

Technische Universität Kaiserslautern

Lehrgebiet CPE | Computergestützte Planungs- und Entwurfsmethoden

Fachbereich Raum- und Umweltplanung

Studiengang Raumplanung

Virtual Reality im Planungsprozess

Anwendung am Beispiel des Bahnhofareals in Neustadt an der Weinstraße



vorgelegt von

Sven Dübner

Sommersemester 2014

Betreut von: Prof. Dr.-Ing. Bernd Streich
Dr.-Ing. Peter Zeile

Selbstverfassererklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Abschlussarbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe.

Kaiserslautern, den 06.10.2014

Danksagung

Nachfolgend bedanke ich mich bei allen Beteiligten, die mich bei meiner Abschlussarbeit unterstützt haben. Ein ganz besonderer Dank gilt hierbei Dr.-Ing. Peter Zeile, der durch intensive Betreuung sowie konstruktive Ideen und Anmerkungen meine Arbeit begleitet hat. Darüber hinaus stand er mir stets als Ansprechpartner zur Verfügung. Weiterhin möchte ich mich bei Prof. Dr.-Ing. Bernd Streich bedanken, der durch seine Vorlesungen im Verlauf des Studiums mein Interesse für Themen rund um das computergestützte Entwerfen überhaupt erst geweckt hat.

Ein besonderer Dank gilt Christina Funk für ihre Geduld und Unterstützung sowie für die Korrekturen und konstruktiven Anmerkungen beim Erstellen der Masterarbeit.

Zudem bedanke ich mich bei meiner Familie, insbesondere bei Ilona und Steffen Dübner, Ralf, Gabi und Ella Ehmann für ihre Unterstützung während meines gesamten Studiums.

Ein besonderer Dank, den ich leider nicht mehr übermitteln kann, gilt meinem im Jahr 2012 verstorbenen Vater Wilfried, der mir mit meiner Mutter mein Studium erst ermöglicht und mich in jeglicher Hinsicht unterstützt hat.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|----|
| 1. Einleitung..... | 1 |
| 1.1. Relevanz von Virtual Reality im Planungsprozess | 1 |
| 1.2. Zielsetzung..... | 2 |
| 1.3. Vorgehensweise | 3 |
| 2. Theoretische Grundlagen | 4 |
| 2.1. Virtual Reality | 4 |
| 2.1.1. Begriffsbestimmung und Definition | 4 |
| 2.1.2. Historische Entwicklung | 6 |
| 2.1.3. Anwendungsfelder von Virtual Reality..... | 9 |
| 2.2. Technische Grundlagen..... | 12 |
| 2.2.1. Virtual Reality-Systeme | 12 |
| 2.2.2. Ausgabegeräte..... | 14 |
| 2.2.3. <i>Oculus Rift</i> | 19 |
| 2.2.4. Aktuelle und zukünftige Entwicklungen..... | 25 |
| 2.3. Zwischenfazit..... | 27 |
| 3. Virtual Reality in der Praxis..... | 29 |
| 3.1. Zielsetzung der Anwendung von Virtual Reality im Planungsprozess..... | 29 |
| 3.2. Räumliche und technische Rahmenbedingungen | 29 |
| 3.3. Visualisierungsformen von Virtual Reality in der Praxis..... | 31 |
| 3.3.1. Desktopbasierte Visualisierung von Planungen mit Hilfe des <i>Oculus Rift</i> | 32 |
| 3.3.2. Mobile Visualisierung von Planungen mit Hilfe des <i>Google Cardboards</i> | 38 |
| 3.3.3. Anmerkungen und Probleme im Rahmen des Visualisierungsprozesses..... | 41 |
| 3.4. Eignung und Anwendungsmöglichkeiten von Virtual Reality in der Planungspraxis | 43 |
| 3.5. Vergleich von Augmented Reality und Virtual Reality für deren praktischen Einsatz in der Planung..... | 46 |
| 4. Ausblick..... | 49 |
| 5. Fazit..... | 51 |
| Literatur und Internetquellen | 53 |
| Abbildungsverzeichnis..... | 58 |
| Tabellenverzeichnis | 60 |
| (Digitaler) Anhang | 61 |

1. Einleitung

1.1. Relevanz von Virtual Reality im Planungsprozess

Bereits in den 1980er Jahren wurde der Begriff der Virtual Reality [VR] von Jaron Lanier geprägt. Dieser beschreibt die Simulation virtueller Welten, in welche eingetaucht werden kann und das Gefühl vollständiger Immersion vermittelt wird. Um dies zu erreichen wird eine Mischung aus Computergrafik, Projektionstechnik sowie Mensch-Maschine-Interaktion benötigt [UNIMÜNCHEN;2014].

In einer perfekten VR werden sämtliche Sinneseindrücke des Nutzers durch den Computer erzeugt. Dies erfolgt in gleicher Quantität und Qualität in der es der Mensch aus der realen Welt gewohnt ist. Hierbei haben Handlungen in der VR den gleichen Effekt und virtuelle Objekte reagieren genauso auf den Menschen wie in der realen Welt. Aktuelle VR-Systeme sind noch nicht vollständig ausgereift, jedoch zielt die Entwicklung im Bereich der VR, unter erheblichem Ressourceneinsatz, auf die Erschaffung immer realistischer Simulationen mit einem ungeahnten Grad an Immersion ab [DÖRNER;2013;17].

Diese Form der Visualisierung dreidimensionaler Räume bietet vor allem für räumliche Planungen, wie die Architektur oder die Stadtplanung, ein neues und in seiner Vielfalt unbekanntes Potential. Physische Nachbildungen von zukünftigen Planungen, die in der Architektur alltäglich sind, wären durch ein virtuell begehbare Modell obsolet. Darüber hinaus kann die Einbettung von Planungen in das räumliche Umfeld nach Art und Maß der baulichen Nutzung, wie sie vom Gesetzgeber nach § 34 Baugesetzbuch gefordert wird, durch diese Visualisierungsform in hinreichendem Maße gesichert werden.

Digitale Modelle sind bereits seit Langem in der Planung gängige Praxis, jedoch kann das aktive Eintauchen in die virtuell begehbare, zukünftige Realität eine deutlich verbesserte Verständlichkeit bieten, sowie als Überprüfungsmöglichkeit für die Reduktion von gestalterischen, funktionalen und rechtlichen Fehlplanungen fungieren.

Folglich könnte das Instrument der VR exzellente Verknüpfungsmöglichkeiten von theoretischer Planung, Partizipationsprozessen und Schaffung von Akzeptanz in der Bevölkerung als auch der praktischen Umsetzung von Planungsvorhaben bieten.

1.2. Zielsetzung

In der vorliegenden Arbeit sollen die Visualisierungsmöglichkeiten mittels desktopbasierter und mobiler Virtual Reality-Systeme im Stadtumbau und der Stadtplanung untersucht werden. Ziel ist die Analyse der Anwendungsmöglichkeiten und der Leistungsfähigkeit von VR in den Entwurfsprozessen von Planungen.

Die wesentlichen Grundlagen der VR sollen aufgezeigt werden und insbesondere soll das Ausgabesystem *Oculus Rift* eingehend betrachtet werden, welches in der praktischen Anwendung verwendet wird. Neben dessen grundsätzlicher Funktionsweise sollen das Potential und eventuelle Defizite aufgezeigt werden. Als Folge sollen die zu erwartenden Schwächen in der Praxis vorab erfasst werden können und gegebenenfalls Lösungsansätze erarbeitet werden.

Ein Praxisbezug wird mittels der Betrachtung eines Beispiels hergestellt. Als Bezugsobjekt wurde ein durch den Fachbereich Computergestützte Planungs- und Entwurfsmethoden [CPE] im Jahr 2008 ausgerichteter Stegreif für die Stadt Neustadt an der Weinstraße gewählt. Neben den im Stegreif entstandenen Modellen liegt zudem ein dreidimensionales Stadtmodell in LOD3 vor, welches zur Bestandsdarstellung herangezogen werden soll. Es gilt dabei die Visualisierungsformen und die Ausgabesysteme mit Hilfe von VR zu betrachten, sowie eine potentielle Eignung für den Entwurfsprozess von Planungen und darüber hinaus aufzuzeigen. Den Schwerpunkt soll die Erarbeitung eines Visualisierungsablaufs für den Entwurfsprozess, sowie dessen Bewertung und Analyse bilden. Folgende Kriterien sollen exemplarisch überprüft werden:

- Eignet sich die VR für den Einsatz im Planungsprozess?
- Welche Anwendungsmöglichkeiten bietet die VR in der Planung?
- Welche Anforderungen ergeben sich an die technische Umsetzung?

In diesem Zusammenhang sollen die gewonnenen Erkenntnisse auf mögliche Anwendungsfelder in der Praxis übertragen und bewertet werden. Zudem soll im Ausblick ein Transfer zu anderen Forschungsfeldern geschaffen werden, sowie zu erwartende technische Entwicklungen im Bereich der VR aufgezeigt werden. Hierbei ist besonders das Urban Emotions Konzept von Bedeutung, ein durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft [DFG] gefördertes Forschungsprojekt des Fachbereichs CPE. Der Schwerpunkt liegt auf dem Gebiet der „Humansensorik“ sowie der Sensornetzwerke, welche mögliche Handlungs- und Anpassungsempfehlungen für Planungsprozesse in der Stadtplanung bieten können.

1.3. Vorgehensweise

Die vorliegende Masterarbeit gliedert sich in zwei Teile, wobei zwischen theoretischen Grundlagen und der Anwendung an einem Praxisbeispiel differenziert wird.

Im ersten Themenblock der theoretischen Grundlagen sollen zunächst notwendige Grundbegriffe im Bereich der VR definiert, ihre wesentlichen Charakteristika dargestellt sowie die Entwicklung in einem historischen Abriss aufgezeigt werden. Im zweiten Schritt sollen die technischen Grundlagen eingehend betrachtet. Diese einzelnen Elemente der VR sollen eingehend vertieft sowie die unterschiedlichen Hard- und Softwarekomponenten der VR aufgezeigt und ihre Funktionsweise dargestellt werden. Insbesondere soll auf das VR-System *Oculus Rift* eingegangen werden, welches für die praktische Anwendung verwendet werden soll. Neben dem *Oculus Rift* werden in einem kurzen Ausblick weitere VR-Systeme aufgezeigt, um das Potential in naher Zukunft zu verdeutlichen. Das Ende dieses Themenblocks soll ein Zwischenfazit mit einer Reflexion der theoretischen Grundlagen bilden.

Den zweiten Schwerpunkt dieser Arbeit soll die Anwendung der erarbeiteten Grundlagen an einem aktuellen Praxisbeispiel bilden. Es sollen die Anwendungsmöglichkeiten von VR als Visualisierungsinstrument anhand eines Beispiels aufgezeigt werden. Die Grundlage hierfür soll ein abgegrenztes Plangebiet bilden, auf welchem dreidimensionale Visualisierungsmodelle dem Gebäudebestand gegenübergestellt werden sollen. Die anschließende Ausgabe soll über geeignete Virtual Reality-Systeme für die mobile und desktopbasierte Darstellung erfolgen. Für das jeweilige Ausgabegerät soll der Ablauf des Visualisierungsprozesses dargelegt und vertieft betrachtet werden, um gegebenenfalls auftretende Probleme zu erfassen. Des Weiteren sollen im Anschluss die Anwendungsmöglichkeiten in der Praxis diskutiert sowie deren Tauglichkeit bewertet werden. Zu dem soll die VR mit der Visualisierungstechnik der AR und deren Einsatzspektrum diskutiert werden.

Abschließend soll ein Fazit über die gewonnenen Erkenntnisse, die zukünftigen Herausforderungen und die Anwendungsmöglichkeiten erstellt werden.

2. Theoretische Grundlagen

2.1. Virtual Reality

2.1.1. Begriffsbestimmung und Definition

Das Forschungs- und Wissenschaftsgebiet der Virtual Reality [VR] beschreibt ein relativ junges Fachgebiet, dessen aktuelle und zukünftige Entwicklung stark von Fortschritten im Bereich der Soft- und Hardwareentwicklung beeinflusst wird. In Anbetracht dieser Rahmenbedingungen ist es nicht überraschend, dass auf dem Gebiet der VR aktuell keine einheitliche und umfassende Definition von „Virtueller Realität“ besteht [DÖRNER;2013;12].

Zunächst werden die Termini „virtuell“ und „Realität“ getrennt voneinander betrachtet. Unter virtuell wird in der deutschen Sprache etwas nicht echtes, in Wirklichkeit nicht vorhandenes, aber echt erscheinendes definiert [DUDEN;2014;A]. Diese Aussage deckt sich weitgehend mit der Formulierung des Oxford Dictionaries im Bereich Computertechnik: „*Not physically existing as such but made by software to appear to do so*“ [OXFORD;2014;A]. Die Beschreibung des Begriffs Realität hingegen ist wesentlich komplexer. Der Duden beschreibt die Bedeutung des Wortes mit „Wirklichkeit“ oder „realer Seinsweise“ [DUDEN;2014;A]. Die philosophische Diskussion zur eindeutigen Klärung scheint nicht im Sinne dieser Arbeit und so wird eine weitere Definition des Oxford Dictionaries herangezogen, welche die Realität wie folgt beschreibt: „*The state of things as they actually exist, as opposed to an idealistic or notional idea of them*“ [OXFORD;2014;B]. Vereinfacht ausgedrückt wird die Realität im Verlauf dieser Arbeit als ein existierender Ort betrachtet, welcher erlebt werden kann.

Im zweiten Schritt soll nun die VR näher beschrieben werden. Erste historische Ansätze zur Definition von VR gehen bis in die Mitte des 20. Jahrhunderts zurück. Ivan E. Sutherland, einer der wohl bekanntesten Pioniere für Computergrafik und Professor für Informatik, beschrieb in seinem Essay *The ultimate Display* aus dem Jahr 1965 seine Vorstellung einer VR.

„*The ultimate display would, of course, be a room within which the computer can control the existence of matter. A chair displayed in such a room would be good enough to sit in. Handcuffs displayed in such a room would be confining, and a bullet displayed in such a room would be fatal. With appropriate programming such a display could literally be the Wonderland into which Alice walked*“ [SUTHERLAND;1965].

Diese zukunftsweisende Charakterisierung von Sutherland und auch andere visionäre Vorstellungen, wie das Holodeck aus Star Trek, gilt es kompatibel zu erfassen und zu verknüpfen.

Ein einfacher Ansatz der Definition von VR durch die freie Enzyklopädie Wikipedia scheint dem Rechnung zu tragen. Diese beschreibt VR als „die Darstellung und gleichzeitige Wahrnehmung der Wirklichkeit und ihrer physikalischen Eigenschaften in einer in Echtzeit computergenerierten, interaktiven virtuellen Umgebung“ [VIRTUELLE REALITÄT;2014].

Eine Möglichkeit diese Charakterisierung der VR besser zu verdeutlichen bietet die Abgrenzung zur „traditionellen“ Computergrafik, dem wissenschaftlichen Gebiet, aus welchem die VR entsprungen ist [DÖRNER;2013;13]. Nachfolgend werden diese wesentlichen Unterschiede der Visualisierungstechniken dargestellt [Vgl.: Tabelle 1].

Tabelle 1: Vergleich der Merkmale von VR und von konventioneller Computergrafik [DÖRNER;2013;14]

| 3D Computergrafik | Virtuelle Realität |
|--|---|
| Rein visuelle Präsentation | Multimodale Präsentation: visuell, akustisch, haptisch |
| Präsentation nicht notwendigerweise zeitkritisch | Echtzeitdarstellung |
| Betrachterunabhängige Präsentation (exozentrische Perspektive) | Betrachterabhängige Präsentation (egozentrische Perspektive) |
| Statische Szene oder vorberechnete Animation | Echtzeitinteraktion und -simulation |
| 2D-Interaktion (Maus, Tastatur) | 3D-Interaktion (Körperbewegung, Hand-, Kopf- u. Körpergestik) + Spracheingabe |
| Nicht-immersive Präsentation | Immersive Präsentation |

Die Unterscheidungsmerkmale der VR unterliegen in ihrer Bedeutung stets dem wichtigsten Aspekt, der **Immersion**. Diese wird in der Fachliteratur stets als zentrales und essentielles Merkmal zur Unterscheidung von anderen Visualisierungstechniken herausgestellt [DÖRNER;2013;13]. Die Immersion gründet nach Slater und Wilbur auf vier technischen Eigenschaften von Ausgabegeräten. Demnach soll der Nutzer weitestgehend von seiner realen Umgebung isoliert werden [*Inclusive*], d. h. die Sinneseindrücke sollten wenn möglich ausschließlich computergeneriert sein. Hierbei sollten möglichst viele Sinne angesprochen werden [*Extensive*]. Die verwendeten Ausgabegeräte sollen den Nutzer vollständig umgeben und ihm so ein möglichst umfassendes Sichtfeld bieten [*Surrounding*]. Zudem soll eine „lebendige“ Darstellung geboten werden [*Vivid*], beispielsweise durch eine hohe Auflösung und Qualität des Displays [SLATER;1997;3]. Demnach ist die Immersion ein graduelles Merkmal, welches in starkem Maße von den verschiedenen Displays der Ausgabegeräte abhängig ist [Vgl.: Kapitel 2.2.2].

Die Inhalte von VR-Systemen werden mit dem Begriff **Virtuelle Welten** beschrieben. Diese bestehen aus 3D-Objekten, welche eine eigene Dynamik in ihrem Verhalten aufweisen, sowie auf Nutzerinteraktion reagieren können. Des Weiteren werden diese u. a. durch zusätzliche abstrakte Inhalte angereichert, welche die Visualisierung und Simulation der virtuellen Welt unterstützt. Im Rahmen der Darstellung dieser Umgebungen stehen zwei Aspekte im Vordergrund, die **Echtzeitfähigkeit** und die **Interaktivität**. Die Echtzeitfähigkeit soll dem Benutzer ermöglichen, die virtuelle Welt mit möglichst geringer Latenz wahrzunehmen. Die Interaktivität setzt voraus, dass der Nutzer die 3D-Objekte in der virtuellen Welt bewegen und deren Verhalten beeinflussen kann [DÖRNER;2013;66].

2.1.2. Historische Entwicklung

Der Beginn der Entwicklung von Virtual Reality wird in der Literatur unterschiedlich datiert. Eine der bedeutendsten Entwicklungen im Rahmen dieses Forschungsfelds ist auf die Mitte der 1950er Jahre zurückzuführen.

Im Jahr 1957 begann der US-Amerikaner Morton Heilig die Entwicklung des Simulators *Sensorama*, welchen er 1962 patentieren ließ. Dieser arbeitete mit verschiedenen Sinneseindrücken, welche von visuellen Effekten über Ton bis zu Vibration und Geruch reichten [BIMBER;2005;3].

Einen weiteren Meilenstein legte Ivan Sutherland 1965 mit seiner Veröffentlichung *The Ultimate Display*. Sein Streben nach einer erlebbaren, virtuellen Welt wird besonders durch folgendes Zitat deutlich: "make that (virtual) world in the window look real, sound real, feel real, and respond realistically to the viewer's actions" [SUTHERLAND;1965]. In Folge seiner Publikation entwickelte er im Jahr 1968 das erste VR- und AR-System mit einem am Kopf befestigten, optischen *see-through Head-Mounted-Display* [HMD] [FURHT;2011;4]. Dieses trägt den Namen *The Sword of Damocles* und gilt als erstes seiner Art [DAMOCLES;2014]. Im Verlauf des Entwicklungsprozesses wurde Sutherland jedoch mit mehreren Problemstellungen konfrontiert. Einerseits musste die Apparatur durch ihr hohes Eigengewicht an der Raumdecke befestigt werden, andererseits war die Rechenleistung der Computer sehr beschränkt, wodurch lediglich simple Darstellungen in Echtzeit projiziert werden konnten [DOPPLER;2011]. Zeitgleich gründeten die zukünftigen Professoren Ivan Sutherland und David Evans das Unternehmen Evans & Sutherland. Zusammen gelten sie als Wegbereiter im Bereich der Computergrafik. Der Großteil ihrer Angestellten waren ehemalige und aktuelle Studenten, welche später unter anderem Gründungsmitglieder von Silicon Graphics, Pixar und Adobe waren. Sie trugen so ebenfalls ihren Teil zur technischen Entwicklung im Bereich der Computertechnik bei [EVANS;2014].

Eine wichtige Entwicklung im Bereich der Mensch-Maschine-Interaktion stellt das Projekt GROPE der University of North Carolina aus dem Jahr 1971 dar. Diese entwickelte den ersten Prototyp eines Systems zur Kraftrückkopplung von Eingabegeräten [MAZURYK;1996;20].

Im Jahr 1975 wurde von Myron Krueger der sogenannte *Videoplace* entwickelt. Dabei handelt es sich um einen Raum der es dem Benutzer erstmalig erlaubte, mit den virtuellen Objekten in Interaktion zu treten [FURHT;2011;4].

Wie auch in anderen Forschungsfeldern geht der technische Fortschritt häufig von für das Militär entwickelten und finanzierten Projekten aus. So auch im Fall des *Visually Coupled Airborne Systems Simulator* [ACASS] aus dem Jahr 1982. Thomas Furness entwickelte ein spezielles, übergroßes HMD in Form eines Helmes, das Piloten erlaubte ein abstraktes Bild der Flugverhältnisse zu visualisieren. Es erreichte einen zu dieser Zeit noch nicht gekannten Grad der Immersion [LERNER;2007].

