

**Hochschule Osnabrück**

University of Applied Sciences

**Fakultät**

**Ingenieurwissenschaften und Informatik**

**Bachelorarbeit**

**Evaluation eines Controllers für die Fortbewegung in einer Virtual Reality anhand einer prototypischen Anwendung für mobile Endgeräte**

|  |  |
| --- | --- |
| **Autor:** | Tobias Busch  tobiasbusch@live.de |
| **Fach-Professor:** | Prof. Dr. Frank M. Thiesing |
| **Zweitprüfer:** | Andree Josef |
| **Abgabedatum:** | 09.02.2015 |

1. Kurzfassung

**Abstract**

1. Inhaltsverzeichnis

[1 Einleitung 1](#_Toc408411120)

[1.1 Einführung in die Thematik 1](#_Toc408411121)

[1.2 Ziele der Arbeit 2](#_Toc408411122)

[1.3 Vorstellung des Unternehmens 2](#_Toc408411123)

[1.4 Aufbau des Berichtes 3](#_Toc408411124)

[2 Grundlagen / Stand der Technik 4](#_Toc408411125)

[2.1 Virtual Reality 4](#_Toc408411126)

[2.1.1 Wahrnehmung von Bewegung 4](#_Toc408411127)

[2.1.2 Ausgabegeräte 5](#_Toc408411128)

[2.1.3 Eingabegeräte 6](#_Toc408411129)

[2.1.4 Bewegungskontrolle 10](#_Toc408411130)

[2.1.4.1 Durch Software 10](#_Toc408411131)

[2.1.4.2 Optisches Tracking 10](#_Toc408411132)

[2.1.4.3 Bewegungsplattformen 11](#_Toc408411133)

[2.1.4.4 Akustisches Tracking 12](#_Toc408411134)

[2.1.4.5 Inertial Tracking 12](#_Toc408411135)

[2.1.4.6 Magnet 13](#_Toc408411136)

[2.2 Virtual Reality für mobile Geräte 14](#_Toc408411137)

[2.2.1 Boxx3D 14](#_Toc408411138)

[2.2.2 Google Cardboard 15](#_Toc408411139)

[2.2.3 Gear VR 15](#_Toc408411140)

[2.3 Unity 16](#_Toc408411141)

[2.3.1 Programmierung über Skripte 16](#_Toc408411142)

[2.3.2 Objekte im 3D-Raum 17](#_Toc408411143)

[2.3.3 Kamera 20](#_Toc408411144)

[2.3.4 Physik 20](#_Toc408411145)

[2.3.5 Inputmöglichkeiten 20](#_Toc408411146)

[2.3.6 GUI 20](#_Toc408411147)

[2.3.7 Prefabs/Plugins 20](#_Toc408411148)

[2.3.8 Performance/Fehlersuche 21](#_Toc408411149)

[2.3.9 Build Prozess 22](#_Toc408411150)

[2.3.9.1 DiveFPSController 22](#_Toc408411151)

[2.3.9.2 Durovis Dive SDK in Unity 22](#_Toc408411152)

[2.4 Android 22](#_Toc408411153)

[2.4.1 Android Debug Bridge(ADB) 22](#_Toc408411154)

[2.5 Git 22](#_Toc408411155)

[2.5.1 GitHub 23](#_Toc408411156)

[2.5.2 GitExtensions 23](#_Toc408411157)

[3 Anforderungsanalyse 24](#_Toc408411158)

[3.1 Systemidee 24](#_Toc408411159)

[3.2 Stakeholder 24](#_Toc408411160)

[3.2.1 Stakeholdermap 24](#_Toc408411161)

[3.3 Ziele 24](#_Toc408411162)

[3.3.1 Muss 24](#_Toc408411163)

[3.3.2 Wunsch 24](#_Toc408411164)

[3.4 Systemkontext 25](#_Toc408411165)

[3.5 Systemabgrenzung 25](#_Toc408411166)

[3.6 Funktionale Anforderungen 25](#_Toc408411167)

[3.6.1 Use-Case 25](#_Toc408411168)

[3.6.2 Anforderungen 25](#_Toc408411169)

[3.7 Nicht Funktionale Anforderungen 25](#_Toc408411170)

[3.7.1 Technologisch 25](#_Toc408411171)

[3.7.2 Benutzeroberfläche 25](#_Toc408411172)

[3.7.3 Qualität 25](#_Toc408411173)

[3.7.4 Durchzuführende Tätigkeiten 25](#_Toc408411174)

