

Master-Thesis in Zeitabhängige Medien - Games



HAW HAMBURG

Mobile VR Interaction Design

*Nutzerzentrierte Gestaltung von smartphone-basierter
Virtual Reality*

Manuela Uhr

2153565

Betreuer: Prof. Dr. Ralf Hebecker

2. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Boris Tolg

Datum: Hamburg, den 9. September 2016

Hiermit versichere ich an Eides statt und durch meine Unterschrift, dass die vorliegende Arbeit von mir selbstständig ohne fremde Hilfe angefertigt worden ist. Inhalte und Passagen, die aus fremden Quellen stammen und direkt oder indirekt übernommen worden sind, wurden als solche kenntlich gemacht. Ferner versichere ich, dass ich keine andere, außer der im Literaturverzeichnis angegebenen Literatur verwendet habe. Diese Versicherung bezieht sich sowohl auf Textinhalte sowie alle enthaltenden Abbildungen, Skizzen und Tabellen. Die Arbeit wurde bisher keiner Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.

Hamburg, den 9. September 2016

Manuela Uhr

Überblick

Diese Master-Thesis behandelt die nutzerzentrierte Gestaltung von Virtual Reality-Apps. Dabei soll herausgefunden werden, wie Interaktionen trotz aktueller Einschränkungen der Technologie nutzungsfreundlich und für alle Zielgruppen zugänglich gestaltet werden können. Durch die umfangreiche Sammlung theoretischer und praktischer Empfehlungen speziell für diese noch junge Technologie ist die Relevanz dieser Arbeit gesichert.

Der Inhalt ist in vier Teile gegliedert. Nach einer kurzen Einleitung werden im ersten Teil die allgemeinen Grundlagen, Ziele und Herausforderungen von Virtual Reality vermittelt. Im nachfolgenden Kapitel wird aktuelle Smartphone- und Virtual-Reality-Hardware im Detail vorgestellt. Das anschließende Kapitel sammelt Empfehlungen, die für die Gestaltung von virtuellen Welten und den Interaktionen mit ihnen wichtig sind. Bei der Entwicklung mehrerer Virtual Reality-Apps für unterschiedliche Anwendungsbereiche wurde das theoretische Wissen praktisch angewendet. Eine Beschreibung der Vorgehensweise, im besonderen Hinblick auf die Gestaltung der virtuellen Interaktionen, folgt im abschließenden Kapitel.

Alles in allem soll mit dieser Thesis auf den Forschungsbedarf bei smartphone-basierter Virtual Reality hingewiesen werden. Diese Arbeit gibt konkrete Anhaltspunkte für die Entwicklung von hochwertigen Virtual Reality-Apps für Smartphones, die auch für zukünftige Plattformen relevant sind.

Abstract

This thesis aims to investigate user-centered design in virtual reality apps. Given that this technology is still emerging, further research into smartphone based virtual reality is critical for future decisions designing accessible and interactive virtual environments. This thesis offers a substantial collection of theoretical and practical knowledge on this topic, thereby enabling further research and future technologies.

The content of this paper is divided into four parts: the first part describes basic aspects, goals and challenges of virtual reality. In the second part, important hardware specifications are described and current limitations discussed. The third and largest part collates relevant research material useful for designing virtual worlds and interactions intended to be compatible with mobile hardware. This research material is used to develop several virtual reality apps focusing on varying use cases. The last chapter documents the development process of these apps which consisted mainly of rapid prototyping and iterative testing. Different interactions were designed to complement the different utilities and to offer a intuitive, accessible virtual reality experience.

In conclusion, this thesis argues that despite its current technical limitations, smartphone-based VR has broad potential to continue to grow more immersive and market-viable in the future. This potential can only be fully exploited with further research in the field. This thesis contributes to that growth by offering the necessary material for designing better virtual experiences for mobile and future VR technology.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Herausforderungen für VR	3
2.1	Neue Anwendungsbereiche	3
2.2	Immersion & Presence	5
2.3	Virtual Reality Sickness	7
3	Mobile-VR-Hardware	10
3.1	Funktionsweise	10
3.2	Smartphone Ausstattung	13
3.3	Aktuelle Headsets	17
3.3.1	Google Cardboard	18
3.3.2	Samsung Gear VR	20
3.3.3	Google Daydream	21
3.4	Eingabegeräte	22
4	Mobile-VR-Software	27
4.1	Grundlagen Interaktionsdesign	27
4.2	Usability und Accessibility in VR	30
4.3	Sicht- und Interaktionsbereiche	32
4.4	Orientierung	34
4.5	Bewegung und Fortbewegung	37
4.6	Interaktion in Mobile-VR	40
4.7	User Interfaces	46
4.8	Anwendungsstart	52
5	Eigene VR-App-Entwicklung	54
5.1	Dokumentation und Design	54
5.2	Best Practices	62
6	Fazit	63
	Literaturverzeichnis	65
	Abbildungsverzeichnis	70

1 Einleitung

„VR is too important and too powerful a medium to be accessible to only a few.“

– Clay Bavor, Googles Vizepräsident für VR¹

Im Jahr 2016 ist der Hype von Virtual Reality nicht mehr aufzuhalten. Die Pioniere Oculus und HTC boten ihr erstes Headset-Modell auf dem Markt an, jedoch für ein weitaus höheres Preissegment, als ursprünglich geplant. In der Zwischenzeit erreichte smartphone-basierte Virtual Reality bereits Millionen von Menschen.

Diese Technologie, vorangetrieben vom Großunternehmen Google, fördert die Verbreitung von Virtual Reality wie keine andere. Als ein Stück Pappkarton, dem Google Cardboard, startete die damals noch nicht ganz ernst zu nehmende Erfolgsgeschichte von Mobile-VR auf der Google I/O Konferenz 2014 verteilt wurde. Im Gegensatz zu den teuren Desktop Plattformen ermöglicht Mobile-VR für wenig Geld, ohne störende Kabel und ohne mindestens vier Quadratmeter leere Wohnfläche, den Zugang zur virtuellen Realität.

Und diese einfache und kostengünstige Lösung zahlt sich aus. Mittlerweile wurden in weniger als zwei Jahren über fünf Millionen² Cardboard Headsets verteilt. Über eine Million³ Nutzer zählte Samsungs Mobile-VR-Headset im April 2016. Und bis Anfang des Jahres wurden bereits über 25 Millionen² VR-Apps im Google Play Store heruntergeladen.

Trotz der Hardware-Limitierungen erreicht Mobile-VR viel mehr Menschen als alle anderen VR-Technologien. Für viele ist es ein erster Einstieg in Virtual Reality; für VR-Entwickler ist es jedoch die Möglichkeit, eine enorme Bandbreite an Menschen zu erreichen und mit ihnen virtuelle Welten zu teilen.

¹Siehe Fitzpatrick (2015)

²Weitere Zahlen siehe <http://mashable.com/2016/01/27/google-cardboard-user-numbers>

³<http://fortune.com/2016/05/11/oculus-samsung-gear-1-million-users/>

Literatur

Die Literaturrecherche bestand aus der Auswahl von VR-bezogenen Informationen und dem Transfer speziell zu Mobile-VR. Relevante Quellen fanden sich in Form von Präsentationen auf VR-bezogenen Konferenzen, Artikel erfolgreicher VR-Entwickler und mehreren Forschungsarbeiten. In wenigen Fällen konnte entsprechende Literatur in gedruckter Form gefunden werden.

Jason Jeralds umfassendes Werk *The VR Book* gibt einen tiefen Einblick in Virtual Reality. Dabei betont er, dass für eine Entwicklung hochwertiger, virtueller Welten nicht nur technisches Know-how, sondern auch psychologisches und gestalterisches Wissen erforderlich sei. Aufgrund des Fokus auf nutzerzentrierte Gestaltung dient es als wichtige Quelle für diese Arbeit.

Ebenso ist Tony Parisi praxisbezogenes Buch zu den aktuellen VR-Technologien relevant. Trotz der Herausgabe im Oktober 2015 sind in der verwendeten Ausgabe bereits einige Informationen veraltet.

Danksagungen

An dieser Stelle möchte ich mich bei all denjenigen bedanken, die mich während der Anfertigung dieser Masterarbeit unterstützt und motiviert haben.

Zuerst gebührt mein Dank Prof. Ralf Hebecker und Prof. Dr.Ing. Boris Tolg, die meine Masterarbeit betreut und begutachtet haben. Für die vielen Anregungen und die Hilfe bei der Themenwahl möchte ich mich herzlich bedanken.

Ebenfalls möchte ich mich bei meinen Freunden und meiner Familie bedanken, die mir mit viel Geduld, Interesse und Hilfsbereitschaft zur Seite standen. Meiner Freundin Johanna Fülcher danke ich besonders für den emotionalen Rückhalt und das offene Ohr über die Dauer meines gesamten Studiums.

Bedanken möchte ich mich auch bei allen Testern der im Rahmen dieser Arbeit entstandenen Apps. Das zahlreiche konstruktive Feedback hat maßgeblich zu ihrer Verbesserung beigetragen.

2 Herausforderungen für VR

Für das Verständnis von Virtual Reality für Smartphones ist es wichtig, die generellen Chancen, Ziele und Probleme des Mediums zu kennen. Dieses Kapitel fasst die wichtigsten Aspekte hierfür zusammen.

2.1 Neue Anwendungsbereiche

Für Virtual Reality sind Games und Filme die populärsten Anwendungsbereiche. Spieler und Zuschauer haben mit Virtual Reality die Möglichkeit, in fiktiv erschaffene Welten zu reisen. Spieler werden nicht mehr durch verhältnismäßig kleine Bildschirme eingeschränkt und interagieren tatsächlich im dreidimensionalen Raum des Spiels. Bei 360°-Filmen werden Zuschauer zu Mitgestaltern, ein aktiver Teil der Filmwelt, in der sie sich frei und nach Belieben umsehen können.

Es gibt jedoch mehr Bereiche, für die Virtual Reality einen großen Mehrwert darstellen kann.

In der Bildung verhilft Virtual Reality ebenfalls zu ganz neuen Möglichkeiten. Mithilfe dieser Technologie ist es nun möglich, das Klassenzimmer während des Unterrichts auszublenken und lernrelevante Inhalte erlebbar im Unterricht zu integrieren. In Geografie ermöglicht zum Beispiel Google Expeditions den Schülern, gemeinsam mit der Lehrkraft entfernte Orte zu bereisen (Google Inc, 2016). Im Mathematikunterricht kann Virtual Reality eingesetzt werden, um dreidimensionale geometrische Formen tatsächlich in 3D darstellen zu können. Aber auch für andere Fächer gibt es im Bezug auf Einsatzmöglichkeiten kaum Grenzen.

Durch die Darstellung in Virtual Reality wird aufgrund der in Abschnitt 2.2 beschriebenen Immersion und Presence ein bleibenderer Eindruck hinterlassen, als gedruckte Bilder in Schulbüchern es je könnten.



Abb. 2.1: **Virtual Reality im Schulunterricht**

In der Medizin gibt es ebenfalls mehrere Einsatzmöglichkeiten für Virtual Reality. Durch die wirklichkeitsgetreue Simulation von Operationen und Rettungseinsätzen können angehende Ärzte noch besser auf den Ernstfall vorbereitet werden. Ein Beispiel hierfür ist das Projekt *Virtuelle Hospital*¹ an der HAW Hamburg, bei dem Anwender sich in verschiedene Szenarien begeben – von der Erstversorgung am Unfallort bis zur Patientenversorgung in der Unfallchirurgie. Neben Trainingssimulationen für Ärzte und Pflegepersonal kann Virtual Reality in Krankenhäusern auch für die Patienten an Bedeutung gewinnen. In *Anxiety RelieVR* beispielsweise können Menschen in eine beruhigende Atmosphäre wechseln, fernab vom Krankenbett und Klinikalltag (Applied VR, 2015). So wird für Patienten eine bessere Heilungssituation geschaffen.



Abb. 2.2: **Einsatz von Virtual Reality in Krankenhäusern**

Ein weiteres wichtiges Anwendungsgebiet ist die Architektur. Virtual Reality kann Archi-

¹Weitere Informationen unter <http://www.ls.haw-hamburg.de/~virtualHospital/>

tekten bei der Gebäudeplanung und der Präsentation ihrer Konzepte unterstützen, indem die Gebäude noch vor Baubeginn virtuell begangen werden können. Dank Agenturen wie VRnow² können des Weiteren Immobilien virtuell und bequem von Zuhause aus besichtigt werden.

VR-Software wie EnvelopVR zeigt die Vorteile von Virtual Reality am Arbeitsplatz (Envelop VR, 2016). Die Erweiterung der Bildschirmfläche auf bis zu 360° in Virtual Reality steigert besonders die Produktivität (Alger, 2015b). 360° an Fläche ist das theoretische und praktische Maximum und weitaus mehr, als durch die Aneinanderreihung physikalischer Bildschirme je erreicht werden kann. Indem für die Informationsdarstellung und für Software mehr Platz zur Verfügung steht, wird lästiger Zeitverlust durch das Öffnen und Schließen von Anwendungsfenstern verhindert.

Außerdem kann der Einsatz von Virtual Reality während der Arbeit am Computer mehr Komfort ermöglichen, da durch Einbezug vom 360°-Desktop-Hintergrund arbeiten in beliebiger Umgebung möglich ist (Alger, 2015b). Verlockende Beispiele wären Orte wie inmitten einer Wiese, auf einem entfernten Planeten oder am tropischen Strand.

Die Herausforderung besteht nun darin, diese und viele weitere Anwendungsbereiche von Virtual Reality so zu gestalten, dass sie für alle potenziellen Anwender zugänglich und bereichernd sind.

2.2 Immersion & Presence

Das allgemeine Ziel von Virtual Reality ist die Simulation einer virtuellen Realität. Es geht darum, den Anwender in eine andere Welt zu versetzen, in der er sich jedoch nicht physisch befindet (Jerald, 2015, S. 45). Um dies zu erreichen, ist das Verständnis von Immersion und Presence wichtig.

Eine Definition für den Begriff Immersion ist in verschiedenen Lexika zu finden: das „Eintauchen in eine virtuelle Umgebung“³ oder „deep mental involvement“⁴. Unabhängig von einer Virtualität können auch Geschichten, Bücher, Hörspiele oder Filme immersiv sein.

²Siehe <http://vr-now.org/>

³<http://www.duden.de/rechtschreibung/Immersion>

⁴<http://www.oxforddictionaries.com/definition/english/immersion>

In der Spieleentwicklung wird der Begriff ebenfalls häufig verwendet. Der Begriff Presence taucht dagegen seltener auf. In den Oxford Dictionaries wird Presence als „the state or fact of existing, occurring, or being present“⁵ definiert, in diesem Fall in der virtuellen Realität.

Laut Jerald kann das Gefühl von Presence in Virtual Reality auch nur verstanden werden, wenn es tatsächlich selbst erlebt wurde (Jerald, 2015, S. 46).

Slater und Wilbur unterscheiden die beiden Begriffe in ihrer Arbeit *A Framework for Immersive Virtual Environments* (Slater and Wilbur, 1997) ausführlich. Sie bezeichnen Immersion als den Grad, wie stark die projizierten Bilder eine Illusion der Realität mit folgenden Eigenschaften vermitteln können:

- Inclusive:** Ausmaß der Ausblendung physikalischer Umgebung
- Extensive:** Spannweite abgerufener Sinne
- Surrounding:** Umfang der Simulation eines Rundum-Blick
- Vivid:** Glaubhaftigkeit und Abwechslungsreichtum der virtuellen Welt, abhängig von der Qualität der Hardware

Das Übereinstimmen der virtuellen Realität mit der Erwartung des Anwenders ist besonders relevant. Um einen hohen Immersionsgrad zu erreichen, müsse laut Slater und Wilbur die eigene Körperbewegung, Kopfbewegung und Geräuschkulisse für den Anwender räumlich und erwartungskonform in der virtuellen Umgebung abgebildet werden (Slater and Wilbur, 1997).

Presence wird hingegen als „being there“ – als Gefühl von Gegenwart und Anwesenheit in der virtuellen Realität – beschrieben. Presence sei im Gegensatz zu Immersion ein Bewusstseinsstatus (Slater and Wilbur, 1997). Anwender, die Presence besonders stark erleben, erfahren in diesem Moment die virtuelle Realität fesselnder als die Realität um sie herum. Der auf dem Display dargestellte Inhalt wird eher als erlebter Ort denn als betrachtete Bilder empfunden (Slater and Wilbur, 1997).

Ein hoher Immersionsgrad verbessere die Chance, dass Anwender auch Presence erleben

⁵<http://www.oxforddictionaries.com/de/definition/englisch/presence>

(Slater and Wilbur, 1997, S.5). Allerdings spielen bei Presence auch die subjektive Wahrnehmung eine Rolle. Für manche Anwender spielen das Fehlen von Audio-Informationen wie zum Beispiel Umgebungsgeräuschen keine so wichtige Rolle, um ein Gefühl der Presence zu verspüren. Weitere Elemente, die Presence positiv beeinflussen können, ist eine eigene Repräsentation durch einen virtuellen Körper, auch *Avatar* genannt, physikalische Interaktion mit der virtuellen Umgebung und soziale Kommunikation mit virtuellen Charakteren (Jerald, 2015).

Fotorealismus wird zwar oft als das große Ziel von Virtual Reality angesehen, sei jedoch laut Jerald keine Voraussetzung für Immersion und Presence (Jerald, 2015, S. 49f). Zum Zeitpunkt dieser Arbeit gibt es auch noch keine Hardware, die tatsächlich an Fotorealismus heranreicht. Und in manchen Fällen kann das Ziel, eine möglichst realistische Umgebung zu erstellen, sogar in das Gegenteil verkehren.

2.3 Virtual Reality Sickness

Trotz jahrzehntelanger Entwicklung von Virtual Reality treten bei vielen Menschen aktuell immer noch negative Begleiterscheinungen, wie Schwindel und Kopfschmerzen, auf. Starke Symptome bei der Verwendung von VR-Hardware verringern nicht nur die Immersion und das Presence-Gefühl. Meist führt es auch zum vorzeitigen Abbruch der Anwendung und nicht selten zum anschließenden Meiden von Virtual Reality. Die Symptome können sowohl während als auch im Anschluss, nach Absetzen des VR-Headsets, auftreten.

Eine umfassende Sammlung bzw. Kategorisierung aller dokumentierten Symptome sind im Simulator Sickness Questionnaire (SSQ) von Kennedy et al zusammengefasst (Kennedy et al., 1993). Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die Reichweite der Symptome.

- | | |
|----------------------------------|---|
| 1. Allgemeines Unwohlsein | 9. Konzentrationsschwierigkeiten |
| 2. Übermüdung | 10. Gefühl eines "vollen Kopfes" |
| 3. Kopfschmerzen | 11. Verschwommenes Sehen |
| 4. Überanstrengte Augen | 12. Schwindelgefühl bei offenen Augen |
| 5. Schwierigkeit, zu fokussieren | 13. Schwindelgefühl bei geschlossenen Augen |
| 6. Erhöhte Speichelbildung | 14. Höhenschwindel |
| 7. Schwitzen | 15. Flauer Magen |
| 8. Übelkeit | 16. Aufstoßen bzw. Erbrechen |

Kategorien des *Simulator Sickness Questionnaire* (Kennedy et al., 1993, ins Deutsche übersetzt)

Im Fragebogen wird eine Abstufung von *None*, *Slight*, *Moderate*, *Severe* je Symptom abgefragt.

Der biologische Grund für die genannten Symptome und Auslöser ist umstritten. Bezüglich der Benennung gibt es ebenfalls noch keine allgemeine Einigung. In den aktuellen Medien wird meist von *Motion Sickness* gesprochen, da die Symptome denen der Kinetose (Reisekrankheit) stark ähneln. Allerdings sind die Symptome bei Virtual Reality noch stärker mit denen der in den 1950er Jahren dokumentierten Simulator Sickness verwandt (Helfrich and Uhr, 2015). Der in dieser Thesis verwendete Begriff *Virtual Reality Sickness (VR-Sickness)* enthält Eigenschaften beider.

Das Auftreten von *VR-Sickness* beeinflussende Faktoren können in folgende drei Kategorien eingeteilt werden (Helfrich and Uhr, 2015).