Im Jahr 1984 entwickelte das *NASA Ames Research Center* ihre eigene VR-Hardware. Dazu zählt unter anderem das *HMD Virtual Visual Environment Display* [VIVED], welches später zur *Virtual Interactive Environment Workstation* [VIEW] weiterentwickelt wurde [BALAGUER;1991].

Der Begriff der *Virtual Reality* wurde 1985 durch Jaron Lanier geprägt. Im selben Jahr gründete er das erste Unternehmen [VPL] mit dem Schwerpunkt auf virtuelle Welten [ENDERLEIN;2002;61]. Die ersten kommerziellen Forschungen begannen ab 1985 durch die Firmen *VPL* und *Autodesk*. *VPL* startete, inspiriert durch die *VIVED* und *VIEW* der *NASA*, die Entwicklung eigener VR-Systeme. Sie kombinierten *HMDs* mit einem Datenhandschuh um Interaktionsmöglichkeiten auch im Privatsektor zu ermöglichen. Der CAD-Softwarehersteller *Autodesk* startete zeitgleich mit der Entwicklung günstiger und marktfähiger VR-Software [CHESHER;1994].

Das sogenannte *BOOM*-System wurde 1989 durch die Firma *Fakespace Labs* entwickelt. Es ist eine Art Box mit zwei CRT-Monitoren, welche durch Optiken betrachtet werden können. Dieses Gehäuse ist mittels eines mechanischen Armes mit einer Recheneinheit verbunden, welche die Position und Orientierung im Raum erfasst. Dies ermöglicht dem Benutzer eine „freie“ Bewegung im Raum und das Erleben der virtuellen Welt [MAZURYK;1996;2].

Im Jahr 1991 erreichte die VR ihr bislang größtes Publikum, was u. a. durch die Veröffentlichung von Howard Rheingold's Buch *Virtual Reality* bedingt war. Zu dieser Zeit waren über 400 VR-Systeme weltweit verteilt und zwölf Universitäten boten VR-bezogene Studienfächer an [CHESHER;1994].

Einer der bis heute bedeutendsten Meilensteine war die Entwicklung des *Automatic Virtual Environments* [CAVE] im Jahr 1992. Diese Form der Visualisierung verzichtete erstmals auf ein *HMD* und nutzte stattdessen stereoskopische Bilder, welche auf die Wände eines Raumes projiziert wurden. Hierbei muss der Nutzer 3D-Shutterbrillen - auch LCD-Shutterbrillen genannt - tragen. Diese Herangehensweise ermöglicht eine deutlich verbesserte Auflösung sowie ein vergrößertes Sichtfeld im Vergleich mit herkömmlichen *HMD*-Systemen [MAZURYK;1996;2].

Die folgenden Jahre waren geprägt von der (Weiter-) Entwicklung neuer und bestehender *HMDs* sowie zugehöriger Software [SHERMAN;2003]. Während die VR in den Hintergrund trat, rückte in den 1990ern Augmented Reality [AR] als eine weitere Form der Visualisierung in den Fokus von Forschung und Entwicklung. Es handelt sich um eine Erweiterung bzw. eine Art Synthese der realen Welt mit zusätzlichen computergenerierten Objekten [KLEIN;2006;1].

Während es ab Mitte der 1990er um VR etwas ruhiger wurde, brach im Jahr 2012 eine neue Welle der Begeisterung los. Impliziert wurde dies mit der Vorstellung des ersten Prototypen der VR-Brille *Oculus Rift* [Vgl.: Kapitel 2.2.3] auf der Computerspielmesse *Electronic Entertainment Expo* [E3]. Die Präsentation erfolgte in Zusammenarbeit mit dem Spieleentwickler John Carmack anhand einer VR kompatiblen Version des Egoshooters *Doom 3*. Entwickelt wurde dieser Prototyp von Palmer Luckey, einem Designer des *Institute for Creative Technologies* der *University of Southern California*. Um das nötige Kapital für eine kommerzielle Umsetzung zu erhalten startete am 1. August 2012 eine Crowdfundingkampagne auf der Online-Plattform *Kickstarter*. Das Ziel 250.000 US-Dollar zu akquirieren wurde weit übertroffen und schlussendlich wurden von fast 10.000 Unterstützten 2,5 Mio US-Dollar gesammelt [OCULUS;2014].

Im März 2014 stellte *Sony* auf der *Game Developers Conference* ein eigenes VR-System vor, das *Project Morpheus* [SONY;2014].

Derzeit sind, sowohl *Oculus Rift* als auch *Project Morpheus* im Entwicklerstadium. Mit einem Release der Consumer-Version ist frühestens 2015 zu rechnen, wobei derzeit keine offiziellen Stellungnahmen der Entwickler bekannt sind.

Um weitere Prognosen für die Zukunft von VR und deren Relevanz und Akzeptanz treffen zu können wird, wie für andere technische Produkte, der *Hype Cycle* von *Gartner* herangezogen [Vgl.: Abbildung 1]. Die Grafik stellt die Trends im Bereich Technik auf einer Hype-Kurve dar, wobei vertikal der Wert für die Erwartungen und Sichtbarkeit und horizontal die Zeitachse verortet sind. Diese beginnt mit einsetzender technischer Innovation [Innovation Trigger] und steigt auf zum Gipfel überhöhter Erwartungen [Peak of Inflated Expectations]. Anschließend sinkt die Kurve ab ins

Tal der Enttäuschungen [Trough of Disillusionment], weil nicht alle Erwartungen zum entsprechenden Zeitpunkt erfüllt werden können. Darauf hin führt die Entwicklung über den Pfad der Erleuchtung [Slope of Enlightenment] auf das Plateau der Produktivität [Plateau of Productivity].

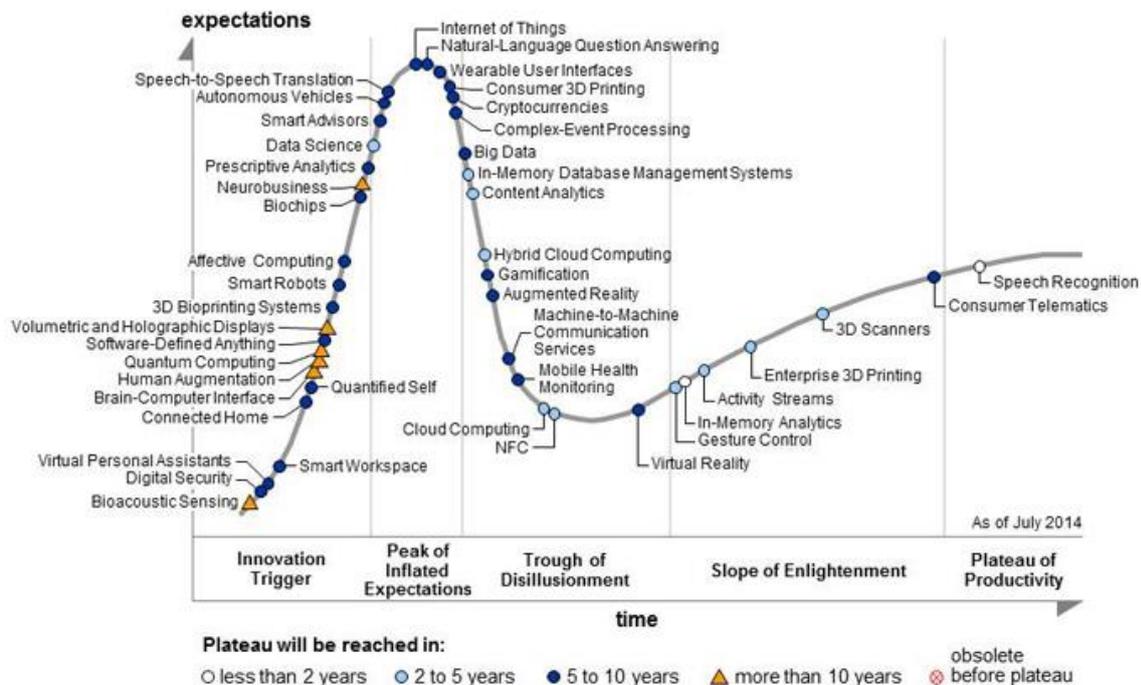


Abbildung 1: Hype Cycle der zukünftigen Technologien nach Gartner [GARTNER;2014]

Nach Gartner scheint VR den aktuellen Erwartungen nicht gerecht geworden zu sein, weshalb es derzeit am Tal der Enttäuschungen verortet ist und eine Marktreife erst in 5 bis 10 Jahren erwartet wird. Die mediale Berichterstattung rund um das aktuelle *Oculus Rift Development Kit 2* sowie *Sony's Project Morpheus* widerlegen jedoch diesen Trend und legen eine Markteinführung mit einhergehender Akzeptanz für das Jahr 2015 nahe.

2.1.3. Anwendungsfelder von Virtual Reality

Aktuelle und zukünftige Anwendungsfelder von VR scheinen keine Grenzen zu kennen. Davon ausgehend kann an dieser Stelle lediglich ein kurzer Überblick über einzelne Forschungsfelder, sowie exemplarische Beispiele gegeben werden.

Besonders deutlich werden die bereits bestehenden Möglichkeiten und das Potential von VR im Fachbereich der Medizin. Hier werden bereits mehrere Anwendungen in der Praxis verwendet und unterliegen einer fortlaufenden Weiterentwicklung. Ein weitverbreitetes Phänomen in der Medizin sind die sogenannten Phantomschmerzen, welche manche Menschen nach der Amputation von Gliedmaßen verspüren. Im Fall von Phantomschmerzen ist es dem Patient zwar möglich das

fehlende Körperteil zu fühlen, jedoch ohne es sehen bzw. kontrollieren zu können. Der Auslöser für diesen Schmerz ist noch unklar und die Behandlung schwierig. Es liegt die Wahrscheinlichkeit nahe, dass das Gehirn die amputierten Gliedmaßen noch wahrnimmt und folglich auch Schmerzausstrahlungen möglich sind. Ausgereifte Therapien für die Behandlung sind bis heute eher unzufriedenstellend, weshalb eine im *Journal Frontiers of Neuroscience* veröffentlichte Studie umso eindrucksvoller erscheint. Hierbei wurde einem seit 48 Jahren an Phantomschmerzen leidenden Patienten mittels Virtuell und Augmented Reality die visuelle Wahrnehmung seines amputierten Armes auf einem *Display* ermöglicht. Darüber hinaus konnte der amputierte Teil des Armes, mit Hilfe von am Stumpf befestigten Elektroden, sogar bewegt werden [Vgl.: Abbildung 2]. Auf Grund der visuellen Wahrnehmung in Verbindung mit der Simulation von Bewegungen verzeichnete der Patient eine drastische Verbesserung des Phantomschmerzes in kürzester Zeit [LIVESCIENCE;2014].



Abbildung 2: Virtual Reality-Behandlung von Phantomschmerzpatienten [LIVESCIENCE;2014]

Eine fachübergreifende Anwendungsmöglichkeit von VR liegt in der medizinischen Ausbildung. Eine seit längerem etablierte Form der Aus- und Weiterbildung stellt die chirurgische Simulation dar. Eine Umfrage aus dem Jahr 2008 ergab für eine selektionierte Stichprobe deutscher Kliniken, dass 14 % mit einer VR-Einheit ausgestattet waren. Beispielsweise handelt es sich um eine VR-Laparoskopiesimulationen, welche die Operation selbst, sowie das chirurgische Instrumentarium beinhalten [Vgl.: Abbildung 3]. In einem virtuellen, anatomisch korrekten Umfeld ist es dem Chirurg möglich, starre und bewegliche Instrumente zu manövrieren und mit den modellierten 3D-Strukturen zu interagieren. Die in Echtzeit verlaufende Simulation ermöglicht in diesem Rahmen auch Gewebemanipulationen wie z. B. das Schneiden. Weitere wichtige Aspekte, wie die verschiedenen Formen der Blutstillungen, können umfassend simuliert werden [BDC;2011].



Abbildung 3: Beispiel für einen VR-Simulator in der Medizin [ORTHO;2014]

Die höchste Medienaufmerksamkeit erhält unentwegt die Unterhaltungsbranche. Die digitale Spieleindustrie nutzt und profitiert von der anhaltenden Aufmerksamkeit von Projekten wie beispielsweise dem *Oculus Rift* oder dem *Project Morpheus*. Ein besonderes Beispiel in der Unterhaltungsbranche stellt die visionäre Verknüpfung einer realen Achterbahnfahrt mit paralleler Visualisierung durch das *Oculus Rift* dar. Eingeleitet wurde dieses Vorhaben im Frühjahr 2014 durch Herrn Professor Wagner der *University of Applied Sciences* in Kaiserslautern. In einer Kooperation mit der Firma *Mack Rides* sowie einer studentischen Projektgruppe entstand der *VR-Coaster*. Die Fragestellung hierbei war, ob es möglich ist die reale Umgebung während einer Achterbahnfahrt durch eine synchronisierte, virtuelle Simulation zu ersetzen [Vgl.: Abbildung 4]. Die zwei zu testenden Achterbahnen, die *Blue Fire* sowie die *Pegasus*, befinden sich im *Europa Park* in Rust [VRCOASTER;2014;A]. Die Erkenntnisse aus einer Vielzahl an Testfahrten spiegeln eindrucksvoll das Potential für den Einsatz von VR in der Unterhaltungsindustrie wieder. Zum Beispiel trat im Vergleich zu einer rein virtuellen Fahrt mit einer Achterbahn, wie dem *RiftCoaster*, keinerlei *Motion Sickness* [Vgl.: Kapitel 2.2.3] oder Benommenheit ein. Dies konnte höchstwahrscheinlich auf Grund der synchronisierten Streckenführung mit der realen Achterbahn erreicht werden, welche den Gleichgewichtssinn simultan mit der realen Umwelt stimuliert [VRCOASTER;2014;B].



Abbildung 4: Impression der Fahrt mit dem VR-Coaster [VRCOASTER;2014;B]

Diese im Verlauf beschriebenen Einsatzfelder spiegeln nur einen Bruchteil der aktuell vorhandenen Möglichkeiten wieder und sollen das zukünftige Potential verdeutlichen. Mit fortschreitender technischer Entwicklung sowie zunehmender Akzeptanz der Technologie, kann die VR unser Leben vielfältig in den unterschiedlichsten Bereichen erleichtern und bereichern.

2.2. Technische Grundlagen

2.2.1. Virtual Reality-Systeme

Ausgehend von den Anforderungen an die Virtuelle Realität [Vgl.: Kapitel 2.1] bedarf es bei einem interagierenden Nutzer ein entsprechendes Virtual Reality-System [VR-System], welches die jeweiligen Aufgaben als Mensch-Maschine-Schnittstelle bewältigen kann. Um den gängigen Anforderungen an ein solches System gerecht zu werden, wird ein Computersystem benötigt, welches in einem ersten Schritt die Handlungen von Benutzern erkennt. Diese müssen darauf hin bei der Simulation berücksichtigt werden und über eine entsprechende Reizerzeugung und Ausgabe für den Nutzer in der virtuellen Welt wahrnehmbar sein. In technischer Hinsicht können die drei hierfür erforderlichen Komponenten in Eingabegeräte, Ausgabegeräte und Recheneinheit unterteilt werden [DÖRNER;2013;21]. Diese werden nachfolgend erläutert und in einem Schema [Vgl.: Abbildung 5] dargestellt.

Die erste Teilkomponente, die **Eingabegeräte**, dienen der sensorischen Erfassung der Nutzerinteraktion. Wie bereits bei der historischen Entwicklung der Virtual Reality [Vgl.: Kapitel 2.1.2] dargestellt wurde, war es früher üblich, viele der hier erforderlichen Sensoren „anzuziehen“. Verbunden waren diese Eingabegeräte meist per Kabel, wodurch sie in Verbindung

mit oftmals hohem Eigengewicht oder ihrer Größe, den Benutzer stark in seiner Immersion eingrenzen [DÖRNER;2013;21].

Neben dem Tracking, dem Erfassen bzw. Verfolgen von Objekten, mittels mechanischer Eingabegeräte, wurde im zeitlichen Verlauf zunehmend auf elektromagnetische oder auf ultraschallbasierte Geräte zurückgegriffen. Aktuell geht der Trend hin zu optischen Verfahren basierend aus Systemen von einer oder mehreren Kameras. Grundsätzlich kann unterschieden werden, ob sogenannte Marker zum Tracking verwendet werden, welche durch ihre Farbe, Form, oder Reflexionseigenschaften leicht erfasst werden können, oder ob das Verfahren markerlos erfolgt. Die Verwendung mehrerer Kameras bietet eine Möglichkeit die Genauigkeit im Rahmen des optischen Trackings zu verbessern. Dadurch können zudem Situationen vermieden werden, bei denen das Tracking auf Grund einer verdeckten Kamera fehlschlagen würde [DÖRNER;2013;21].

Um eine möglichst umfassende Erkennung der Nutzerinteraktion zu ermöglichen, werden meist mehrere Eingabegeräte gleichzeitig genutzt. Die gesammelten Sensordaten müssen hierbei in einer geeigneten Form zusammengefasst werden [*Sensorfusion*], so dass sie plausible und verlässliche Daten liefern, welche sich nicht widersprechen [DÖRNER;2013;21].

Das Pendant zu den zuvor aufgeführten Eingabegeräten bilden die **Ausgabegeräte**. Die Aufgabe dieser Geräte ist es, dem Nutzer über eine entsprechende Reizerzeugung [optisch, akustisch, haptisch] die Virtuelle Welt darzustellen. Diese Umwandlung des digitalen Modells in für den Nutzer wahrnehmbare Form wird als *Rendering* bezeichnet. Wie bereits im Rahmen der Begriffsbestimmung [Vgl.: Kapitel 2.1.1] angeführt wurde, ist es für einen möglichst hohen Grad der Immersion erforderlich nahezu alle Sinnesorgane bzw. Wahrnehmungskanäle des Nutzers anzusprechen, welcher er sich auch in der realen Welt bedient [DÖRNER;2013;23].

Das Bindeglied zwischen Ein- und Ausgabegeräten stellt die **Recheneinheit** dar, welche die Aufgabe der Weltensimulation übernimmt. Hierbei werden die von den Eingabegeräten erfassten Sensordaten mit entsprechenden Simulationsmodellen oder Modellen auf Basis von künstlicher Intelligenz verknüpft. Das digitale Modell der Welt legt den Rahmen der virtuellen Realität fest [DÖRNER;2013;23].

Einen Überblick über den Aufbau eines VR-Systems zeigt die nachfolgende Abbildung [Vgl.: Abbildung 5]. Auf der linken Seite sind mögliche Sensoren dargestellt, welche als Grundlage für Eingabegeräte fungieren können. Gegenüberliegend sind die Ausgabegeräte verortet und mittels entsprechendem Wahrnehmungskanal veranschaulicht. Verbunden werden diese durch die

Recheneinheit, welche unter anderem für die Sensorfusion und das Rendering zuständig ist [DÖRNER;2013;240].

Auch wenn nicht alle VR-Systeme wie nachfolgend dargestellt aussehen, so folgt ihr Aufbau im Wesentlichen dem dargestellten Schema. Je nach Anforderungen werden spezifische Sensoren als Eingabegeräte gewählt und kombiniert, sowie die Ausgabe für den jeweiligen Anwendungszweck mittels geeignetem Ausgabegerät umgesetzt.

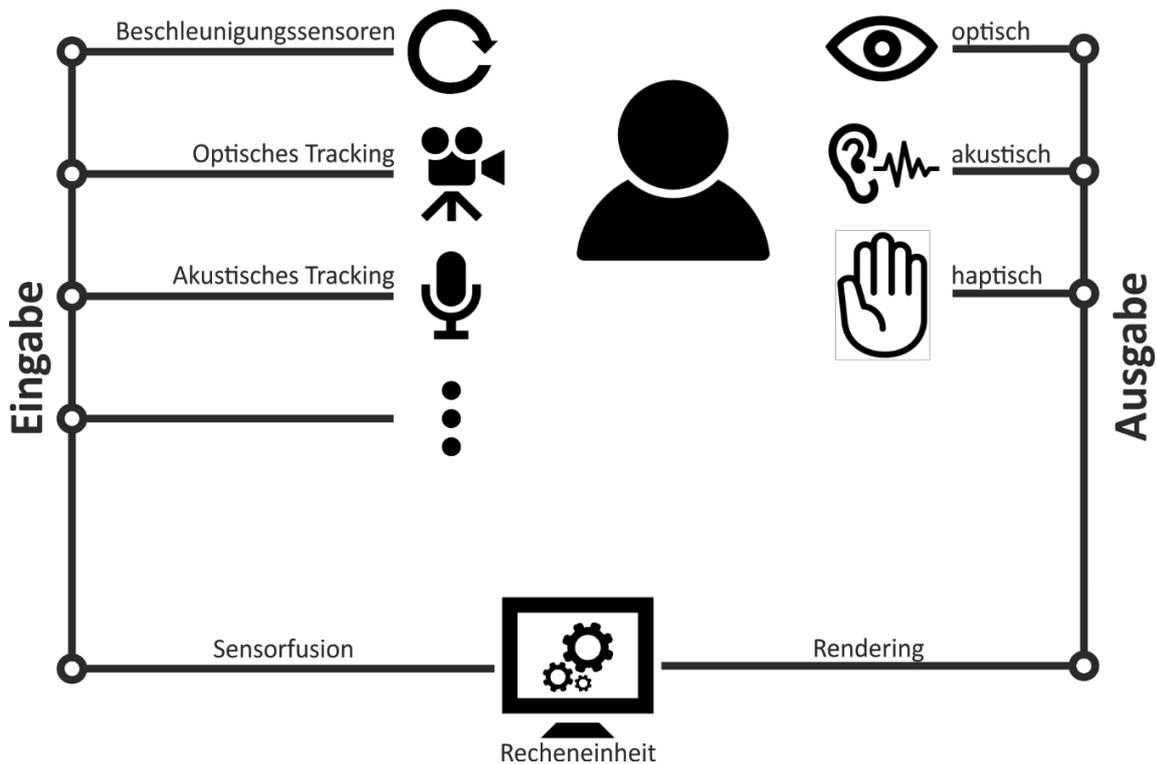


Abbildung 5: Teilsysteme eines Virtual Reality-Systems im Überblick [DÖRNER;2013;127;modifiziert].