[3.7.5 Rechtlich-vertraglich 25](#_Toc408411175)

[3.7.6 Hier fehlt noch eine 25](#_Toc408411176)

[3.8 Tests 25](#_Toc408411177)

[3.8.1 Testgeräte 25](#_Toc408411178)

[3.8.2 Testszenarien 25](#_Toc408411179)

[3.9 Risikomanagement? 25](#_Toc408411180)

[4 Evaluation des Controllers 26](#_Toc408411181)

[4.1 Verfügbare Controller 26](#_Toc408411182)

[4.1.1 Veränderung des Magnetfeldes 26](#_Toc408411183)

[4.1.2 Gyroskop 26](#_Toc408411184)

[4.1.3 Gamepad 26](#_Toc408411185)

[4.1.4 Kamera die Bewegungen aufnimmt kinect 26](#_Toc408411186)

[4.2 Bewertung der Controller 26](#_Toc408411187)

[4.3 Auswahl eines Controllers 27](#_Toc408411188)

[5 Konzept der Anwendung 28](#_Toc408411189)

[5.1 GUI 28](#_Toc408411190)

[5.2 VR Szene 28](#_Toc408411191)

[5.3 Benötigte Funktionen 28](#_Toc408411192)

[5.4 Spiellogik 28](#_Toc408411193)

[6 Umsetzung der Anwendung 29](#_Toc408411194)

[6.1 GUI 29](#_Toc408411195)

[6.2 Verbindung des Motion Controllers 29](#_Toc408411196)

[6.3 Auslesen der Daten 29](#_Toc408411197)

[6.4 Szene 29](#_Toc408411198)

[6.5 Spiellogik 29](#_Toc408411199)

[7 Tests 30](#_Toc408411200)

[7.1 Schnelle Bewegungen 30](#_Toc408411201)

[7.2 Bewegungsräume bei falscher Handhabung 30](#_Toc408411202)

[7.3 Erfahrungen 30](#_Toc408411203)

[8 Ergebnisse und Ausblick 31](#_Toc408411204)

[8.1 Bewertung 31](#_Toc408411205)

[8.1.1 Controller 31](#_Toc408411206)

[8.1.2 Applikation 31](#_Toc408411207)

[8.2 Ausblick 31](#_Toc408411208)

[8.2.1 Prototypen von Controllern, was kommt ist in Arbeit 31](#_Toc408411209)

[9 Zusammenfassung 32](#_Toc408411210)

[A Referenzen 33](#_Toc408411211)

[B Inhalt der CD 36](#_Toc408411212)

1. Abbildungsverzeichnis

[Abb. 2.1 Prinzipielle Bestandteile eines HMDs [Dör13] 6](file:///C:\projects\_ba\doc\documentation\ba_0.6.docx#_Toc408411213)

[Abb. 2.2 Mögliche Fehler bei der Datenaufnahme der Position eines bewegten Objektes (schwarze Linie): Aufnahme mit Latenz (blau), mit Drift (Orange), mit Rauschen (grün) dargestellt über die Zeit (horizontale Achse) [Dör13] 8](file:///C:\projects\_ba\doc\documentation\ba_0.6.docx#_Toc408411214)

[Abb. 2.3 Ansicht von Kinect, Leap Motion und Project Tango 11](#_Toc408411215)

[Abb. 2.4 ODT mit Halterung für den Nutzer 11](file:///C:\projects\_ba\doc\documentation\ba_0.6.docx#_Toc408411216)

[Abb. 2.5 Verschiedene Ansichten der Boxx3D 14](file:///C:\projects\_ba\doc\documentation\ba_0.6.docx#_Toc408411217)

[Abb. 2.6 Verschiedene Ansichten der Cardbox 15](file:///C:\projects\_ba\doc\documentation\ba_0.6.docx#_Toc408411218)

[Abb. 2.7 Ansicht der Gear VR 16](file:///C:\projects\_ba\doc\documentation\ba_0.6.docx#_Toc408411219)

1. Tabellenverzeichnis

[Tabelle B.1 Inhalt der CD 36](#_Toc408411220)

1. Codeverzeichnis

[Code 2.1 Grundgerüst eines Skripts 17](#_Toc408411221)

[Code 2.2 Beispiele für die Erzeugung eines Vektors 18](#_Toc408411222)