1. Persönliche und situationsbedingte Faktoren

Dazu zählen zum Beispiel Alter und Geschlecht oder bestimmte Vorerkrankungen, die das VR-Erlebnis erschweren (Kolasinski, 1995). Besonders die eigene Reizempfindlichkeit spielt eine große Rolle im Bezug auf *VR-Sickness*. Genauso wie bei der Reisekrankheit leiden einige Menschen unter den Symptomen, andere wiederum nicht. Ein Training zur Gewöhnung an Virtual Reality kann in manchen Fällen zu einer Verbesserung beitragen (Helfrich and Uhr, 2015).

Situationsbedingte Faktoren, wie die Tageszeit oder die räumliche Umgebung, spielen

unabhängig von den Anwendern eine große Rolle für das Auftreten und die Ausprägung von *VR-Sickness*. So wird zum Beispiel empfohlen, besser im Sitzen als im Stehen zu testen, da dann die Symptome geringer seien (Lewis-Evans, 2014). Besonders wichtig sind auch regelmäßige Pausen, selbst bei kurzen Anwendungen.

2. Hardware-Faktoren

Ein weiterer wichtiger Faktor für *VR-Sickness* ist die verwendete Technologie. Die Leistungsfähigkeit und Qualität der Geräte bewirken einen großen Unterschied beim Auftreten der Symptome. Auf bekannte Hardware-Anforderungen zur Vermeidung von *VR-Sickness* wird in Kapitel 3 genauer eingegangen. Außerdem ist eine individuelle Anpassungsmöglichkeit der Geräte an den Anwender wichtig (Jerald, 2015, S.198ff). Sowohl die Rücksichtnahme auf den individuellen Pupillenabstand (= Interpupillary Distance, IPD) als auch der Sehstärke ist wichtig, um Schielen und daraus resultierende *VR-Sickness* zu verhindern. Welche Anpassungen bei welchem aktuellen Mobile-VR-Gerät möglich sind, beschreibt ebenfalls Kapitel 3.

3. Software-Faktoren

Performance, Bildwechselfrequenz und Latenz sind softwareseitige Faktoren für *VR-Sickness* und gehen mit der zur Verfügung stehenden Hardware Hand in Hand. Aber auch unbedachte Gestaltung der virtuellen Welt kann starke Symptome auslösen. Sowohl der Inhalt als auch das Interaktionsdesign ist entscheidend für die Verträglichkeit jeder VR-Anwendung. Stark immersive, realistische Umgebungen lösen zum Beispiel stärkere Symptome aus (Kavakli et al., 2008). Aktuelle Empfehlungen und Richtlinien, wie *VR-Sickness* verhindert werden kann, sind ein wichtiger Bestandteil dieser Arbeit und werden in Kapitel 4 intensiv behandelt.

Die Herausforderung für Virtual Reality besteht also darin, durch verbesserte Hardware und Software Virtual Reality für möglichst viele Menschen zugänglich zu machen. Nur durch ständige Verbesserungen in beiden Bereichen können die negativen Begleiterscheinungen gemindert oder sogar komplett vermieden werden. So kann Virtual Reality zum Beispiel auch Menschen mit hoher Empfindlichkeit gegenüber *VR-Sickness* ohne Einschränkungen zugänglich gemacht werden.

3 Mobile-VR-Hardware

Als Mobile-Virtual Reality, kurz Mobile-VR, wird die smartphone-basierte Technologie zur Erzeugung von virtueller Realität bezeichnet. Um virtuelle Welten zu erleben, reicht bei Mobile-VR ein Smartphone und ein dazu passendes Headset aus. Es ist kein zusätzlicher High-End-Computer nötig, keine Kabel, keine zusätzliche, kostspielige Ausstattung. Mobile-VR erreicht auf diese Weise eine viel größere Bandbreite, da weitaus mehr Menschen High-End-Smartphones besitzen als High-End-PCs (Robertson, 2015).

In diesem Kapitel wird der aktuelle Stand der Technik erläutert. Hierfür wird zuerst die allgemeine Funktionsweise geschildert, um im Anschluss auf die benötigte Ausstattung von Smartphones einzugehen. Darauf folgt ein Vergleich der aktuell populärsten Mobile-VR-Plattformen und verfügbarer Eingabegeräte.

3.1 Funktionsweise

Im Gegensatz zu Headsets mit eingebautem Display, wie zum Beispiel *Oculus Rift*¹ und *HTC Vive*², haben Headsets für Mobile-VR eine Halterung zur Befestigung eines Smartphones als Display.

Beim Tragen des Headsets sieht der Anwender durch zwei konvexe Linsen, für jedes Auge jeweils eine Linse. Dadurch wird der Blick auf die zwei Hälften des Smartphone-Displays aufgeteilt. Auf den beiden Teilbereichen wird jeweils ein Bild der virtuellen Welt angezeigt, mit einem kleinen Abstand zueinander. Die stereoskopische Sicht beider Augen wird in die virtuelle Welt fortgeführt. Auf diese Weise entsteht *Parallax*, „[...] the visual phenomenon where our brains perceive depth based on the difference in the apparent position of objects (due to our eyes being slightly apart from each other).“ (Parisi, 2015, S. 4). Abbildung 3.1 zeigt anschaulich den Parallax Effekt in Virtual Reality im Vergleich zu natürlichem Sehen.

¹Siehe <https://www3.oculus.com/en-us/rift/>

²Siehe <https://www.htcvive.com/de/>

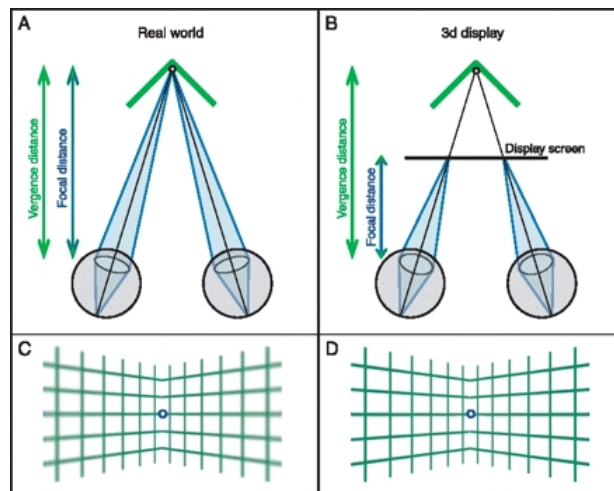


Abb. 3.1: Parallax

Zusätzlich wird durch den Einsatz von Barrel Distortion, zu Deutsch tonnenförmige Verzeichnung, bei beiden Bildern eine Verbesserung der Simulation erzielt. Die dabei entstehende Verzerrung des Bildes imitiert die sphärische Form des Auges (Parisi, 2015, S. 4). Beide verzerrten Teilbilder werden anschließend auf dem Display abgebildet.

Die Linsen simulieren ebenfalls die sphärische Form der Augen (Parisi, 2015, S. 4). In Kombination mit der Anzeige auf dem Display wird die virtuelle Welt unverzerrt wahrgenommen, siehe folgende Abbildung 3.2.

Dabei wird der sichtbare Ausschnitt der virtuellen Welt vergrößert für die Abdeckung eines möglichst großen Sichtbereichs, genannt Field-of-View (FOV). Bei großen FOVs fühlt sich die Simulation nicht mehr nur flach und entfernt an, wie der Blick durch ein Fernglas, sondern dreidimensional und immersiv über die Peripherie hinaus (Uhdinger, 2016).

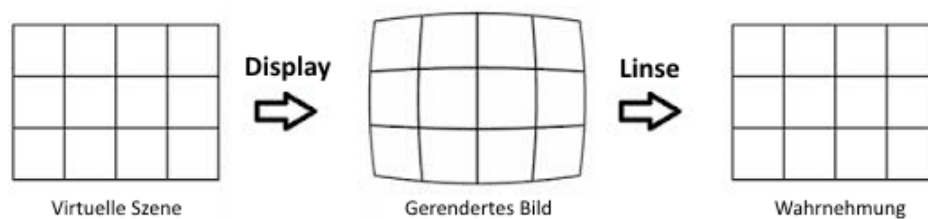


Abb. 3.2: Barrel Distortion

Um dem Gehirn vorzutäuschen, es befände sich in der virtuellen Welt, ist außerdem das räumliche Tracken der Kopfbewegung nötig. Dies übernehmen die in Abschnitt 3.2 beschriebenen Smartphone- oder Headset-Sensoren. Bei Mobile-VR beschränkt sich das Tracking rein auf die relative Kopfposition und -drehung (Parisi, 2015, S. 5). Für volles 360° Head-Tracking werden die drei Bewegungsrichtungen Yaw, Pitch und Roll erfasst.

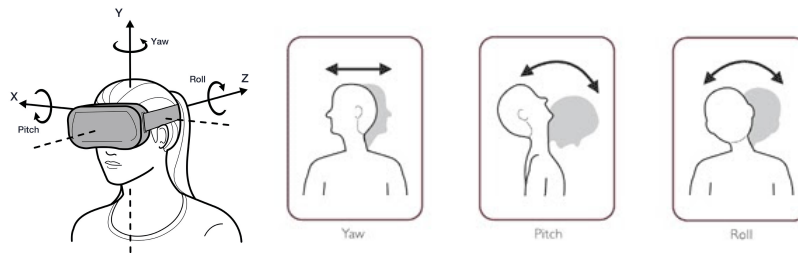


Abb. 3.3: Bewegungsrichtungen Yaw, Pitch und Roll bei Head-Tracking

Bei der Nutzung des VR-Headsets mit einem Smartphone geschieht der folgende, sich wiederholende, Zyklus:

1. Erfassung der Tracking- und Inputdaten des Smartphones
2. Verarbeitung der Daten und Interpolation
3. Neuberechnung der virtuellen Position bzw. Blickrichtung
4. Neuberechnung aller dynamischen und interaktiven Objekte in der virtuellen Szene
5. Zweimaliges Rendern der Szene mit je einem geringen Offset, für ein Bild pro Auge, und Mappen des räumlichen Sounds zu Stereo
6. Darstellung auf dem Display und zeitgleiches Abspielen der Audio-Spur

Vergleiche (Parisi, 2015, S. 93) und (Parés and Parés, 2001)

Im Idealfall läuft dieser Vorgang schneller ab, als das menschliche Auge Einzelbilder verarbeiten kann. Auf diese Weise kann das Gehirn nicht mehr zwischen real und virtuell unterscheiden. Auf diese Weise entsteht, sofern die virtuelle Umgebung entsprechend immersiv gestaltet wurde, ein Gefühl von *Presence*.

Welche Hardware Anforderungen und Ausstattung Mobile-VR an Smartphones stellt, ist Schwerpunkt des nächsten Abschnitts.

3.2 Smartphone Ausstattung

Der Hauptteil der Komponenten, die für die Erzeugung einer virtuellen Realität wichtig sind, sind innerhalb des Smartphone verbaut. Dazu gehören ein hochauflösendes Display, hochwertige Tracking-Sensoren und eine leistungsfähige CPU. Standard-Ausstattung wie eine hochauflösende Kamera oder ein Mikrofon können ebenfalls zur Entwicklung von VR-Apps verwendet werden.

Sensoren (IMUs)

Sensoren für die Standort- und Lagebestimmung wurden bereits vor Mobile-VR in Smartphones verbaut. Diese Sensoren können nativ für das Head-Tracking bei Mobile-VR genutzt werden. Sie werden normalerweise in sogenannten Inertial-Measurement-Units (IMUs) zusammengefasst und in vielen Geräten, beispielsweise Smartphones, verbaut.

In einer IMU werden die folgenden drei Sensortypen kombiniert:

- **Beschleunigungssensor** (engl. accelerometer) misst die Beschleunigung bei der Bewegung des Smartphones und deren Richtung.
- **Rotationssensor / Gyroskop** (engl. gyroscope) ermittelt mithilfe der Corioliskraft die Drehung des Smartphones um seine drei Achsen.
- **Magnetometer** bestimmt die magnetische Flussdichte und kann zusammen mit zusätzlichen Daten zur Schwerkraft als digitaler Kompass genutzt werden.

Vergleiche (Schumacher, 2014)

Die Kombination dieser drei Sensortypen innerhalb der IMU ermöglicht ein High-Speed-Head-Tracking (Parisi, 2015, S. 5). Allerdings werden die Sensordaten relativ erfasst und

sind während der Anwendung zunehmend Messungs- und Rundungsfehlern unterlegen. Die berechneten Ursprungswerte weichen mehr und mehr vom tatsächlichen Ursprungspunkt ab. Dadurch verschiebt sich das Bild und die virtuelle Blickrichtung stimmt nicht mehr mit der realen überein.

Laut Bowman wird es in ferner Zukunft möglich sein, kombinierte Ortungsdaten wie GPS, WLAN-Access-Points und Mobilfunk als externes Referenzsystem zu nutzen (Bowman et al., 2001). Dadurch können die Abweichungen durch die relativen Sensordaten regelmäßig korrigiert werden. Diese Technologien sind jedoch aktuell noch zu ungenau für das millimetergenaue Tracken der Kopfbewegungen.

Virtual Reality IMU Hardware muss so schnell wie möglich arbeiten, genau wie der Prozessor und das Display, und die Software muss Schritt halten (Parisi, 2015, S. 5).

Recheneinheit (CPU)

Für die Performance während der Anwendung ist hauptsächlich der Prozessor zuständig. Eine leistungsfähige Recheneinheit ist wichtig für die Verarbeitung der Tracking-Informationen, das Ausführen der VR-App und das Senden an das Display. Die zeitliche Verzögerung, die mit jeder Berechnung entsteht, wird üblicherweise als Latenzzeit bezeichnet.

Um den Anwendern ein verzögerungsfreies, virtuelles Erlebnis zu ermöglichen, ist eine Latenzzeit von unter 20 ms notwendig (Abrash, 2012). Der „heilige Gral“, laut Abrash, betrage jedoch sieben Millisekunden. Dies liegt aktuell noch in ferner Zukunft, insbesondere bei den im Gegensatz zu Computern weniger leistungsfähigen Smartphone-CPU's.

Je höher die Latenzzeit bei der Verarbeitung der Trackingdaten und der Anwendungslogik ist, desto mehr weicht die reale Wahrnehmung des Anwenders von der Simulation ab. Dies ist der größte Faktor für *VR-Sickness* im Zusammenhang mit VR-Hardware. Judder, Verwischungen bei den angezeigten Bildern, treten unter anderem wegen hoher Latenzzeiten auf (Blumberg, 2016). Besonders bei schneller Kopfbewegung ist die Berechnung zu langsam, um alle benötigten Zwischenbilder zu liefern. Dieser Effekt wird anhand der Abbildung 3.4 illustriert.

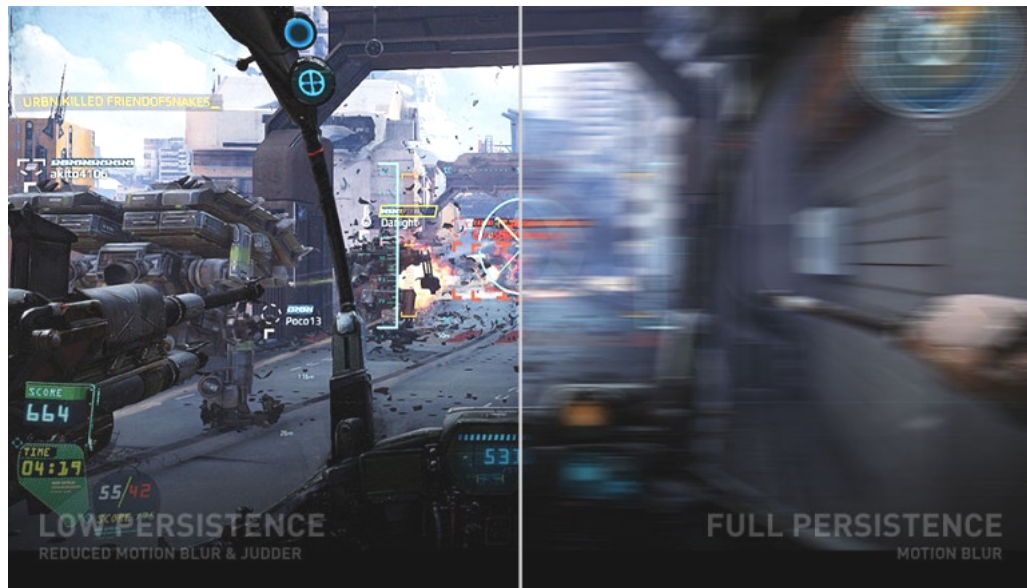


Abb. 3.4: Judder

Display

Die Bildwiederholrate und die -auflösung von Smartphone-Displays sind für Virtual Reality relevant. Um den im folgenden Bild ersichtlichen *Screen-Door-Effect*, zu Deutsch *Fliegengitter-Effekt*, zu vermeiden, ist eine möglichst hohe Pixeldichte des Smartphone Displays nötig. Die Vergrößerung der Bilder mithilfe der Linsen bewirkt die Sichtbarkeit einzelner Bildpunkte, besonders bei einer geringen Auflösung des Displays. Die Bildqualität hängt also von der Kombination der Display-Auflösung und des Abstands der Linsen zum Display ab.

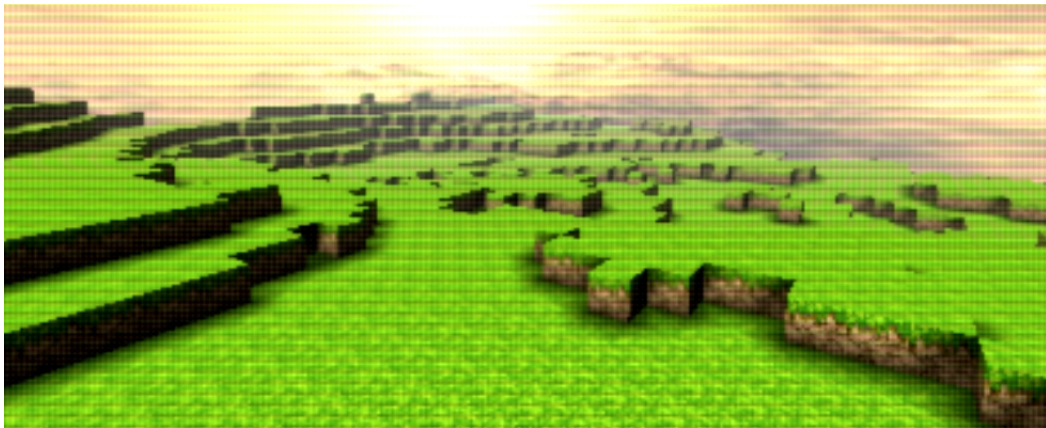


Abb. 3.5: Gitterähnliche Struktur beim Screen-Door-Effekt

Das Optimum der Bildauflösung liegt bei 8K Ultra HD pro Auge, was 7680 x 4320 Pixel pro Auge entspricht (Orland, 2013). Zwar kann man schon bei einer geringeren Auflösung keine Pixel mehr erkennen, abgehakte Kanten sind für das Auge aber erkennbar. Samsung's kürzlich angekündigtes, 5,5 Zoll großes „high resolution for VR“-Display ist mit einer Pixeldichte von 806 ppi und einer Bildschirmauflösung von 4K (3840 x 2160) Bildschirmauflösung ausgestattet (Mason, 2016). Es wird außerdem blaues Licht stärker gefiltert, als bei früheren Modellen. Dadurch wird eine Überanstrengung der Augen bei längeren VR-Anwendungen eingedämmt und der Immersionsgrad erhöht.

Ein weiterer, für Mobile-VR wichtiger Display-Faktor ist eine hohe Bildwiederholrate. Aktuell verfügbare Displays leisten bis zu 60 Hz. Für ein *VR-Sickness* freies Erlebnis sollten mindestens 90 Hz, besser noch 120 Hz geliefert werden, damit das Auge zur Realität keinen Unterschied mehr erkennen kann (Parisi, 2015, S. 4). Eine Verbesserung der Display Technologie reicht hierbei allerdings nicht aus, da das Betriebssystem Android aufgrund seiner Architektur auf maximal 60 Hz begrenzt ist (Shrikhande, 2015).

Bei aktuellen Smartphone-Displays gibt es also noch deutlich Verbesserungspotenzial, was den Einsatz für Virtual Reality betrifft.

Weitere Bestandteile

Neben Displays und Sensoren besitzen Smartphones noch weitere Ausstattung, die für die Entwicklung von VR-Apps verwendet werden können. Eine hohe Akkuleistung ist

beispielsweise essenziell für längere Anwendungen, um nicht auf Kabelfreiheit verzichten zu müssen.