2.2.2. Ausgabegeräte

„Das Ziel der visuellen Ausgabe ist es, dem Nutzer die Virtuelle Welt so visuell darzustellen, dass er sie in der gleichen Art wahrnehmen kann wie die reale Welt“ [DÖRNER;2013;127]. Die diversen Ausgabegeräte zur Visualisierung haben den größten Einfluss auf die Immersion und Wahrnehmung der virtuellen Realität. Folglich muss hierfür das dreidimensionale Modell der Virtuellen Welt in ein sinnvolles Bild überführt werden. Diese essentielle Aufgabe wird von diversen *Displays* übernommen, welche im Rahmen der VR Verwendung finden. Der Überbegriff des *Displays* umfasst nachfolgend Monitore, Projektionssysteme als auch *Head-Mounted Displays* [DÖRNER;2013;127].

An die genannten visuellen Ausgabegeräte ergeben sich aus Nutzersicht unterschiedliche Anforderungen, welchen das VR-System gerecht werden muss. Als zentral gilt eine möglichst hohe

Auflösung mit hohem Kontrast, als auch eine möglichst geringe Latenz. Des Weiteren bedarf es einem möglichst großen Sichtfeld [*Field of View*], welches durch das *Display* abgedeckt wird ohne dabei räumliche Grenzen aufzuweisen. Jedoch gilt zu beachten, dass keine der drei genannten Darstellungsmethoden diese Anforderungen in vollem Umfang erfüllen kann [DÖRNER;2013;127].

Im Zuge dieser Arbeit kann nicht jeder Displaytyp vertieft betrachtet werden, weshalb lediglich auf die im Anschluss verwendete Ausgabeform eingegangen wird, wobei es sich um *Head-Mounted Displays* handelt, zu welchen auch das *Oculus Rift* zählt. Bei einer direkten Übersetzung ins Deutsche können *HMDs* als „am Kopf befestigte Anzeigen“ verstanden werden. Folglich wird ein mobiles Anzeige- und Interaktionssystem in Form einer Datenbrille oder eines Helms am Kopf des Benutzers befestigt. Dabei wird auf einem miniaturisierten *Display* ein virtuelles Bild erzeugt, welches für den Benutzer mittels einer Optik wahrnehmbar gemacht wird [DÖRNER;2013;142].

Die in das *HMD* integrierte Sensorik sowie das *Display* selbst werden über eine spezifische *HMD*-Elektronik angesteuert. Eine Recheneinheit übermittelt die notwendigen Videodaten über entsprechende Schnittstellen zum *HMD* [DÖRNER;2013;142].

Wie bereits erwähnt, ist die zentrale Aufgabe eines VR-Systems den Benutzer in eine virtuelle Welt zu versetzen und in dieser einen möglichst hohen Grad an Immersion zu erreichen. Den dahingehend größten Einfluss auf das Gefühl der virtuellen Wahrnehmung hat hierbei das sogenannte *Field of View* [*FOV*] [Vgl.: Abbildung 6]. Darunter versteht man den horizontalen und vertikalen Anzeigewinkel, dessen Ausgangspunkt das Auge des Benutzers bildet. „Je größer das *FOV* ist, desto stärker ist die Wahrnehmung des Nutzers, in eine Virtuelle Welt versetzt zu werden, da diese umso weiträumiger angezeigt wird“ [DÖRNER;2013;143].

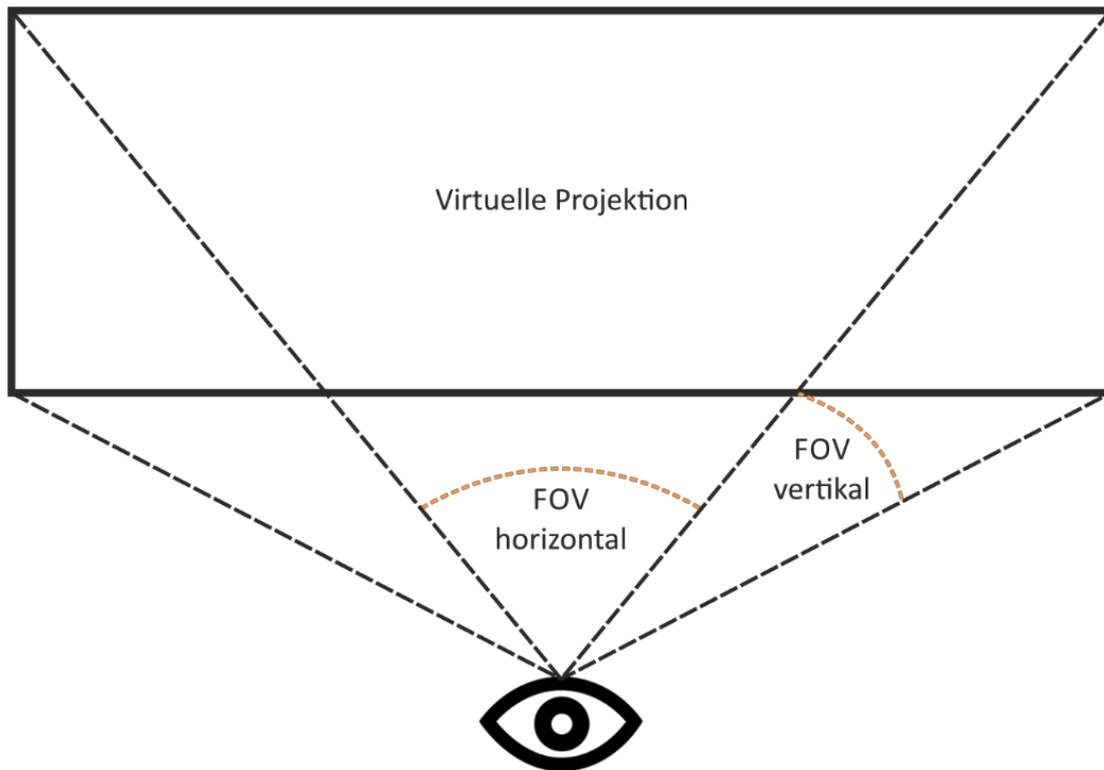


Abbildung 6: FOV eines monokularen HMDs [DÖRNER;2013;143;modifiziert]

Die vorangegangene Erläuterung zur Thematik FOV bezieht sich auf monokularen HMDs, welche demnach ein Auge als Bezugspunkt haben. Neben dieser Form der visuellen Ausgabegeräte existieren noch bi-okulare und binokulare HMDs. „Bi-okular bedeutet, dass man mit beiden Augen, ähnlich wie bei Mikroskopen, durch eine Optik ein Objekt betrachtet“ [DÖRNER;2013;143]. Eine große Bedeutung besitzen die binokularen HMDs, zu welchen auch das *Oculus Rift* zählt. Aufgebaut sind diese grundsätzlich aus zwei separaten monokularen Optiken, wobei jedes Auge ein Objekt über eine eigene Optik wahrnimmt. Dieser Aufbau kann mit einem stereoskopischen Fernglas verglichen werden [DÖRNER;2013;143]. Für die Aufbereitung des FOV von binokularen HMDs ist es notwendig, das Prinzip des monokularen FOV auf zwei Augen zu übertragen. Dabei entstehen mehrere zu berücksichtigende FOV-Bereiche. Die nachfolgende Darstellung [Vgl.: Abbildung 7] zeigt die verschiedenen Darstellungsbereiche eines binokularen HMDs mit parallelen optischen Achsen auf. Im Zentrum entsteht für den Nutzer eine binokulare Überschneidung, das sogenannte binokulare FOV. Hierbei setzt das Gehirn des Anwenders die Projektionen des linken und des rechten Bildes zu einem Gesamtbild zusammen. Des Weiteren wird von jedem Auge ein dem äußeren Bildrand des Displays zugeordnetes Bild wahrgenommen. Für den Benutzer entsteht ein gesamtes FOV, welches aus den Bildrändern des rechten und linken Auges sowie des überlappenden binokularen FOVs besteht [DÖRNER;2013;144].

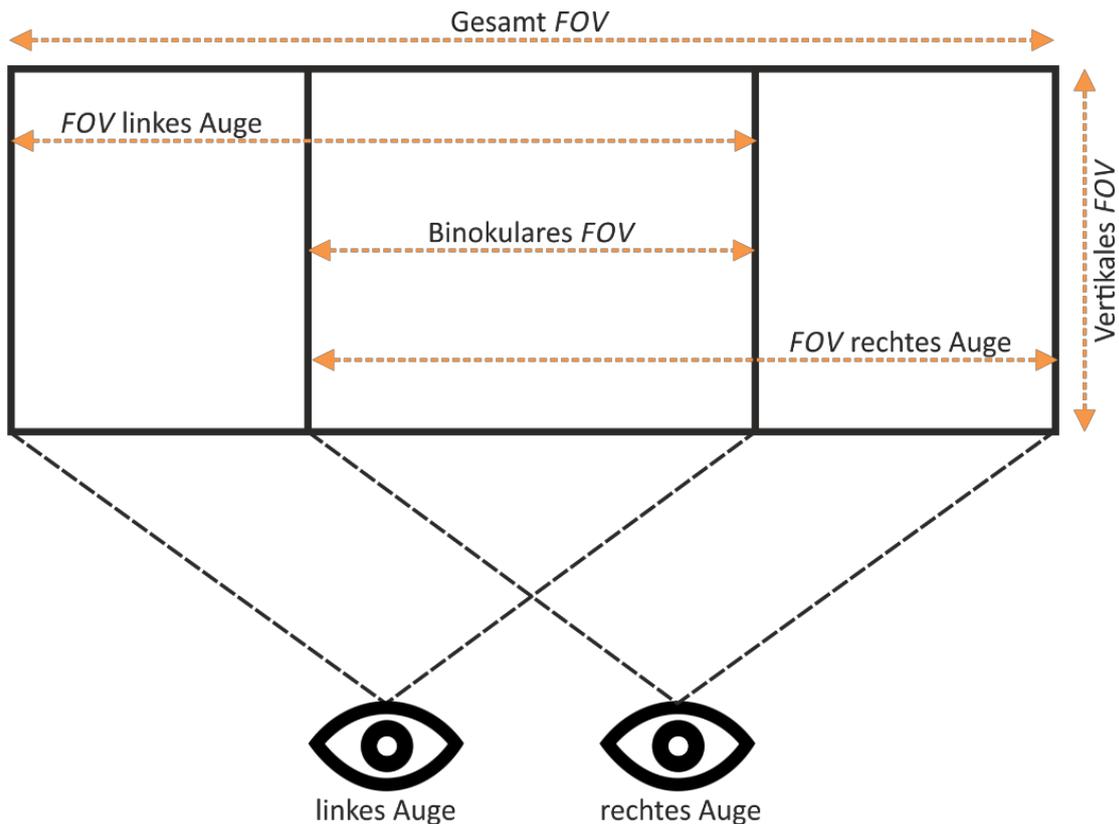


Abbildung 7: FOV eines binokularen HMDs [DÖRNER;2013;144;modifiziert]

Neben dem FOV spielen weitere Parameter eine entscheidende Rolle bei der Realisierung einer hochwertigen virtuellen Realität. Diese umfassen unter anderem die **Frontleuchtdichte**, welche die Helligkeit des eingeblendeten Bildes angibt. Diese Kenngröße ist vergleichbar mit der Helligkeitsangabe bei Computermonitoren. Der wesentliche Unterschied zwischen HMDs und normalen Monitoren besteht darin, dass bei einem Computermonitor direkt auf die Anzeige geschaut wird und bei HMDs das Bild über eine Optik vergrößert und virtuell dargestellt wird [DÖRNER;2013;144].

Ein weiterer mit der Frontleuchtdichte eng verknüpfter Parameter ist der **Kontrast**. Im Allgemeinen spiegelt der Kontrast das Verhältnis zwischen hell und dunkel wieder. Bei Monitoren entspricht dies dem Verhältnis zwischen einem dunklen und einem maximal leuchtenden Pixel. Wird diese Definition auf HMDs übertragen, ist das Verhältnis zwischen einem dunklen und einem maximal hellen Pixel des virtuell projizierten Bildes von Bedeutung [DÖRNER;2013;144].

Zur Bewertung der Qualität einer Projektion wird die Homogenität des Bildes herangezogen. Sie beschreibt, wie gleichmäßig die Darstellung umgesetzt wird. Bei einer Darstellung im Vollbild mit einheitlicher Farbe beschreibt die Homogenität, die Gleichmäßigkeit der gesamten hellen Pixel für den Nutzer [DÖRNER;2013;144].

Neben diesen genannten Parametern spielen die **Displayfarben** sowie die **Reaktionszeit** eine wichtige Rolle [Vgl.: Kapitel 2.2.3]. Die angezeigten Farben werden mittels dem CIE-Normvalenzsystem oder CIE-Normfarbsystem definiert, um ein Verhältnis zwischen der menschlichen Farbwahrnehmung [Farbe] und der physikalischen Ursache des Farbreizes [Farbvalenz] herzustellen [CIE;2014].

In der Fachliteratur sind die **Direktsicht-HMDs** als einfachste und häufigste Variante der *HMDs* beschrieben, zu welchen auch das *Oculus Rift* zählt. Hierbei erfolgt eine Direktsicht des Nutzerauges über eine integrierte Vergrößerungsoptik auf das *Display* des *HMD*. Mit dieser Form des Ausgabegeräts kann lediglich die virtuelle Umgebung dargestellt werden, wobei die reale Umwelt gänzlich ausgeblendet wird [DÖRNER;2013;147ff].

Direktsicht-*HMDs* werden beispielsweise bei Videospielekonsolen oder mobilen Mediaplayern zur Visualisierung verwendet. Sie bieten im Vergleich zu Notebooks die Möglichkeit Bilder oder Videos in Kinoleinwandgröße zu realisieren. Dadurch kann in kleinen Räumen der gleiche räumliche Eindruck wie in einem Kino vermittelt werden. Neben den Vorteilen im Bereich der Visualisierung, stellt die einfachere Konstruktion im Vergleich zu anderen Virtual Reality-Ausgabegeräten einen essentiellen Vorteil dar. Darüber hinaus bedarf es bei Direktsicht-*HMDs* auf Grund ihrer Abschattung zur Außenwelt lediglich einer geringeren Hintergrundbeleuchtung, sodass das *Display* nur eine geringe Frontleuchtdichte bereitstellen muss [DÖRNER;2013;148].

Die grundlegende Architektur von Direktsicht-*HMDs* kann dem nachfolgenden Schema [Vgl.: Abbildung 8] entnommen werden. Die wichtigsten Bestandteile sind entsprechend ihrer Anordnung im Ausgabegerät dargestellt.

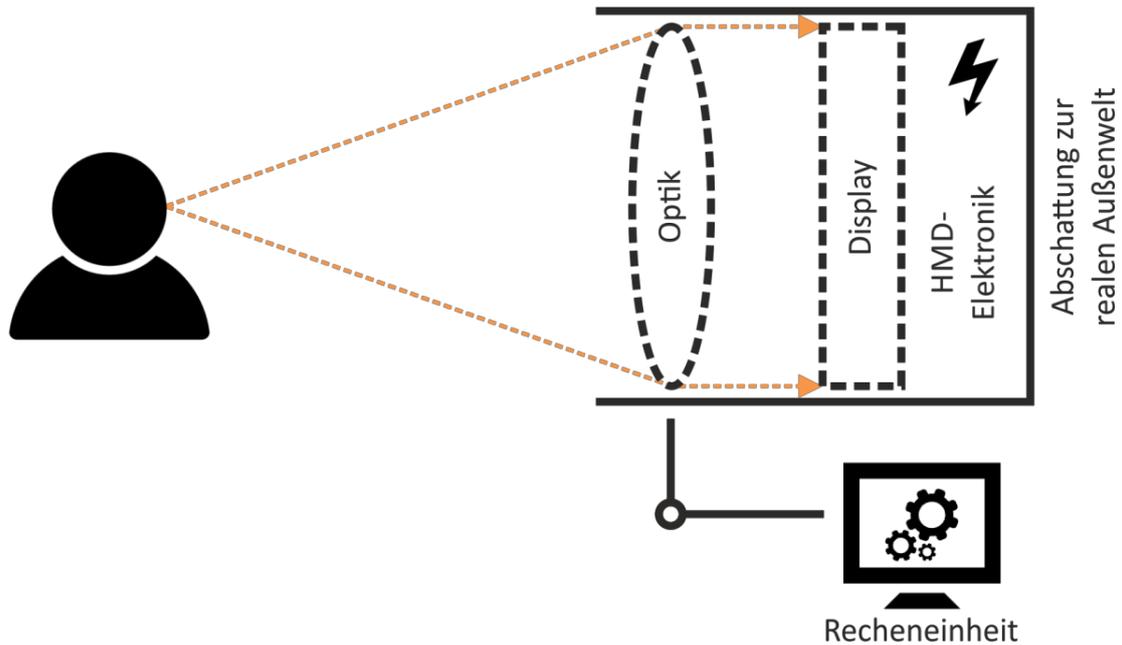


Abbildung 8: Aufbau eines HMDs [DÖRNER;2013;147;modifiziert]

2.2.3. Oculus Rift

Im August 2012 warben die Entwickler des *Oculus Rift* mit nachfolgendem Auftritt [Vgl.: Abbildung 9] auf der Crowdfunding Plattform *Kickstarter* um Unterstützer für ihre Vorstellung eines VR-Headsets. Das gesetzte Ziel für eine Realisierung waren zu diesem Zeitpunkt 250.000 US \$, was bereits nach kürzester Zeit erreicht wurde. Den größten Teil machten dabei 300 US \$ Spenden aus, für welche man einen vollfunktionsfähigen Entwicklerprototyp inklusive einer Version des Spiels *Doom 3 BFG Edition* erhalten sollte. Auf Grund der hohen Resonanz wurde das Angebot an beziehbaren Entwicklersets erhöht und das gesetzte Ziel weit übertroffen. Mit dem Ende der Kickstarterkampagne wurden insgesamt 2.437.429 US \$ von über 9.500 Unterstützern gesammelt. Seit dem Abschluss der Kampagne können über die offizielle Homepage von *Oculus*, die aktuellen Entwicklerkits (vor-)bestellt werden [BLOCULUS;2014].



Abbildung 9: Kickstarter-Kampagne für das *Oculus Rift* aus dem Jahr 2012 [KICKSTARTER;2014]

Der ursprüngliche Ansatz, die sogenannten Developer Kits [DK] selbst zusammen zu bauen und zu versenden, musste auf Grund der enorm hohen Anzahl an bestellten Kits von *Oculus* verworfen werden. Als Folge dessen wurde der geplante Erstauslieferungstermin von Dezember 2012 auf einen bis dato unbestimmten Zeitpunkt verschoben. Als Entschädigung erhielten die Unterstützer jedoch ein industriell gefertigtes DK, das auch einige technische Verbesserungen enthielt [BLOCULUS;2014].

Im Nachfolgenden wird auf die Developer Kits 1 [DK1] und 2 [DK2] eingegangen sowie Vergleiche ihrer technischen Eigenschaften aufgezeigt. Hierbei werden Vorteile, sowie bestehende Probleme aufgezeigt und die zukünftige Entwicklung und deren Potential eingeordnet. Es ist dabei anzumerken, dass für eine genauere Betrachtung lediglich ein DK1 zur Verfügung steht und die Vor- und Nachteile sowie Potentiale der aktuellen Fachpresse entnommen sind.

Tabelle 2: Vergleich der technischen Eigenschaften des *Oculus Rift* DK1 und DK2 [IN2GPU;2014]

| Eigenschaften | DK1 | DK2 |
|--|----------------------------|-----------------------|
| Bildschirmauflösung | 1280 x 720 | 1920 x 1080 |
| Display | LCD | OLED |
| Bildschirmgröße | 7" | 5.7" |
| Bildschirmtyp - Modell | Innolux HJ070IA-02D 7" LCD | Samsung Galaxy Note 3 |
| Latenz | 50 ms – 60 ms | 20 ms – 40 ms |
| Low Persistence | - | ✓ |
| Aktualisierungsrate | 60Hz | 75Hz |
| Orientierungstracking | ✓ | ✓ |
| Positionstracking | - | ✓ |
| Gyroskope, Beschleunigungsmesser, Magnetometer | ✓ | ✓ |
| FOV | 110° | 100° |
| 3D | Stereoskopisch | Stereoskopisch |
| Gewicht (Headset) | 380 g | 440 g |

Die in Tabelle 2 aufgeführten technischen Eigenschaften werden entsprechend ihrer Auflistung näher betrachtet. Während beim DK1 noch ein 7" *LCD-Display* mit einer Auflösung von 1280 x 720 Pixeln verwendet wird, handelt es sich beim DK2 bereits um ein *Full-HD-OLED-Display* mit einer Auflösung von 1920 x 1080. Die Auflösung per Auge liegt in beiden Fällen deutlicher darunter. Beim DK1 sollte die Auflösung theoretisch bei 640 × 800 Pixel liegen, jedoch wird auf Grund der

softwarebedingten Vorverzerrung effektiv nur eine Auflösung von etwa 512 x 560 Pixeln erreicht [Vgl.: Abbildung 10] [REDDIT;2013]. Gleiches gilt auch für das DK2, dessen Auflösung demnach auch unter den angegebenen 960 x 1080 Pixeln per Auge liegt.