1. Abkürzungsverzeichnis/Glossar

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Abk. | Begriff | Erklärung |
| - | Controller | bezeichnet ein Eingabegerät für die Steuerung von Computerspielen, in diesem Fall sind damit Joysticks und Gamepads gemeint |
| - | Drift | sich aufaddierender Fehler |
| - | Gyroskop | Kreiselkompass, dient der genauen Lagebestimmung |
| - | Namespace | Organisationsstrukturen, die Klassen nach Zusammengehörigkeit gliedern und zusammenfassen |
| - | RGBD-Kamera | eine Kombination aus Farb- und Tiefenkamera |
| - | Rotation | Drehung eines Objektes über drei Winkel |
| - | Translation | Verschiebung eines Objektes über drei Achsen im Raum |
| App | mobile Anwendung | Eine Anwendung für mobile Geräte, wie Smartphones oder Tablets |
| DOF | Degrees of Freedom/Freiheitsgrad | beschreibt die Bewegungsmöglichkeiten eines Körpers |
| HMD | Head-Mounted Display | ein auf dem Kopf des Nutzers befestigtes Gerät welche einen Bildschirm enthält der vor die Augen des Nutzers platziert ist |
| ODT | Omnidirectional Treadmill | ein Laufband, was die Bewegung in mehrere Richtungen erlaubt |
| VR | Virtual Reality/virtuelle Realität | eine virtuelle Welt, die dem Nutzer das Gefühl der Immersion gibt |

# Einleitung

Die Entwicklung von Anwendungen für mobile Endgeräte, die dem Nutzer die Möglichkeit bieten in einer virtuellen Realität (VR) einzutauchen, ist mit aktuellen Smartphones und Entwicklungsumgebungen möglich. Herausforderungen, die bei der Weiterentwicklung und der Erzeugung immersiver Nutzererfahrungen entstehen, liegen in der Interaktion mit Elementen in der VR sowie die Umsetzung von intuitiven Möglichkeiten der Fortbewegung.

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Thematik der Fortbewegung in einer VR und welche Möglichkeiten und Hardware aktuell vorhanden sind, um eine Steuerung zu ermöglichen. Diese Ansätze werden hier vorgestellt und verglichen.

## Einführung in die Thematik

Mit der wachsenden Zahl an Anwendungen, die die Möglichkeit bieten in VR einzutauchen, steigt auch die Nachfrage an VR-ermöglichenden Geräten. Diese sollen auf der einen Seite fähig sein ein Gefühl der Immersion zu erzeugen, aber auch möglichst kostengünstig sein.

Mit der Entwicklung immer leistungsfähigerer Smartphones ist es nun möglich eine VR zu erzeugen und diese auf dem mobilen Gerät darzustellen. Mithilfe von entsprechenden Gehäusen, die das Smartphone halten und weitestgehend Einflüsse von der Realität ausblenden, ist es möglich ein immersives Gefühl zu erzeugen.

Im Gegensatz zu Head-Mounted Displays sind keine Bildschirme im Gehäuse integriert sondern, das Smartphone wird für die Darstellung genutzt. Des Weiteren wird auf die integrierten Sensoren des Smartphones zurückgegriffen, um Rotationsbewegungen des Kopfes festzustellen und in die VR zu übertragen.

Es ist also möglich sich in einer VR umzuschauen. Die Herausforderung liegt in der Fortbewegung. Lösungen dafür werden aktuell entwickelt und getestet. Dabei gibt es verschiedene Ansätze wie gängige Gamecontroller, Laufbänder oder das Verfolgen des Nutzers mit Kameras.

## Ziele der Arbeit

Die Arbeit soll Einblick in aktuelle Technologien in Bezug auf VR geben. Erstes Ziel ist die Evaluation eines Controllers anhand von einer festgelegten Bewertungsskala. Der Controller muss bestimmte Kriterien erfüllen, damit eine Nutzung ermöglich ist. Der Controller soll möglichst intuitiv zu nutzen und einfach mit dem Smartphone zu verbinden sein.

Das zweite Ziel ist die Anbindung des Controllers an ein Smartphone. Dieses soll die Eingaben des Controllers entgegennehmen und in die VR übersetzen. Dabei sollen die Herausforderungen bei der Verbindungsherstellung hervorgehoben und benötigte Software vorgestellt werden.

Das dritte Ziel ist die Erstellung einer prototypischen VR Applikation, um Funktionalitäten des evaluierten Controllers zu testen und die Usability zu überprüfen.

## Vorstellung des Unternehmens

Die Etagen GmbH ist eine Full-Service Werbeagentur mit Hauptsitz in Osnabrück die 1998 gegründet wurde.

