigenen Räumlichkeiten

Bei Präsentationen in den eigenen Räumlichkeiten sollen Projekte und Forschungsergebnisse vorgestellt werden. Aufgrund des begrenzten Platzes für das Publikum ist ein Aufbau wie im VR-Labor nicht möglich. Dennoch gibt es Möglichkeiten, in diesem Szenario durch geschickte Anpassungen und spezielle Methoden alle drei Stufen der VR-Zuschauerperspektive umzusetzen.



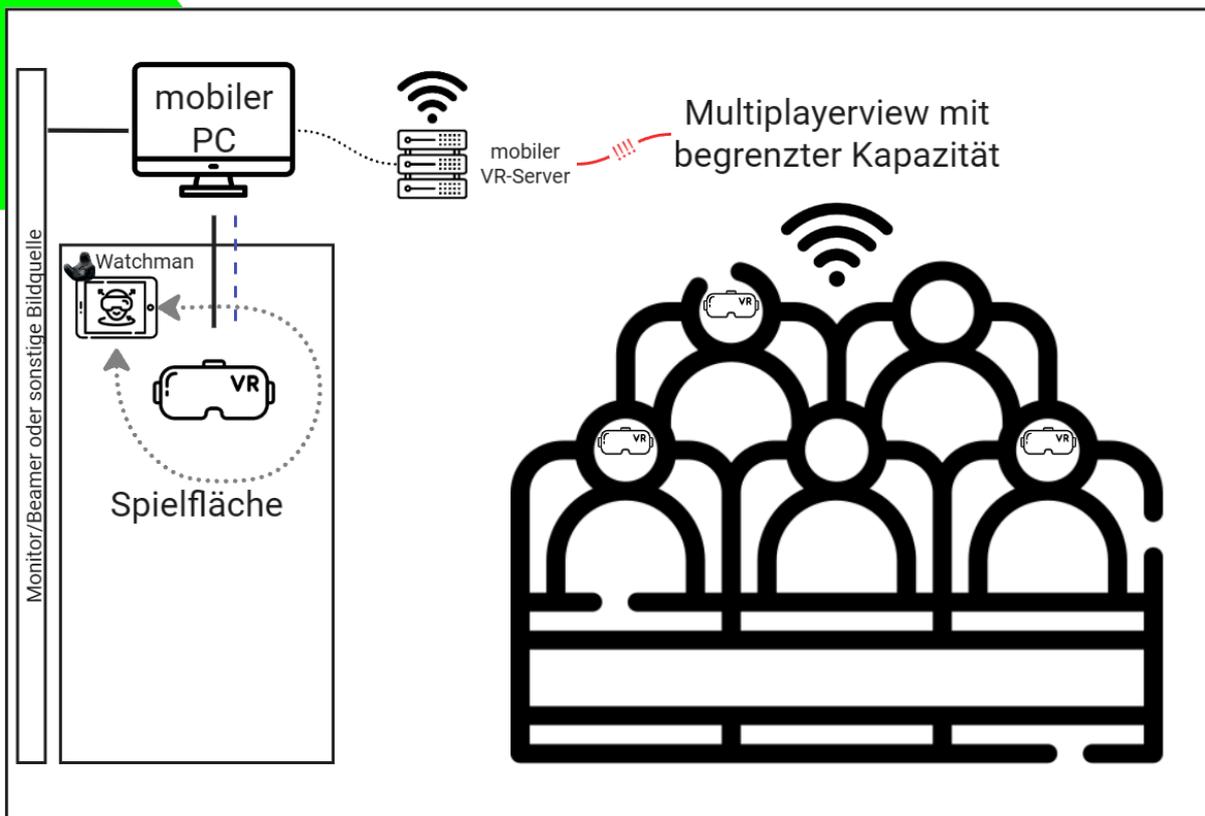
26 Konzept für VR-Aufbau bei Präsentationen