Der unterschiedliche Umfang an verbauter Ausstattung ist ein Problem für Entwickler. Nicht alle aktuell am Markt angebotenen Geräte bieten beispielsweise Sensoren für das Tracken der Umgebungstemperatur und -helligkeit an (Schumacher, 2014).

Hingegen sind ein Mikrofon und eine hochauflösende Kamera fester Bestandteil aktueller Smartphones. Mithilfe der Kamera ist es beispielsweise möglich, die nähere Umgebung zu registrieren und für semi-immersive Anwendungsbereiche wie Augmented Reality zu verwenden (Bowman et al., 2001, S. 97).

Smartphones verfügen im Regelfall auch über eine Bluetooth-Schnittstelle. Hiermit können weitere Geräte, wie zum Beispiel externe Sensoren oder Eingabegeräte, mit dem Smartphone verbunden werden. Der Erweiterung der Funktionalität des Smartphones sind damit keine Grenzen gesetzt.

3.3 Aktuelle Headsets

Dieses Kapitel stellt die wichtigsten Mobile VR Plattformen vor, die zum aktuellen Zeitpunkt auf dem Markt erhältlich beziehungsweise angekündigt sind. Da die Technologie noch sehr jung ist, haben sich die VR-Headsets im Bezug auf Form und Funktion gegenseitig sehr beeinflusst. Trotzdem gibt es einige wichtige Unterschiede, auf die im Folgenden eingegangen wird.

3.3.1 Google Cardboard



Abb. 3.6: *Cardboard VR-Headset – Version 2015*

Die auf der Google I/O Konferenz 2014 vorgestellte *Cardboard VR*-Plattform ist die am weitesten verbreitete auf dem Mobile-VR-Markt.

Das primäre Headset-Modell besteht, dem Namen nach, aus Pappkarton und zwei einfachen Kunststofflinsen. In der ersten Version wurde ein Magnet, auf den der Magnetometer des Smartphones anspricht, als zusätzliche Eingabe montiert. In der zweiten Version wurde dieser aufgrund fehlender Kompatibilität mit einigen Smartphones (unter anderem iOS Geräte) durch eine Taste ersetzt. Wie das folgende Bild illustriert, wird durch das Drücken der Taste eine einfache Touch-Geste auf dem Display ausgelöst.

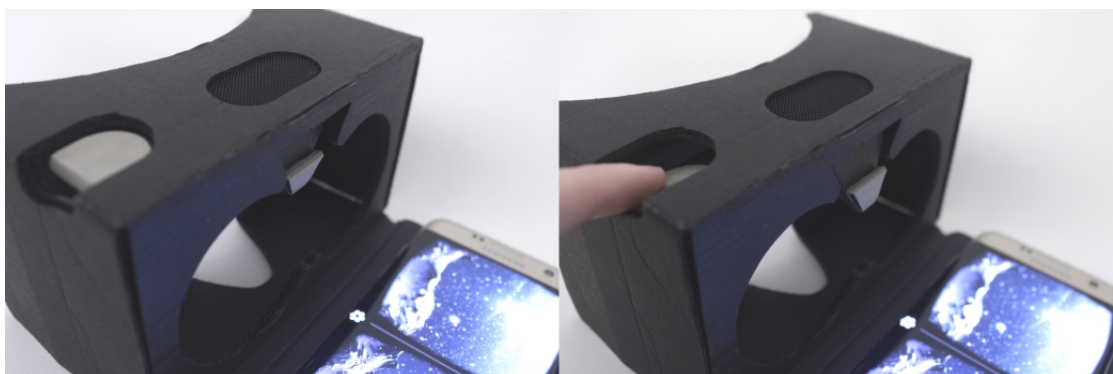


Abb. 3.7: *Tastendruck beim Cardboard 2015*

Cardboard VR bezeichnet in erster Linie die technische Spezifikation für Mobile-VR-Headsets, die im Einklang mit Google's Entwicklertool *Cardboard SDK* steht (Parisi, 2015, S. 87).

Das Unternehmen Google besitzt selbst keine Produktionsstätten für *Cardboard VR*-Headsets (Parisi, 2015, S. 87). Externe Unternehmen wie zum Beispiel DODOcase³ oder Unofficial-Cardboard⁴ können mithilfe der von Google bereitgestellten Spezifikation Headsets herstellen und vertreiben. Diese bestehen zum Teil aus anderen, hochwertigeren Materialien, beispielsweise Schaumstoff oder Hartplastik. Die mit *Cardboard VR* kompatiblen Headsets sind mit dem abgebildeten Siegel gekennzeichnet.

Im Regelfall ist jedes Headset auch mit einem QR-Code bedruckt, wie Abbildung 3.8 zeigt. Durch Abscannen des QR-Codes in der *Cardboard App* werden alle Headset-spezifischen Daten registriert und für alle *Cardboard VR*-Apps voreingestellt. Auf diese Weise sind bei jeder Anwendung Daten wie die Linsengröße oder der Abstand des Smartphones zum Display automatisch in der VR-App registriert.



Abb. 3.8: QR Code und Siegel auf einem *Cardboard VR*-Headset

Da für (fast) alle aktuellen Smartphones auf dem Markt *Cardboard VR* kompatible und erschwingliche Headsets verfügbar sind, eignet sich diese Plattform für viele (Parisi, 2015, S. 85).

³<http://www.dodocase.com/collections/virtual-reality>

⁴<https://www.unofficialcardboard.com/>

3.3.2 Samsung Gear VR



Abb. 3.9: *Gear VR-Headset – Version 2016*

Samsungs *Gear VR*-Headset zeichnet sich durch eine hochwertige Verarbeitung und einen höheren Anschaffungspreis aus. Es wird seit 2014 in Zusammenarbeit mit Oculus entwickelt und mit den hochwertigen Linsen der Oculus Rift ausgestattet (Parisi, 2015, S. 49).

An der rechten Seite des Headsets sind ein Touchpad und eine Taste zur Bedienung integriert. Ein zusätzlicher Helligkeitssensor erkennt, wann das Headset in Verwendung ist. Dabei wird automatisch die Launcher-App *Oculus Home* gestartet, ohne dass das Display des Smartphones bedient werden muss.

Die Anpassung der *Gear VR* an den eigenen Augenabstand ist nicht möglich. Allerdings kann durch Drehen des Rads an der Oberseite der Abstand der Linsen zum Display vergrößert

ßert beziehungsweise verkleinert werden.

Eine im Headset verbaute IMU von Oculus ermöglicht deutlich schnelleres und exakteres Head-Tracking als die Standard-Ausstattung im Smartphone (Parisi, 2015, S. 49). Zudem ist das *Gear VR*-Headset nur mit Samsungs leistungsstärksten Smartphone-Modellen kompatibel. Beides bewirkt eine geringe Latenzzeit und einen hohen Immersionsgrad. Dadurch besteht bei *Gear VR* auch bei längeren Anwendungen aus Hardware-Sicht eine geringe Chance auf *VR-Sickness* und ein komfortables VR-Erlebnis. *Gear VR* ist damit eine hochwertige Alternative auf dem Markt.

Die aktuelle Beschränkung⁵ der Plattform auf das Samsung Galaxy S6, S7 und Galaxy Note 5, 6 und 7 verkleinert die Zielgruppe stark, da nicht jeder eines dieser Smartphone besitzt und die zusätzliche Anschaffung sehr kostspielig wäre.

3.3.3 Google Daydream

Die *Daydream VR*-Plattform wurde auf der Google I/O Konferenz 2016 angekündigt und ist daher die jüngste Plattform für Mobile-VR. Der Verkaufsstart findet offiziell ab Herbst 2016 statt, weshalb das *Daydream VR*-Headset und der dazugehörige Controller für diese Arbeit nicht mehr getestet wurde.

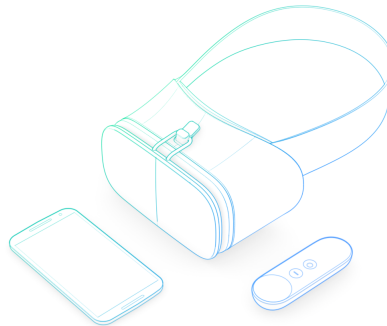


Abb. 3.10: Erste Konzepte für das Design der Daydream VR Hardware

Daydream VR ist die verbesserte Version der *Cardboard VR*-Plattform vom Großunternehmen Google. Die enge Zusammenarbeit mit führenden Smartphone-Herstellern macht es erstmals möglich, einen gemeinsamen Hardware- und Software-Standard für Mobile-VR

⁵Details unter <http://www.samsung.com/us/explore/gear-vr/>

festzulegen (Robertson, 2015). Das zukünftige *Daydream VR*-Headset wird aus hochwertigem Kunststoff gefertigt und soll auch während länger andauernder VR-Anwendungen komfortabel sein. Ein dazugehöriger Controller erlaubt mithilfe einer integrierten IMU räumliche Handgesten.

Zum aktuellen Zeitpunkt ist noch kein Smartphone auf dem Markt verfügbar, das die hohen Hardware-Anforderungen von *Daydream VR* vollständig unterstützt. Die neue Plattform wird sich deshalb voraussichtlich erst 2017 durchsetzen (Robertson, 2015). Googles Strategie erscheint mit *Daydream VR* langfristig. Dank Googles neuem Betriebssystem Android N wird Mobile-VR nativer Bestandteil der Smartphone-Funktionalität. Und mit der Einführung eines VR-Standards für Smartphones ist *Daydream VR* „a platform for high quality mobile virtual reality“ (Google, 2016a).

3.4 Eingabegeräte

VR-Headsets verdecken bei der Anwendung vollständig die Sicht auf die reale Umgebung – auch auf Maus und Tastatur (Parisi, 2015, S. 25). Deshalb müssen Eingabegeräte gefunden werden, die auch bei eingeschränkter Sicht von jedem bedienbar sind.

Bei Mobile-VR ist eine Eingabe entweder mithilfe am Headset integrierter Tasten und Touchpads, der Ausstattung im Smartphone oder externer Geräte möglich. In allen drei Fällen gibt es noch keinen Standard, sondern eine große Bandbreite an Geräten mit unterschiedlichen Eingabefunktionen. Ein universelles Gerät wie die Maus für Computer existiert aktuell nicht (Parisi, 2015, S.6). Die derzeit für Mobile-VR verfügbaren Eingabegeräte werden in den folgenden Abschnitten beschrieben.

Integrierte Eingabe



Abb. 3.11: Integrierte Eingabe bei aktuellen Headsets

Aktuell gibt es je nach Mobile-VR-Plattform Unterschiede in der Funktionsweise und Komplexität der integrierten Eingabegeräte. *Cardboard VR*-Headsets bieten je Modell einen einfachen Magnetschalter, eine einzelne Taste oder gar keine Möglichkeit der haptischen Eingabe. In jedem Fall ist also ein "Klick" die maximal zur Verfügung stehende Eingabemöglichkeit.

Einzig und allein das *Gear VR*-Headset ist zusätzlich mit einem Touchpad ausgestattet. Es besitzt eine Fläche von 2 x 2 cm und unterstützt die von mobilen Geräten bekannten Gesten wie Berührung, Streichen und Wischen. Allerdings ist das Streichen beziehungsweise Wischen nicht in alle Richtungen möglich, sondern auf Bewegungen vom Mittelpunkt in alle vier Richtungen beschränkt. Zusammen mit einer zusätzlichen Taste befindet es sich auf der rechten Seite des Headsets.



Abb. 3.12: Touchpad am *Gear VR*-Headset

Da das Touchpad am Headset integriert ist, muss es blind bedient werden. Bei der über-

arbeiteten Headset-Version wurde das Touchpad, wie in Abbildung 3.11 sichtbar, gewölbt. Dies ermöglicht eine haptische Fingerführung während der Anwendung.

Externe Controller

Zusätzliche externe Eingabegeräte bieten mehr Funktionalität und werden per Bluetooth-Schnittstelle mit dem Smartphone verbunden. Bezüglich der Funktionalität kann allgemein zwischen Standard- und räumlichen Controllern unterschieden werden. Standard-Controller sind Gamecontroller, die mit den altbekannten Joysticks, Steuerkreuz und Knöpfen ausgestattet sind. Ein Beispiel hierfür ist der von Samsung für die *Gear VR*-Plattform entwickelte Controller, wie die Abbildung 3.13 zeigt.



Abb. 3.13: Controller für die *Gear VR*

Einige *Cardboard VR* kompatible Headsets werden in Kombination mit Bluetooth-Controllern angeboten, beispielsweise *VR Shinecon*⁶. Bei *Gear VR*, sowie standardmäßig bei *Cardboard VR*, sind Controller optional.

Räumliche Eingabegeräte sind in Virtual Reality intuitiver zu handhaben als Gamecontroller und für Anwender ohne Erfahrung mit Games auch leichter und ohne Hinsehen bedienbar. Jedoch gibt es bei Mobile-VR noch kaum "hybrid input devices", also Controller zur räumlichen Steuerung (Bowman et al., 2001).

Ein Beispiel für räumliche Controller ist der zu *Cardboard VR* kompatible *RealControl*⁷ von Realiteer. Er besteht aus Pappkarton und kann mit der angebotenen Druckvorlage einfach selbst hergestellt werden. Die erste Version von *RealControl* nutzt eine große Fläche mit einem QR-Code, um die räumliche Position mithilfe der Smartphone-Kamera zu bestimmen.

⁶<http://virtual-reality-brillen.info/marke/vr-shinecon/>

⁷<http://www.realiteer.com/diy/>



Abb. 3.14: Realiteer AR Controller

Mit dem im Herbst 2016 erhältlichen *Daydream VR* Controller bietet Google eine innovative Lösung für die räumliche Eingabe. Neben zwei Tasten und einem Touchpad ist eine hochwertige IMU zum Tracken der Bewegung und Drehung des Controllers verbaut (Google, 2016a, Daydream-Hardware).

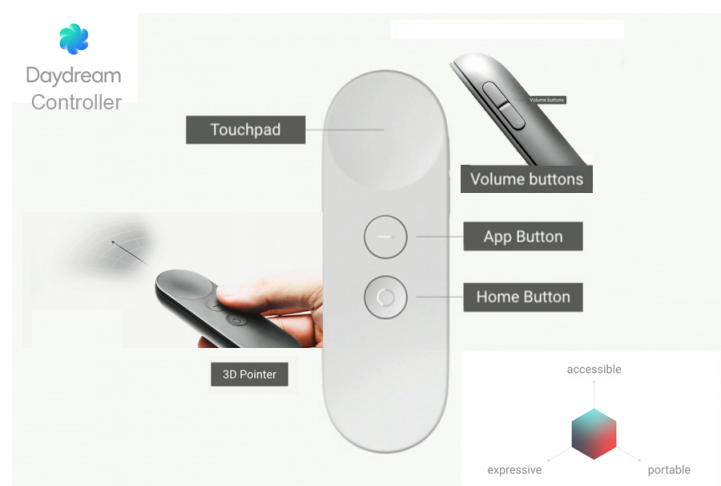


Abb. 3.15: Daydream Controller

Der *Daydream VR*-Controller ist fester Bestandteil der *Daydream VR*-Plattform und wird mit dem Headset kombiniert angeboten. Dadurch ist der Controller standardmäßig allen Anwendern verfügbar.

Zukünftig könnte auch Spracheingabe mithilfe des im Smartphone eingebauten Mikrofons realisiert werden. Für Mobile-VR noch innovativere Lösungen sind beispielsweise

das Tracken der Gehirnwellen. Geräte wie zum Beispiel Thync⁸ oder Muse⁹ zeigen erste Ergebnisse. Letztendlich kann durch die Bluetooth-Schnittstelle des Smartphones jedes bluetooth-fähige Gerät mit verbunden und zur Eingabe für Mobile-VR genutzt werden.

Zusammenfassung

Der fehlende Standard bei den Eingabegeräten ist eine weitere Herausforderung bei der Entwicklung von VR-Apps. Sowohl Headsets als auch Eingabegeräte unterscheiden sich in Funktionalität und werden sich auch zukünftig stetig weiterentwickeln. Dies sollte bei der Gestaltung von VR-Apps berücksichtigt werden. Wie dies möglich ist, speziell beim Design interaktiver Elemente, wird in Kapitel 4 ausführlich behandelt.

⁸Thync, siehe <http://www.thync.com/products>

⁹Muse, siehe <http://www.choosemuse.com/>

4 Mobile-VR-Software

Der Immersionsgrad eines VR-Erlebnisses wird neben der VR-Hardware auch durch die Qualität der Software bestimmt. Durch die verschiedensten neuen Anwendungsbereiche von Mobile-VR gibt es eine große Bandbreite an potenziellen Anwendern.

Welche Regeln bei der Gestaltung virtueller Welten zu beachten sind, insbesondere beim Interaktionsdesign für die jeweilige Zielgruppe, wird in diesem Kapitel umfangreich untersucht.

4.1 Grundlagen Interaktionsdesign

Interaktionsdesign ist abhängig vom Anwendungsbereich und der Technologie. Je nach Anwendungsfall unterscheiden sich die Anforderungen, Zielgruppen, Risiken und Prozesse bei der Entwicklung. Trotzdem gibt es einige Aspekte, die bei der Gestaltung von Interaktionen allgemein entscheidend sind.

Begriffsdefinitionen

Da die Begrifflichkeiten teilweise voneinander abweichen können, werden für diese Arbeit folgende Definitionen festgelegt:

User-centered Design kann allgemein bei vielen Design-Disziplinen angewendet werden. Stellt die Sicht und das Verständnis des Nutzers beim Design in den Mittelpunkt - vor den Zielen des Unternehmens oder den technologischen Möglichkeiten.

User Experience (UX) Design berücksichtigt und beschäftigt sich mit allen Eindrücken und Wirkungen auf den Nutzer während der Anwendung, von der Installation bis zum Beenden der Anwendung.

User Interface (UI) Design entspricht ausschließlich dem visuellen und gegebenenfalls haptischen Design von informativen und interaktiven Oberflächen.

Interaktionsdesign / Interaction Design ist der allgemeine Begriff für das Design aller interaktiven und informativen Elemente in einer Anwendung und deren Reaktion(en) auf das Verhalten des Nutzers. Dabei ist Interaktionsdesign stark mit UI Design und Sound Design verbunden, um dem Anwender visuelles und auditives Feedback zu seinen Interaktionen zu übermitteln.

(Vgl. Foraker, 2016) und (Flowers, 2012)

Bewertungskriterien

Trotz der großen Abhängigkeit vom jeweiligen Medium gibt es beim Interaktionsdesign grundsätzlich zwei Säulen, an denen die Validität und Qualität gemessen werden können, nämlich Usability und Accessibility. (Folmer, 2007).

Die Validität und Qualität von Interaktionsdesign wird unabhängig vom Anwendungsfall an Usability und Accessibility gemessen.

Usability, zu deutsch Benutzungsfreundlichkeit oder auch Bedienfreundlichkeit, ist mittlerweile ein gängiger Begriff und beschreibt die intuitive und zielführende Bedienung eines Systems. Ein System kann sowohl virtuell, wie zum Beispiel die Benutzeroberfläche einer Software, oder auch physisch, zum Beispiel ein Gamecontroller sein. In beiden Fällen sichert sorgfältiges Interaktionsdesign die Form und Qualität der Bedienung.

Für das Überprüfen der *Usability* kann die *Affordance*, zu Deutsch: Selbstbeschreibungsfähigkeit, betrachtet werden (Dorau, 2011, S.21f). *Affordance* bestimmt, inwieweit ein interaktives Objekt seinem intuitiv interpretierbarem Charakter entspricht. So wird von internetaffinen Menschen bei einem blauen, unterstrichenen und kursivem Text intuitiv ein Hyperlink erwartet, der per Mausklick zu einer Website weiterleitet. Bei *Affordance* muss jedoch besonders der kulturelle, religiöse und soziale Hintergrund der Zielgruppe berücksichtigt werden. Denn dies kann die subjektive Interpretation von Objekten beeinflussen und damit die *Affordance* verändern.

Accessibility betrachtet, wie zugänglich ein System für den Nutzer ist. Die individuellen

Fähigkeiten und Beeinträchtigungen des Anwenders sind an dieser Stelle besonders wichtig. So können Anwendungen bestimmte Zielgruppen gänzlich ausschließen, wenn bestimmte Accessibility-Richtlinien nicht eingehalten werden. Ein Beispiel hierfür ist die Gestaltung einer Anwendung mit Rücksicht auf die weit verbreitete Rot-Grün-Sehschwäche. Durch die Anpassung der Farbpalette oder das Anbieten persönlicher Einstellungsmöglichkeiten wird eine Anwendung auch für farbfehlsichtige Menschen zugänglich. Weitere Einschränkungen können visueller, auditiver, motorischer oder kognitiver Natur sein (vgl. Dodson, 2016).