Abbildung 10: Darstellung der tatsächlichen Auflösung des DK1 [OCULUSUNITY;2014]

Um die Projektion des *Displays* überhaupt stereoskopisch und mit räumlicher Tiefe wahrnehmen zu können, bedarf es einer entsprechenden Optik. Der Unterschied zwischen DK1 und DK2 ist hierbei erheblich. Die größere und stärkere Linse des DK2 ist auf Grund des kleineren *Displays* erforderlich, welches das Headset leichter machen sollte [Vgl.: Abbildung 11] [IN2GPU;2014]. Diese Gewichtsreduktion konnte jedoch nicht erreicht werden, da weitere Komponenten, primär für das Positions- und Orientierungstracking, beim DK2 implementiert wurden. Dementsprechend stieg das Gewicht von 380 auf 440 Gramm an.



Abbildung 11: Vergleich der Optik des DK1 und DK2 [IN2GPU;2014]

Das *FOV* des DK1 liegt nominal bei etwa 110° und wurde beim DK2 auf 100° reduziert. Dies resultiert aus dem veränderten Seitenverhältnis des neuen *Displays*, welches von 16:10 beim DK1 auf 16:9 beim DK2 geschrumpft ist [IN2GPU;2014].

Neben den Linsen ist die bereits aufgeführte Displayauflösung von essentieller Bedeutung. Durch die Vergrößerung der Linsen und die Lage des *Displays* nahe am Auge des Nutzers werden nicht nur die einzelnen Pixel, sondern sogar die Zwischenräume zwischen diesen sichtbar. Dieses schwarze Gitter zwischen den Bildpunkten wird in der Fachliteratur als *Fliegengittereffekt* bzw. *Screendoor*-Effekt bezeichnet [IN2GPU;2014]. Es handelt sich dabei um ein permanent sichtbares Bildartefakt bei digitalen Videoprojektoren, das überwiegend bei *LCD-Displays* auftritt [SCREENDOOR;2014]. Das Gitter wird umso deutlicher, je geringer die Displayauflösung ist. Diese Problematik wurde beim DK2 im Vergleich zum DK1 bereits deutlich reduziert [Vgl.: Abbildung 12].



Abbildung 12: *Screendoor*-Effekt im Vergleich [OCULUSSIM;2014]

Der *Low Persistence*-Modus des DK2, ermöglicht den *Motion Blur*-Effekt, also die Bewegungsunschärfe sowie das damit verbundene Ruckeln bei Bewegungen nahezu vollständig zu eliminieren. Während dieser Effekt beim DK1 zur sogenannte *Motion Sickness* führte, welche mit Schwindel und teilweise Übelkeit einhergeht, stellt dieser beim DK2 kein Problem mehr da.

Ermöglicht wird dies durch das verwendete *OLED-Display*, das mit einer Aktualisierungsrate von 75 Hz arbeitet. Bei dieser Geschwindigkeit der Aktualisierung leuchten ein Pixel und seine Subpixel für etwa 13 Millisekunden. Diese Leuchtdauer wird von der menschlichen Wahrnehmung als Störung empfunden. Hingegen bleibt die Leuchtdiode im *Low Persistence*-Modus nur eine Millisekunde an [GOLEM;2014]. Die Funktionsweise dieses Modus wird in Abbildung 13 veranschaulicht. In der obersten Zeile ist die Fokussierung auf einen Bezugspunkt während einer Kopfbewegung mit Rotation nach rechts dargestellt. Auf Grund des *Vestibulookulären Reflex*, welcher eine stabile visuelle Wahrnehmung auch bei plötzlicher Kopfbewegung ermöglicht [REFLEX;2014], ist es möglich den Bildpunkt unterbrochen zu fokussieren. Die zweite Zeile zeigt den gleichen Vorgang, mit dem Unterschied, dass ein *Display* wie bei einem *HMD* die Wiedergabe dieses Bildpunktes übernimmt. Hierbei müsste der Bildpunkt auf dem *Display* der Bewegung des Benutzers in Echtzeit folgen. In Folge der deutlich höheren Aktualisierungsrate des menschlichen Auges gegenüber dem verwendeten *Display* des DK1 (lediglich 60Hz) kommt der *Motion Blur*-Effekt in Zeile drei zu tragen. Bei jeder Bildaktualisierung kommt es zu einer visuellen Verschiebung des zu fokussierenden Bildpunktes, was sich in „Schlieren“ und Ruckeln manifestiert. Dieses Problem wurde beim DK2 mittels des *OLED-Displays* mit einer Aktualisierungsrate von 75Hz nahezu vollständig gelöst, was in der vierten Zeile dargestellt ist. Im "*Low Persistence*"-Modus erfolgt die Beleuchtung des *Displays* in nur einer Millisekunde, sobald das Bild an der für das Auge richtigen Stelle ist und schaltet dann ab. Folglich ist die Anzeige die meiste Zeit schwarz und lediglich für eine kurze Zeitspanne erfolgt eine Visualisierung. Dieses Vorgehen ermöglicht eine Wahrnehmung nahezu ohne *Motion Blur*-Effekt und erhöht die Immersion der virtuellen Präsenz [EVRYDAYVR;2014].

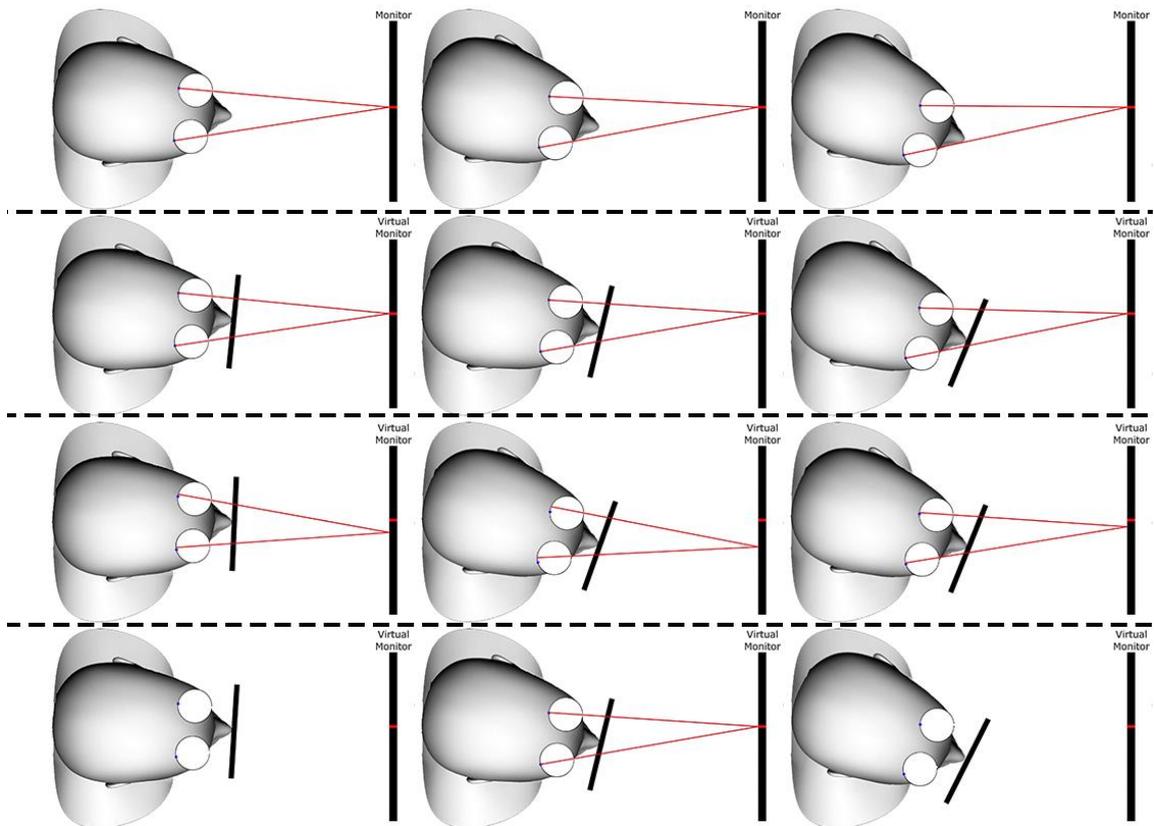


Abbildung 13: Funktionsweise des „Low Persistence“-Modus im DK2 [EVRYDAYVR;2014]

Neben dem *Display* und dessen Spezifikationen sind die Orientierung und Positionierung im virtuellen Raum ein essentieller Bestandteil des VR-Systems. Diese erfolgen sowohl im DK1 als auch im DK2 mit einer Kombination aus Gyroskop, Beschleunigungsmesser und Magnetometer, wie sie heutzutage in jedem Smartphone gängig sind. Herausragend ist die Aktualisierungsrate des Orientierungstrackings beim DK2 von 1000Hz, was einer Aktualisierung pro Millisekunde entspricht.

Im Gegensatz zum DK1 enthält das DK2 ein infrarotgestütztes Positionstracking. Hierbei erfasst eine Infrarotkamera die im Headset verbauten IR-LEDs, welche für das menschliche Auge nicht sichtbar hinter einer Abdeckung verarbeitet sind [Vgl.: Abbildung 14]. Zum Einen wird die Orientierung des Kopfes unterstützt und zum Anderen ermöglicht dies eine Bewegungserfassung des Körpers. Folglich ist es möglich, Bewegungen des Oberkörpers zu erfassen und in entsprechende Anwendungen zu integrieren [IN2GPU;2014].



Abbildung 14: Positionstracking mit Hilfe eines Infrarotsystems beim DK2 [OCULUSVR;2014]

Neben den Neuerungen des DK2 weist dieser Entwicklungsstand auch Schwächen und Probleme auf. Dabei aufzuführen ist vor allem die nichtverstellbare Interpupillardistanz [IPD] der verwendeten Optik. Bei zu großer bzw. zu kleiner Interpupillardistanz erfolgt die Darstellung von Bildern unscharf und verzerrt [IN2GPU;2014]. Darüber hinaus stellt der Tragekomfort beim DK1 und DK2 ein verbesserungswürdiges Kriterium dar. Insbesondere Brillenträger sind beim Anpassen des *Oculus Rifts* stark eingeschränkt.

Zusammenfassend wurden bereits erhebliche Fortschritte vom DK1 zum DK2 erreicht. Grundsätzliche Probleme, wie der *Motion Blur*-Effekt und die hiermit verbundene *Motion Sickness* konnten nahezu vollständig beseitigt werden. Des Weiteren weist das DK2 bereits eine weitaus höhere Auflösung auf, welche den Grad der Immersion weiter steigert. Auch das Position- und Orientierungstracking wurde mit Hilfe des Infrarotkamarasystems gesteigert. Es gilt jedoch anzumerken, dass das DK2 lediglich einen Prototypen darstellt und mit weiteren Verbesserungen hin zur finalen *Consumer Version* [CV] zu rechnen ist. Mit hoher Wahrscheinlichkeit werden folglich noch bestehende Kritikpunkte wie die nicht verstellbare Interpupillardistanz in der CV behoben.

2.2.4. Aktuelle und zukünftige Entwicklungen

Neben dem aktuell bekanntesten Vertreter der VR-Systeme, dem *Oculus Rift*, rücken aktuell noch weitere Produkte in den Fokus der Fachpresse und der breiten Öffentlichkeit. So kündigte *Sony Computer Entertainment* Mitte März 2014 ihr eigenes VR-System an. Dieses wird unter dem Namen „*Project Morpheus*“ [Vgl.: Abbildung 15] geführt und soll als *HMD* für die *Playstation 4* und eventuell auch über diese Plattform hinaus realisiert werden [SONY;2014].



Abbildung 15: VR-Headset *Project Morpheus* von *Sony Computer Entertainment* [PS4F;2014]

Die aktuelle technische Ausstattung des VR-Prototyps von *Sony* ähnelt einem Hybrid aus DK1 und DK2 von *Oculus*. Derzeit ist ein 5" *LCD-Display* mit einer Auflösung von 1920 x 1080 Pixel verbaut, was nach Angaben von *Sony* 960 x 1080 per Auge entspricht. Jedoch dürfte, wie auch beim *Oculus Rift*, die tatsächliche Auflösung sowie das *FOV* von nominal 90° etwas geringer ausfallen. Das Tracking erfolgt beim *Project Morpheus* mittels Gyroskop und Beschleunigungsmesser. Besonderen Wert legt *Sony* neben der visuellen Umsetzung auf die Akustik. Demnach wird ein hoch immersives 3D-Audiosystem Bestandteil der Entwicklung sein [SONY;2014].

Dass der Eintritt in die virtuelle Welt nicht zwangsläufig teuer sein muss, zeigte im Frühjahr 2014 *Google* auf ihrer Entwicklerkonferenz. Hier präsentierte das Unternehmen das sogenannte *Google Cardboard*, ein VR-System aus handelsüblicher Pappe mit einem Smartphone als *Display* [Vgl.: Abbildung 16].

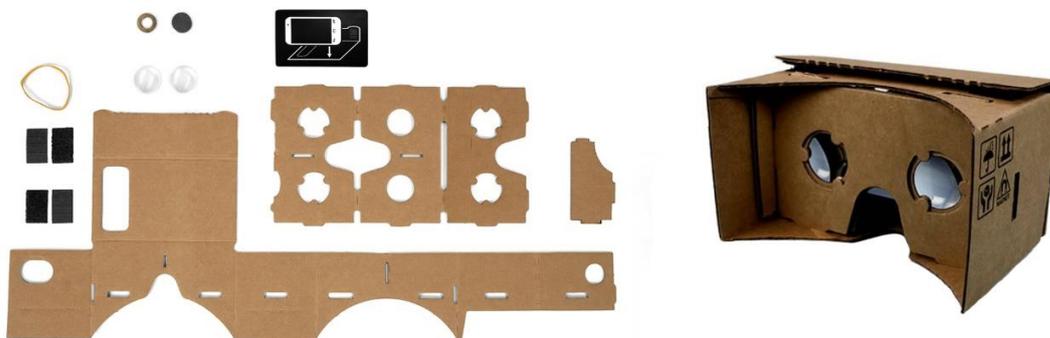


Abbildung 16: *Google Cardboard* - VR zum selber basteln [GOOGLE;2014]

Mittels zwei integrierter Linsen ist es dem Benutzer möglich, ein stereoskopisches Bild anzuzeigen. Zudem befindet sich ein Magnet an der Papphülle, welcher die Steuerung der dazugehörigen App

ermöglicht. Dabei erkennt das verwendete Smartphone die Veränderung im Magnetfeld beim Verschieben und erlaubt eine Steuerungsfunktion [T3N;2014].

Die aufgeführten aktuellen Entwicklungen spiegeln nur einen Bruchteil der neuauftretenden Begeisterung für VR wieder und sollen das mediale und öffentliche Interesse verdeutlichen. In den folgenden Monaten sind daher weitere technologische Fortschritte, wie die Veröffentlichung der *Consumer Version* des *Oculus Rift*, zu erwarten.

2.3. Zwischenfazit

Die Technologie der Virtual Reality bietet die Möglichkeit mit Hilfe von geeigneten Systemen den Menschen in Virtuelle Welten zu versetzen. Es entsteht eine gänzlich neue Welt in die sich der Benutzer je nach Grad der Immersion mehr oder weniger hinein versetzen und diese erleben kann. Die VR ist hierbei durch wesentliche Charakteristika gekennzeichnet. Die Wichtigste ist die Immersion, welche nach Slater und Wilbur auf den technischen Eigenschaften von Ausgabegeräten gründet [*Inclusive; Extensive; Surrounding; Vivid*]. Weitere Merkmale sind die Virtuellen Welten, in welchen sich der Anwender bewegt, sowie deren Echtzeitfähigkeit und Interaktivität.

Um in die virtuelle Realität eintauchen zu können, bedarf es bei einem interagierenden Nutzer ein entsprechendes Virtual Reality-System, welches die jeweiligen Aufgaben als Mensch-Maschine-Schnittstelle bewältigen kann. Um den gängigen Anforderungen an ein solches System gerecht zu werden, wird ein Computersystem benötigt, welches in einem ersten Schritt die Handlungen von Benutzern erkennt. Des Weiteren müssen diese Handlungen berücksichtigt und über eine entsprechende Reizerzeugung und Ausgabe für den Nutzer in der virtuellen Welt wahrnehmbar gemacht werden. In technischer Hinsicht können die erforderlichen Komponenten in Eingabegeräte, Ausgabegeräte und Recheneinheit unterteilt werden.

Das derzeit bekannteste VR-System ist das *Oculus Rift*, dessen Entwicklung im Jahr 2012 über die Crowdfunding Plattform *Kickstarter* erfolgreich finanziert wurde. Das Projekt wurde von über 9.500 Unterstützern mit insgesamt 2.437.429 US \$ gefördert. Seit dem Abschluss der Kampagne können über die offizielle Homepage von *Oculus*, die aktuellen Entwicklerkits (vor-)bestellt werden. Das aktuelle DK 2 wird seit August 2014 verschickt und stellt die Weiterentwicklung der seit 2012 erhältlichen Variante dar. Es handelt sich jedoch nach wie vor um einen Prototypen, welcher für Forschungs- und Entwicklungszwecke gedacht ist. Dem entsprechend sind noch nicht alle Schwächen behoben und es werden fortlaufend Verbesserungen an Hard- und Software bis zu dessen Marktreife vorgenommen. Es ist jedoch festzuhalten, dass das

Oculus Rift einen erheblichen Beitrag für den technischen Fortschritt und die Akzeptanz im Bereiche der VR liefert und eine Vielzahl von Folgeprojekten hervorgerufen hat.

Einen besonderen Beitrag zur Verfügbarkeit von VR für die breite Masse hat das *Cardboard* von *Google* geleistet. Die günstige und simple Konstruktionsweise aus Karton mit zwei Linsen, in Verbindung mit der nahezu umfassenden Verfügbarkeit von Smartphones der aktuellen Generation, ermöglichen ein VR-Erlebnis ohne die Prämisse eines aufwendigen und teuren VR-Systems. Auch wenn die Leistungsfähigkeit derzeit durch die technischen Entwicklungen im Bereich der mobilen Endgeräte eingeschränkt ist, wird diese in naher Zukunft mit hoher Wahrscheinlichkeit kein Hindernis mehr darstellen.

3. Virtual Reality in der Praxis

3.1. Zielsetzung der Anwendung von Virtual Reality im Planungsprozess

Ziel der Arbeit ist es, die Anwendungsmöglichkeiten von VR als Visualisierungsinstrument anhand eines Beispiels aufzuzeigen. Diese sind sowohl in der Planung im Rahmen der Überprüfung von Proportionen und Raumgestaltung, als auch in der Visualisierung und Kommunikation in externen Planungsprozessen zu finden. Die Grundlage bildet ein abgegrenztes Plangebiet, in welchem verschiedene dreidimensionale Visualisierungsmodelle dem Gebäudebestand gegenübergestellt werden sollen. Die anschließende Ausgabe soll über geeignete Virtual Reality-Systeme für die mobile und desktopbasierte Darstellung erfolgen. Hierbei soll der Ablauf des Visualisierungsprozesses im Speziellen betrachtet und gegebenenfalls auftretende Probleme erfasst und analysiert werden. Des Weiteren sollen im Anschluss die Anwendungsmöglichkeiten in der Praxis diskutiert sowie deren Tauglichkeit bewertet werden. Zudem soll ein Vergleich mit der Visualisierung durch Augmented Reality vorgenommen werden.

3.2. Räumliche und technische Rahmenbedingungen

Das im Rahmen der praktischen Anwendung zu visualisierende Beispielareal ist Teil der Stadt Neustadt an der Weinstraße. Im Jahr 2008 führte der Fachbereich für Computergestützte Planungs- und Entwurfsmethoden [CPE] der Technischen Universität Kaiserslautern einen Tagesstegreif mit dem Thema „Neustadt Weinstraße“ durch. Die Aufgabe war, ein dreidimensionales Strukturkonzept im Bereich des Hauptbahnhofes zu entwickeln. Das Plangebiet als solches wurde wie folgt beschrieben:

„Im Osten des Hauptbahnhofes von Neustadt liegt eine städtebauliche Entwicklungsfläche, die momentan von Gewerbe und einer Tankstelle genutzt wird. Um diese exponierte Fläche an der B39 sowie in der direkten Nähe zum Bahnhof und der Innenstadt aufzuwerten, soll auf diesem Gelände ein dreidimensionales Strukturkonzept entwickelt werden. Die umliegende Bebauung ist geprägt von dem um die Jahrhundertwende entstandenen historischen Bahnhof im Westen, der Bahntrasse mit hoher Stützmauer im Süden sowie der an die Hauptstraße angrenzende 3-4 stöckige Bebauung. ... [CPE;2008]“

Dieses abgegrenzte Plangebiet einschließlich der Umgebungsbebauung, stellt den Ausgangspunkt für die Visualisierung mittels VR dar [Vgl.: Abbildung 17]. Für das Plangebiet, welches in Rot dargestellt ist, wurde einer der eingereichten Entwürfe ausgewählt. Zusätzlich liegt ein

LOD2-Modell der Stadt Neustadt vor, welches innerhalb einer Diplomarbeit des Fachbereichs CPE angefertigt wurde [ANTZ;2009].