Die Abbildung veranschaulicht eine mögliche Konfiguration des Szenarios 2. Die Linien haben dieselbe Bedeutung wie im vorherigen Szenario. Aufgrund beschränkter Platzverhältnisse ist in diesem Szenario nur ein aktiver VR-Anwender möglich. Diese Person ist dafür verantwortlich, dem Publikum die Forschungsergebnisse in der VR-Umgebung zu präsentieren oder hausentwickelte Applikationen vorzustellen. Die Leinwand ermöglicht dabei eine Cloned First Person View. Aufgrund von Platzmangel kann Stufe 2 nicht direkt vor Ort umgesetzt werden. Stattdessen wird die Mixed Reality-View mithilfe einer statischen Kamera im VR-Studio auf die Leinwand übertragen. Die Umsetzung der Stufe 3 mit Multiplayer-View erfolgt dadurch, dass das Publikum in Sitzposition mit Hilfe von Standalone-VR-Brillen die virtuelle Anwendung des aktiven VR-Anwenders betritt, die auf einem leistungsstarken skalierbaren VR-Server gehostet wird. Auf diese Weise können die Teilnehmer des Publikums ihren Blickwinkel innerhalb der VR-Anwendung frei wählen.

Szenario 3: Externe Veranstaltungen

Szenario 3 ähnelt stark Szenario 2, allerdings liegt der wesentliche Unterschied darin, dass die Präsentation nicht in den eigenen Räumlichkeiten stattfindet. Bei externen Veranstaltungsorten wie anderen Unternehmen oder Hochschulen ist die Verfügbarkeit der erforderlichen Ausstattung unsicher. Daher muss zunächst davon ausgegangen werden, dass nur die Umsetzung von Stufe 1 möglich ist.

Der Einsatz einer mobilen VR-Servereinheit könnte theoretisch die Realisierung von Stufe 3 und einer Multiplayer-View ermöglichen, allerdings mit einer begrenzten Nutzerzahl im Vergleich zu Szenario 2, da ein mobiler Server eingeschränkte Leistungsfähigkeit aufweist. Falls externe Gegebenheiten ähnlich zu Szenario 2 vorhanden sind, könnte der Aufbau dem von Szenario 2 ähneln.



27 Konzept für Externe Veranstaltungen

6 Fazit und Ausblick

Das Hauptziel dieser Bachelorarbeit war es, die umfangreichen Möglichkeiten einer Zuschauerperspektive in VR-Anwendungen eingehend zu erforschen. Die Arbeit untersuchte, inwieweit und wie eine Zuschauerperspektive in der Virtual Reality realisierbar ist, und analysierte ausführlich die verschiedenen Arten von Zuschauerperspektiven sowie ihre spezifischen Funktionen. Es wurden verschiedene Umsetzungsmöglichkeiten für die Zuschauerperspektive erforscht, die Rolle des VR-Zuschauers definiert und Empfehlungen zur Umsetzung der Hardware- und Software-Anforderungen sowie zu den Herausforderungen entwickelt.

Des Weiteren wurden Beispiele für bereits umgesetzte VR-Anwendungen in der Unterhaltungsbranche und in beruflichen Kontexten präsentiert, in denen die VR-Zuschauerperspektive eine bedeutende Rolle spielt. Anschließend wurde ein Konzept vorgestellt, wie die VR-Zuschauerperspektiven im KreativInstitut Ostwestfalen-Lippe umgesetzt werden könnten, wobei sowohl Herausforderungen als auch Vorteile für das Institut aufgezeigt wurden. Durch ein Stufen-System wurde die Umsetzbarkeit und Komplexität der Zuschauerperspektiven verdeutlicht, und es wurden drei Szenarien von VR-Aufbauten mit Zuschauerperspektiven im KreativInstitut als Konzepte visualisiert.