Design-Prozess

Der Design-Prozess bei Interaktionsdesign gestaltet sich je nach Größe und Art der Anwendung unterschiedlich. Eine iterative Vorgehensweise ist aber sowohl bei Interaktionsdesign als auch bei User-Centered Design, UX Design, UI Design und vielen weiteren Disziplinen sinnvoll. Erst durch das wiederholte Testen und Anpassen der Anwendung an die gesamte Zielgruppe wird ein ausreichend hohes Level an Usability erreicht (Foraker, 2016).

Eine klare Zielgruppendefinition ist deshalb der Startpunkt im Design-Prozess von Interaktionen. Die Recherche informiert unter anderem darüber, wie viel Erfahrung die potenziellen Anwender für eine Anwendung mitbringen und wie ausführlich deshalb das Hilfesystem gestaltet werden muss. Dies kann bei Games eine Art Tutorial und bei Software ein beiliegendes Handbuch sein. Mithilfe sogenannter Personas, fiktiver Personenbeschreibungen, werden die Zielgruppen noch weiter konkretisiert (Jerald, 2015, S. 391). Personas bestimmen die Anforderungen einer Zielgruppe, indem sie durch eine fiktive Person repräsentiert wird. Dies ist besonders in frühen Entwicklungsphasen hilfreich, wenn noch keine realen Testpersonen zur Verfügung stehen.

Beim Interaktionsdesign helfen Richtlinien und Entwurfsmuster der jeweiligen Technologie als konkreter Anhaltspunkt (Folmer, 2007). Richtlinien sind allgemein formulierte Ratschläge und beruhen auf den grundlegenden psychologischen und biologischen Erkenntnissen aus der jeweiligen Technologie.

Sie können helfen, Design-Entscheidungen zu bekräftigen, geben jedoch keine Lösung für spezifische Fragestellungen. Ein Entwurfsmuster hingegen beschreibt ein konkretes Problem und gibt hierfür ein oder mehrere Beispiele zur Verbesserung (Folmer, 2007).

Allerdings sind sie zu spezifisch, um sie auf weitere Anwendungsfälle zu übersetzen. Je mehr Entwurfsmuster für eine Technologie vorhanden sind, desto leichter und schneller kann eine maßgeschneiderte Lösung für die Anwendung gefunden werden. Die folgenden Abschnitte sammeln die wichtigsten, bis zum aktuellen Zeitpunkt beschriebenen Richtlinien und Entwurfsmuster, die für Mobile-VR bestehen.

4.2 Usability und Accessibility in VR

Wie im letzten Abschnitt beschrieben, sind Usability und Accessibility die Grundlage für erfolgreiches Interaktionsdesign. Dieser Abschnitt gibt konkrete Beispiele für die Umsetzung beider Aspekte in Virtual Reality.

Um Accessibility zu garantieren, sollte in Virtual Reality ebenfalls auf Behinderungen Rücksicht genommen werden. Zum Beispiel sind die Türen bei *Unseen Diplomacy* zusätzlich mit Symbolen ausgestattet, um auch bei Farbfahlsichtigkeit wie zum Beispiel Rot-Grün-Sehschwäche erkennen zu können, ob sie offen oder abgeschlossen sind (Goode, 2016). Außerdem werden zu allen Audio-Elementen Untertitel angezeigt, um das VR-Erlebnis auch für gehörlose Nutzer anbieten zu können.

Das größte Hindernis der Accessibility ist VR-Sickness. Persönliche Faktoren, wie eine hohe VR-Empfindlichkeit, bewirken, dass Anwender sich nur für kurze Zeit in der virtuellen Umgebung aufhalten können. In diesem Fall kann es helfen, die Inhalte zusätzlich ohne Stereoskopie anzubieten. Bei der Anwendung *Hidden Temple* kann fließend zwischen einem VR- und einem 360°-Panorama-Modus gewechselt werden (HandyGames, 2015). Dadurch wird bei starken VR-Sickness-Symptomen zeitweise eine Pause von Virtual Reality möglich, ohne dass die Anwendung gestoppt werden muss. Ein weitere Lösung für besonders handlungsreiche Anwendungen ist die Möglichkeit, die Perspektive für einen kurzen Moment zu verlassen und beispielsweise auf einer Leinwand in einem virtuellen Wohnzimmer zu verfolgen, wie in *Minecraft VR* (Mojang, 2016).



Abb. 4.1: Virtuelles Wohnzimmer in *Minecraft VR*

Einige VR-Apps, wie zum Beispiel die Mehrzahl der VR-Rollercoaster, sind für *VR-Sickness* empfindliche Anwender von vornherein nicht geeignet. Der *Gear VR Store*¹ von Oculus informiert deshalb online mithilfe eines einfachen, dreistufigen Ampelsystems über den Komfort-Level jeder angebotenen VR-App (Oculus, 2016a)




-  Angenehm
-  Komfort-Stufe: Moderat
-  Komfort-Stufe: Anspruchsvoll

Abb. 4.2: Komfortstufen im *Gear VR Store*

Unabhängig von persönlichen Faktoren sind alle Funktionen in einer VR-App nur dann zugänglich, wenn sie vom verwendeten Headset vollständig unterstützt werden. Speziell für die *Cardboard VR*-Plattform gibt es eine große Bandbreite an Headsets mit unterschiedlicher Ausstattung und die VR-App sollte mit allen funktionieren (Google, 2016b). VR-Apps müssen also Interaktionen anbieten, die entweder universell kompatibel sind oder Alternativlösungen für alle Modelle bereitstellen. Sämtliche alternativen Lösungen sollten ebenfalls allen Usability-Anforderungen entsprechen und bestenfalls so komfortabel und intuitiv bedienbar sein wie die ursprünglichen.

Wichtig bei Mobile-VR ist, dass für das Bedienen während der VR-Anwendung das Smart-

¹<https://www.oculus.com/experiences/gear-vr/>

phone nicht zwischenzeitlich aus dem Headset entfernt werden muss, weil ansonsten zum Beispiel das Display oder bestimmte Tasten am Smartphone nicht erreicht werden können ((vgl. Google, 2016b, Interactive Patterns).

Ein weiterer Aspekt für die Steigerung der Usability ist die individuelle Anpassung des Avatars an den Anwender. „Physical differences apply strongly to how someone experiences something in VR“ (Erickson, 2016b). Beispielsweise verändern die Körpergröße und Anatomie eines Avatars die Perspektive des Nutzers auf die virtuelle Welt. Bei der Darstellung des Avatars sei es laut Erickson deshalb besser, auf einen virtuellen Körper zu verzichten, als einen der Zielgruppe anatomisch nicht entsprechenden, anzubieten. Denn das Gehirn könne fehlende Informationen leichter ersetzen als falsche.

4.3 Sicht- und Interaktionsbereiche

Zwar ermöglicht Virtual Reality 360°-Panoramansicht, allerdings fallen aufgrund der Anatomie des Menschen und der Position, aus der das VR-Headset bedient wird, sowohl der Sicht- als auch der Interaktionsbereich deutlich kleiner aus.

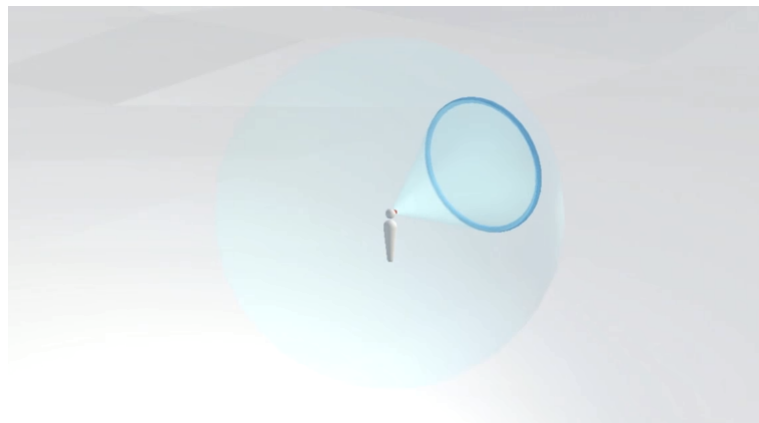


Abb. 4.3: **Virtueller Sichtbereich in der 360° Umgebung**

Der Anwender sieht grundsätzlich zu jedem Zeitpunkt nur einen kleinen Ausschnitt der virtuellen Welt. Dieser Ausschnitt ist annähernd kreisförmig, und die virtuelle Umgebung kann als Kugel um den Avatar herum dargestellt werden, wie Abbildung 4.3 anschaulich illustriert (Alger et al., 2016). Ein Feld auf dieser Kugel mit der Größe von etwa 70° in

horizontaler und vertikaler Richtung entspricht dem Ausmaß eines größeren Monitors während der Arbeit am Schreibtisch. Diese Fläche mit 35° Radius um den Blick-Mittelpunkt herum kann, unabhängig von der Anwendung, als komfortabel sichtbar eingestuft werden.

Beim Sitzen auf der Couch, im Liegen oder beim Stillstehen ist die Körperdrehung eingeschränkt. Die Kopfdrehung wird durch den Nacken begrenzt und ermöglicht in horizontaler Richtung einen sichtbaren Bereich von maximal 160° des 360° -VR-Panoramas (Alger et al., 2016). Während sehr langer Anwendungen ist für den Nacken, laut Alger, ein Sichtbereich mit einem Radius von 60° komfortabel, noch kleiner als die oben erwähnte Monitorfläche.

In vertikaler Richtung ist ein Blick, laut Alger, der ca 15° unter dem Horizont liegt, auf Dauer bequemer (Alger et al., 2016). Der genaue Wert ist abhängig von der persönlichen Haltung und Anatomie des Nutzers. Der auch für längere Anwendungen komfortable Sichtbereich liegt also vertikal etwas tiefer als erwartet. Alles in allem ergibt dies einen Bereich wie in Abbildung 4.4.

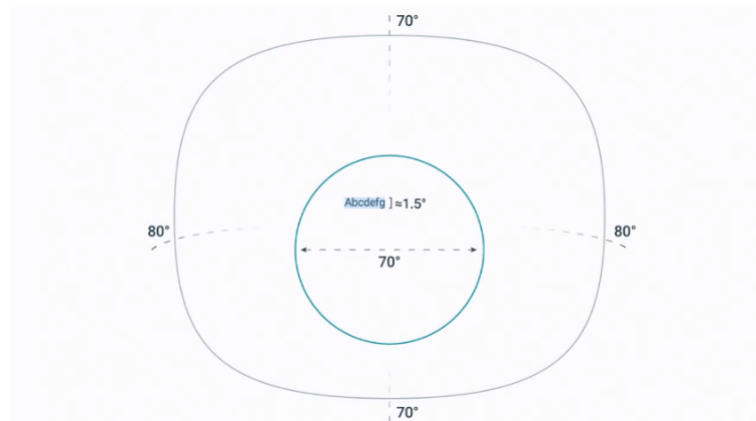


Abb. 4.4: **Beschränkungen des Sichtbereichs in der Praxis**

Der Sichtbereich ist zudem in der Tiefe eingeschränkt. Bei einer Entfernung von weniger als einem halben Meter zum virtuellen Auge ist das Fokussieren unangenehm, denn die Augen beginnen zu schielen (Alger et al., 2016). Und ab einer Distanz von 20 virtuellen Meter zum Auge stehen beide Augäpfel nahezu parallel zueinander, weshalb die Dreidimensionalität/Plastizität der virtuellen Umgebung ab dieser Entfernung deutlich abnimmt.

Der Interaktionsbereich bei einer Anwendung ist ebenfalls eingeschränkt, hauptsächlich durch die anatomischen Merkmale beider Schultern und Arme. Der Bereich, der für den Anwender mit den Händen oder Füßen erreichbar ist, wird in erster Linie durch die Arm- und Beinlänge limitiert. Arme oder Beine für längere Zeit in eine Richtung zu strecken ist anstrengend. Deshalb ist es für die Nutzer komfortabler, den Interaktionsbereich auf weniger als eine 2/3-Streckung zu verkleinern (Alger, 2015a, S.46ff).

Allerdings werden diese Beschränkungen erst relevant, wenn die Eingabegeräte der verwendeten VR-Hardware die absolute Position der Hände und Arme registrieren. Bei Mobile-VR wird dies zum aktuellen Zeitpunkt bei keiner Mobile-VR-Plattform standardmäßig angeboten.

4.4 Orientierung

In Virtual Reality wird der Nutzer vollständig von der virtuellen Welt umgeben und die Realität ausgeblendet. Daher ist in erster Linie die Orientierung in dieser 360° projizierten Umgebung für das VR-Erlebnis entscheidend. Das Umsehen im virtuellen Raum ist die grundlegendste aller Interaktionen, die in Virtual Reality möglich sind. Aktuell ist das Tracking bei Mobile-VR-Plattformen standardmäßig auf den Kopf beschränkt. Im Gegensatz zu *Room-Scale-VR*² der HTC Vive gibt es bei Mobile-VR noch keine marktreifen Geräte für das Tracking der absoluten Position des Anwenders im Raum.

Aufgrund der begrenzten Sensor-Informationen bei Mobile-VR ist es wichtig, dem Anwender in VR Orientierungshilfen zu geben. Beispielsweise ist ein sitzender Avatar hilfreich, um eine Abweichung seiner Körperbewegungen von denen des Nutzers zu verringern. Genauso funktionieren auch ein virtuelles Cockpit und andere statische Plätze, um den Anwender im virtuellen Raum zu „erden“ und *VR-Sickness* einzugrenzen (Google, 2016b, *Physiological Considerations*). Abschnitt 4.5 beschäftigt sich umfangreich mit Bewegung in Virtual Reality.

Zur besseren Orientierung ist eine klare Kommunikation der virtuellen Position in der Umgebung wichtig. Zusätzliche Hinweise auf die dreidimensionale Tiefe von Objekten, sogenannte *Depth Cues*, erleichtern die räumliche Wahrnehmung und Orientierung (Alger

²Näheres hierzu unter <http://www.vrnerds.de/room-scale-vr-survey-die-ergebnisse/>

et al., 2016). Markante Licht- und Schatten-Effekte fördern die Dreidimensionalität in Virtual Reality ebenso wie deutliche Größenunterschiede in der Umgebung, zum Beispiel ein Wald mit meterhohen Bäumen, wie Abbildung 4.5 zeigt.

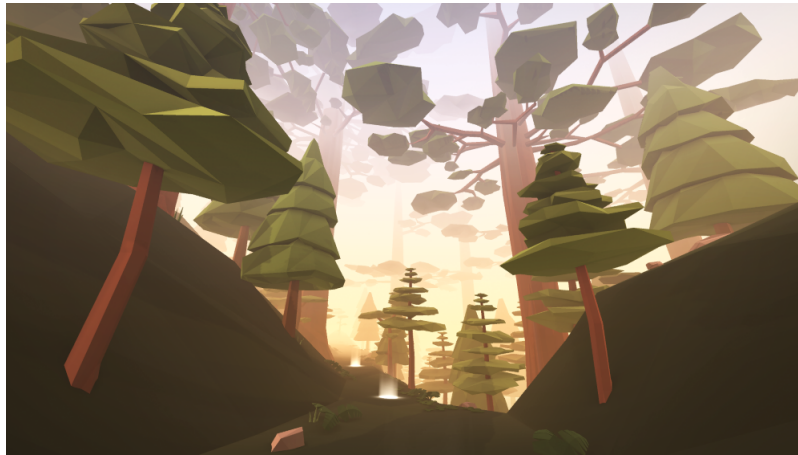


Abb. 4.5: Gestaltung der Umgebung in *Cardboard Design Lab*

Dem Avatar ähnliche, sich im Blickfeld befindende Charaktere helfen ebenfalls bei der eigenen Größeneinschätzung in der virtuellen Welt. Beispielsweise ist in der VR-App *Colosse* die Körpergröße des animierten Charakters eine Referenz für die eigene und der riesige Unterschied zu den Kolossen wird noch deutlicher (Colosse Team, 2015). Die virtuelle Welt bekommt dadurch mehr Tiefe und wird immersiver empfunden.

Für einen klaren und verständlichen Aufbau der virtuellen Umgebung können Fixpunkte bei der Orientierung helfen. Beispielsweise wurde in der Video-App von Samsung innerhalb der kreisförmigen Anordnung ein Sockel am Boden eingebaut (Chu, 2014). Dieser gibt dem Nutzer einen festen Orientierungspunkt im Raum.

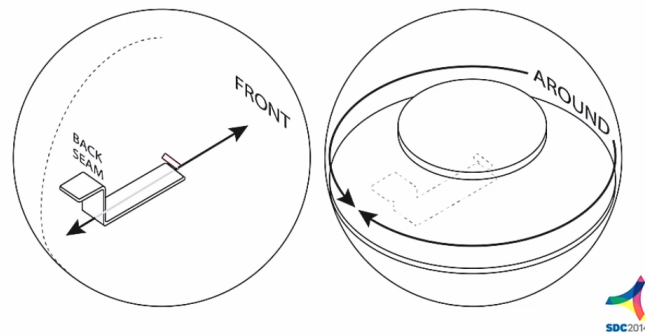


Abb. 4.6: Anordnung um den Nutzer in Samsungs 360 Video Test App

Bei jedem Wechsel in eine andere virtuelle Welt geht die Orientierung verloren. Ein 360°-Panorama-Bild als Vorschau während des Wechsels, wie beispielsweise in *Oculus Home*, kann die Neuorientierung erleichtern (Oculus VR, 2016). Der wichtigste Hinweis hierbei ist „Always maintain head tracking“ (Google, 2016b). In jedem Augenblick, in dem die VR-App nicht (mehr) auf die Kopfbewegung reagiert, wird Desorientierung und VR-Sickness ausgelöst.

Wie in Abschnitt 4.3 erläutert, sehen Anwender zu jedem Zeitpunkt nur einen kleinen Ausschnitt der 360°-Anwendung. Deshalb ist es wichtig, die Aufmerksamkeit der Nutzer auf die in diesem Moment wichtigen Teile der Umgebung zu lenken und während der Anwendung zu leiten (Erickson, 2016b).

Lichtpunkte, wie in Abbildung 4.7 sichtbar, können den Nutzer auf interaktive Elemente hinweisen (Google Inc., 2015, Guiding with Light). Ebenso kann binaurales Audio, also dreidimensionale Geräusche in der virtuellen Umgebung, die Aufmerksamkeit der Nutzer leiten und als Anhaltspunkt bei der Orientierung dienen.



Abb. 4.7: Wegweisen mit Lichtpunkten

Ein Fadenkreuz zeigt die Blickrichtung und den Blickmittelpunkt während der Anwendung. Das in *Cardboard VR*-Apps häufig verwendete Fadenkreuz, genannt *Reticle*, hilft nicht nur beim konkreten Anvisieren. Es zeigt auch an, ob die jeweilige Fläche beziehungsweise der Gegenstand interaktiv ist (Google, 2016b, Display Reticle). Ein Fadenkreuz verbessert also nicht nur die Orientierung, sondern ist ein wichtiges Element für das Interaktionsdesign, siehe Abschnitt 4.6.

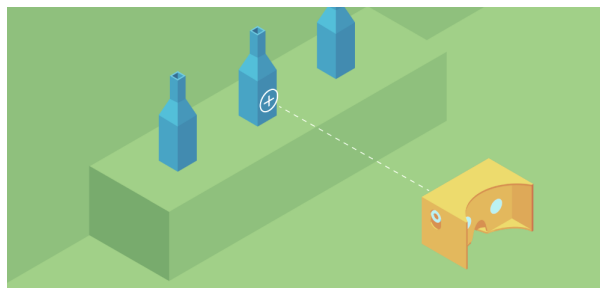


Abb. 4.8: Fadenkreuz zum Anvisieren von Objekten

4.5 Bewegung und Fortbewegung

Da die Körperbewegungen des Nutzers bei Mobile-VR aktuell noch nicht getrackt werden, stimmen sie im Regelfall nicht mit denen des virtuellen Avatars überein. Dies erschwert nicht nur die Orientierung, sondern auch die Bewegung im virtuellen Raum.