Abbildung 17: Abgrenzung des Plangebiets [rot] sowie des Bahnhofareals [gelb] [GOOGLEEARTH;2014]

Die technischen Rahmenbedingungen sind durch die zur Verfügung stehende Hardware und Software vorgegeben. Bei der verwendeten Hardware zur desktopbasierten Visualisierung handelt es sich um einen *Lenovo IdeaPad Y510p* sowie um das Virtual Reality-System *Oculus Rift DK1*. Für die mobile Darstellung wird ein *HTC One M7* und eine Nachbildung des *Google Cardboards* vom Hersteller *I AM CARDBOARD* verwendet. Die Angabe dieser Daten erfolgt im Hinblick auf mögliche Probleme, welche sich aus der Leistungsfähigkeit des verwendeten Notebooks, des Smartphones sowie der VR-Systeme ergeben könnten.

Für den Visualisierungsprozess wird neben der Hardware ein breites Spektrum an Software benötigt. Dies umfasst neben den Hauptanwendungen *Google SketchUp* und *Unity 3D* zahlreiche für den Export notwendige Plug-ins [Vgl.: Tabelle 3]. Auf weitere, nicht für die Ausgabe notwendige Plug-ins, wird im Visualisierungsablauf verwiesen.

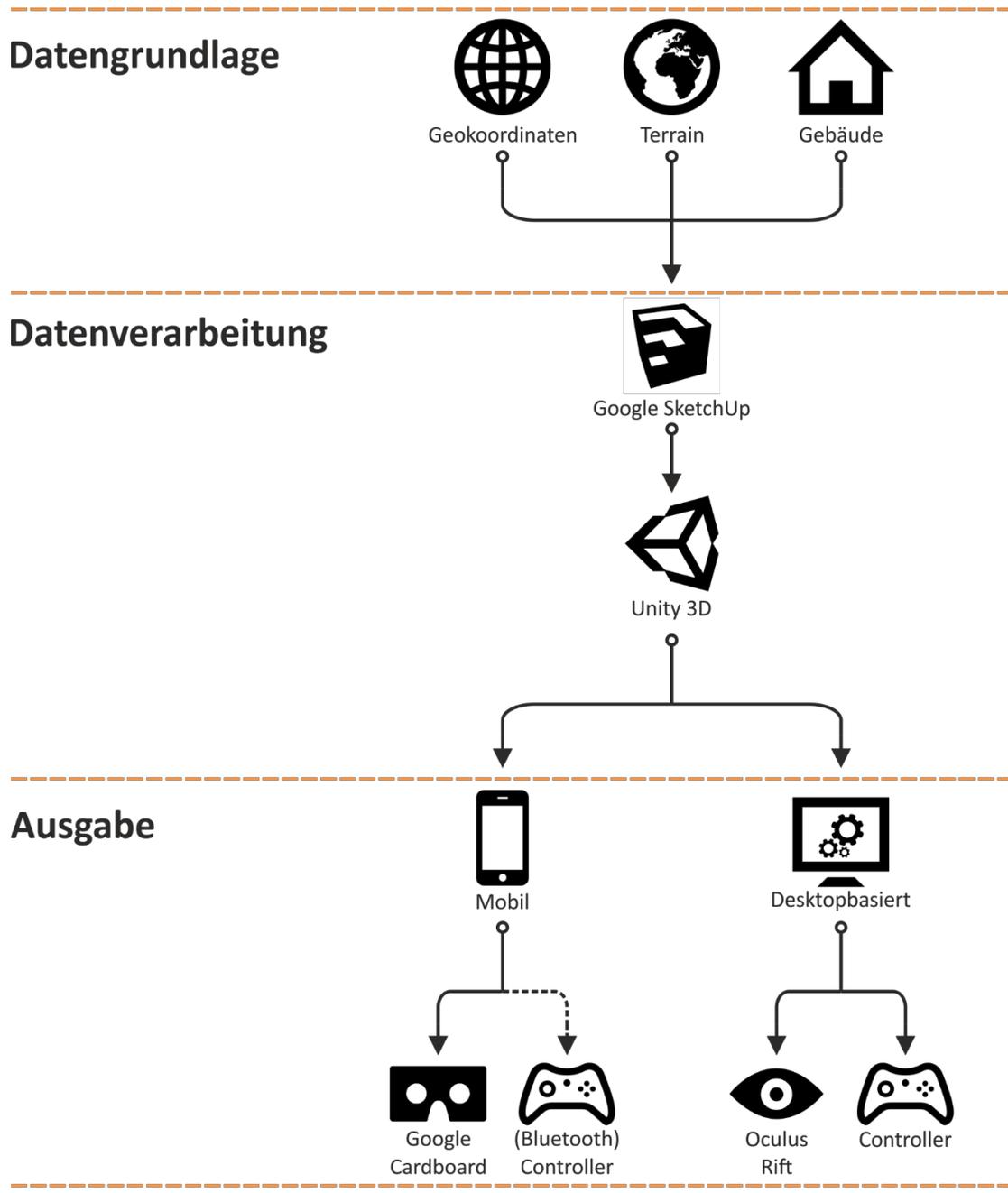
Tabelle 3: Erforderliche Software für den Visualisierungsprozess

| Software | Unity 3D Plug-ins (Mobil) | Unity 3D Plug-ins (Desktop) |
|-----------------------|--------------------------------|--|
| Google SketchUp 8 Pro | Android SDK Tools r23.0 | Oculus Unity Integration Package 0.3.2 |
| Unity 3D 4.3 Pro | Java SE Development Kit 7 | |
| | Dive Unity Plug-in Package 2.0 | |

3.3. Visualisierungsformen von Virtual Reality in der Praxis

Das Vorgehen zur Visualisierung von VR im Rahmen dieser Arbeit ist nachfolgend für die mobile desktopbasierte Ausgabe dargestellt. Auf Grund der Ähnlichkeit im Vorgehen beider Varianten das vollständige Ablaufschema [Vgl.:

Abbildung 18] der desktopbasierten Wiedergabe mit Hilfe des *Oculus Rift* ausführlich behandelt und die Besonderheiten für die mobile Darstellung lediglich im Anschluss erläutert.



3.3.1. Desktopbasierte Visualisierung von Planungen mit Hilfe des *Oculus Rift*

Den Ausgangspunkt des Visualisierungsprozesses stellen die zur Verfügung stehenden Datengrundlagen im Bereich der Gebäude und des Geländes inklusive deren Koordinaten dar.



Für eine genaue Positionierung der Gebäude, sowie des Terrains sind die entsprechenden Geokoordinaten von Bedeutung. Diese können im Visualisierungsverlauf sowohl in *Google SketchUp*, als auch in *Unity 3D* zur exakten Verortung verwendet werden. Stehen diese nicht zur Verfügung, ist eine händische Positionierung möglich, was jedoch die Genauigkeit einschränkt. Als Folge des vorliegenden Datenformats des 3D-Stadtmodells, welches im *Google Earth*-Format .kmz zur Verfügung stand, konnten die Geokoordinaten entnommen werden. Die Datei im KMZ-Format wurde mit Hilfe eines Datenkompressionsprogramms entpackt. Dies ermöglichte den Zugriff auf die beinhaltete KML-Datei, welche mittels dem unter Windows vorhandenen Editor geöffnet wurde, sodass die Geokoordinaten in Textform entnommen werden konnten. Neben der KML-Datei sind die 3D-Inhalte in Form einer Collada-Datei und deren Texturen Bestandteil des KMZ-Formats.



Um eine möglichst realistische Darstellung der virtuellen Ausgabe zu erreichen, ist die Verwendung von dreidimensionalen Modellen mit möglichst hohem Detaillierungsgrad notwendig. Innerhalb der vorliegenden Masterarbeit wurde das dreidimensionale Modell der Stadt Neustadt verwendet, das zum größten Teil in der Detailstufe LOD3 vorlag.

Des Weiteren ist eine Neuplanung notwendig, welche im Kontext des Bestandmodells überprüft werden soll. Bei der zu prüfenden Planung handelt es sich um einen Entwurf aus dem Stegreif „Neustadt Weinstraße“ [Vgl.: Abbildung 19]. Dieses lag im *SketchUp*-Format .skp in der Version 8 vor.



Abbildung 19: Entwurf im Rahmen des Stegreifs "Neustadt Weinstraße"



Die letzte Datengrundlage, welche für eine detailgenaue Visualisierung in der VR benötigt wird, ist das Terrain. Dieses kann am einfachsten in *Google SketchUp* mittels der integrierten Geländemodellfunktion für die entsprechenden Geokoordinaten importiert werden.



Nach der Datenerhebung wurden die einzelnen Elemente für die nachfolgende Visualisierung in *Unity 3D* aufbereitet. Hierzu wurde *Google SketchUp 8 Pro* verwendet. Die Version 8 wurde angesichts der hohen Plug-in-Kompatibilität im Vergleich zur aktuellen *Trimble SketchUp* Anwendung gewählt. In einem ersten Arbeitsschritt wurden die Collada-Dateien des 3D-Stadtmodells importiert. Dieses stellte den räumlichen Ausgangspunkt der Bearbeitung dar und war als Folge der Entnahme aus der KMZ-Datei bereits georeferenziert. Für den ausgewählten Modellbereich wurde im Anschluss das Terrain über die in *SketchUp* integrierte Funktion importiert [Vgl.: Abbildung 20; Oben]. Bevor der zu visualisierende Entwurf importiert werden konnte, wurde dieser aufbereitet und überschüssige Elemente entfernt [Vgl.: Abbildung 20; Mitte]. Die bereinigte Variante wurde daraufhin zum 3D-Stadtmodell und Terrain hinzugefügt und verortet [Vgl.: Abbildung 20; Unten].

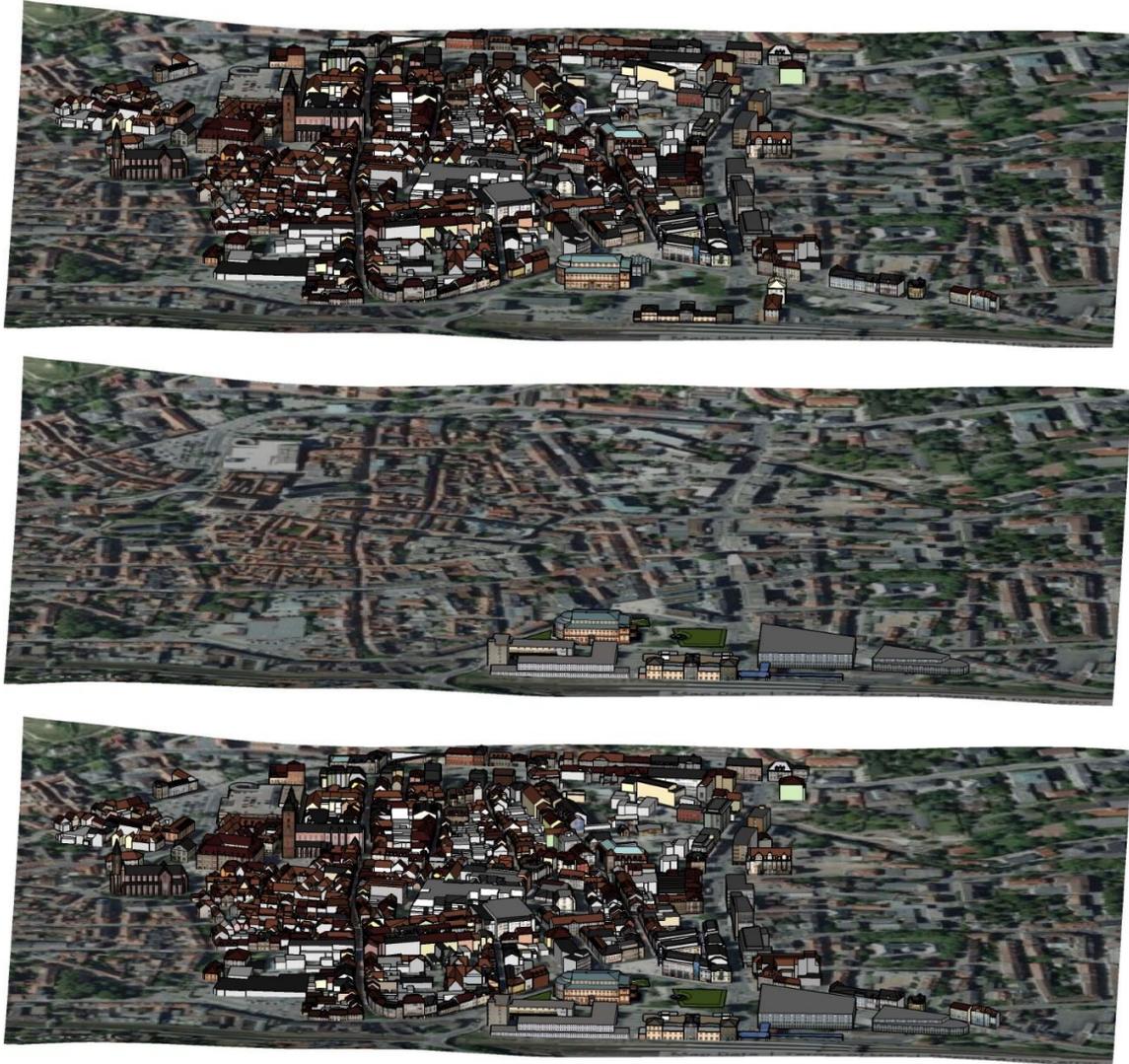


Abbildung 20: Arbeitsschritte zur Visualisierung in *Google SketchUp*

Bevor das Modell zur weiteren Verarbeitung exportiert werden konnte, wurden Fehler wie beispielsweise nicht auf dem Gelände liegende Gebäude oder doppelte Texturen identifiziert. Für eine optimale Positionierung der Gebäude auf der Y-Achse wurde das Ruby-Skript „drop at intersection“ verwendet. Mit Hilfe dieses Skripts können einzelne Gebäude oder Gebäudegruppen an ihrem Schnittpunkt mit dem Terrain positioniert werden. Texturierungsfehler hingegen müssen händisch beseitigt werden. Für eine reibungslose Verwendung der aufbereiteten Modelle in *Unity 3D* wurden die einzelnen bzw. zusammengehörigen Elemente gruppiert. Die Gruppen wurden darauf hin im FBX-Format exportiert. Dabei ist zu beachten, dass dies lediglich mit der Pro-Version von *Google SketchUp* möglich ist. Um spätere Skalierungsfehler zu vermeiden, wurde darüber hinaus die richtige Maßeinheit in den Exportoptionen ausgewählt sowie der Texturexport aktiviert. Nach dem erfolgreichen Export aus *Google SketchUp*, waren separate FBX-Dateien inklusive einem

Ordner mit Texturen verfügbar. Bevor diese jedoch in *Unity 3D* importiert werden konnten, mussten die FBX-Dateien in den Texturordner verschoben werden, da sie ansonsten nicht texturiert dargestellt werden können.



Nach der Aufbereitung der Datengrundlagen in *Google SketchUp* erfolgte die Generierung des *Unity 3D*-Projekts und der dazugehörigen Szene. Dafür wurde unter dem gewünschten Pfad ein neues Projekt in *Unity 3D* angelegt und die Szene unter dem gewünschten Name gespeichert. Um die zuvor erstellten FBX-Dateien verwenden zu können und nachträgliche Änderungen zu ermöglichen, wurden diese in den Assets-Ordner innerhalb des Projekts kopiert. In Folge dessen würde bei einer nachträglichen Bearbeitung eine automatische Aktualisierung in *Unity* erfolgen.

Nach dem alle Modelle importiert vorlagen, wurde zunächst das Gelände aus *Google SketchUp* in das Terrain von *Unity 3D* umgewandelt. Dabei handelt es sich nicht um einen vom Programm vorgesehenen Arbeitsschritt, weshalb diese Option manuell als *C#*-Skript hinzugefügt werden musste. Die *Object2Terrain.cs*-Datei [Vgl.: Digitaler Anhang] wurde in den Assets in einem Ordner mit der Bezeichnung „Editor“ platziert. Anschließend war es möglich, das Mesh innerhalb des eingefügten Terrains auszuwählen und mittels dem *Object2Terrain*-Tool umzuwandeln [Vgl.: Abbildung 21]. Der Skalierungsfaktor in *Unity* liegt per Voreinstellung stets bei 0,01 und muss bei jedem extern erstellten Modell auf 1 gesetzt werden. Zudem wird das neue Gelände stets am Koordinatenursprung in *Unity* generiert und musste entsprechend neu positioniert werden. Die notwendigen Koordinaten konnten hierbei einer zusätzlich exportierten KML-Datei aus *SketchUp* entnommen werden. Dieser Arbeitsschritt wurde im weiteren Verlauf auch für die Gebäudemodelle angewandt um eine exakte Positionierung zu erreichen.

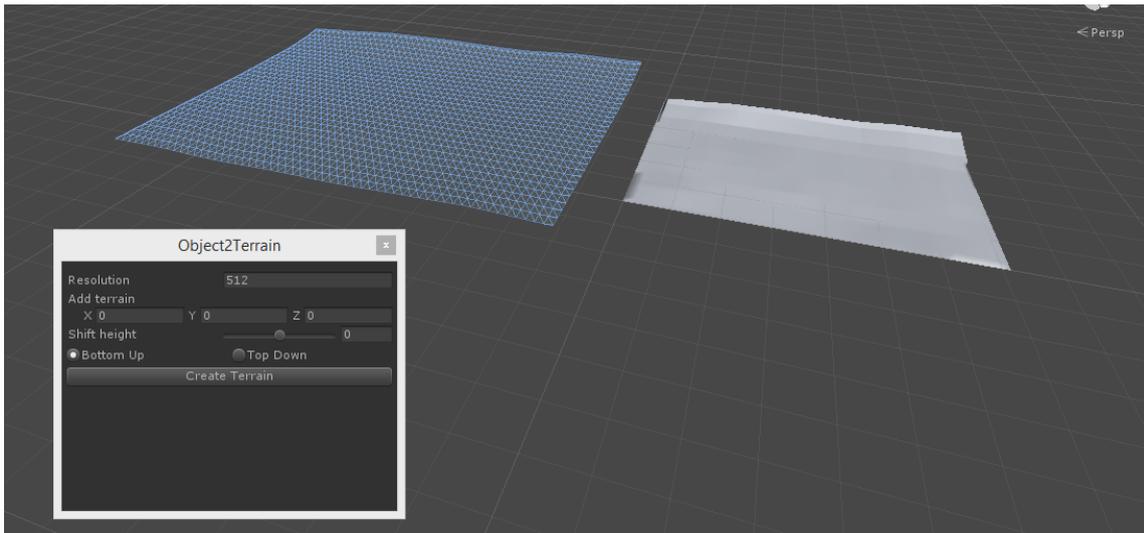


Abbildung 21: Transformierung des importierten FBX-Terrains in das Format von *Unity 3D*

Das neuerstellte Terrain bietet im Vergleich zum importierten Terrain die Möglichkeit texturiert zu werden und Bäume oder andere Elemente aus dem *Asset Store* zu platzieren.

Um das Gelände in ein möglichst realistisches Szenario einzubetten, wurden im Anschluss weitere Assetpakete, beispielsweise für die Beleuchtung, die Skybox oder die Darstellung von Wasser zum Projekt hinzugefügt [Vgl.: Abbildung 22]. Die globale Beleuchtung wurde über das *GameObject*-Menü als *Directional Light* eingefügt und anschließend über dem Terrain platziert und justiert. Spezifische Einstellungen wie die Leuchtkraft, sowie die Farbe des generierten Lichts wurden im Anschluss angepasst. Die Skybox wurde über die *Render Settings* im *Edit-Menü* ausgewählt.

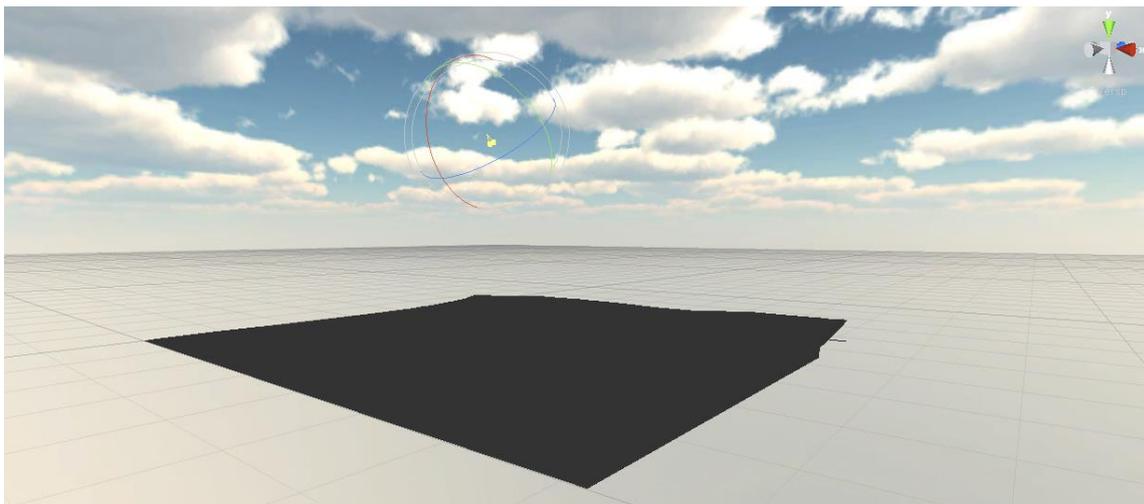


Abbildung 22: Projektumgebung mit globaler Beleuchtung und Skybox

Der nächste Arbeitsschritt umfasste die Implementierung und Positionierung der Gebäudemodelle, wobei, wie beim Gelände, der Skalierungsfaktor zu beachten war. Sowohl der Gebäudebestand als

auch der zu überprüfende Entwurf wurden in das Projekt importiert und gemäß der Geokoordinaten der KML-Datei verortet [Vgl.: Abbildung 23]. Dabei war es unproblematisch, dass der Entwurf den Gebäudebestand überlagert. Die einzelnen Elemente wurden im weiteren Verlauf ein- bzw. ausblendbar geschaltet.