Die Forschung zeigte, dass die Implementierung einer VR-Zuschauerperspektive grundsätzlich möglich ist, wobei die Schaffung eines Multiplayer-Views für viele gleichzeitige Nutzer, als besonders herausfordernd und sich als die komplexeste Zuschauerperspektive erwies. Persönlich sehe ich den Multiplayer-View als eine der aufregendsten Aspekte innerhalb der VR-Zuschauerperspektiven. Sein Potenzial ist grenzenlos und bietet in zahlreichen Szenarien eine besonders hilfreiche Dimension. Von interaktiven virtuellen Schulungen bis hin zu immersiven kollaborativen Arbeitsumgebungen eröffnet der Multiplayer-View eine Vielzahl von Möglichkeiten, bei denen mehrere Nutzer gleichzeitig in eine VR-Erfahrung eintauchen können, um gemeinsam zu lernen, zu arbeiten oder zu interagieren.

Die Frage nach dem optimalen Aufbau für eine VR-Zuschauerperspektive bleibt größtenteils offen. Eine generelle optimale Konfiguration für VR-Aufbauten mit Zuschauerperspektiven existiert nicht, da die Anwendungsbereiche stark variieren und spezifische Anforderungen an die Hardware- und Softwarekonfiguration stellen. In Bezug auf die Software-Implementierung wäre es zukünftig notwendig, wie im Konzept vorgeschlagen, SDKs oder Frameworks zu entwickeln, die eine einfache Integration aller VR-Zuschauerperspektiven ermöglichen.

Es wird sich zeigen, ob diese Arbeit im Allgemeinen dazu beiträgt, den Nutzen, die Funktion und die Bedeutung von VR-Zuschauerperspektiven besser zu verstehen. Für mich persönlich markiert diese Arbeit den Beginn meiner praktischen Forschung über VR-Zuschauerperspektiven und der Entwicklung von VR-Anwendungen mit solchen Perspektiven, am Kreativ Institut Ostwestfalen-Lippe.

7 Literaturverzeichnis

AmazeVR / About. (o. D.). AmazeVR. <https://www.amazevr.com/about>

Baird, T. (2017, 12. Dezember). *Spectating VR.* Unity Blog.
<https://blog.unity.com/games/spectating-vr>

Bastian, M. (2021, 23. August). Übernahme: Apple kauft VR-Unternehmen NextVR. *MIXED.* <https://mixed.de/apple-kauft-vr-streamingunternehmen-nextvr/>

Carp, S. (2018, 27. Juni). *How NextVR brought virtual reality highlights to the NBA finals.* SportsPro.
<https://www.sportspromedia.com/insights/interviews/nba-finals-highlights-virtual-reality-nextvr-interview/?zephrossoott=N08R70>

Danneberg, B. (2023, 17. September). VR-Brillen 2023: Vergleich & Kaufberatung - Das müsst Ihr wissen. *MIXED.* <https://mixed.de/vr-brillen-vergleich/>

Erl, J. (2023, 14. Januar). Die Geschichte der Virtual Reality. *MIXED.*
<https://mixed.de/virtual-reality-geschichte/>

Hermsen, D. (o. D.). *Virtual Reality (VR) tracking erklärt.* UnboundXR.
<https://unboundxr.de/hoer-vr-tracking-werkt>

HTC VIVE. (o. D.-a). *VIVE Pro 2 Übersicht | VIVE Deutschland.*
<https://www.vive.com/de/product/vive-pro2/overview/>

HTC VIVE. (o. D.-b). *VIVE XR Elite - das erste modulare Mixed-Reality-Headset | VIVE Deutschland.*

<https://www.vive.com/de/product/vive-xr-elite/overview/>

LIV Mixed Reality Capture, Simplified. (o. D.).

<https://www.liv.tv/mixedreality>

Meta. (o. D.-a). *Meta Quest 2.* Abgerufen am 8. November 2023, von

<https://www.meta.com/de/quest/products/quest-2/>

Meta. (o. D.-b). *Meta Quest 3.* Abgerufen am 12. November 2023, von

<https://www.meta.com/de/quest/quest-3/>

Meta. (o. D.-c). *Unity Mixed Reality Capture | Oculus Developers.*

<https://developer.oculus.com/documentation/unity/unity-mrc/>

Mixed Reality viewer - Brainlab. (2023, 12. Dezember). Brainlab.