Neben dem Hauptsitz existieren noch zwei Standorte in Hamburg und Berlin. Der Standort Berlin ist die Effekt-Etage und realisiert 3D-, Installations- und Film-Projekte und ist mehr im Bereich der visuellen Medien anzusiedeln. Der Schwerpunkt in Osnabrück und Hamburg ist die Erstellung komplexer Kommunikationsmodelle im Gebiet der Digitalen Medien und klassischem Corporate Design.

Im speziellen bieten sie Leistungen in den Bereichen Corporate Design, Brand Identity, Klassische Kommunikation, Webapplikationen, Mobile Applications, Augmented Reality und E-Commerce an.

Das Unternehmen beschäftigt 40 Mitarbeiter in unterschiedlichen Abteilungen. Zu diesen gehören Projektleitung, Animation, Klassik/Digital Design und Programmierung.

## Aufbau des Berichtes

Der Bericht lässt sich in vier Teile gliedern. Der erste Teil behandelt die Grundlagen und den aktuellen Stand der Technik. Hier werden Begriffe erläutert, die Entwicklungsumgebung und Arten von Controller vorgestellt, und weitere genutzte Werkzeuge aufgezeigt.

Der zweite Teil beschäftigt sich mit der Analyse der Anforderungen an den Controller und die VR Applikation. Des Weiteren findet eine Bewertung anhand von bestimmten Kriterien statt, um einen geeigneten Controller zu evaluieren.

Der dritte Teil beschäftigt sich mit der Umsetzung der VR Applikation und die Anbindung des Controllers an das Smartphone. Des Weiteren werden durchgeführte Tests vorgestellt und die Ergebnisse aufgezeigt.

Der letzte Teil fasst alle Ergebnisse zusammen und gibt einen Ausblick auf mögliche zukünftige sowie in Entwicklung befindliche Technologien.

# Grundlagen / Stand der Technik

Dieses Kapitel dient der Schaffung von Grundlagen sowie einem Verständnis der genutzen Werkzeuge. Es findet eine detailierte Einführung in diese statt und auftretende Begriffe werden erläutert. Des Weiteren werden aktuelle sowie als Prototyp vorhandene Technologien vorgestellt und näher beleuchtet. Dabei wird auf den im Projekbericht gewonnenen Erkenntnissen aufgebaut.

## Virtual Reality

VR ist die Ersetzung der Realität [Dör13]. Der nächste Schritt, nachdem die Realität ersetzt worden ist, besteht in der Schaffung einer möglichst glaubhaften VR, die dem Nutzer das Gefühl gibt in einer neuen Umgebung zu sein. Dafür müssen erst bestimmte Kriterien erfüllt sein. Zwei Kriterien sind die Wahrnehmung von Bewegung und die Bewegungskontrolle. Beide im Zusammenspiel steigern das Gefühl der Immersion für den Nutzer enorm.

### Wahrnehmung von Bewegung

Für die Wahrnehmung von Bewegung muss die VR so verändert werden, dass dem Nutzer ein Gefühl der z.B. Vorwärtsbewegung vermittelt wird.

Aus physikalischer Sicht ist Bewegung definiert als Ortsveränderung über einen bestimmten Zeitraum. Für den Mensch bedeutet das, dass ein auf der Netzhaut auftreffendes Bild verschoben wird und so der entsprechende Reiz entsteht. Neben dieser so genannten retinalen Verschiebung werden Bewegungen mit einer bestimmten Geschwindigkeit in eine bestimmte Richtung wahrgenommen, was als physikalische Geschwindigkeit definiert ist. Ein weitere Art der Wahrnehmung ist der vestibuläre Sinn, der Gleichgewichtsinn. Dieser sorgt dafür, dass lineare Beschleunigungen und Drehbeschleunigungen wahrgenommen werden können [Dör13].

Um jetzt einem Nutzer das Gefühl der Bewegung zu vermitteln müssten im Idealfall alle diese Sinne angesprochen werden. So gibt es Bewegungssimulatoren die es ermöglichen den vestibulären Sinn zu beeinflussen. Für die Illusion einer Eigenbewegung ist meist schon die Stimulation der visuellen Wahrnehmung ausreichend. Als Beispiel ist hier das Betrachten eines anfahrenden Zuges aus einem stehenden aufzuführen [Dör13].

Durch diese Stimuli können dementsprechend VR Anwendungen umgesetzt werden, die ohne eigene Steuerung und nur durch visuelle Stimuli Wahrnehmung von Eigenbewegung hervorrufen.