Um das Auftreten von *VR-Sickness* bei der Fortbewegung möglichst gering zu halten gibt es mehrere Empfehlungen. Die einfachste Art der Navigation in der virtuellen Umgebung ist die Teleportation zum jeweiligen Ziel (Bumble, 2015). Teleportieren spricht allerdings entgegen aller physikalischen Gesetze der Realität und verringert die Immersion (Goode, 2015). Zusätzlich wird damit die Orientierung bei der Erkundung der Umgebung erschwert, wie im letzten Abschnitt bereits erwähnt wurde.

Eine freie und aktive Fortbewegung ist daher für die Navigation im virtuellen Raum besser geeignet. Grundsätzlich ist bei Bewegung zu beachten, zur besseren Verträglichkeit eine konstante Geschwindigkeit einzuhalten. In *Cardboard Design Lab* wird anschaulich demonstriert, dass die Veränderung der Geschwindigkeit durch Beschleunigung oder Abbremsen dringlichst in Virtual Reality vermieden werden sollte (Google Inc., 2015, Using Constant Velocity).

Eine Ausnahme hierfür sind beispielsweise Rollercoaster, bei denen das Unwohlsein zu einem positiven Nervenkitzel führen kann. Allerdings sollte den Nutzern, auch in diesem Fall, die Kontrolle über Bewegung so weit wie möglich überlassen werden (Google, 2016b). Ein gutes Beispiel hierfür ist die VR-App *Roller Coaster VR*, bei der die Fahrt erst durch die manuelle Betätigung eines Schalters beginnt. Ein Negativbeispiel ist das Introvideo von *Hidden Temple*, in dem sich der Avatar beim Stürzen in einen Graben mehrmals um die eigene Achse dreht, ohne dass dies verhindert werden kann (HandyGames, 2015).

Ludwig empfiehlt einzig die Fortbewegung in Blickrichtung für Virtual Reality (Ludwig, 2013). Vertikale und horizontale Bewegungen wären für viele Spieler des VR-Prototyps von *Team Fortress 2* mit Schwindel verbunden gewesen. Besonders deutlich sei dies bei der Benutzung virtueller Treppen aufgefallen. Ludwig vermutet, dass dies mit dem Umstand zusammenhängt, dass sich der Avatar auf den Stufen gleichzeitig vorwärts und nach oben bewegt.

Statische Objekte innerhalb des Sichtfelds können als Ankerpunkte bei der eigenen Bewegung dienen (Oculus, 2016b, Simulator Sickness). Dies kann je nach Anwendungsfall das Cockpit eines Flugzeugs, das Innere eines Sci-Fi-Roboters oder das Armaturenbrett eines Autos sein. Allerdings passt die Nutzung eines virtuellen Vehikels nicht zu jedem Anwendungsbereich. In diesen Fällen kann im Sichtfeld eine Wolke kleiner, statischer Würfel zur Senkung des *VR-Sickness*-Risikos angezeigt werden, wie auf der rechten Hälfte von Abbildung 4.11 erkennbar (Goode, 2015). Die Würfel stabilisieren das Bild und vermitteln dem Nutzer unterbewusst das Gefühl, er stehe still und die Welt um ihn herum bewege

sich. Um die Immersion nicht zu verringern, sollten sie möglichst unauffällig sein. Das Anzeigen einer virtuellen Nase als Fixpunkt hat eine ähnliche Wirkung (Stinson, 2015).



Abb. 4.9: **Virtuelle Nase zur Stabilisierung**

Ein Aspekt bei der Bewegung, der sowohl zu Reisekrankheit als auch zu *VR-Sickness* führt, ist die Wahrnehmung von Bewegung in der Peripherie des Sichtfelds. Eine mögliche Lösung hierfür ist das „Tunneln“ des Blicks (Lew, 2015). Dabei wird die Bewegung ausschließlich auf einem rechteckigen, mittigen Fenster angezeigt und der periphere Bereich steht still. Anschließend wird der Avatar zur jeweiligen Position teleportiert.



Abb. 4.10: **„Tunneln“ der Bewegung**

Eine weitere Möglichkeit ist das vollständige Abdunkeln des virtuellen Raums bei der Bewegung (Goode, 2015). Als Anker und zur Richtungsangabe während der Bewegung können zum Beispiel helle Fußabdrücke am Boden angezeigt werden, wie Abbildung 4.11 anschaulich zeigt.

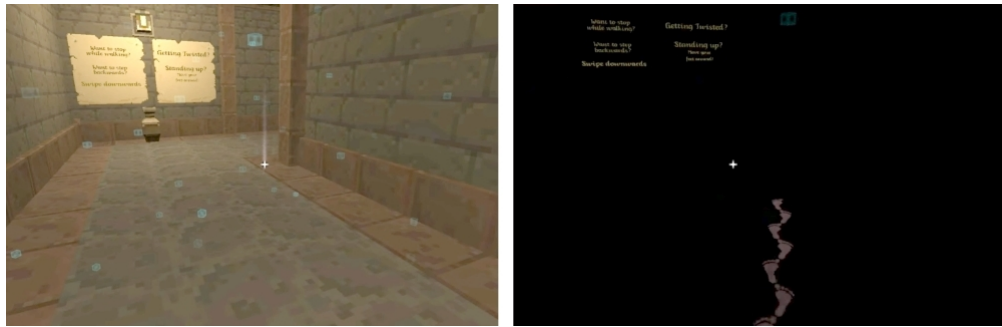


Abb. 4.11: **Abdunkeln der virtuellen Umgebung zur Vermeidung von VR-Sickness**

Eine, laut Goode, noch weniger *VR-Sickness* auslösende Bewegungsart ist „Blinzeln“ in der Bewegung (Goode, 2015). Das Sehen kurzer, abgehackter Zwischenbilder während der Fortbewegung ähnelt realem Blinzeln der Augen. Dadurch wird keine fließende Bewegung wahrgenommen, also weder Beschleunigung noch Geschwindigkeit. Dies verringert das Risiko von *VR-Sickness*.

Um Bewegung während der VR-Anwendung komfortabel zu gestalten, sollten mehrere Fortbewegungsarten in den Einstellungen der VR-App angeboten werden. So kann die jeweilige Zielgruppe das Komfortlevel in der VR-App zu jedem Zeitpunkt individuell anpassen (Goode, 2015).

4.6 Interaktion in Mobile-VR

Interaktionen, die in einer Anwendung ausführbar sind, können in vier Gruppen eingeteilt werden: Navigation, Selektion, Manipulation und Steuerung des Systems (Bowman et al., 2001).

Dieser Abschnitt zeigt anhand konkreter Beispiele auf, wie Interaktionen in Mobile-VR gestaltet werden können. Abhängig von der Plattform und den verfügbaren Eingabegeräten sind für das Interaktionsdesign einer VR-App nicht alle vorgestellten Interaktionsarten geeignet.

Gazing

Gazing ist die am weitesten verbreitete Interaktionsart. Durch ein „Starren“ auf ein Objekt wird eine Interaktion, wie zum Beispiel wie bei den in Abschnitt 4.7 aufgeführten *Fuse-Buttons*, ausgelöst. Da keine weiteren Eingabegeräte benötigt werden, ist *Gazing* mit allen VR-Plattformen kompatibel, sowohl im Mobile- als auch Desktop-Bereich.

Echtes „Gaze-Tracking“ wäre jedoch Eye-Tracking, also die direkte Interaktion durch das Tracken der Bewegung der Pupillen (Erickson, 2016a). *Gazing* in Mobile-VR bedeutet im Regelfall das Tracken der Kopfbewegung, mit dem Bildschirmmittelpunkt als Blickmittelpunkt.

Für *Gazing* ist auch das in Abschnitt 4.4 erwähnte Fadenkreuz beziehungsweise *Reticle* förderlich. Die Anzeige eines Fadenkreuzes in der virtuellen Welt dient als Repräsentation der Pupillen. Durch die Veränderung der Form des *Reticles* können interaktive Elemente in der virtuellen Umgebung hervorgehoben werden.



Abb. 4.12: Anzeige der Interaktionsart am Fadenkreuz bei *Hidden Temple VR*

Ein populäres Beispiel für rein *Gazing*-basierte Interaktion ist die VR-App *Lands End* für die *Gear VR*-Plattform, in der ausschließlich mit *Gazing*-basierter Interaktion sowohl Navigation, Selektion und Manipulation ausgeführt wird (Ustwo games, 2015). Durch das reine Anvisieren von Objekten in der Umgebung werden Rätsel gelöst und Steinbrocken durch die Luft bewegt.

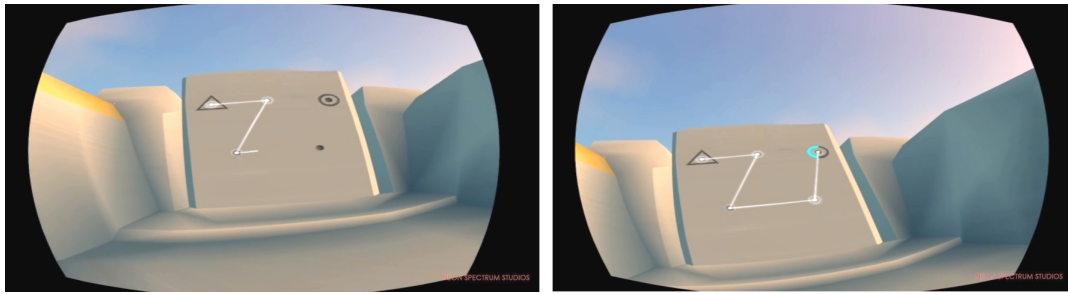


Abb. 4.13: Kreatives *Gazing* bei *Lands End*

Trigger

Eine weitere, weit verbreitete Interaktionsart benötigt nur einen einzelnen Eingabetaste, den sogenannten *Trigger*. Der Großteil der Mobile-VR-Headsets hat eine solche Eingabemöglichkeit am Headset integriert. Da mit einem einzelnen *Trigger* kaum eine selbständige Interaktion möglich ist, wird dieser meist mit *Gazing* kombiniert. Am gängigsten ist das Anvisieren eines Objekts per *Gazing*, und das anschließende Betätigen des *Triggers*. Dies beschleunigt die Selektion deutlich, da das zeitbasierte Element des *Gazing* wegfällt.

Ein besonderes Beispiel hierfür ist die VR-App *Sharks VR* (Lakento, 2015). Durch Betätigen des *Triggers* schießt der Anwender ein Foto der virtuellen Umgebung. Da beim üblichen Festhalten des *Cardboard VR*-Headsets der Zeigefinger auf die gleiche Weise auf dem *Trigger* liegt, wie auf dem Auslöser einer Fotokamera, wird hierbei ein immersiveres VR-Erlebnis gefördert.

Mithilfe der in Abbildung 4.7 dargestellten Leuchtkreise in der VR-App *Cardboard Design Lab*, wird durch die Kombination von *Gazing* & *Trigger* in der virtuellen Umgebung navigiert (Google Inc., 2015).

Mehrfach-Trigger

Komplexere Interaktionen benötigen meist mehrere unterschiedliche *Trigger*. In der zu Mobile-VR portierten App *Minecraft VR* bewegt sich der Anwender beispielsweise frei in der virtuellen Umgebung, kann bauen, kämpfen, Gegenstände selektieren und zahlreiche

weitere Aktionen ausführen (Mojang, 2016). Für die Kompatibilität mit Virtual Reality wurden einige Änderungen zum ursprünglichen PC-Spiel vorgenommen. Die große Bandbreite an Interaktionen wurden mithilfe der großen Anzahl an Tasten eines üblichen Gamecontroller realisiert.

Diese Interaktionsart ist jedoch schwer zugänglich für Menschen ohne Erfahrung mit Controllern. Da die Sicht auf den Controller durch das VR-Headset verdeckt wird, müssen die Tastenbelegungen und möglicherweise bestehende Konventionen mühsam und zeitintensiv erlernt werden.

Räumliche Gesten

Räumliche Gesten erlauben dreidimensionale und deshalb für VR natürlichere Interaktionen.

Bei Mobile-VR stehen aktuell nur Eingaberäte für das Tracken einer einzelnen Hand zur Verfügung. Dies erlaubt trotzdem zahlreiche neue Arten der Anwendung, wie Abbildung 4.14 und 4.15 zeigen. Dem Interaktionsdesign sind hiermit keine Grenzen gesetzt.

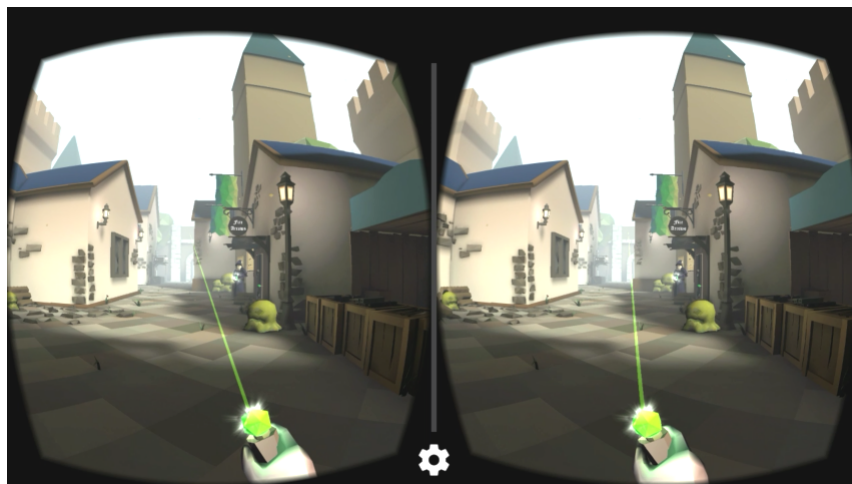


Abb. 4.14: Zaubern mit dem *RealControl*



Abb. 4.15: Pfannkuchen stapeln mit dem *Daydream Controller*

Unabhängig von zusätzlichen Eingabegeräten erlaubt die VR-App *Wizard Academy* mithilfe der Smartphone-Sensoren die räumliche Navigation (Realteer Corp., 2016). Durch das Auf und Ab während des Laufens in der Realität wird die Fortbewegung in der virtuellen Umgebung ausgelöst. In der VR-App *Need for Jump VR* ist Springen nötig, um einen Sprung in der virtuellen Welt auszuführen. Allerdings ist die Verzögerung zwischen Sprung und Anzeige auf dem Display bei dieser VR-App sehr groß, was die Bedienung erschwert.

2D-Gesten

Die Interaktion mithilfe von 2D-Touch-Gesten wird durch Touchpads möglich. Diese Interaktionsart stammt vom Medium mobiler Touch-Geräte wie Smartphones und Tablets. Allgemein bekannte Konventionen über die Benennung und Ausführung dieser Gesten sollten auch in Virtual Reality einheitlich umgesetzt werden.

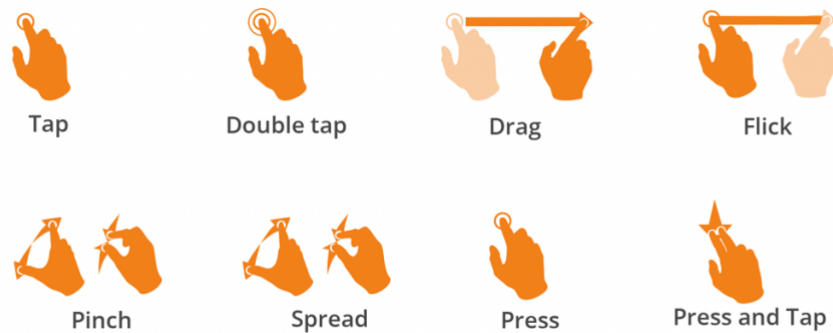


Abb. 4.16: **Gestensteuerung bei mobilen Geräten**

Die Benutzung eines Touchpads im virtuellen Raum ist grundsätzlich schwierig, da die Gesten nicht direkt auf dem Bildschirm ausgeführt werden, sondern beispielsweise seitlich am *Gear VR*-Headset. Ein Selektieren ist mithilfe von *Gazing* möglich. Das schnelle Durchsuchen der Bibliothek in der VR-Launcher-App *Oculus Home* ist durch Streichen über das Touchpad möglich.

2D-Gestensteuerung auf dem Smartphone ist innerhalb von VR-Apps nur möglich, wenn der VR-Modus zum Beispiel zum Anwendungsstart noch nicht aktiviert und das Smartphone noch nicht am VR-Headset montiert wurde. Allerdings kann der Anwender zu diesem Zeitpunkt nicht in Virtual Reality eintauchen. Um ein ungestörtes VR-Erlebnis zu ermöglichen, sind 2D-Inhalte ausschließlich beim Start der VR-App sinnvoll, siehe Abschnitt 4.8.

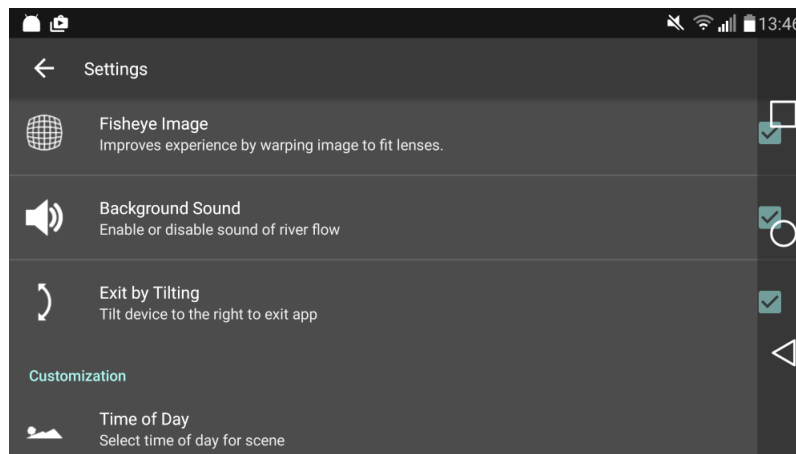


Abb. 4.17: 2D-Einstellungsmenü bei *Lanterns For Google Cardboard*

Weitere

Dank erster für Desktop-VR verfügbarer Hardware könnte Biofeedback³ und Neurofeedback⁴ innerhalb der nächsten Jahre auch Anwendung in Virtual Reality finden. Für das Interaktionsdesign bedeutete dies ganz neue Möglichkeiten, ist aber für aktuelle VR-Apps aufgrund fehlender Hardware noch nicht relevant.

4.7 User Interfaces

„Ein User Interface (UI), zu Deutsch Benutzeroberfläche, ist die Schnittstelle zwischen Anwender und Software beziehungsweise Hardware (Tandler, 2016). UIs dienen der Informationsdarstellung und als Grundlage für die Interaktion mit der jeweiligen Anwendung. Sie sollten intuitiv, zielgerichtet, dem Zweck entsprechend bedient werden können (Kristoffer Brady, 2015). Für die Gestaltung von zugänglicher und verständlicher UI in Virtual Reality ist die Orientierung an bestehende Normen sinnvoll.“

Noch ist Mobile-VR zu jung, um sich auf einheitliche Konventionen bezüglich des Aussehens und der Bedienung von virtuellen User Interfaces beziehen zu können. In Online-

³Überblick zu Biofeedback unter <https://de.wikipedia.org/wiki/Biofeedback>

⁴Siehe <http://www.eeginfo-neurofeedback.de/neurofeedback/was-ist-neurofeedback.html>

Foren wird argumentiert, dass die praktische Erfahrung von Interface Design im Bereich Games auch für die Gestaltung in Virtual Reality hilfreich ist (Designer-News, 2015). Games sind wie Virtual Reality interaktive Medien und einige werden auch aus der Ego-Perspektive gesteuert.

User Interfaces in Games nehmen viele verschiedene Formen an, um den Spielern wichtige Informationen übersichtlich darzustellen. Sie richten sich hauptsächlich nach Genre, Game Design und Spielmodi. UIs müssen sowohl in Funktionalität als auch in gestalterischer und narrativer Form zum Rest des Spiels passen, um dem Spieler das Eintauchen zu ermöglichen.

Gleiches gilt auch für Virtual Reality. Und so können User Interfaces von Games, und ebenso VR, grundlegend in die folgenden vier Kategorien eingeteilt werden (Andrews, 2010).

Nicht-diegetische Interfaces existieren nicht in der Narration der virtuellen Welt. Sie werden meist in Form eines zweidimensionalen, statischen HUDs angezeigt und sind die einfachste Möglichkeit, um Informationen darzustellen. In Virtual Reality haben HUDs automatisch eine Tiefe und sind trotzdem im Sichtfeld fixiert. Dies ist sehr irritierend, da in der realen Welt keine frei schwebenden Flächen existieren, die dem Blick folgen (Erickson, 2016b).