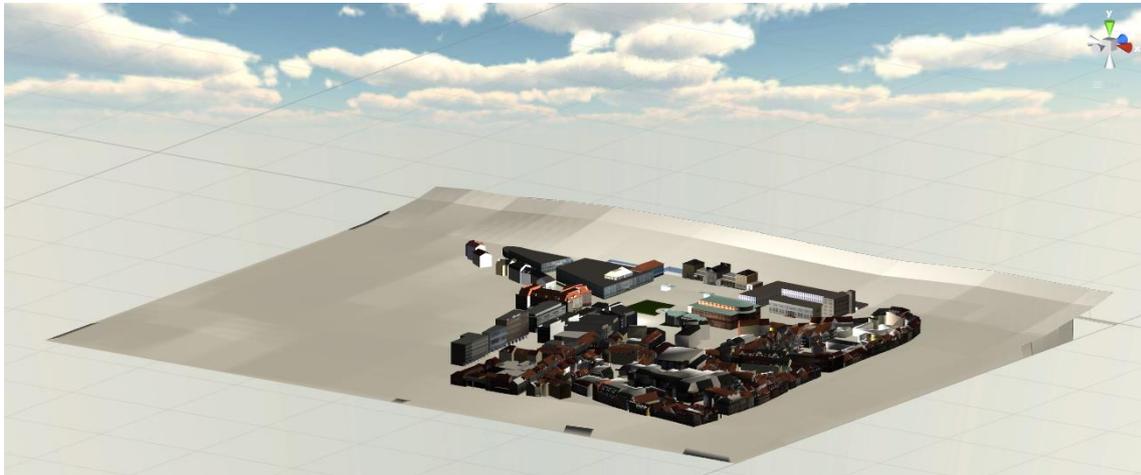


Abbildung 23: Positionierung der Gebäude innerhalb der Projektumgebung

Die Sichtbarkeit einzelner Projektelemente wurde mit Hilfe eines C#-Skripts realisiert. Dieses wurde mit einer grafischen Benutzerschnittstelle [GUI] verknüpft um dem Anwender die aktuell sichtbar geschalteten Elemente anzuzeigen [Vgl.: Abbildung 24]. Das selbst erstellte *Java*-Skript [Vgl.: Digitaler Anhang] legt Beziehungen zwischen sichtbaren und nicht sichtbaren Objekten fest und weist ihnen Tasten auf dem ausgewählten Eingabegerät zu. Für die Umsetzung war es nötig, ein leeres *GameObject* zu erstellen, dem das Skript zuzuordnen ist. Im Anschluss wurden einzelne Objekte des Projekts via drag and drop hinzugefügt, welche folglich den Eigenschaften des Skripts unterliegen.



Abbildung 24: GUI mit zugrunde liegendem *GameObject*

Im nächsten Arbeitsschritt wurden für einen höheren Grad der Immersion zusätzliche Inhalte hinzugefügt, wie z. B. Straßen und Bäume sowie das Gelände texturiert [Vgl.: Abbildung 25]. Für die Generierung von Straßen konnten diverse Plug-ins aus dem *Asset Store* verwendet werden. Pflanzen und sonstige Elemente sowie Texturen konnten ebenfalls dem Store entnommen werden.

Des Weiteren wurden entlang einer gewünschten Grenze durchsichtige Barrieren integriert, um die Szene einzugrenzen.



Abbildung 25: Texturiertes Geländemodell mit Details für die desktopbasierte Wiedergabe

Im letzten Arbeitsschritt vor dem Export für das gewünschte VR-System musste der entsprechende Player Controller hinzugefügt werden. Im Falle des *Oculus Rift* wurde das *OculusUnityIntegration.unitypackage* verwendet. Nach dem Import des Pakets in *Unity 3D* konnte der Player Controller mit den stereoskopisch angeordneten Kameras in die Szene implementiert werden. Das Sichtfeld ist standardgemäß auf eine 1,80 m große Person ausgerichtet, was jedoch angepasst werden kann. Für eine bessere Beleuchtung der Umgebung wurde dem Controller eine Lichtquelle in Form eines Point Light hinzugefügt. Um den Schattenwurf der globalen Illumination nicht zu beeinflussen, musste dieser lediglich für die Lichtquelle des Player Controllers deaktiviert werden.

Nach der Positionierung aller Elemente und des Controllers, konnte die Szene als *Stand-Alone*-Anwendung exportiert werden. Unter den Build Settings konnten hierfür letzte Spezifikationen eingestellt werden. Diese umfassen unter anderem das Zielbetriebssystem sowie Angaben zu dessen Architektur. Angaben zum Verfasser, dem Arbeitstitel, Logos sowie die Festlegung der Darstellung des *Stand-Alone*-Players, konnten unter Player Settings definiert werden.



Die desktopbasierte *Stand-Alone*-Anwendung zur Visualisierung mittels dem *Oculus Rift* wurde nach dem Export ausgeführt, wobei eine Anpassung nicht notwendig war. Im Fall einer benötigten Anpassung kann vor dem Ausführen der Anwendung die Bildschirmauflösung sowie die Grafikqualität geändert werden. Diese Optionen können dem jeweiligen Gerät und dessen Leistungsfähigkeit angepasst werden um optimale Ergebnisse zu erzielen. Neben den

Grafikoptionen ist es möglich im Input-Menü die Tastenbelegung für das verwendete Eingabegerät, in diesem Fall ein Gamepad, anzupassen.



Das Ergebnis nach dem Start der Anwendung ist eine stereoskopische Ausgabe, welche speziell für den Player Controller des *Oculus Rift* angepasst ist [Vgl.: Abbildung 26]. Die Navigation innerhalb der Virtuellen Welt ist über zwei Eingabegeräte möglich. Die Bewegung im Raum erfolgt im Anwendungsfall über einen *Xbox 360* Controller, die Steuerung des Blickfelds hingegen über das *HMD* des *Oculus Rift*. Die einzelnen Gebäudekomplexe können mit Hilfe der Tasten auf dem Gamepad durchgeschaltet werden.

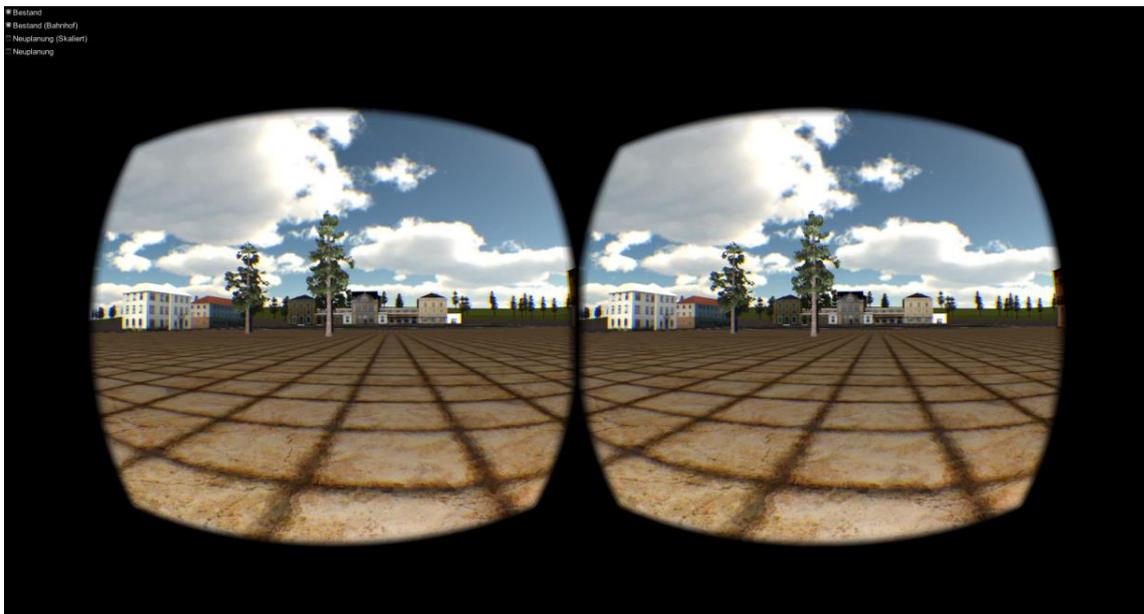


Abbildung 26: Bildschirmanzeige der ausgeführten Anwendung für das *Oculus Rift*

3.3.2. Mobile Visualisierung von Planungen mit Hilfe des *Google Cardboards*

Für die Darstellung auf mobilen Endgeräten gelten für die mobile und desktopbasierte Ausgabe bis zum Import in *Google SketchUp* die gleichen Bedingungen. Den Ausgangspunkt des Visualisierungsprozesses bildeten auch beim *Google Cardboard* die zur Verfügung stehenden Datengrundlagen. Bei der Bereinigung der Modelle musste besonders sorgfältig gearbeitet werden und gegebenenfalls der Detailgrad reduziert werden. Der Grund dafür ist die eingeschränkte Leistungsfähigkeit mobiler Endgeräte im Vergleich zu Desktopsystemen. Besonders zu berücksichtigen war die Texturierung, welche entweder gänzlich entfernt oder in ihrer Auflösung auf ein Minimum reduziert werden musste. Allerdings sollte die Auflösung stets in Form des *Power of two*-Verhältnis angepasst werden. Die Auflösung einzelner Texturen konnte mit Hilfe von Ruby Plug-ins in *SketchUp* reduziert werden. Für das Bestandsmodell wurde auf eine Texturierung verzichtet indem beim Export in das FBX-Format der Texturexport deaktiviert wurde.



Nach erfolgreichem Aufarbeiten und Exportieren der dreidimensionalen Modelle erfolgte der Ablauf identisch zur desktopbasierten Ausgabe. Zudem wurde in *Unity 3D* auf einen hohen Detailgrad zu Gunsten einer späteren, verzögerungsfreien Wiedergabe auf dem mobilen Endgerät verzichtet [Vgl.: Abbildung 27]. Um dennoch eine hohe Wiedergabequalität zu erzielen, wurde mit auf die Texturen gebackenen Schatten gearbeitet.



Abbildung 27: Texturiertes Geländemodell für die mobile Wiedergabe



Im letzten Arbeitsschritt vor dem Export für das gewünschte VR-System wurde der entsprechende Player Controller hinzugefügt. Für die Visualisierung durch das *Google Cardboard* konnte nicht derselbe Player Controller wie für das *Oculus Rift* verwendet werden. Im Rahmen dieser Arbeit wurde der Controller des *Durovis Dive* verwendet, ein VR-System zur Wiedergabe von Inhalten auf mobilen Endgeräten, das in seiner Architektur dem *Google Cardboard* ähnlich ist. Der Import und die Verwendung des Player Controllers gleichen dem des *Oculus Rift*, jedoch sind einige Besonderheiten zu beachten. Da bei einer Wiedergabe auf mobilen Endgeräten in der Regel keine Steuerungsmöglichkeit über ein externes Eingabegerät möglich ist, verfügt dieser Controller über eine Auto-Walk-Funktion. Die Bewegung startet bei einer Aktivierung unmittelbar nach dem Öffnen der Anwendung, welche ohne zusätzliche Skripte bzw. Modifikationen des Bestehenden nicht gestoppt werden kann. Diese Anpassung ist für eine sinnvolle Verwendung im Rahmen der Planüberprüfung unerlässlich, da nur so an Positionen verweilt werden kann um beispielsweise Größendimensionen aus einer entsprechenden Perspektive zu betrachten. Eine Start- und Stoppfunktion wurde im Rahmen dieser Arbeit durch eine Veränderung des *DiveFPSController*-Skripts gelöst, welches bei einer kurzzeitigen Veränderung des Neigungswinkels aktiviert wird [Vgl.: Digitaler Anhang]. Senkt der Betrachter seinen Kopf um mehr als 60° bis zu einem Maximum von 90° , wird diese Funktion ausgelöst.

Nachdem alle Elemente und der Controller positioniert wurden, erfolgte der Export der Szene als *Stand-Alone-Anwendung*, in diesem Fall als APK-Datei. Unter den Build Settings wurden letzte Spezifikation getroffen. Anders als beim Export für das *Oculus Rift* sind hier zusätzliche Angaben unerlässlich und lediglich die Angaben zum Verfasser, dem Arbeitstitel, des Logos stimmen weitestgehend überein. Als Folge der auf mobilen Endgeräten vorhandenen Ladezeit können im Ladebildschirm [Vgl.: Abbildung 28] zusätzliche Inhalte, beispielsweise die Steuerung eingeblendet werden. Des Weiteren musste im Register Publishing Settings der „Unsigned (debug)“-Modus ausgewählt werden, um die Anwendung direkt auf ein mobiles Endgerät aufzuspielen. Dies war unerlässlich, da ansonsten die Anwendung mit dazugehörigem Android-Keystone zur Überprüfung und anschließenden Veröffentlichung an *Google* und dessen *Play Store* weitergegeben würde.



Abbildung 28: Verwendeter Ladebildschirm für die mobile Visualisierung

Beim Export für androidbasierte, mobile Endgeräte sind neben den in *Unity 3D* beinhalteten Erweiterungen zusätzliche Inhalte notwendig. Diese umfassen das aktuelle *Java SE Development Kit* sowie die *Android SDK Tools* zum Erstellen von Applikationen für Android. Darüber hinaus musste der Entwicklermodus auf dem verwendeten Smartphone aktiviert werden, was die USB-Datenübertragung im Debug-Modus erlaubte. Neben dem Export ermöglichen die *Android SDK Tools* weitere Spezifikationen in *Unity 3D*. Je nach vorinstallierten Komponenten können unterschiedliche Androidversionen ausgewählt werden, sodass der Zugriff für ältere Smartphones möglich ist. Mit Abschluss der Spezifikationen in *Unity 3D* wurde die Anwendung bei angeschlossenem Endgerät direkt aufgespielt und installiert.

 Das Ergebnis auf dem Smartphone ist eine stereoskopische side-by-side-Wiedergabe, welche mit Hilfe des *Google Cardboards* visualisiert werden kann. Gesteuert wird die Anwendung lediglich mit der Bewegung des Kopfes, wodurch die Blickrichtung geändert wird. Das Gehen und Stoppen ist angesichts des veränderten *DiveFPSController*-Skripts ebenfalls möglich. Weiterhin kann ein Bluetooth Controller mit dem verwendeten Gerät gepaart werden, sodass die Bewegungsteuerung darüber erfolgen kann.

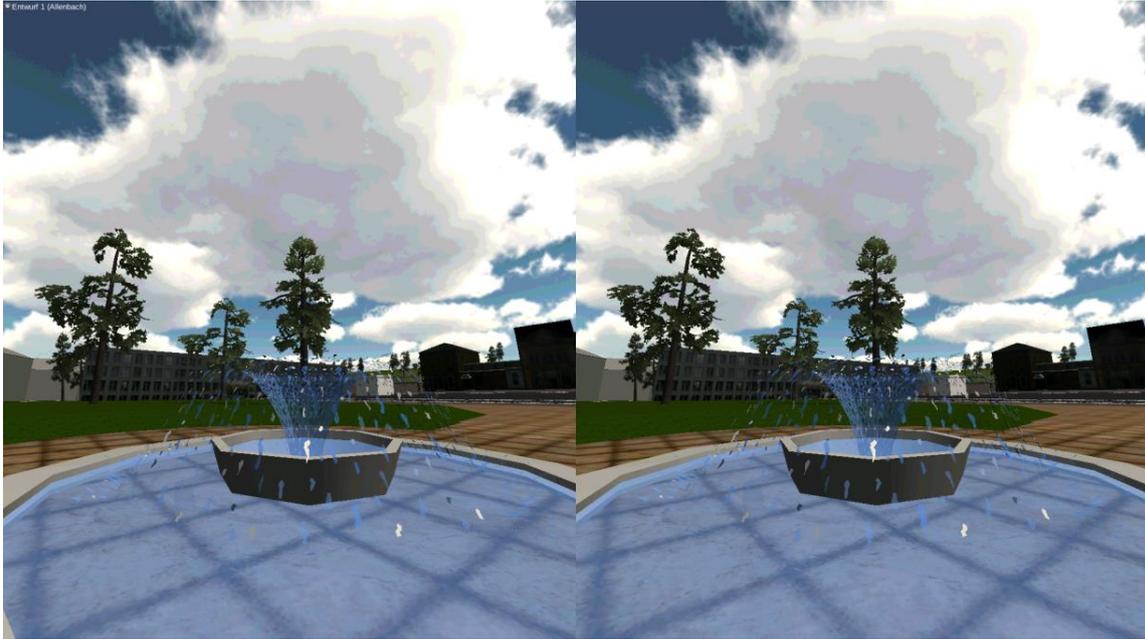


Abbildung 29: Bildschirmanzeige der ausgeführten Anwendung für das *Google Cardboard*

3.3.3. Anmerkungen und Probleme im Rahmen des Visualisierungsprozesses

Im Rahmen des Visualisierungsprozesses sind einige Probleme aufgetreten, die für eine vollständige Betrachtung erfasst und analysiert werden müssen. Je nach Phase der Visualisierung wurden die Probleme in generell, programmspezifisch und ausgabespezifisch gegliedert.

Bei der Vorbereitung der Modelle für die Verwendung in *Unity 3D* traten mehrere Probleme auf. Im Allgemeinen sollte ein einheitliches Vorgehen beim Erstellen der Modelle für die spätere Verwendung in *Unity 3D* eingehalten werden, wobei diese Modelle an die Anforderungen des Programmes angepasst werden müssen. Von besonderer Bedeutung ist die Gruppierung der einzelnen Elemente. Ohne eine Gruppierung ist die Skalierung und Positionierung im späteren Verlauf deutlich erschwert. Neben der Bildung von Gruppen ist eine adäquate Texturierung erforderlich. Hierzu sollten die Texturen, wie generell im CAD-Bereich, im *Power of two*-Verhältnis erstellt werden. Neben der Anpassung des Auflösungsverhältnisses hat die Skalierung entsprechend des später verwendete VR-Systems zu erfolgen. Bei mobilen Endgeräten kann dies von einer starken Reduktion bis hin zum Entfernen von Texturen reichen.

In *Unity 3D* wurden mehrere programmspezifische Probleme identifiziert, welche den Visualisierungsprozess erschweren. Beispielsweise sind für einfache Anpassungen von Elementen häufig fundierte Kenntnisse im Umgang mit *Java*- und *C#*-Skripten sowie deren Programmierung erforderlich. Als Folge dessen ist der Umgang für den Planer ohne programmspezifische Vorkenntnisse in diesem Bereich erheblich erschwert und gegebenenfalls gänzlich ausgeschlossen. Neben dem Umgang mit diversen Skripten war die positionsgenaue Verortung von Elementen

problematisch. Diese Verortung ist lediglich über Koordinaten möglich, da keine Fangoptionen wie in gängigen CAD-Programmen vorliegen. Für den Fall, dass keine Geokoordinaten zur Verfügung stehen, ist die Positionierung auf eine händische, weniger exakte Verortung beschränkt. Des Weiteren sind die hohen Kosten von *Unity 3D*, sowie der Inhalte des *Asset Stores* zu berücksichtigen. Allerdings sind die Elemente aus dem *Asset Store* für eine hochwertige VR mit einem entsprechenden Grad der Immersion unerlässlich. Auf Grund der vorliegenden Probleme und Einschränkungen ist *Unity 3D* kein optimaler Ansatz für die planerische Umsetzung, jedoch kann es nach aktuellem Stand der Soft- und Hardwareentwicklung für die Visualisierung von Planungen eingesetzt werden.

Bei der Visualisierung mit den unterschiedlichen Ausgabegeräten für die mobile und desktopbasierte Darstellung traten die erwarteten technischen Probleme auf, wie sie bereits im Kapitel der technischen Grundlagen [Vgl.: Kapitel 2.2] beschrieben wurden. Die desktopbasierte Darstellung mit Hilfe des *Oculus Rift DK1* führte bei längerer Verwendung zu leichtem Schwindel sowie anderen Symptomen der *Motion Sickness*. Diese sind auf Schlierenbildung sowie Latenzprobleme zurückzuführen. Dabei handelt es sich allerdings lediglich um ein Problem des DK1. Bereits in der aktuellen Version des Entwickler Kits wurden diese Probleme behoben, sodass dies vernachlässigt werden kann. Gleiches gilt für den reduzierten Grad der Immersion, welcher auf den auflösungsbedingten *Screendoor*-Effekt zurückzuführen ist.

Neben den bereits genannten Anmerkungen zum Visualisierungsprozess und zu den Ausgabegeräten unterliegt die Generierung von Inhalten für die VR allgemeinen Problemen. Von besonderer Bedeutung ist, dass derzeit keine gängige CAD-Software verfügbar ist, die eine umfangreiche native Unterstützung für die VR-Ausgabe bietet. Hersteller wie *Autodesk* bieten kleinere Lösungsansätze, jedoch sind diese beispielsweise nicht auf die Vorverzerrung des *Oculus Rift* anpassbar. Die im Verlauf genannten Probleme führen dazu, dass zeitlich intensive und komplexe Umsetzungen mittels einer Software erfolgen müssen, die nicht für den Planungsprozess mittels VR vorgesehen ist. Es ist jedoch zu erwarten, dass mit der Markteinführung von preislich erschwinglichen VR-Systemen mit entsprechender Darstellungsqualität auch eine native Unterstützung im Bereich der CAD-Software einhergeht.