<https://www.brainlab.com/surgery-products/overview-platform-products/mixed-reality-viewer/>

nVidia. (2017, 8. Mai). *MULTI-USER VR SOLUTIONS FOR ENTERPRISE DEPLOYMENT.* nvidia.com.

<https://images.nvidia.com/content/technologies/deep-learning/images/muvr-enterprise-session.pdf>

Omnia. (2023, 14. Juni). *Was ist Immersion?* omnia360.

<https://omnia360.de/blog/was-ist-immersion/>

Roth, T. (o. D.). *Chirurgie: OP-Planung mit immersiver Mixed Reality.*

Abgerufen am 16. Dezember 2023, von

https://www.medica.de/de/digital-health/Chirurgie_OP-Planung_mit_immersiver_Mixed_Reality

TeamViewer. (2022, 8. Juli). *Viscopic: Ein TeamViewer Unternehmen.*

<https://www.teamviewer.com/de/viscopic/>

Unreal Engine. (o. D.). *Mixed Reality Capture.*

[https://docs.unrealengine.com/4.27/en-](https://docs.unrealengine.com/4.27/en-US/WorkingWithMedia/IntegratingMedia/MixedRealityCapture/)

[US/WorkingWithMedia/IntegratingMedia/MixedRealityCapture/](https://docs.unrealengine.com/4.27/en-US/WorkingWithMedia/IntegratingMedia/MixedRealityCapture/)

Valve. (o. D.). *Valve Index® – Erleben Sie VR wie nie zuvor! - Valve*

Corporation. <https://www.valvesoftware.com/de/index>

Varjo Technologies. (2023, 28. November). *Varjo XR-3 - the industry's highest resolution mixed reality headset | Varjo.* Varjo.com.

<https://varjo.com/products/varjo-xr-3/>

WorldOfVR. (2022, 4. Januar). *Immersion: Definition und einfache Erklärung - World of VR.* World of VR.

<https://worldofvr.de/immersion/>

8 Anhang

8.1 Abbildungsverzeichnis

1 Zeitstrahl-Geschichte VR

6

- (1) Barker, H. (1806). *A View of Edinburgh. An advertisement for Robert Barker's Panorama exhibited at Leicester Square*. National Galleries Scotland. <https://www.nationalgalleries.org/art-and-artists/63244>
- (2) Underwood & Underwood Company. (ca. 1920). *„Mercury' Stereoscope Viewer*. Universität Wien. https://bibliothek.univie.ac.at/sammlungen/objekt_des_monats/003919.html
- (3) Zuk, B., [Bzuk]. (2010, 20. Februar). *The World's First Flight Simulator Edwin Link's „Blue Box'*. Interesting Engineering. <https://interestingengineering.com/transportation/the-worlds-first-commercially-built-flight-simulator-the-link-trainer-blue-box>
- (4) Heilig, M. (ca. 1960). *Sensorama*. IEEE Computer Society. <https://www.computer.org/publications/tech-news/research/experiencing-the-sights-smells-sounds-and-climate-of-southern-italy-in-vr>
- (5) Sutherland, I. (ca. 1960). *„Sword of Damocles' VR Headset*. D'source. <https://www.dsource.in/course/virtual-reality-introduction/evolution-vr/sword-damocles-head-mounted-display>
- (6) NASA. (ca. 1980). *NASA's Virtual Visual Environment Display (VIVED)*. Engadget. <https://www.engadget.com/2013-12-15-time-machines.html?guccounter=1>

(7) Lanier, J. (1987). *EyePhone Glasses and Gloves*. Flashbak.