Abb. 4.18: HUD in *Lamper VR*

Räumliche Interfaces sind innerhalb der 3D-Welt physisch, aber nicht narrativ integriert. Auf Virtual Reality übertragen zählen hierzu zum Beispiel im Raum schwebende, zweidimensionale UIs wie die Marker in Sketchfab in Abbildung 4.19 (Sketchfab, 2016).

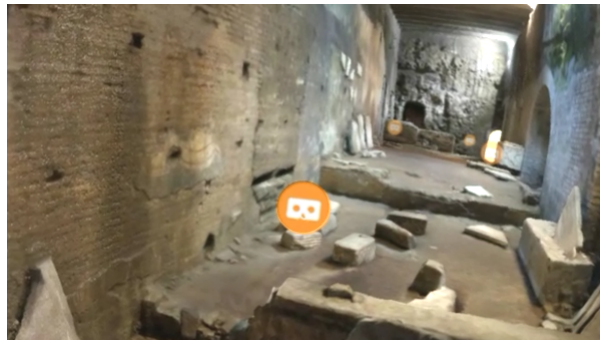


Abb. 4.19: Räumliches Interface in *SketchFab VR*

Meta Interfaces sind zwar auch für den Avatar sichtbar, aber existieren narrativ nicht wie angezeigt in der Spiel- beziehungsweise virtuellen Welt. Ein Beispiel für Meta Interfaces in Games sind beispielsweise die in Abbildung 4.20 sichtbaren Blutspritzer am äußeren Rand der Bildfläche, die die Verletzung des Avatars und im übertragenen Sinne die Reduktion der Lebenspunkte anzeigen.



Abb. 4.20: Meta Interface in *Call of Duty: Modern Warfare 2*

Diegetische Interfaces sind vollständig in der Spiel- und virtuellen Welt integriert, sowohl physisch als auch narrativ. Sie sind die Kategorie mit dem höchsten Immersionsgrad. In Science-Fiction-Welten ist dies mit Hologrammen besonders leicht umsetzbar, ein Beispiel hierfür ist das futuristische Interface der VR-App *Returning Home* (Raiz, 2015).

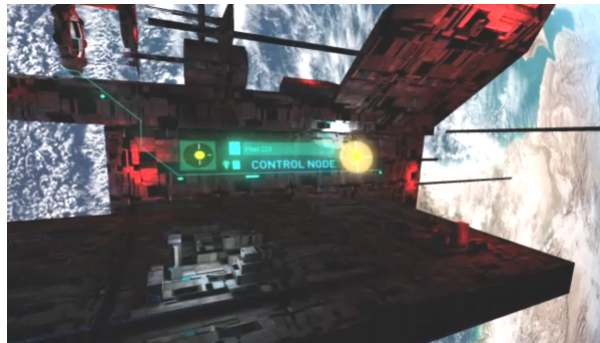


Abb. 4.21: **Diegetisches Interface in *Returning Home***

Die Position von User Interfaces in VR muss bei allen Varianten mit Vorsicht gewählt werden. Da jedes Objekt im virtuellen Raum eine dreidimensionale Tiefe hat, müssen für ein komfortables VR-Erlebnis die in 4.3 beschriebenen optimalen Sicht- und Interaktionsbereiche beachtet werden. Um eine komfortable Atmosphäre zu bieten, sollten UIs an einer bestimmten Position im Raum fixiert werden, entweder frei schwebend oder im Raum auf natürliche Weise integriert (Sundstrom, 2015). Falls die Verwendung eines HUDs notwendig ist, sollten alle Elemente möglichst mittig angeordnet werden (Ludwig, 2013). Die Verzerrung durch die Linsen wird zum Rand hin stärker und der Blick liegt für gewöhnlich im Zentrum der Bildfläche.

Daraus folgt, dass User Interfaces deutlich schmaler gestaltet werden müssen als bei anderen Medien. Interaktive Elemente wie Buttons etc. sollten so zentral wie möglich dargestellt werden. Die empfohlene Anordnung ist nicht von links nach rechts oder von rechts nach links, wie zum Beispiel bei Websites, sondern von der Mitte zum äußeren Rand (Kristoffer Brady, 2015).

Beim Interaktionsdesign sollte dies ebenfalls beachtet werden. Bei der Interaktion des Anwenders mit dem virtuellen User Interface richtet sich seine Aufmerksamkeit auf die Elemente, die im inneren Kreis seines Sichtbereichs liegen. Visuelles Feedback oder Änderungen am System in der Peripherie werden nur vage wahrgenommen. Deshalb kann es verwirrend sein, wenn ein virtueller Button gedrückt, aber die tatsächliche Auswirkung darauf nicht direkt im Sichtbereich angezeigt wird. Ein Hinweis auf die Auswirkungen seiner Interaktion im Zentrum seines Blicks ist daher angebracht, um den Anwendern das Gefühl eines funktionstüchtigen, reaktionsfähigen UIs zu geben.

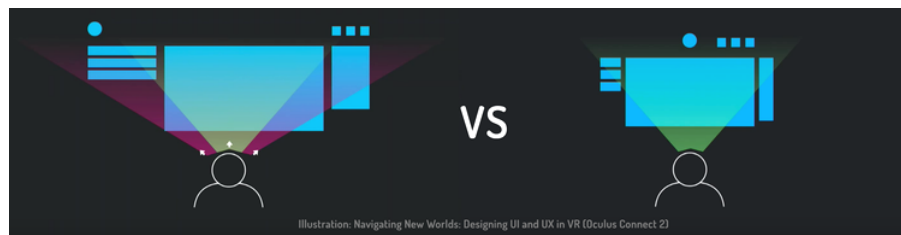


Abb. 4.22: **UI-Anordnung in Web und Virtual Reality**

In gleichen Maß *VR-Sickness* auslösend wie die Fortbewegung im virtuellen Raum ist die Bewegung von User Interfaces. Ein Beispiel ist das Scrollen in einer virtuellen Bildergalerie. Deshalb gelten hierbei die gleichen Empfehlungen wie in ?? beschrieben. Bewegungen von UI-Elementen sollten also in konstanter Geschwindigkeit ausgeführt werden und von links nach rechts anstatt von oben nach unten gerichtet sein (Kristoffer Brady, 2015).

Mit gewölbten UI-Flächen wird eine größere, bedienbare Anzeigefläche erreicht. Im Gegensatz zu ebenen Flächen ist hiermit ein zum Avatar konsistenter Abstand gegeben (Kristoffer Brady, 2015). Dadurch ist sowohl die Lesbarkeit, als auch die Interaktion leichter, denn die UI wird aus Sicht des Anwenders nicht räumlich verzerrt.

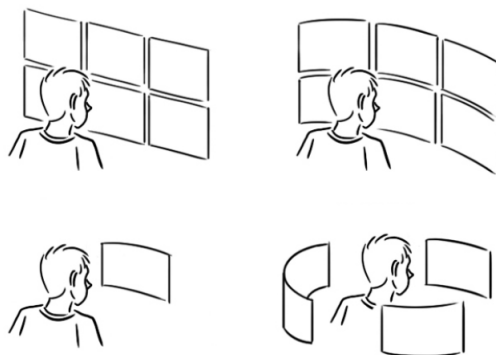


Abb. 4.23: **Anordnungsmöglichkeiten bei VR**

Die Lesbarkeit von Text auf User Interfaces ist in Mobile-VR grundsätzlich schlecht (Erickson, 2016b). Dies liegt an der aktuell noch unzureichenden Qualität der Textdarstellung. Bei aktuellen Displays sind noch, besonders durch die Vergrößerung der Linsen, einzelne Bildpixel sichtbar (Alger et al., 2016). Durch das Aliasing der niedrigen Auflösung der Displays wird die Lesbarkeit verschlechtert und die Buchstaben beginnen bei jeder Bewegung

zu flimmern. Für UI Design bedeutet das, Text darf in Virtual Reality nur mit größter Vorsicht verwendet werden. Die Höhe von virtuellem, komfortabel lesbarem Text muss mindestens 20px bzw. 1,5° von der Sichtfeld-Kugel, siehe Abschnitt 4.3, betragen (Alger et al., 2016). Um die daraus resultierende Höhe in Längenmaß für dreidimensionalen Text zu berechnen, muss die Pixeldichte aktueller Displays miteinbezogen werden. Alger bietet hierfür eine mathematische Formel zur Bestimmung der komfortablen Textgröße in virtuellen Umgebungen (Alger et al., 2016).

$$h = d \tan \left(\frac{px}{ppd} \right)$$

Mit h = der nötigen Texthöhe, d = der Distanz zum virtuellen Text, px = der Höhe des Texts in Pixel und ppd der Pixeldichte in Pixel / ° Sichtfeld. Aktuelle Displays haben eine Pixeldichte von 10 bis 13 Pixel pro Grad Sichtfeld. Um eine komfortable Texthöhe auch in großer räumlicher Entfernung zum Avatar zu garantieren, wird die Distanz vom Avatar zum virtuellen Text bei Verwendung aktueller Displays mit einem Faktor von circa 0,027 multipliziert (Alger et al., 2016). Text ist die einfachste Art, wie Software mit Anwendern kommuniziert. Bis virtueller Text der Lesbarkeit halber nicht mehr groß und klobig dargestellt werden muss, werden noch einige Jahre der Entwicklung vergehen.

Fuse-Buttons eignen sich als aktuell für alle dem Nutzer zugänglichen UI-Elemente, da sie mit jeder verfügbaren VR-Hardware bedient werden können. Durch Anvisieren des Buttons per *Gazing* (siehe Abschnitt 4.6) wird ein Countdown ausgelöst, der während des Anvisierens stetig verringert wird (Google, 2016c, Controls). Nach einem bestimmten Zeitintervall von üblicherweise drei Sekunden wird die Funktionalität hinter dem Button aktiviert. Dadurch ist die Reaktionszeit sehr langsam und es muss explizit auf die Aktivierung gewartet werden. UI-Elemente dieser Art können für die Zielgruppe frustrierend sein, insbesondere dann, wenn der Countdown schlecht oder gar nicht visuell dargestellt wird. Bei der Gestaltung von *Fuse*-Buttons ist visuelles Feedback wichtig, genauso wie eine entsprechende Größe und Abstand zueinander einzuhalten. Um die Reaktionsfähigkeit zu verbessern, kann für Anwender mit VR-Hardware mehrerer Eingabeoptionen zusätzlich das direkte Aktivieren per *Trigger* angeboten werden.

Um virtuelle User Interfaces jedoch für die vollständige Zielgruppe unabhängig von deren VR-Hardware zu gestalten, sind *Fuse*-Buttons eine Alternative, solange es noch keine Standard-Interaktion mit virtueller UI gibt.

4.8 Anwendungsstart

Der Start der VR-App ist abhängig von der Plattform. Entweder wird sie direkt in einer VR-Launcher-App gestartet, wie beispielsweise bei der *Gear VR*-Plattform, oder als eigenständige App, per Berührung des Icons im Smartphone-Menü.

Beim Start einer VR-App in einer VR-Launcher-App, wie zum Beispiel Oculus Home (Oculus VR, 2016), ist der Anwender bereits in die virtuelle Realität eingetaucht. Der Nutzer hat das Smartphone bereits im Headset montiert und aufgesetzt. Das bedeutet, das Display ist zu Beginn nicht mehr ohne ein Verlassen der Virtual Reality und dem Abmontieren des Smartphones zugänglich. Um ein VR-Erlebnis nicht unnötig zu unterbrechen, sollte die VR-App in diesem Fall also sofort im VR-Modus starten.

Anders gestaltet es sich bei Anwendungen, die als eigenständige App auf dem Smartphone installiert sind. Diese werden standardmäßig, wie jede andere App auch, durch ein Tippen auf das Symbol der App gestartet. Da das Smartphone zu diesem Zeitpunkt noch nicht am Headset montiert ist, ist das Touch-Display weiterhin für die Bedienung zugänglich. Dadurch ist die Anzeige eines Interface möglich, das durch 2D-Gestensteuerung bedient wird. Dies ist beispielsweise sinnvoll, wenn die angebotenen Einstellungsmöglichkeiten zu komplex wären, um sie als 3D-Interface diegetisch in der virtuellen Umgebung zu platzieren (Sundstrom, 2015).

Bei einigen VR-Apps ist es sinnvoll, zu Beginn ein virtuelles Startmenü wie beispielsweise in *Lamper VR* anzuzeigen (Archiact Interactive, 2015). Dabei ist wichtig, den Avatar zum Start so zu platzieren, dass die Interface Elemente direkt im Sichtbereich des Anwenders sind (Google, 2016c). Wenn wichtige Interfaces zu Beginn außerhalb des Sichtbereichs, zum Beispiel direkt hinter ihm liegen, kann dies zu Verwirrung führen und sowohl die Usability als auch die Accessibility beeinträchtigen.



Abb. 4.24: Virtuelles Startmenü bei *Lamper VR*

In jedem Fall wird empfohlen, die VR-App im Vollbildmodus zu starten (Google, 2016c, Full Screen Mode). Durch das Ausblenden der Statusbar wird die Bildfläche sofort auf die vollständige Display-Fläche gestreckt und ordnungsgemäß auf die Linsen eingestellt. Außerdem ist eine immersive Gestaltung des Start-Inhalts sinnvoll, um bereits zu Beginn der Anwendung ein Gefühl der Presence zu ermöglichen.

Wie das Entwickeln einer VR-App in der Praxis im Detail aussehen kann, wird im nächsten Kapitel beschrieben. Bei der Erstellung mehrerer Prototypen für Mobile-VR wird praktisch getestet, welche Herausforderungen, speziell beim Interaktionsdesign, an die Entwickler gestellt werden.

5 Eigene VR-App-Entwicklung

Um die recherchierten Informationen persönlich und praktisch zu verwerten, wurde das Wissen zur Entwicklung mehrerer kleiner Apps genutzt.

Besonders spannend waren die verschiedenen Anwendungsfälle, die jeweils unterschiedliche Zielgruppen und Anforderungen haben. Mit dem Ziel der Gestaltung von zugänglichen, virtuelle Welten, wurde das Interaktionsdesign während des Entwicklungsprozesses iterativ sowohl im Freundeskreis, als auch auf Veranstaltungen, wie dem Hamburger Indie Treff¹, umfangreich getestet.

5.1 Dokumentation und Design

Der folgende Abschnitt beschreibt die Entwicklung und iterative Verbesserung dreier VR-Apps. Die grafischen Materialien, wie 3D-Modelle und Texturen, wurden mit freundlicher Unterstützung von Verena Stahl und Johanna Fülischer erstellt.



Abb. 5.1: Angewandte Entwicklungsumgebungen

Aufgrund der Verfügbarkeit der Hardware wurde für das Betriebssystem Android entwickelt. Als Entwicklungsumgebung wurden in allen drei Fällen die Game-Engine *Unity*² in Kombination mit dem *Google VR SDK*³ genutzt. Letzterer hieß zu Beginn der Bearbeitungszeit noch *Cardboard SDK*. Allerdings ändern sich die Entwicklungstools bei Mobile-VR laufend, weshalb die Projekte in meist kurzen Abständen an die Neuerungen angepasst

¹Regelmäßige Veranstaltung für Indie-Entwickler aus und um Hamburg - nähere Informationen unter <http://www.indietreff.de/hamburg/>

²<https://unity3d.com/>

³<https://developers.google.com/vr/unity/>

werden mussten. Nichtsdestotrotz ist mit jedem Update auch neue Funktionalität, die die Anwendung bereichern kann, gegeben.

Die Prototypen wurden in erster Linie mit den beiden Android-Smartphones LG G3 und Samsung Galaxy S6 getestet.

VR Maze

Als erstes eigenes Konzept für Virtual Reality diente *VR Maze*. Die Ausgangsidee dahinter ist simpel: der Anwender befindet sich in einem virtuellen Labyrinth und hat die Aufgabe, den Ausgang zu finden. In erster Linie dient dieses Experiment dazu sich mit den Eigenheiten der-Game Engine und des *Cardboard SDKs* vertraut zu machen.

In dieser VR-App spielt für das Interaktionsdesign die Fortbewegung im Labyrinth die Hauptrolle. Der Anwender soll sich so komfortabel wie möglich durch die Gänge bewegen können. Zur besseren Übersicht wurde eine Liste von relevanten Fortbewegungskonzepten erstellt:

1. 1x Klick := 1x virtueller Schritt; dabei wird nach vorne teleportiert und nicht beschleunigt, um die VR-Sickness gering zu halten.
2. Automatisches Laufen, Klick bzw. Doppelklick = Start beziehungsweise Stopp; Nachteil: nicht kompatibel mit allen VR-Headsets.
3. Gedrückthalten = konstante Fortbewegung
4. Teleport oder automatische Bewegung von Navigationspunkt zu Navigationspunkt (in Ecken und Kreuzungen)

Zu Beginn der Prototypentwicklung wurde ein dreidimensionales Modell eines Labyrinths erstellt. Jede Wand bekam einen möglichst großen Kollisionsbereich, um zu verhindern, dass der Anwender an manchen Stellen „durch die Wand sehen“ kann. Dies würde den Immersionsgrad immens reduzieren, da es gegen jegliche physikalischen Gesetze der Realität spricht.

Während der Entwicklung des ersten Prototypen wurde klar: der Anwender muss sich nicht komplett frei in den Gängen bewegen können. Für das Ziel, den Ausgang des Labyrinths zu erreichen, spielte diese Fähigkeit keine Rolle. Deshalb wurde entschieden, den Anwender in seiner Bewegung weiter einzuschränken und nur auf einem festgelegten Schienensystem bewegen zu lassen. Dies sollte auch die Kollisionsfehler an den Wänden verbessern.

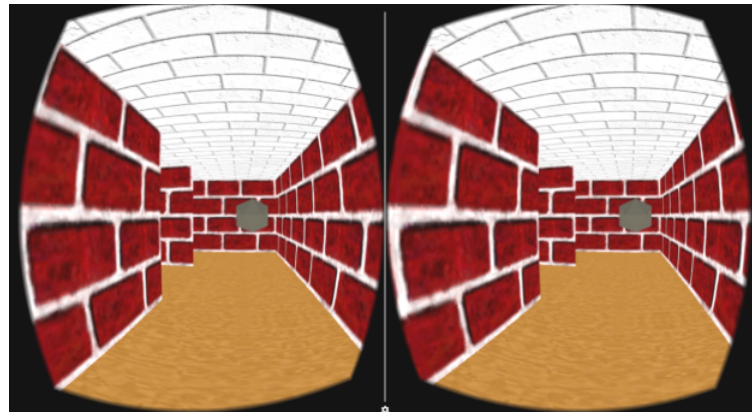


Abb. 5.2: Labyrinth im Retro-Stil

Da das häufige Betätigen des *Triggers* zur Fortbewegung auf Dauer sehr mühsam und teilweise nicht fehlerfrei möglich war, wurde entschieden, ein „Gedrückt halten“ als Fortbewegung umzusetzen. Dies stellte sich in diesem Fall als bessere Lösung heraus. Das *Cardboard SDK* bietet nativ keine Implementierung des „Gedrückt halten“ beziehungsweise „Loslassens“ des *Triggers* an, weswegen hierfür ein externes Plugin integriert wurde.

Da diese Art der Fortbewegung und die hohe Latenz beim Großteil der Tester *VR-Sickness* auslöste, wurde das Projekt mit erneut verbesserter Fortbewegung und performanterer Grafik von Grund auf neu erstellt. Nun ist es möglich, durch *Gazing* und Betätigen des *Triggers* in eine Richtung, eine automatische Bewegung zum nächsten Navigationspunkt auszuführen. Dabei wurde auf eine konstante Geschwindigkeit geachtet, um *VR-Sickness* weitgehend einzuschränken.

Da die Tester diese Fortbewegungsart beim Anwendungsstart meist nicht verstehen, wird ein simples Poster neben der Startposition als Hinweis angezeigt. Vielen Testern, speziell den VR-Neulingen, war das Vorhandensein des *Triggers* nicht klar. Um die Interaktion noch intuitiver zu gestalten, soll in der nächsten Version ein Fadenkreuz mit einem Richtungspfeil hinzugefügt werden. Umgebungsgeräusche oder eine zum Retro-Setting passende Hintergrundmusik wären ebenfalls wünschenswert.