3.4. Eignung und Anwendungsmöglichkeiten von Virtual Reality in der Planungspraxis

In der Planungspraxis im Bereich der Stadtplanung sind unterschiedliche Anwendungsszenarien der VR denkbar. Das Spektrum reicht von der Verwendung im Planungsprozess bis hin zur Partizipation der von Planungen betroffenen Bürgerinnen und Bürgern.

Im Planungsprozess selbst kann die VR zur Visualisierung von dreidimensionalen Entwürfen und somit zu deren Überprüfung und gegebenenfalls Anpassung dienen. Die Betrachtung aus Sicht der Ich-Perspektive [FPV] ermöglicht eine Analyse räumlicher Proportionen und Dimensionen von Konzepten, was sonst nur schwer vor der baulichen Fertigstellung möglich ist. Ein Beispiel für einen solchen Skalierungsfehler bietet der Entwurf im Rahmen des Stegreifs „Neustadt Weinstaße“ [Vgl.: Abbildung 30]. Neben den räumlichen Abmessungen ist eine Auseinandersetzung mit der Positionierung von Entwurfselementen realisierbar. Dies kann im Rahmen von Gestaltungsvorschlägen für öffentliche Plätze oder den Straßenraum Anwendung finden. Neben den Möblierungen kann zudem die Gestaltung von Fassaden eingehend betrachtet werden, welche in dreidimensionaler Form besser greifbar sind verglichen mit zweidimensionalen Ansichten oder Perspektiven. Ein weiteres Anwendungsszenario stellt die Überprüfung von Verschattungen dar.

Damit kann der jahreszeitliche Sonnenverlauf simuliert werden, wodurch auftretende Missstände behoben werden können. Zukünftig ist die Integration von Humansensorik in die Visualisierung von Planungsprozessen mittels VR denkbar. Hierdurch könnte die emotionale Wirkung von Neuplanungen objektiv und subjektiv überprüft werden [Vgl.: Kapitel 4]. Diese Art der Planungsüberprüfung würde die Möglichkeit bieten, Angsträume im Stadtraum oder unübersichtliche und komplizierte Straßen- und Wegeführungen zu vermeiden. Zusammenfassend kann ein breites Einsatzspektrum von VR im Planungsprozess postuliert werden, wodurch Planungsfehler vermieden werden sollen und eine höhere städtebauliche Qualität geschaffen werden soll.

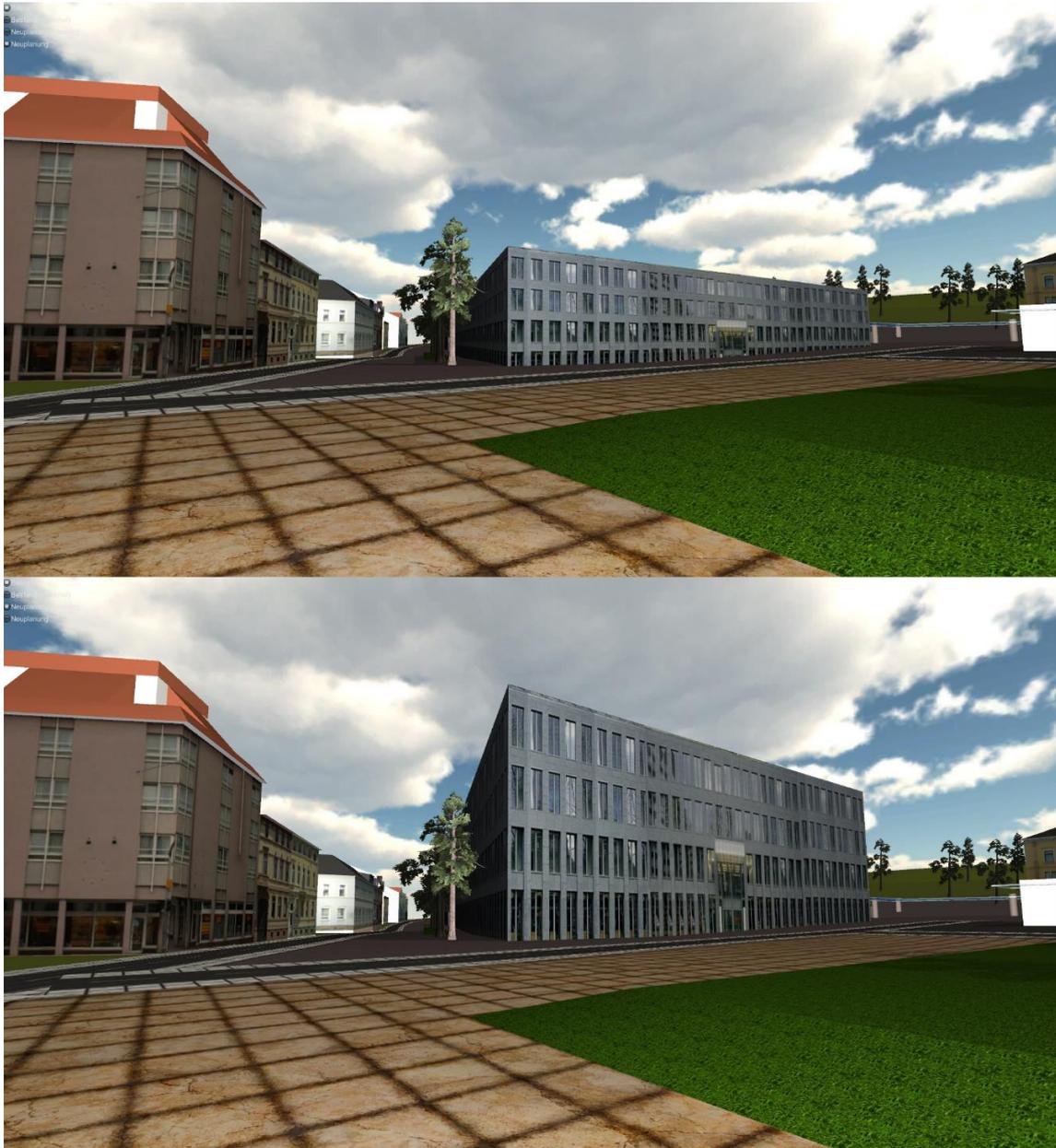


Abbildung 30: Dimensionierungsfehler des Stegreifentwurfs "Neustadt Weinstraße" – ursprünglicher Entwurf [oben] gegenüber skaliertem Entwurf [unten]

Neben der Anwendung von VR im Planungsprozess scheint die Verwendung im Rahmen der Partizipation sinnvoll. Dies kann sowohl innerhalb der informellen als auch der formellen Beteiligungsverfahren erfolgen.

Im formellen Planungsverfahren wäre eine Anwendung von VR zur behördlichen Überprüfung von eingereichten Planungsvorhaben denkbar, gemäß der bereits genannten Kriterien. Weiterhin könnte die gesetzlich vorgeschriebene Planauslegung in Form eines dreidimensionalen Plans erfolgen. Diese Form der Visualisierung könnte einen erheblichen Beitrag dazu leisten, Planungen für den Laien verständlich aufzubereiten. Ohne ausreichende Fachkenntnis ist es dem Bürger

teilweise nicht möglich zweidimensionale Pläne und Ansichten richtig zu lesen. Auf diese Weise könnten Einsprüche minimiert und personelle sowie finanzielle Kosten reduziert werden.

Neben der Möglichkeit der Integration in formelle Planungsprozesse erschließt sich ein breites Einsatzspektrum im informellen Bereich, wobei die Verwendung zur Information und Kommunikation von Planungen und deren Inhalten sinnvoll erscheint. Dies kann mit Hilfe von einfachen Kubaturenmodellen bereits in einem sehr frühen Stadium der Planung erfolgen. Mit fortschreitendem Verlauf können detailliertere Visualisierungen kommuniziert werden. Folglich kann diese Form der Partizipation einen erheblichen Beitrag zum Abbau von Hemmnissen und Restriktionen innerhalb des Planungsprozesses leisten. Fehlendes oder unzureichendes Planungsverständnis in der Bevölkerung kann in Kombination mit einer unpassenden Form der Kommunikation beachtliche Folgen nach sich ziehen. Ein Beispiel hierfür ist das Bahnprojekt „Stuttgart 21“, bei dem unter anderem eine unzureichende Visualisierung der zukünftigen Konzeption bis heute zu erheblichen Folgeproblemen für die Planung und deren Umsetzung führte. Es besteht nicht der Anspruch auf die Lösung der entstandenen Probleme, jedoch hätte eine umfangreiche Visualisierung mittels VR einen deutlichen Beitrag zur Beschleunigung und Akzeptanz des Planungsprozesses leisten können.

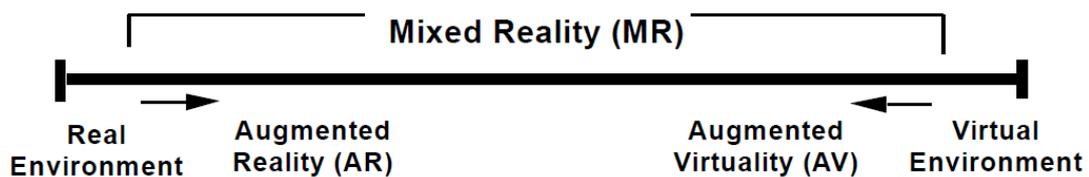
Zusammenfassend kann der VR ein hohes Potential in der Planungspraxis zugesprochen werden. Eine unerlässliche Voraussetzung ist eine native Unterstützung der VR-Ausgabe in der gängigen CAD-Software. Der bisher eher umständliche Umsetzungsprozess über Programme, die nicht für die Planung geeignet sind, führt zu Einschränkungen in der Genauigkeit sowie in der Effizienz der Umsetzung. Hingegen sind die aktuellen Prototypen der VR-Systeme wie das *Oculus Rift* DK2 in hohem Maße für den Einsatz in der Planung geeignet, da hardwarebedingte Einschränkungen zum größten Teil bereits gelöst sind bzw. bis zur Markteinführung wahrscheinlich gelöst werden.

3.5. Vergleich von Augmented Reality und Virtual Reality für deren praktischen Einsatz in der Planung

Neben der Darstellung mit Hilfe der VR stehen für eine technisch zeitgemäße Präsentation andere Formen der Visualisierung zur Verfügung. Besonders die Erweiterte Realität, die sogenannte Augmented Reality, erscheint in diesem Zusammenhang von Bedeutung.

Für ein besseres Verständnis der bestehenden Verbindungen zwischen VR und AR sowie als Grundlage für den Vergleich der Einsatzmöglichkeiten wird nachfolgend eine kurze Einführung zu den Grundlagen der AR dargestellt und auf entsprechende weiterführende Literatur verwiesen.

Bei der AR handelt es sich um eine Erweiterung bzw. eine Art Synthese der realen Welt mit computergenerierten zusätzlichen Objekten [KLEIN;2006;1]. Wie bei der VR liegt auch für die AR keine einheitliche und allgemeingültige Definition in der Literatur vor. Es erfolgt daher meist eine Bezugnahme auf das Modell des "reality-virtuality-continuum", welches von Milgram et al. entwickelt wurde [MILGRAM;1994;283]. Der linke Bereich des Kontinuums [Vgl.: Abbildung 31] beschreibt die reale Umgebung. Dem gegenüber steht die Virtuelle Welt der VR [MILGRAM;1994;283]. Der Bereich zwischen diesen beiden Extremen wird als Mixed Reality (MR) definiert, in welcher sowohl reale als auch virtuelle Objekte in beliebiger Weise dargestellt werden können. Innerhalb der MR wird zudem zwischen der Augmented Reality und Augmented Virtuality unterschieden, wobei im Bereich der Augmented Reality die realen Anteile vorherrschen [MILGRAM;1994;283].



Reality-Virtuality (RV) Continuum

Abbildung 31: Darstellung des "reality-virtuality-continuum" nach Milgram et al. [MILGRAM;1994;283]

Für detaillierte Informationen zur AR und deren Ausgabehardware und –software wird auf die im Fachbereich Computergestützte Planungs- und Entwurfsmethoden entstandene Abschlussarbeit „Mobile Augmented Reality im Planungsprozess“ verwiesen [DÜBNER;2012].

Ähnlich der VR bietet die AR ein breit gefächertes Spektrum an Einsatzmöglichkeiten im Rahmen der Visualisierung von Planungen. Dieses reicht vergleichbar zur VR von der Visualisierung von

Planungen über die Überprüfung und Anpassung bis hin zur Anwendung im Rahmen partizipativer Prozesse. Der essentielle Unterschied zwischen den beiden Visualisierungen ergibt sich aus dem Ort der Verwendung. Die AR bietet die Möglichkeit, Planungen an deren zukünftigen Standorten in realer Größe und Position zu visualisieren und zu überprüfen [Vgl.: Abbildung 32]. Die Darstellung am Standort ist jedoch mit einigen wesentlichen Voraussetzungen verbunden.

Für eine genaue Verortung muss eine Datenverbindung bestehen, sowie der Positionsabgleich mittels GPS gewährleistet sein. Darüber hinaus muss eine räumliche Distanz zum Objekt eingehalten werden um dessen Abmessung vollständig darstellen zu können. Dies erschwert den Einsatz von AR beispielsweise in innerstädtischen Gebieten mit hoher städtebaulicher Dichte. Das nachfolgende Beispiel zeigt die Visualisierung für eine geplante und im Jahr 2013 realisierte Neuplanung im ehemaligen Güterbahnhof der Stadt Schwäbisch Gmünd. Hier entstand im Zuge der Landesgartenschau 2014 das Leuchtturm-Projekt *EULE*, ein Forschungs- und Qualifizierungszentrum für Kinder und Jugendliche [DÜBNER;2012].



Abbildung 32: Visualisierung einer Neuplanung mit Hilfe von AR [DÜBNER;2012]

Die VR ist im Gegensatz zur AR von den räumlichen Gegebenheiten und der dort vorhandenen technischen Infrastruktur gänzlich unabhängig. Zudem kann eine realitätsnahe Umgebung im virtuellen Raum generiert werden, sodass eine umfassende Überprüfung und Darstellung der Planung inklusive deren Bestand möglich ist. Dabei ist jedoch zu beachten, dass für einen realitätsnahen Grad der Immersion ein erheblicher Aufwand erforderlich ist.

Im Planungsprozess können beide Formen der Visualisierung eine besondere Rolle spielen, sodass ihre jeweiligen Stärken in vollem Umfang genutzt werden können. Die VR bietet durch ihre räumliche Unabhängigkeit vor allem im Bereich der Planung wesentliche Vorteile und dient primär dem Planer als Werkzeug zur Darstellung und Analyse. Dahingegen kommt der AR eine wichtige Bedeutung im Bereich partizipativer Prozesse zu. Im Vergleich zu den gängigen Visualisierungsmedien im Planungsprozess kann das Verständnis von Planungen für den Bürger mit Hilfe der AR erheblich verbessert werden.

Mittels beider Visualisierungsformen könnte eine erhöhte Akzeptanz von Planungen in der Bevölkerung geschaffen und mögliche Fehlplanungen noch vor deren Realisierung verhindert werden. In Folge der bereits genannten Vor- und Nachteile von VR und AR, kann es je nach Planungsgegenstand und -ziel durchaus erforderlich sein, beide Formen für ein optimales Ergebnis zu kombinieren.

4. Ausblick

Neben der technischen Entwicklung im Bereich der Soft- und Hardware für die VR erscheinen besonders Verknüpfungen mit anderen Forschungsfeldern in Zukunft als besonders sinnvoll. Bisher nur im physischen Stadtraum mögliche Forschungen könnten ressourcenschonend in den digitalen Raum transferiert und so für weitere Analysen genutzt werden.

Eine mögliche neue Kombination ist die Verknüpfung von VR mit dem *Urban Emotions* Konzept. Dabei handelt es sich um ein Forschungsprojekt unter Beteiligung des Fachbereichs Computergestützte Planungs- und Entwurfsmethoden, welches von der deutschen Forschungsgemeinschaft [DFG] finanziert wird. Der Schwerpunkt liegt auf dem Gebiet der „Humansensorik“ sowie der Sensornetzwerke, wobei besonders die Nutzungsmöglichkeiten in der Stadt- und Raumplanung von Interesse sind [ZEILE;2013].

Ziel dieses Forschungsprojekts ist es, Methoden und Techniken zur objektiven und subjektiven Messung von menschlichen Emotion zu erarbeiten. Die objektive Erfassung von psychophysiologischen Messwerten erfolgt mittels der Verwendung von geeigneter Sensorik. Im Gegensatz dazu wird die subjektive Erfassung über Smartphone Applikationen realisiert. Die gewonnen Erkenntnisse werden zudem auf Transfer- und Implementationsmöglichkeiten im räumlichen Planungskontext geprüft [Vgl.: Abbildung 33] [ZEILE;2013].

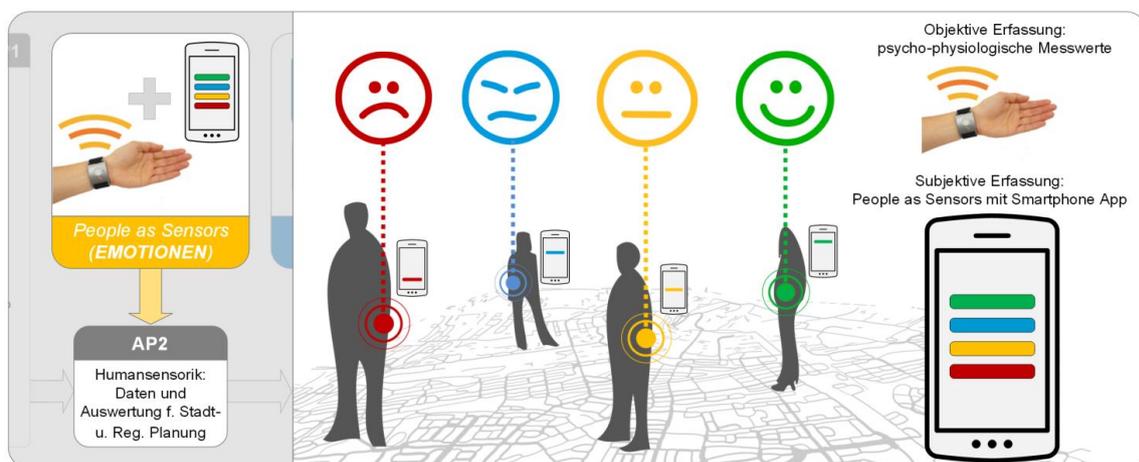


Abbildung 33: Objektive und subjektive Erfassung von psycho-physiologischen Messwerten und Emotionen im urbanen Kontext [ZEILE;2013]

Für die Betrachtung im Zusammenhang mit der VR ist primär die objektive Erfassung mittels geeigneter Sensorik sinnvoll. Die subjektive Erfassung ist mit hoher Wahrscheinlichkeit auf Grund der visuellen Abschottung durch das getragene *HMD* deutlich erschwert und würde den Anwender in der Immersion zudem einschränken. Als Folge könnten Verfälschungen der Ergebnisse auftreten, so dass lediglich eine objektive Erfassung menschlicher Emotionen bei Verwendung von VR

analysiert werden sollte. Die im Rahmen des Forschungsprojekts relevanten Fragestellungen könnten auf die Anwendung im Bereich der VR übertragen und erweitert werden [ZEILE;2013].

- Welche menschlichen Emotionen können im virtuellen Raum gemessen werden?
- Welche für den Planungsprozess wichtigen Parameter können aus der Messung abgeleitet werden?
- Wie können diese Parameter interpretiert werden?
- Welche Vorteile bietet die Emotionserfassung in Bezug auf die Stadt- und Raumplanung?

Um Verknüpfungen mit anderen Forschungsfeldern in einem angemessenen Maß und mit einem hohen Grad der Immersion überhaupt erst zu ermöglichen ist eine fortschreitende Innovation in der VR und der hiermit verbundenen Technik absolut notwendig.

Besonders die im Bereich der Displaytechnik bestehenden Schwächen der aktuellen VR-Systeme sollten zukünftig verbessert werden. Eine Möglichkeit wäre die Integration von hochauflösenden *4K Displays* mit einer Auflösung von 4096×2304 Pixel. Dies könnte die Wahrnehmung der virtuellen Welt immanent verbessern. Neben einer verbesserten Bildauflösung stellt die Reaktionszeit der Ausgabegeräte ein schwerwiegendes Problem für die VR dar. Die Verknüpfung des im *Oculus Rift* integrierten *Low Persistence-Modus* mit einer hohen Aktualisierungsrate scheint angesichts der zu erwartenden Zunahme im Bereich der Rechenleistung erreichbar. Diese und mögliche weitere technischen Neuerungen lassen in Zukunft auf eine bis heute unerreichte Inklusion in die Virtuelle Welt schließen.

Neben der Weiterentwicklung der Hardware ist eine verstärkte Integration der VR im Bereich der CAD-Software von enormer Wichtigkeit. Ohne ausreichende Schnittstellen für die Ein- und Ausgabe der VR bleibt eine Realisierung von Planungen weiterhin stark eingeschränkt. In naher Zukunft ist die native Unterstützung im CAD-Bereich allerdings sehr wahrscheinlich. Folglich scheint die feste Verankerung von VR im Planungsalltag für einen nachhaltigeren und effizienteren Planungsablauf sinnvoll.

5. Fazit

Die Visualisierung unter Verwendung von VR bietet dem Stadt- und Raumplaner neue Möglichkeiten für den Entwurfsprozess, die Information und Kommunikation bis hin zur Partizipation.