<https://flashbak.com/jaron-laniers-eyephone-head-and-glove-virtual-reality-in-the-1980s-26180/>

(8) SEGA. (1992). *SEGA VR*. Mixed. <https://mixed.de/virtual-reality-geschichte/>

2 Zeitstrahl-Geschichte VR Seite 2

7

(9) Oculus. (2012). *Oculus Redesign*. Logo Design Love.

<https://www.logodesignlove.com/oculus>

(10) Lang, B. (2012, 11. August). *Oculus Rift Silicon Micro Display ST1080*

Sony HMZ-T1. Road to VR. <https://www.roadtovr.com/hmd-specs-comparison-oculus-rift-vs-silicon-micro-display-st1080-vs-sony-hmz-t1/>

(11) Google. (2016). *Google Daydream-View*. MIXED. <https://mixed.de/virtual-reality-geschichte/>

(12) Davies, A. (2016, 16. Mai). *Oculus Rift vs. HTC Vive vs. PlayStation VR*.

Tom's Hardware. <https://www.tomshardware.com/reviews/vive-rift-playstation-vr-comparison,4513.html>

(13) Frier, S. (2017, 30. März). *Oculus founder exits Facebook after criticism on election memes*. Bloomberg.com.

<https://www.bloomberg.com/news/articles/2017-03-30/oculus-founder-palmer-luckey-departs-facebook-after-controversy#xj4y7vzkg>

(14) Brookes, M. (2022, 10. Mai). *Beat Saber VR - Youth Week - Discover Mount Gambier*. Discover Mount Gambier.

<https://discovermountgambier.com.au/event/beat-saber-vr-youth-week/>

(15) Valve. (o. D.). *Valve Index® - Erleben Sie VR wie nie zuvor! - Valve*

Corporation. Valve Software. <https://www.valvesoftware.com/de/index>

(16) Valve. (2023, 14. Januar). Die Geschichte der Virtual Reality. *MIXED*.
<https://mixed.de/virtual-reality-geschichte/>

(17) Apple. (o. D.). *Apple Vision Pro*. <https://www.apple.com/apple-vision-pro/>

3 Varjo XR-3 14
Varjo Technologies. (2023, 23. März). *Varjo XR-3 - the industry's highest resolution mixed reality headset / Varjo*. Varjo.com.

<https://varjo.com/products/xr-3/>

4 Valve Index mit Basisstationen und Index Controller 15
Valve. (o. D.). *Valve Index® - Erleben Sie VR wie nie zuvor! - Valve Corporation*. Valve Software. <https://www.valvesoftware.com/de/index>

5 HTC Vive Pro 2 mit Basisstationen und Vive Controller 16
HTC VIVE. (o. D.-a). *VIVE Pro 2 Übersicht / VIVE Deutschland*.

<https://www.vive.com/de/product/vive-pro2/overview/>

6 HTC Vive XR Elite mit Controller 17
HTC VIVE. (o. D.-b). *VIVE XR Elite - Convertible, All-in-One XR Headset*.

<https://www.vive.com/us/product/vive-xr-elite/overview/>

7 Meta Quest 2 mit Controller 18
Meta. (o. D.-a). *Meta Quest 2*. [https://www.meta.com/de/quest/products/quest-](https://www.meta.com/de/quest/products/quest-2/)

[2/](https://www.meta.com/de/quest/products/quest-2/)