VR Night Sky

Die Idee hinter der App *VR Night Sky*⁴ ist das Anbieten einer VR-Erfahrung mit hohem Komfortlevel für beispielsweise VR-Neueinsteiger. Deshalb wird hier grundsätzlich auf Fortbewegung verzichtet, um das Risiko von *VR-Sickness* zu senken. *VR Night Sky* dient als Einsteigerapp, auch für all die Anwender, die bei *VR Maze* mit der Bewegung durch das Labyrinth zu kämpfen hatten.

In *VR Night Sky* taucht der Anwender in eine virtuelle Landschaft ein, unter funkelndem Nachthimmel befindet er sich auf einer Waldlichtung mit Blick auf den Vollmond. Eine Eule ruht auf einem Baum gegenüber und belebt die Atmosphäre. Für ein immersives Erlebnis wurde besonders großen Wert auf grafische Aspekte, wie liebevolle 3D Objekte und eine realistische Sound-Atmosphäre, gelegt.

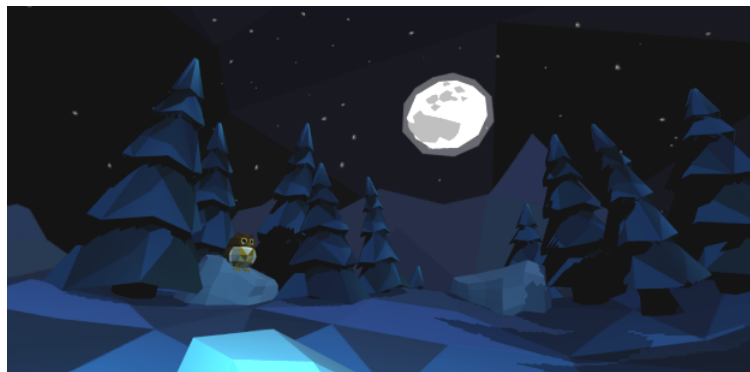


Abb. 5.3: Landschaft von *VR Night Sky*

Um dem Anwender eine gute Orientierung innerhalb der Landschaft zu bieten und dadurch das *VR-Sickness* Risiko zu vermindern, wurden mehrere Vorkehrungen getroffen. Zum einen wurde sich an den Empfehlungen von ?? orientiert und Fixpunkte wie den auffälligen Mond zur Orientierungshilfe in der 360° Umgebung eingefügt. Ein weiteres richtungsweisendes Element zur Orientierung ist die Milchstraße am Sternenhimmel. Da sich die Sterne entlang einer Richtung von Nord nach Süd ziehen, wird der Blick des Anwenders indirekt gelenkt, ähnlich dem Bodensockel von *Oculus Home* siehe Abbildung 4.6 auf Seite 36.

Dass diese App erneut ohne Avatar auskommen soll, um Irritationen bei der virtuellen Eigenwahrnehmung zu vermeiden, bereitete anfangs Schwierigkeiten. Durch die dunkle, minimalistisch gestalteten Umgebung und der Platzierung der Kameras inmitten der Lichtung, fehlte ein klarer Fixpunkt, an der die eigene Position deutlich wurde. Dies machte

⁴Veröffentlicht unter <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.AwesomeAppCompany.Nightsky>

sich schon bei den ersten eigenen Tests der Anwendung bemerkbar. Zwar war die Umgebung ab dem Horizont und aufwärts sehr immersiv, ein Gefühl von Presence stellte sich jedoch nicht ein. Es wurde eher ein Gefühl des „Schwebens“ im Raum erzeugt, da die Entfernung vom dunklen Boden schwer abschätzbar war und nahe Objekte zum Vergleich fehlten.

Deshalb wurde entschieden, die direkte Umgebung zusätzlich zu beleuchten. Dank eines ähnlichen Falls in der Entwicklung des Masterprojekts, konnte dieses Problem aufgrund eigener Erfahrung sinnvoll gelöst werden. So wurde direkt an die Position des Avatars beziehungsweise der Kamera eine helle Lichtquelle gesetzt. Dadurch wirkt die Szene nicht unrealistisch, denn durch die Aufhellung der Umgebung wird ein Aspekt der Wahrnehmung simuliert, dass bei (nicht vollständiger) Dunkelheit nahe Objekte besser und tatsächlich heller zu erkennen sind als weiter entfernte. Um dem Anwender zudem einen klaren Fixpunkt für die eigene Position in der Umgebung von *VR Night Sky* zu geben, wie in Abbildung 5.4 ersichtlich, wurde ein flacher Stein genau unterhalb der Kamera platziert. Dies machte bei den darauffolgenden Tests auch bei externen Testern einen erstaunlichen Unterschied.

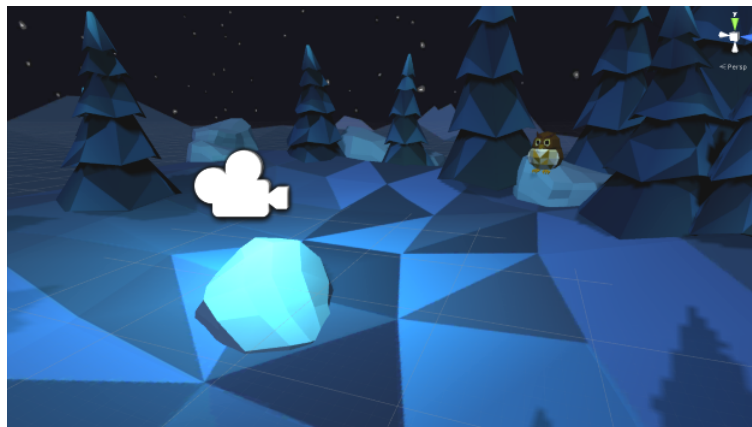


Abb. 5.4: Stein als Ankerpunkt in *VR Night Sky*

Zu Beginn der Entwicklung befanden sich noch keine interaktiven Elemente in der Anwendung, jedoch wurden, um etwas Abwechslung zu bieten, in regelmäßigen Abständen automatisch Feuerwerkskörper über der Waldlandschaft ausgelöst. Die Feuerwerkseffekte, die anfangs als Performance-Test für die Entwicklung gedacht waren, fanden großen Anklang bei den ersten Tests und wurden daraufhin weiter ausgearbeitet. So gibt es mittlerweile vier verschiedene Arten von Feuerwerk, die sich in Ausgangspunkt, Farbe und Streuungsrichtung unterscheiden. Durch die flächendeckende Verteilung der Feuerwerks-Emitter um den Anwender herum, wird dieser motiviert, seine Blickrichtung stetig zu verändern und

sich umzusehen. Die Feuerwerkskörper können auch gleichzeitig der Orientierung dienen. Außerdem ermöglicht es ein Gefühl der Presence, von der Feuerwerkshow umgeben zu sein.

Beim Interaktionsdesign von *VR Night Sky* gab es ebenfalls mehrere Optionen, die Umgebung interaktiver zu gestalten. Es wurde entschieden, auf das Standard-Cardboard-Reticle als Sichtfeldmittelpunkt zu verzichten, da es in der dunklen Umgebung einen zu starken Kontrast bildet und damit ungewollt auffällt. Außerdem birgt es die Gefahr, dass es sich bei Blick auf den Nachthimmel nicht von den Sternen unterscheidet und darin untergeht. Es sollte getestet werden, ob der Anwender auch ohne Fadenkreuz auskommt, wenn die Interaktionsflächen der Objekte stark vergrößert würden.

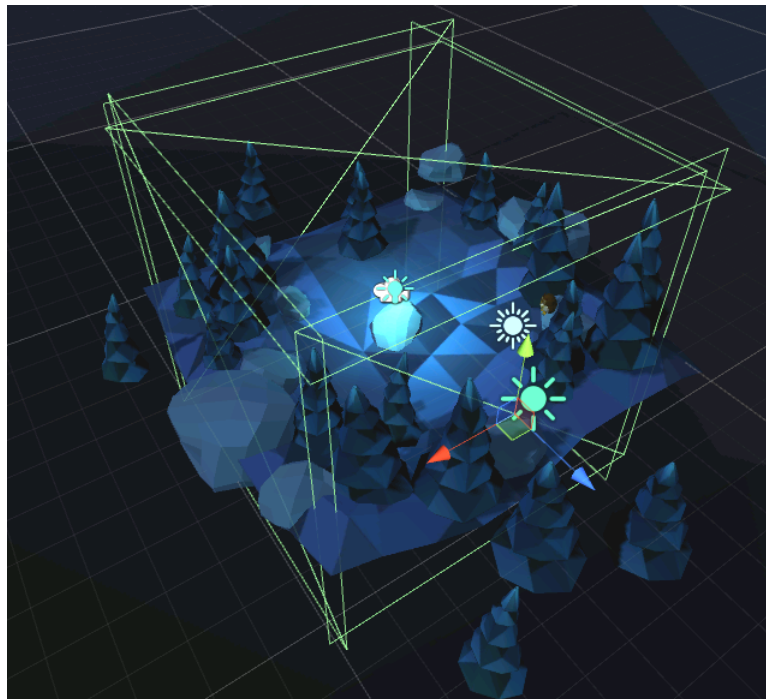


Abb. 5.5: **Szene von oben mit unsichtbaren Wänden als Interaktionsfläche**

Ähnlich wie beim *Cardboard Design Lab* (Google Inc., 2015) soll die Eule in der nächsten Iteration mit Bewegung auf die Interaktion reagieren. Eine noch abwechslungsreichere Sound-Umgebung wäre ebenfalls sinnvoll, um den Immersionsgrad noch weiter zu erhöhen.

VR Apartment

Der Grundgedanke hinter *VR Apartment* ist die ortsunabhängige Besichtigung von leerstehenden Wohnungen in Virtual Reality. Dadurch soll gezeigt werden, dass sich Mobile-VR für mehr als nur Games eignet.

Ziel des Prototypens ist es, durch eine Wohnung navigieren zu können. Unter Anwendung des Wissens der vorherigen Prototypen soll die Interaktion so intuitiv und zugänglich wie möglich gestaltet werden. Es soll davon ausgegangen werden, dass Anwender im Immobilienbereich wenig Erfahrung mit VR mitbringen. Deshalb stand die Vermeidung von *VR-Sickness* im Zentrum der Entwicklung.

Durch die Erfahrung mit *VR Maze* war klar, dass das freie Bewegen durch das Wohnungsmodell nicht zielführend ist. Besser sei es, zugunsten der Verträglichkeit auf die Bewegungsfreiheit zu verzichten. Aus diesem Grund wurde entschieden, den Anwender zu bestimmten Punkten in der Immobilie zu teleportieren. Um die Kontrolle über den selbständigen Teleport von Raum zu Raum an den Anwender abzugeben, wurde ein einfaches Interface mit einem interaktiven Grundriss gestaltet und implementiert.

Es können Räume per *Gazing* angewählt und per *Trigger* mithilfe von virtueller Teleportation betreten werden. Nach dem Anvisieren und gleichzeitigen Klicken eines Raums auf dem Grundriss, wird der Sichtbereich abgedunkelt und der Avatar in den jeweiligen Raum teleportiert. Dort angekommen wird die Sicht wieder aufgehellt. Vor der ersten Iteration wurde der Sichtbereich in Weiß ausgeblendet. Ebenso waren weiße Wände bei vielen Anwendern schmerzhaft für die Augen. Beides wurde abgedunkelt, um die Anwendung komfortabler zu gestalten.

Das *Cardboard Reticle* wurde eingefügt, um durch dessen radiale Vergrößerung zu kommunizieren, welche virtuellen Gegenstände und Interfaces in der Umgebung für die Interaktion zur Verfügung stehen. Außerdem wird ein Fadenkreuz benötigt, um die einzelnen Räume auf dem Grundriss besser anvisieren zu können.

In der ersten Prototypversion wurde der Grundriss horizontal vor dem Anwender platziert. Auf diese Weise waren einige Räume wegen der perspektivischen Verzerrung schlechter auszuwählen. Daraufhin wurde der interaktive Grundriss frontal vor den Avatar platziert, so dass alle Räume gleich leicht anvisierbar waren. Zur Steigerung des Komforts wurden der in Abschnitt 4.3 empfohlene Abstand zum Avatar eingehalten.

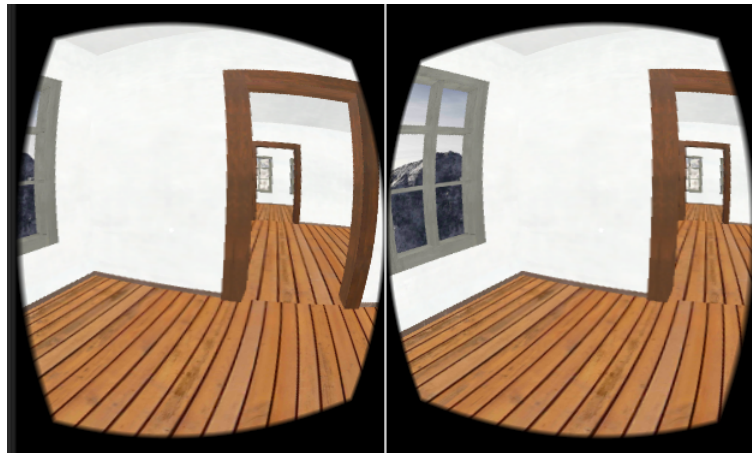


Abb. 5.6: Screenshot aus *VR Apartment*

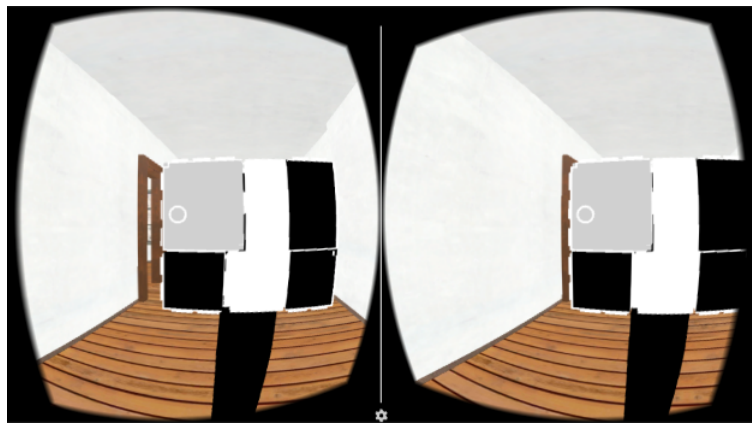


Abb. 5.7: Interaktiver Grundriss in *VR Apartment*

Um den Raum nach dem Teleportieren direkt besichtigen zu können, minimiert sich das User Interface automatisch zu einer interaktiven Plattform direkt unterhalb des Avatars. Diese Plattform hat die gleiche Funktion wie der Stein bei *VR Night Sky*, nämlich das Erden des Anwenders an einer festen Position in der virtuellen Welt.

In der nächsten Iteration soll eine reale Wohnung nachgebaut werden. Zusätzlich sollen auf dem Grundriss Symbole für die jeweilige Raumart (Küche, Badezimmer, etc) zur besseren Orientierung und nach Wunsch darstellbare Inneneinrichtung eingefügt werden. Außerdem soll es in Zukunft möglich sein, sich ähnlich wie bei *VR Maze* von Raum zu Raum zu bewegen.

5.2 Best Practices

Bei der Entwicklung der Mobile-VR-Prototypen sind folgende Tipps entstanden:

- Eine (freie) Fortbewegung ist nur sinnvoll, wenn sie für den Anwendungsbereich angemessen ist bzw. einen Mehrwert bietet.
- Um beim Teleportieren die Orientierung zu verbessern, ist ein Ein- und Ausblenden des Sichtbereichs hilfreich.
- Nicht alle virtuellen User Interfaces sind in 3D übersichtlicher; manchmal sind zweidimensionale Grafiken intuitiver und leichter zu bedienen.
- Große, helle Flächen sollten grundsätzlich vermieden werden, um ein Blenden der Augen zu vermeiden.
- *VR-Sickness* tritt häufig erst nach der Anwendung ein und sollte auch von erfahrenen Testern nicht unterschätzt werden.
- Ein Low-Poly-Look oder andere, abstrakte Stilarten eignen sich aufgrund der Performance besonders gut für Mobile-VR.
- Bei *Cardboard VR* sollte immer auf mehreren, insbesondere leistungsschwachen Geräten getestet werden, um die Kompatibilität mit älteren Smartphones sicherzustellen.
- Eine binaurale (dreidimensionale) Sound-Umgebung erhöht den Interaktionsgrad immens. Es kann helfen, zuerst eine Sound-Umgebung zu gestalten, bevor mit Grafiken gearbeitet wird.
- Trotz Bequemlichkeit sollte immer mit dem VR-Headset getestet werden. Die VR-Vorschau innerhalb der Game-Engine reicht bei weitem nicht aus, um einen ausreichenden Eindruck vom VR-Erlebnis zu gewinnen.
- Der Einbau von so vielen Interaktionen wie möglich ist essenziell für ein spannendes, immersives Erlebnis.

6 Fazit

Für die Gestaltung immersiver, virtueller Welten ist noch viel Forschung nötig. Zwar gibt es mittlerweile viele technische Empfehlungen bezüglich der Leistungsfähigkeit von Hardware, im Bereich von nutzerzentriertem Interaktionsdesign sieht dies noch spärlich aus.

VR-Sickness kann durch viele Faktoren ausgelöst werden, und es ist besonders für Zielgruppen mit einer hohen Empfindlichkeit wichtig, auf bereits bestehende Richtlinien Rücksicht zu nehmen. Die Erfahrung aus einem Test zeigt jedoch, dass VR-Sickness durch Training und das Schaffen einer passenden Anwendungsumgebung deutlich gesenkt werden kann (Helfrich and Uhr, 2015). Zukünftig wird dank der technischen Weiterentwicklung von Mobile-VR und durch die sensible Gestaltung der virtuellen Inhalte VR-Sickness somit keine Rolle mehr spielen.

Die Entwicklung an kabelfreien Lösungen, wie beispielsweise portablen Rucksack-PCs¹, zeigt die Notwendigkeit mobiler Lösungen für Virtual Reality. Noch kann die Hardware von Smartphones nicht mit denen von Desktop-PCs mithalten. Jedoch ist die Qualität der Displays meist besser, da viele Smartphone-Hersteller auch High-End-Displays entwickeln und direkt in ihre Geräte integrieren. Besonders mit der Unterstützung von Google kann die *Daydream VR*-Plattform die zukünftige Hardware revolutionieren. Zukünftige Smartphones können dann nicht nur für den alltäglichen Gebrauch, sondern gleichzeitig dank Android N nativ für Virtual Reality genutzt werden.

Die Herausforderung, aktuell wie auch für die Zukunft, besteht in der Gestaltung und Entwicklung von VR-Inhalten für jedermann. Ein Standard-Interaktionsgerät wie die Maus muss folglich gefunden werden. Aktuell ist bei Mobile-VR vor allem die geringe Bandbreite an für VR konzipierten Eingabgeräten frustrierend. Meist wird deshalb mithilfe von *Gazing* oder Gamecontrollern interagiert.

Eine Überraschung bei der Recherche war der räumliche Controller *RealControl* von Realityteer. Es bleibt zu hoffen, dass noch mehr Unternehmen kostengünstige, VR-bereichernde

¹Siehe XMG Walker

<http://www.vrnerds.de/xmg-walker-virtual-reality-rucksack-von-xmg-bald-verfuegbar/>

Eingabegeräte für Mobile-VR entwickeln.

Alle für Mobile-VR verfügbaren, aktuellen Interaktionsarten und Eingabegeräte können deshalb als Zwischenlösung angesehen werden. Damit werden sich auch Interaktions- und UI-Design in Zukunft noch stark verändern. Es bleibt allerdings fraglich, ob sich in der Zukunft eine einzige Interaktionsart bei allen Mobile-VR- bzw. universell bei allen VR-Geräten durchsetzt. Und ob ein so komfortables und intuitiv zu bedienendes Eingabegerät wie die Maus für VR gefunden wird. Zum aktuellen Zeitpunkt ist *Gazing* die einzige Art der Interaktion, die auf allen VR-Plattformen funktioniert und mit allen VR-Headsets kompatibel ist.

Bisher sind bei weitem noch nicht alle Anwendungsmöglichkeiten für Virtual Reality entdeckt worden. Durch den Fokus auf den Anwender bei der Gestaltung und Entwicklung können auch in Zukunft hochwertige VR-Apps für die unterschiedlichsten Bereiche veröffentlicht werden.