Die besonderen Vorteile der VR für den Planungsprozess wurden innerhalb der vorliegenden Masterarbeit anhand der praktischen Umsetzung eines Entwurfs für Neustadt an der Weinstraße herausgestellt. In der Praxis teilweise auftretende Planungsfehler finden ihre Ursache häufig im aktuell unzureichenden Instrumentarium der Visualisierung. Diese reichen von gestalterischen Mängeln bei der Fassaden- oder Platzgestaltung bis hin zur Fehldimensionierung im Kontext des umliegenden Gebäudebestands. Insbesondere die mangelhafte Überprüfbarkeit von Entwürfen auf ihre räumlichen Abmessungen wurden im Verlauf der praktischen Anwendung dieser Arbeit ersichtlich. Der im Praxisbeispiel visualisierte Entwurf des Stegreifs „Neustadt Weinstraße“ wies in seiner ursprünglichen Skalierung erhebliche Mängel auf. Mit Hilfe der Visualisierung durch die VR war es möglich, den Skalierungsfehler im Kontext des Bestandes sofort hervorzuheben und entsprechende Handlungsempfehlungen abzuleiten und umzusetzen. Darüber hinaus weist die VR eine hervorragende Eignung zum Vergleich von Planungs- bzw. Entwurfsvarianten auf. Diese können mit Hilfe der umfangreichen Visualisierungsmöglichkeiten aus den unterschiedlichsten Blickwinkeln betrachtet und in Echtzeit gewechselt werden.

Neben den immanenten Vorteilen der VR bietet sich eine Kombination mit anderen zeitgemäßen Visualisierungsformen an. Eine besondere Eignung als unterstützende Darstellungsform weist die Augmented Reality auf. Diese bietet die Möglichkeit nach der Entwurfsüberprüfung im Virtuellen Raum eine Einbettung im physisch gebauten Raum der Stadt zu realisieren. Die Verwendung der AR in der Partizipation ist in diesem Kontext besonders hervorzuheben.

Ungeachtet der teilweise unausgereiften Technik weist die VR in ihrem aktuellen Stadium bereits einen hohen Grad an Immersion und Eignung für die Planung auf. Es ist hierbei zu betonen, dass selbst unter geringem finanziellen Aufwand eine hochwertige VR für die breite Masse zugänglich gemacht werden kann. Dies wird ermöglicht durch die Allgegenwärtigkeit von aktuellen Smartphonemodellen in Verbindung mit dem kostengünstigen *Google Cardboard*. Obgleich die Verwendung im Entwurfsprozess auf Grund technischer Einschränkungen nicht in vollem Umfang gegeben ist, bietet sich eine Nutzung im Rahmen der Partizipation an. Dadurch könnte eine erhöhte Verständlichkeit von Neuplanungen innerhalb der Bevölkerung erreicht werden.

Abschließend kann für die VR und deren Verwendung in der Planung eine umfassende Eignung postuliert werden. Innerhalb der vorliegenden Arbeit wurde mittels der beispielhaften praktischen Anwendung von VR im Planungsprozess deutlich, dass der Einsatz von VR sinnvoll und zeitgemäß ist. Im planerischen Alltag sollte VR als Visualisierungsinstrument zur Minimierung und Vermeidung von Planungsfehlern und zur vereinfachten Wahrnehmung eingesetzt werden. Folglich sollte der Einsatz von VR in der Stadt- und Raumplanung zukünftig angestrebt werden.

Literatur und Internetquellen

[ANTZ;2009] Antz, S.: Methoden zur zielorientierten Erstellung von 3D-Stadtmodellen im kommunalen Kontext. Kaiserslautern. 2009.

[BALAGUER;1991] Balaguer, F.; Mangili, A.: Virtual Environments. Lausanne, Schweiz. 1991.

[BDC;2011] Bundesverband der deutschen Chirurgen e. V.: Virtuelles Laparoskopietraining in der chirurgischen Weiterbildung. 2011. [Online]

http://www.bdc.de/index_level3.jsp?documentid=16D3B082EFBE111FC12579580037D13F&form=Dokumente [Zugriff: 14.09.2014]

[BIMBER;2005] Bimber, O.; Raskar, R.: Spatial Augmented Reality: Merging Real and Virtual Worlds. Cambridge. 2005. [Online]

https://akela.mendelu.cz/~xkoubek0/VRUT/Spatial_Augmented_Reality.pdf [Zugriff: 11.08.2014]

[BLOCULUS;2014] Bloculus: Das deutsche Oculus Rift News Blog. 2014. [Online]

<http://www.bloculus.de/oculus-rift/> [Zugriff: 09.09.2014]

[CHESHER;1994] Cheshier, C.: Colonizing Virtual Reality – Construction of the Discourse of Virtual Reality. Sidney. 2003.

[CIE;2014] Wikipedia – Die freie Enzyklopädie: CIE-Normvalenzsystem. 2014. [Online]

<http://de.wikipedia.org/wiki/CIE-Normvalenzsystem> [Zugriff: 07.09.2014]

[CPE;2008] Fachbereich für Computergestützte Planungs- und Entwurfsmethoden: Tagesstegreif „Neustadt Weinstraße“. 2008. [Online] <http://cpe.arubi.uni-kl.de/2008/07/03/tagesstegreif-%E2%80%9Eneustadt-weinstrasse%E2%80%9C/> [Zugriff: 27.09.2014]

[DAMOCLES;2014] Wikipedia – Die freie Enzyklopädie: The Sword of Damocles (virtual reality).

2014. [Online] http://en.wikipedia.org/wiki/The_Sword_of_Damocles_%28virtual_reality%29 [Zugriff: 11.08.2014]

[DOPPLER;2011] Christian Doppler Laboratory: History of mobile Augmented Reality. 2011.

[Online] <https://www.icg.tugraz.at/~daniel/HistoryOfMobileAR/> [Zugriff: 10.08.2014]

[DUDEN;2014;A] Duden Online: virtuell. 2014. [Online]

<http://www.duden.de/rechtschreibung/virtuell> [Zugriff: 11.08.2014]

[DUDEN;2014;B] Duden Online: Realität. 2014. [Online]

<http://www.duden.de/rechtschreibung/Realitaet> [Zugriff: 11.08.2014]

[DÖRNER;2013] Dörner, R.; Broll, W.; Grimm, P.; Jung, B. (Hrsg.): Virtual und Augmented Reality (VR/AR): Grundlagen und Methoden der Virtuellen und Augmentierten Realität. Springer-Verlag. Berlin, Heidelberg. 2013.

[DÜBNER;2012] Dübner, S.: Mobile Augmented Reality im Planungsprozess - Anwendung am Beispiel der Landesgartenschau 2014 in Schwäbisch Gmünd. Kaiserslautern. 2012.

[ENDERLEIN;2002] Enderlein, U.: Wahrnehmung im Virtuellen – eine kulturwissenschaftliche Studie zur Konstruktion sinnlicher Wahrnehmung durch die Virtual Reality Technologie. Darmstadt. 2002.

[EVANS;2014] Wikipedia – Die freie Enzyklopädie: Evans & Sutherland. 2014. [Online]
http://en.wikipedia.org/wiki/Evans_%26_Sutherland [Zugriff: 12.08.2014]

[EVRYDAYVR;2014] Youtube Kanal von eVRydayVR: Discussion: New features of the Oculus Rift Crystal Cove prototype from CES. 2014. [Online]
https://www.youtube.com/watch?v=HoLHHUdi_LE#t=584 [Zugriff: 09.09.2014]

[FURHT;2011] Furht, B.: Handbook of Augmented Reality. Springer-Verlag. New York, Dodrecht, Heidelberg, London. 2011.

[GARTNER;2013] Gartner: Gartner's 2014 Hype Cycle for Emerging Technologies. 2014. [Online]
<http://www.gartner.com/newsroom/id/2819918> [Zugriff: 13.09.2014]

[GOLEM;2014] Golem, IT-News für Profis: Oculus Rift DK2 im Test. 2014. [Online]
<http://www.golem.de/news/oculus-rift-dk2-im-test-pixeldichte-schlaegt-pentile-matrix-1408-108227-3.html> [Zugriff: 09.09.2014]

[GOOGLE;2014] Google: Cardboard. 2014. [Online]
<https://developers.google.com/cardboard/> [Zugriff: 11.09.2014]

[IN2GPU;2014] IN2GPU: Oculus Rift: DK1 vs DK2. 2014. [Online]
<http://in2gpu.com/2014/08/10/oculus-rift-dk1-vs-dk2/> [Zugriff: 09.09.2014]

[IPD;2014] Wikipedia – Die freie Enzyklopädie: Augenabstand. 2014. [Online]
<http://de.wikipedia.org/wiki/Augenabstand> [Zugriff: 11.09.2014]

- [KICKSTARTER;2014] Kicksstarter: Oculus Rift: Step Into the Game. 2014. [Online]
<https://www.kickstarter.com/projects/1523379957/oculus-rift-step-into-the-game?ref=discovery>
 [Zugriff: 09.09.2014]
- [KLEIN;2006] Klein, G.: Visual Tracking Methods for Augmented Reality. Cambridge. 2006. [Online]
<http://www.robots.ox.ac.uk/~gk/publications/Klein2006Thesis.pdf> [Zugriff: 13.07.2012]
- [LERNER;2007] Lerner, K.; Lerner, B.: The gale encyclopedia of science (Vol. 6). Detroit. 2007.
- [LIVESCIENCE;2014] Live Science: Virtual Reality Treatment Relieves Amputee's Phantom Pain. 2014. [Online] <http://www.livescience.com/43665-virtual-reality-treatment-for-phantom-limb-pain.html> [Zugriff: 12.09.2014]
- [MAZURYK;1996] Mazuryk, T.; Gervautz, M.: Virtual Reality – History, Applications, Technology and Future. Wien. 1996.
- [MELZER;1997] Melzer, J.; Moffitt, K.: Head-mounted displays: designing for the users. McGraw Hill, New York. 1997.
- [MILGRAM;1994] Milgram, P.; Takemura, H.; Utsumi, A.; Kishino, F.: Augmented Reality: A Class of Displays on the Reality-Virtuality Continuum. Kyoto. 1994. [Online]
http://wiki.comres.org/pds/Project_7eNrf2010/_5.pdf [Zugriff: 13.07.2012]
- [OCULUS;2014] Wikipedia – Die freie Enzyklopädie: Oculus Rift. 2014. [Online]
http://de.wikipedia.org/wiki/Oculus_Rift [Zugriff: 12.09.2014]
- [OCULUSSIM;2014] mkeblx: Oculus Rift Simulator. 2014. [Online]
<http://vr.mkeblx.net/oculus-sim/> [Zugriff: 09.09.2014]
- [OCULUSUNITY;2014] Oculus VR., Inc: Oculus Unity Integration Guide. 2014.
- [OCULUSVR;2014] Oculus VR Blog: Announcing the Oculus Rift Development Kit 2 (DK2). 2014. [Online] <http://www.oculusvr.com/blog/announcing-the-oculus-rift-development-kit-2-dk2/>
 [Zugriff: 11.09.2014]
- [ORTHO;2014] Maimonides Bone and Joint Center: Orthopedic Surgery Residency. 2014. [Online]
<http://www.orthobrooklyn.com/education/orthopedic-surgery-residency/> [Zugriff:14.09.2014]
- [OXFORD;2014;A] Oxford Dictionary: virtual. 2014. [Online]
<http://www.oxforddictionaries.com/definition/english/virtual> [Zugriff: 11.08.2014]

- [OXFORD;2014;B] Oxford Dictionary: reality. 2014. [Online]
<http://www.oxforddictionaries.com/definition/english/reality?q=reality> [Zugriff: 11.08.2014]
- [PS4F;2014] PS4 Fans: Project Morpheus durch Facebookdeal gestärkt. 2014. [Online]
<http://ps4f.de/project-morpheus-durch-facebookdeal-gestaerkt/> [Zugriff: 11.09.2014]
- [REDDIT;2013] Reddit: What's the *real* resolution of the dev kit? 2013. [Online]
http://www.reddit.com/r/oculus/comments/1tgqhk/whats_the_real_resolution_of_the_dev_kit_hint_it/ [Zugriff: 09.09.2014]
- [REFLEX;2014] Wikipedia – Die freie Enzyklopädie: Vestibulookuläre Reflex. 2014. [Online]
http://de.wikipedia.org/wiki/Vestibulookul%C3%A4rer_Reflex [Zugriff: 11.09.2014]
- [SCREENDOOR;2014] Wikipedia – Die freie Enzyklopädie: Fliegengittereffekt. 2014. [Online]
<http://de.wikipedia.org/wiki/Fliegengittereffekt> [Zugriff: 09.09.2014]
- [SHERMAN;2003] Sherman, W.; Craig, A.: Understanding Virtual Reality – Interface, Application, and Design. San Francisco. 2003.
- [SLATER;1997] Slater, M.; Wilbur, S.: A Framework for Immersive Virtual Environments (FIVE): Speculations on the Role of Presence in Virtual Environments. London. 1997.
- [SONY;2014] Sony Computer Entertainment: Sony Computer Entertainment Announces "Project Morpheus" - A Virtual Reality System That Expands The World Of Playstation®4 (PS4™). 2014. [Online] <http://www.sony.com/SCA/company-news/press-releases/sony-computer-entertainment-america-inc/2014/sony-computer-entertainment-announces-project-morp.shtml> [Zugriff: 11.09.2014]
- [SUTHERLAND;1965] Sutherland, I.: The ultimate Display. Proceedings of IFIP Congress 2. 1965.
- [T3N;2014] T3N – Digital Pioneers: Google Cardboard: So baut ihr euch eine VR-Brille aus Pappe. 2014. [Online] <http://t3n.de/news/google-cardboard-vr-brille-pappe-553860/> [Zugriff: 11.09.2014]
- [UNIMÜNCHEN;2014] Ludwig_maximilians-Universität München: Virtual Reality. 2014. [Online]
<http://www.nm.ifi.lmu.de/teaching/Vorlesungen/2014ss/vr/>
- [VIRTUELLEREALITÄT;2014] Wikipedia – Die freie Enzyklopädie: Virtuelle Realität. 2014. [Online]
http://de.wikipedia.org/wiki/Virtuelle_Realit%C3%A4t [Zugriff: 11.08.2014]

[VRCOASTER;2014;A] VR-Coaster: About. 2014. [Online]
<http://www.vr-coaster.com/index.php> [Zugriff: 14.09.2014]

[VRCOASTER;2014;B] VR-Coaster: The Coasters. 2014. [Online]
<http://www.vr-coaster.com/discoveries.php> [Zugriff: 14.09.2014]

[VRCOASTER;2014;C] VR-Coaster: Discoveries. 2014. [Online]
http://www.vr-coaster.com/bluefire_onride_2.jpg [Zugriff: 14.09.2014]

[ZEILE;2013] Zeile, P.; Resch, B.: Antrag zum DFG-Projekt „Urban Emotions“. Kaiserslautern, Heidelberg. 2013.

Abbildungsverzeichnis

| | |
|---|----|
| ABBILDUNG 1: HYPE CYCLE DER ZUKÜNFTIGEN TECHNOLOGIEN NACH GARTNER [GARTNER;2014] | 9 |
| ABBILDUNG 2: VIRTUAL REALITY-BEHANDLUNG VON PHANTOMSCHMERZPATIENTEN [LIVESCIENCE;2014] | 10 |
| ABBILDUNG 3: BEISPIEL FÜR EINEN VR-SIMULATOR IN DER MEDIZIN [ORTHO;2014] | 11 |
| ABBILDUNG 4: IMPRESSION DER FAHRT MIT DEM <i>VR-COASTER</i> [VRCOASTER;2014;B]..... | 12 |
| ABBILDUNG 5: TEILSYSTEME EINES VIRTUAL REALITY-SYSTEMS IM ÜBERBLICK [DÖRNER;2013;127;MODIFIZIERT] | 14 |
| ABBILDUNG 6: <i>FOV</i> EINES MONOKULAREN <i>HMDS</i> [DÖRNER;2013;143;MODIFIZIERT] | 16 |
| ABBILDUNG 7: <i>FOV</i> EINES BINOKULAREN <i>HMDS</i> [DÖRNER;2013;144;MODIFIZIERT]..... | 17 |
| ABBILDUNG 8: AUFBAU EINES <i>HMDS</i> [DÖRNER;2013;147;MODIFIZIERT]..... | 19 |
| ABBILDUNG 9: KICKSTARTER-KAMPAGNE FÜR DAS <i>OCULUS RIFT</i> AUS DEM JAHR 2012 [KICKSTARTER;2014] | 19 |
| ABBILDUNG 10: DARSTELLUNG DER TATSÄCHLICHEN AUFLÖSUNG DES DK1 [OCULUSUNITY;2014] | 21 |
| ABBILDUNG 11: VERGLEICH DER OPTIK DES DK1 UND DK2 [IN2GPU;2014]..... | 21 |
| ABBILDUNG 12: <i>SCREENDOOR</i> -EFFEKT IM VERGLEICH [OCULUSSIM;2014] | 22 |
| ABBILDUNG 13: FUNKTIONSWEISE DES „ <i>LOW PERSITENCE</i> “-MODUS IM DK2 [EVRYDAYVR;2014] | 24 |
| ABBILDUNG 14: POSITIONSTRACKING MIT HILFE EINES INFRAROTSYSYSTEMS BEIM DK2 [OCULUSVR;2014] ... | 25 |
| ABBILDUNG 15: VR-HEADSET <i>PROJECT MORPHEUS</i> VON <i>SONY COMPUTER ENTERTAINMENT</i> [PS4F;2014] . | 26 |
| ABBILDUNG 16: <i>GOOGLE CARDBOARD</i> - VR ZUM SELBER BASTELN [GOOGLE;2014]..... | 26 |
| ABBILDUNG 17: ABGRENZUNG DES PLANGEBIETS [ROT] SOWIE DES BAHNHOFAREALS [GELB] [GOOGLEEARTH;2014]..... | 30 |
| ABBILDUNG 18: ABLAUFSCHEMA DES VISUALISIERUNGSPROZESSES | 31 |
| ABBILDUNG 19: ENTWURF IM RAHMEN DES STEGREIFIS "NEUSTADT WEINSTRASSE" | 32 |
| ABBILDUNG 20: ARBEITSCHRITTE ZUR VISUALISIERUNG IN <i>GOOGLE SKETCHUP</i> | 33 |
| ABBILDUNG 21: TRANSFORMIERUNG DES IMPORTIERTEN FBX-TERRAINS IN DAS FORMAT VON <i>UNITY 3D</i> . | 35 |
| ABBILDUNG 22: PROJEKTUMGEBUNG MIT GLOBALER BELEUCHTUNG UND SKYBOX..... | 35 |
| ABBILDUNG 23: POSITIONIERUNG DER GEBÄUDE INNERHALB DER PROJEKTUMGEBUNG | 36 |
| ABBILDUNG 24: GUI MIT ZUGRUNDE LIEGENDEM GAMEOBJECT | 36 |
| ABBILDUNG 25: TEXTURIERTES GELÄNDEMOMELL MIT DETAILS FÜR DIE DESKTOPBASIERTE WIEDERGABE . | 37 |
| ABBILDUNG 26: BILDSCHIRMANZEIGE DER AUSGEFÜHRTEN ANWENDUNG FÜR DAS <i>OCULUS RIFT</i> | 38 |
| ABBILDUNG 27: TEXTURIERTES GELÄNDEMOMELL FÜR DIE MOBILE WIEDERGABE..... | 39 |
| ABBILDUNG 28: VERWENDETER LADEBILDSCHIRM FÜR DIE MOBILE VISUALISIERUNG | 40 |
| ABBILDUNG 29: BILDSCHIRMANZEIGE DER AUSGEFÜHRTEN ANWENDUNG FÜR DAS <i>GOOGLE CARDBOARD</i> | 41 |
| ABBILDUNG 30: DIMENSIONIERUNGSFEHLER DES STEGREIFENTWURFS "NEUSTADT WEINSTRASSE" – URSPRÜNGLICHER ENTWURF [OBEN] GEGENÜBER SKALIERTEM ENTWURF [UNTEN]..... | 44 |
| ABBILDUNG 31: DARSTELLUNG DES "REALITY-VIRTUALITY-CONTINUUM" NACH MILGRAM ET AL. [MILGRAM;1994;283]..... | 46 |

| | |
|--|----|
| ABBILDUNG 32: VISUALISIERUNG EINER NEUPLANUNG MIT HILFE VON AR [DÜBNER;2012] | 47 |
| ABBILDUNG 33: OBJEKTIVE UND SUBJEKTIVE ERFASSUNG VON PSYCHO-PHYSIOLOGISCHEN MESSWERTEN UND EMOTIONEN IM URBANEN KONTEXT [ZEILE;2013]..... | 49 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|--|----|
| TABELLE 1: VERGLEICH DER MERKMALE VON VR UND VON KONVENTIONELLER COMPUTERGRAFIK [DÖRNER;2013;14] | 5 |
| TABELLE 2: VERGLEICH DER TECHNISCHEN EIGENSCHAFTEN DES <i>OCULUS RIFT</i> DK1 UND DK2 [IN2GPU;2014] | 20 |
| TABELLE 3: ERFORDERLICHE SOFTWARE FÜR DEN VISUALISIERUNGSPROZESS | 30 |

(Digitaler) Anhang

Inhalt der CD:

- **Abbildung**
Alle verwendeten Abbildungen, inklusive der Originale.
- **Internetquellen**
Screenshots der verwendeten Internetquellen als PDF.
- ***Stand-Alone-Anwendungen***
- **Unity 3D-Skripte**
- **Zusammenfassung / Abstract**