8 Meta Quest 3 mit Controller 19
Meta. (o. D.-b). *Meta Quest 3*. <https://www.meta.com/de/quest/quest-3/>

9 Visualisierung Cloned First-Person View 22
Eigene Darstellung

10 Visualisierung Movable Third-Person View 23
Eigene Darstellung

11 VR-Watchman bestehend aus einem iPad im Rig mit Haltegriffen und Vive Tracker 23
Eigene Darstellung

12 Visualisierung Fixed Third Person View 24
Eigene Darstellung

13 Beispiel für Verschmelzung realer und virtueller Welt <i>LIV Mixed Reality Capture, Simplified.</i> (o. D.). LIV.tv. https://www.liv.tv/mixedreality	25
14 XR mit Greenscreen und Ergebnis in virtueller Welt in VR-Applikation Kayak-VR:Mirage Eigene Darstellung	25
15 Visualisierung Lokaler Multiplayer-View Eigene Darstellung	26
16 Visualisierung Internetbasierte Multiplayer-View Eigene Darstellung	26
17 Nvidia Systemkonfiguration für Multi-User VR System nVidia. (2017, 8. Mai). <i>MULTI-USER VR SOLUTIONS FOR ENTERPRISE DEPLOYMENT.</i> nvidia.com. https://images.nvidia.com/content/technologies/deep-learning/images/muvr-enterprise-session.pdf Seite 59	32
18 Nvidia Konzept: Multi-User VR mit eigenem Raum pro User nVidia. (2017, 8. Mai). <i>MULTI-USER VR SOLUTIONS FOR ENTERPRISE DEPLOYMENT.</i> nvidia.com. https://images.nvidia.com/content/technologies/deep-learning/images/muvr-enterprise-session.pdf Seite 24	33
19 Nvidia Konzept: Multi-User VR in einem Raum für Fluggerätmechaniker nVidia. (2017, 8. Mai). <i>MULTI-USER VR SOLUTIONS FOR ENTERPRISE DEPLOYMENT.</i> nvidia.com. https://images.nvidia.com/content/technologies/deep-learning/images/muvr-enterprise-session.pdf Seite 25	33
20 Nvidia Konzept: Zwei verschiedene aktive VR-Systeme + Eine Zuschauerperspektive als Guide nVidia. (2017, 8. Mai). <i>MULTI-USER VR SOLUTIONS FOR ENTERPRISE DEPLOYMENT.</i> nvidia.com. https://images.nvidia.com/content/technologies/deep-learning/images/muvr-enterprise-session.pdf Seite 28	33

21 NextVR NBA Übertragung Grohgan, T. & Grohgan, T. (2019, 25. Februar). <i>NextVR: VR-Livestreaming-App auf SteamVR veröffentlicht</i> . VR·Nerds. https://www.vrnerds.de/nextvr-vr-livestreaming-app-auf-steamvr-veroeffentlicht/	37
22 Anwendungsbeispiel von Viscopic Sailer, C. (2019, 28. Januar). <i>Mixed Reality im Einsatz: VISCOPIC vereinfacht holografische Abbildungen</i> . News Center Microsoft Deutschland. https://news.microsoft.com/de-de/mixed-reality-viscopic/	38
23 Anwendungsbeispiel der XR-Brille von Brainlab <i>Mixed Reality viewer - Brainlab</i> . (2023, 12. Dezember). Brainlab. https://www.brainlab.com/surgery-products/overview-platform-products/mixed-reality-viewer/	39
24 Stufen der Umsetzbarkeit von VR-Zuschauerperspektive Eigene Darstellung	43
25 Konzept für VR-Aufbau im VR-Labor Eigene Darstellung	45
26 Konzept für VR-Aufbau bei Präsentationen Eigene Darstellung	46
27 Konzept für Externe Veranstaltungen Eigene Darstellung	47

8.2 Tabellen

2 Vergleichstabelle VR-Brillen

Daten aus:

Danneberg, B. (2023, 17. September). VR-Brillen 2023: Vergleich & Kaufberatung - Das müsst Ihr wissen. *MIXED*. <https://mixed.de/vr-brillen-vergleich/>

8.3 Design und Schriftart

Das Design des Wasserzeichens und des Deckblatts erfolgte mithilfe von Elementen des Corporate Designs des Kreativ Instituts Ostwestfalen-Lippe. Die Erlaubnis dieses Verwenden zu dürfen, wurde mir erteilt.

Die genutzte Schriftart ist: T-Star TW medium

9 Eigenständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

Leopoldshöhe, den 23.12.2023