Literaturverzeichnis

- Abrash, M. (2012). *Latency - the sine qua non of AR and VR*. Valve Blog, 2012.
<http://blogs.valvesoftware.com/abrash/latency-the-sine-qua-non-of-ar-and-vr/>
(abgerufen am 02.09.2016).
- Alger, M. (2015a). *Visual Design Methods for Virtual Reality*.
<https://drive.google.com/file/d/0B19I7cJ7tVJyRkpUM0hVYmxJQ0k/view?pageId=115187241472372387015> (abgerufen am 02.09.2016).
- Alger, M. (2015b). *VR Interface Design Manifesto*. Vimeo, 2015.
<https://vimeo.com/116101132> (abgerufen am 02.09.2016).
- Alger, M. et al. (2016). *Designing for Daydream*. Google I/O, 2016.
<https://www.youtube.com/watch?v=00vzW2-PvvE> (abgerufen am 02.09.2016).
- Andrews, M. (2010). *Game UI Discoveries: What Players Want*. Gamasutra, 2010.
http://www.gamasutra.com/view/feature/132674/game_ui_discoveries_what_players_.php?print=1 (abgerufen am 02.09.2016).
- Applied VR (2015). *Anxiety RelieVR*. [nicht öffentlich erhältlich]
<http://appliedvr.io/patients/>
(abgerufen am 02.09.2016).
- Archiact Interactive (2015). *Lamper VR: First Flight*. [Play Store App]
<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.ArchiactInteractive.LamperVR>
Abgerufene Version: 2.0.
- Blumberg, M. (2016). *Judder is visible latency*. VRMA, 2016.
<https://vrma.work/2016/04/09/vr-ar-judder-is-visible-latency/>
(abgerufen am 02.09.2016).
- Bowman, D. A. et al. (2001). *An Introduction to 3-D User Interface Design*. presence: Teleoperators and virtual environments, 10 (1), s. 96–108, mit press.
<https://vtechworks.lib.vt.edu/bitstream/handle/10919/25510/105474601750182342.pdf?sequence=1> (abgerufen am 02.09.2016).

- Bumble (2015). *Locomotion in VR: Overview of different locomotion methods on HTC Vive*. Youtube, 2015.
<https://www.youtube.com/watch?v=p0YxzgQG2-E> (abgerufen am 02.09.2016).
- Chu, A. (2014). *VR Design: Transitioning from a 2D to 3D Design Paradigm*. Samsung Developer Conference, 2014.
https://www.youtube.com/watch?v=XjnHr_6WSqo (abgerufen am 02.09.2016).
- Colosse Team (2015). *Colosse*. [Gear VR App]
<https://www.oculus.com/experiences/gear-vr/906668589398293/>
Abgerufene Version: 2.
- Designer-News (2015). *Are UI designers ready for VR?*
<https://www.designernews.co/stories/48810-are-ui-designers-ready-for-vr> (abgerufen am 02.09.2016).
- Dodson, R. (2016). *Accessibility is My Favorite Part of the Platform*. Google I/O, 2016.
<https://www.youtube.com/watch?v=2qjgxH384Nc> (abgerufen am 02.09.2016).
- Dorau, R. (2011). *Emotionales Interaktionsdesign - Gesten und Mimik interaktiver Systeme*. Springer Verlag, Berlin Heidelberg.
- Envelop VR (2016). *Envelop VR for Windows Public Beta*. [Desktop VR Software]
<https://www.envelopvr.com/>
(abgerufen am 02.09.2016).
- Erickson, L. (2016a). *Designing for VR: Input, Planning, and Testing*. Channel 9 MSDN, 2016.
<https://channel9.msdn.com/blogs/misslivirose/Designing-for-VR-Input-Planning-and-Testing> (abgerufen am 02.09.2016).
- Erickson, L. (2016b). *Designing for VR: Environments and Interactions*. Channel 9 MSDN, 2016.
<https://channel9.msdn.com/blogs/misslivirose/Designing-for-VR-Environments-and-Interactions> (abgerufen am 02.09.2016).
- Fitzpatrick, A. (2015). *Exclusive: Google's New Head of Virtual Reality on What They're Planning Next*. Time, 2016.
<http://time.com/4193755/google-cardboard-virtual-reality-clay-bavor-vr/> (abgerufen am 02.09.2016).
- Flowers, E. (2012). *UX is not UI*.
<http://www.helloerik.com/ux-is-not-ui> (abgerufen am 02.09.2016).

Folmer, E. (2007). *Designing Usable and Accessible Games with Interaction Design Patterns*. Gamasutra, 2007.

http://www.gamasutra.com/view/feature/129843/designing_usable_and_accessible_.php?print=1 (abgerufen am 02.09.2016).

Foraker (2016). *Introduction to User-Centered Design*.

<http://www.usabilityfirst.com/about-usability/introduction-to-user-centered-design/> (abgerufen am 02.09.2016).

Goode, K. (2015). *Smash Hit Plunder - 3D VR Navigation, Walk Styles and Comfort Options*. Youtube, 2015.

https://www.youtube.com/watch?v=0r4PkBYc_fk und <http://www.triangularpixels.net/cms/development/navigating-comfortably-in-vr/> (abgerufen am 02.09.2016).

Goode, K. (2016). *VR Games for all - Designing Unseen Diplomacy for Disabled Users*. [Steam VR]

<http://www.triangularpixels.net/cms/development/vr-games-for-all-designing-unseen-diplomacy-for-disabled-users> (abgerufen am 02.09.2016).

Google (2016a). *Daydream VR*.

<https://developers.google.com/vr/> und <https://vr.google.com/daydream/> (abgerufen am 02.09.2016).

Google (2016b). *Designing for Google Cardboard*.

<https://www.google.com/design/spec-vr/> (abgerufen am 02.09.2016).

Google (2016c). *Interactive Patterns*.

<https://www.google.com/design/spec-vr/interactive-patterns/> (abgerufen am 02.09.2016).

Google Inc. (2015). *Cardboard Design Lab*. [Play Store App]

<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.google.vr.cardboard.apps.designlab>

Abgerufene Version: 1.0.

Google Inc (2016). *Expeditions*. [Play Store App]

<https://www.google.com/edu/expeditions/> und <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.google.vr.expeditions>

Abgerufene Version: 1.0.0.

HandyGames (2015). *Hidden Temple - VR Adventure*. [Play Store App]

<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.hg.hiddentemple>

Abgerufene Version: 1.0.5.

- Helfrich, M. and Uhr, M. (2015). *Virtual Reality Sickness - Recherche und Anwendungstest*. unveröffentlicht.
- Jerald, J. (2015). *The VR Book - Human-Centered Design for Virtual Reality*. Morgan & Claypool, San Rafael, 1. auflage edition.
- Kavakli, M., Kartiko, I., et al. (2008). *Effects of digital content on motion sickness in immersive virtual environments*.
https://www.academia.edu/7366172/Effects_of_digital_content_on_motion_sickness_in_immersive_virtual_environments (abgerufen am 02.09.2016).
- Kennedy, L. et al. (1993). *Simulator Sickness Questionnaire*.
http://w3.uqo.ca/cyberpsy/docs/qaires/ssq/SSQ_va.pdf (abgerufen am 02.09.2016).
- Kolasinski, E. M. (1995). *Simulator Sickness in Virtual Environments*.
<http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a295861.pdf> (abgerufen am 02.09.2016).
- Kristoffer Brady, R. E. (2015). *Navigating New Worlds Designing UI and UX in VR*. Oculus Connect 2, 2015.
https://www.youtube.com/watch?v=braV_c4M8oI (abgerufen am 02.09.2016).
- Lakento (2015). *Sharks VR*. [Play Store App]
<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.lakento.sharksvr>
Abgerufene Version: 3.2.6.
- Lew, B. (2015). *Tunneling VR Locomotion*. Youtube, 2015.
<https://www.youtube.com/watch?v=lKnM5gC-XpY> (abgerufen am 02.09.2016).
- Lewis-Evans, B. (2014). *Simulation Sickness and VR - What is it, and what can developers and players do to reduce it*.
http://www.gamasutra.com/blogs/BenLewisEvans/20140404/214732/Simulation_Sickness_and_VR_What_is_it_and_what_can_developers_and_players_do_to_reduce_it.php (abgerufen am 02.09.2016).
- Ludwig, J. (2013). *What We Learned Porting Team Fortress 2 to Virtual Reality*. GDC, 2013.
<https://www.youtube.com/watch?v=Gpr0FE2ATaY> (abgerufen am 02.09.2016).
- Mason, W. (2016). *Samsung Showcases 4K UHD Display For VR*. UploadVR, 2016.
<http://uploadvr.com/samsung-showcases-4k-uhd-display-vr/>
(abgerufen am 02.09.2016).
- Mojang (2016). *Minecraft*. [Gear VR App]
<https://minecraft.net/en/vr/>.

- Oculus (2016a). *Content Guidelines*. Oculus Developer Blog, 2016.
<https://developer3.oculus.com/documentation/publish/latest/concepts/publish-content-guidelines/> (abgerufen am 02.09.2016).
- Oculus (2016b). *Oculus Best Practices*.
<https://developer3.oculus.com/documentation/intro-vr/latest/concepts/book-bp/>
(abgerufen am 05.09.2016).
- Oculus VR (2016). *Oculus Home*. [Oculus Launcher App]
<https://product-guides.oculus.com/en-us/documentation/gear-vr/latest/concepts/ug-a-us-using-gear-vr/>
Abgerufene Version: Mai 2016.
- Oleksandr Popov (2016). *Lanterns for Google Cardboard*. [Play Store App]
<https://play.google.com/store/apps/details?id=org.androidworks.livewallpaperwatervr>
Abgerufene Version: 2.9.
- Orland, K. (2013). *Virtual Perfection: Why 8K resolution per eye isn't enough for perfect VR*. Ars Technica, 2013.
<http://arstechnica.com/gaming/2013/09/virtual-perfection-why-8k-resolution-per-eye-isnt-enough-for-perfect-vr/> (abgerufen am 02.09.2016).
- Parés, N. and Parés, R. (2001). *Interaction-Driven Virtual Reality Application Design. A Particular Case: El Ball del Fanalet or Lightpools*.
<http://www.dtic.upf.edu/~rpares/pdf/interaction-driven.pdf>
(abgerufen am 02.09.2016).
- Parisi, T. (2015). *Learning Virtual Reality - Developing Immersive Experiences and Applications for Desktop, Web, and Mobile*. O'Reilly Media, Sebastopol, 1. auflage edition.
- Raiz (2015). *Returning Home*. [Play Store App]
<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.raiz.returninghome>
Abgerufene Version: 4.0.
- Realiteer Corp. (2016). *Wizard Academy VR Cardboard*. [Play Store App]
<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.realiteer.wizardacademyvrcardboard>
Abgerufene Version: 1.3.
- Robertson, A. (2015). *Why Google Daydream matters - and how it could change virtual reality*. The Verge, 2016.
<http://www.theverge.com/2016/5/19/11713498/google-daydream-mobile-vr-virtual-reality-cardboard> (abgerufen am 02.09.2016).

- Schumacher, H. (2014). *Wahre Sensibelchen: ein Überblick über wirklich alle Handy-Sensoren - auch über kaum bekannte*. Android Mag, 2014.
<http://androidmag.de/report/ein-wahres-sensibelchen-handy-sensoren/>.
- Shrikhande, D. (2015). *Smartphone display resolution is just one side of the story*. Pocketnow, 2016.
<http://pocketnow.com/2015/05/20/smartphone-display-resolution-is-just-one-side-of-the-story> (abgerufen am 02.09.2016).
- Sketchfab (2016). *Sketchfab VR for Cardboard*. [Play Store App]
<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.sketchfab.sketchfabvr>
Abgerufene Version: 1.02.
- Slater, M. and Wilbur, S. (1997). *A Framework for Immersive Virtual Environments (FIVE)- Speculations on the Role of Presence in Virtual Environments*.
<http://publicationslist.org/data/melslater/ref-232/pres5.pdf>
(abgerufen am 02.09.2016).
- Stinson, L. (2015). *How to Reduce VR Sickness? Just Add a Virtual Nose*. Wired, 2015.
<http://www.wired.com/2015/04/reduce-vr-sickness-just-add-virtual-nose/> (abgerufen am 02.09.2016).
- Sundstrom, M. (2015). *Immersive Design - Learning to let go of the screen*.
<https://backchannel.com/immersive-design-76499204d5f6#.nsmcxct5>
(abgerufen am 02.09.2016).
- Tandler, M. (2016). *User Interface*. OnPageWiki, 2016.
https://de.onpage.org/wiki/User_Interface (abgerufen am 02.09.2016).
- Uhdinger, J. (2016). *Field of View for Virtual Reality Headsets Explained*. VR Lens Lab, 2016.
<https://vr-lens-lab.com/field-of-view-for-virtual-reality-headsets/>
(abgerufen am 02.09.2016).
- Ustwo games (2015). *Land's End*. [Gear VR App]
<https://www.oculus.com/experiences/gear-vr/940410229366998/>
Abgerufene Version: 1.2.2.1.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1	Virtual Reality im Schulunterricht. Quelle: http://venturebeat.com/2015/09/28/google-launches-the-expeditions-pioneer-program-to-bring-vr-kits-into-schools/	4
Abb. 2.2	Einsatz von Virtual Reality in Krankenhäusern. Quelle: https://www.wired.de/sites/default/files/vrpain-hero.jpg	4
Abb. 3.1	Parallax. Quelle: https://vrado.de/virtual-reality-nebenwirkungen-unbekannt/	11
Abb. 3.2	Barrel Distortion. Quelle: Eigene Darstellung auf Grundlage von http://nexuschips.com/socip_ldc.html	11
Abb. 3.3	Bewegungsrichtungen Yaw, Pitch und Roll bei Head-Tracking. Quelle: https://developer3.oculus.com/images/documentation/pcsdk/0.5/oculus-head-model.jpg und https://osvrstore.com/blogs/news/94814017-what-you-need-to-know-about-head-trackers	12
Abb. 3.4	Judder. Quelle: https://vrmadotwork.files.wordpress.com/2016/04/50e9f-1qcaoodj6xjfl6wufkwhva.jpeg?w=768	15
Abb. 3.5	Screenshot aus Minecraft mit Screen-Door-Effekt. Quelle: http://www.theriftarcade.com/wp-content/uploads/2014/05/Oculus-Rift-Screen-Door-Effect.jpg	16
Abb. 3.6	Cardboard VR-Headset – Version 2015. Quelle: Eigene Darstellung	18
Abb. 3.7	Tastendruck beim Cardboard 2015. Quelle: Eigene Darstellung	18
Abb. 3.8	QR Code und Siegel auf einem Cardboard VR-Headset. Quelle: http://www.hypergridbusiness.com/wp-content/uploads/2015/12/20151216_143822.jpg und http://trademark.markify.com/trademarks/ctm/works+with+google+cardboard/014240899	19
Abb. 3.9	Gear VR-Headset – Version 2016. Quelle: Eigene Darstellung	20
Abb. 3.10	Erste Konzepte für das Design der Daydream VR Hardware Quelle: https://vr.google.com/static/images/sections/daydream-headset.png	21
Abb. 3.11	Input bei aktuellen Headsets. Quelle: Eigene Darstellung	23
Abb. 3.12	Touchpad am Gear VR-Headset Quelle: http://www.samsung.com/de/consumer/mobile-devices/wearables/gear/SM-R321NZWADBT	23
Abb. 3.13	Controller für die Gear VR. Quelle: http://www.ultravr.org/wp-content/uploads/2016/01/samsung-gear-vr-controller.jpg	24

Abb. 3.14	Realiteer AR Controller. Quelle: http://www.realiteer.com/diy/	25
Abb. 3.15	Daydream Controller. Quelle: https://virtualrealitat.com/media/1356/google-daydream-controller.jpg	25
Abb. 4.1	Virtuelles Wohnzimmer in <i>Minecraft VR</i> . Quelle: Screenshot aus https://www.youtube.com/watch?v=wiz92cCL0m8	31
Abb. 4.2	Komfortstufen im <i>Gear VR Store</i> . Quelle: https://www.oculus.com/experiences/gear-vr/	31
Abb. 4.3	Virtueller Sichtbereich in der 360° Umgebung. Quelle: Screenshot von (Alger et al., 2016)	32
Abb. 4.4	Beschränkungen des Sichtbereichs in der Praxis. Quelle: Screenshot von (Alger et al., 2016)	33
Abb. 4.5	Gestaltung der Umgebung in <i>Cardboard Design Lab</i> . Quelle: https://ustwo.com/blog/designing-for-virtual-reality-google-cardboard/	35
Abb. 4.6	Anordnung um den Nutzer in Samsungs 360 Video Test App. Quelle: Screenshot von (Chu, 2014)	36
Abb. 4.7	Wegweisen mit Lichtpunkten. Quelle: https://ustwo.com/what-we-do/google-cardboard	37
Abb. 4.8	Fadenkreuz zum Anvisieren von Objekten. Quelle: (Google, 2016c)	37
Abb. 4.9	Virtuelle Nase zur Stabilisierung. Quelle: Screenshot aus https://www.wired.com/wp-content/uploads/2015/04/vrnosetuscan.gif	39
Abb. 4.10	„Tunneln“ der Bewegung. Quelle: Screenshot von (Lew, 2015)	39
Abb. 4.11	Abdunkeln der virtuellen Umgebung zur Vermeidung von <i>VR-Sickness</i> . Screenshot von (Goode, 2015)	40
Abb. 4.12	Anzeige der Interaktionsart am Fadenkreuz bei <i>Hidden Temple VR</i> . Quelle: Screenshots aus (HandyGames, 2015)	41
Abb. 4.13	Kreatives <i>Gazing</i> bei <i>Lands End</i> . Quelle: Screenshot aus https://www.youtube.com/watch?v=2XZUOeIjIcQ	42
Abb. 4.14	Zaubern mit dem <i>RealControl</i> . Quelle: Screenshot von (Realiteer Corp., 2016)	43
Abb. 4.15	Pfannkuchen stapeln mit dem <i>Daydream Controller</i> . Quelle: Screenshot aus https://www.youtube.com/watch?v=lo3GTYSFhzw	44
Abb. 4.16	Gestensteuerung bei mobilen Geräten. Quelle: http://www.azilen.com/blog/wp-content/uploads/2014/09/Inside-image-1024x557.png	45
Abb. 4.17	2D-Einstellungsmenü bei <i>Lanterns For Google Cardboard</i> . Quelle: Screenshot von (Oleksandr Popov, 2016)	46
Abb. 4.18	HUD in <i>Lamper VR</i> . Quelle: Screenshot von (Archiact Interactive, 2015)	47
Abb. 4.19	Räumliches Interface in <i>SketchFab VR</i> . Quelle: Screenshot von (Sketchfab, 2016)	48

Abb. 4.20	Meta Interface in <i>Call of Duty: Modern Warfare 2</i> . Quelle: http://www.thewanderlust.net/blog/wp-content/uploads/2010/03/callofduty.jpg . . .	48
Abb. 4.21	Diegetisches Interface in <i>Returning Home</i> . Quelle: Screenshot von (Raiz, 2015)	49
Abb. 4.22	UI-Anordnung in Web und Virtual Reality. Quelle: Screenshot von (Kristofer Brady, 2015)	50
Abb. 4.23	Anordnungsmöglichkeiten bei VR. Quelle: (Sundstrom, 2015)	50
Abb. 4.24	Virtuelles Startmenü bei <i>Lamper VR</i> . Quelle: Screenshot von (Archiact Interactive, 2015)	53
Abb. 5.1	Angewandte Entwicklungsumgebungen. Quelle: https://unity3d.com/ und https://www.android.com/intl/de_de/ und https://vr.google.com/cardboard/	54
Abb. 5.2	Labyrinth im Retro-Stil. Quelle: Eigene Darstellung	56
Abb. 5.3	Landschaft von <i>VR Night Sky</i> . Quelle: Eigene Darstellung	57
Abb. 5.4	Stein als Ankerpunkt in <i>VR Night Sky</i> . Quelle: Eigene Darstellung	58
Abb. 5.5	Szene von oben mit unsichtbaren Wänden als Interaktionsfläche. Quelle: Eigene Darstellung	59
Abb. 5.6	Screenshot aus <i>VR Apartment</i> . Quelle: Eigene Darstellung	61
Abb. 5.7	Interaktiver Grundriss in <i>VR Apartment</i> . Quelle: Eigene Darstellung . . .	61