Durch die selbständige Steuerung eines Nutzers idealerweise durch Eigenbewegung ist es möglich einen noch höheren Grad der Immersion zu erreichen. Die dafür benötigten und verfügbaren Eingabegeräte sowie Voraussetzungen werden im Folgenden näher beleuchtet.

### Ausgabegeräte

Um überhaupt dem Nutzer das Eintauchen in eine virtuelle Welt zu ermöglichen, werden entsprechende Ausgabegeräte benötigt. Diese müssen so gebaut sein, dass eine möglichst hohe Immersion erreicht wird und der Nutzer sich präsent in der VR fühlt. Des Weiteren müssen diese auf Positionsveränderung oder Rotationsbewegungen des Nutzers reagieren [Dör13].

Allgemein kann eine Klassifikation zwischen kabelgebundenen und kabellosen Ausgabegeräten erfolgen. In diesem Fall werden nur kabellose näher betrachtet. Die visuelle Ausgabe erfolgt über ein Displaysystem welches ein Monitor sein kann oder mehrere zusammengesetzte. Das hier gewählte Ausgabegerät ist eine Art eines Head-Mounted Displays (HMD). Die genutzten Ausgabegeräte werden in Abschnitt 2.2 näher betrachtet. Grundlegende Bestandteile eines HMD sind in Abbildung 2.1 zu sehen.

Um nun dem Nutzer ein Gefühl der Immersion zu geben, werden erzeugte virtuelle Inhalte durch zwei leicht voneinander versetzte virtuelle Kameras erfasst und am HMD ausgebgeben. Dabei ist darauf zu achten das eine korrekte Berechnung der Stereobildpaare stattfindet und entsprechende Einstellungen der virtuellen Kameras gemacht werden [Dör13].



Abb. 2.1 Prinzipielle Bestandteile eines HMDs [Dör13]

### Eingabegeräte

Eingabegeräte ermöglichen die Erkennung von Nutzerinteraktionen über Sensoren. Die dadurch gesammelten Daten werden an die VR übertragen und dort entsprechend ausgewertet und als Bewegung in der VR übersetzt. Dabei kann sich die Nutzerinteraktion auf unterschiedliche Arten wiederspiegeln. Der einfachste Fall ist das Betätigen eines Knopfes, was dann ein einmaliges Ereignis auslöst. Komplexere Systeme registrieren Bewegungen der Hand oder sogar des ganzen Körpers um eine Interaktion mit der VR zu ermöglichen. Dieser Vorgang wird als Tracking bezeichnet. Das Tracking beschreibt den Vorgang der kontinuierlichen Verfolgung durch ein Eingabegerät. Dabei werden Position und Orientierung eines Objektes bestimmt [Dör13].

Das Ziel des Tracking ist es, die Werte entsprechend von Freiheitsgraden (engl. Degrees of Freedom, DOF) der verfolgten Körper für die kontinuierliche Interaktion zu bestimmen bzw. zu schätzen. Dadurch wird die Interaktion mit der virtuellen Welt möglich. Die Datenaufnahme erfolgt meist im Bezugssystem des jeweiligen Trackingsystems. Kommen mehrere oder gar unterschiedliche Systeme zum Einsatz, so müssen die Trackingdaten in ein gemeinsames Bezugssystem überführt werden [Dör13].

Die Grundlagen für solche Eingabegeräte lassen sich nach [Dör13] in zehn Kriterien unterteilen, um eine gute Beschreibung von Eingabegeräten zu ermöglichen.

Freiheitsgrad

Der DOF bezeichnet die voneinander unabhängige Bewegungsmöglichkeit eines physikalischen Systems. Dabei kann die Bewegung eines starren Objektes in eine Verschiebung im Raum (Translation) und eine Drehung (Rotation) resultieren. Entsprechend der drei Koordinaten als Position und der drei Winkel zur Beschreibung der Orientierung hat ein starrer Körper 6 DOF. Es ist wünschenswert diese Anzahl der DOF mit einem Eingabegerät zu erreichen, um ein möglichst immersives Gefühl zu vermitteln [Dör13].

Gleichzeitig verfolgte Körper

Hierbei ist es wichtig wie viele Objekte gleichzeitig verfolgt werden sollen. So soll neben der Blickverfolgung auch das Eingabegerät verfolgt werden und die Daten ausgewertet werden. Hierbei ist eine eindeutige Zuteilung der Objekte nützlich, um den Überblick zu bewahren [Dör13].

Größe der überwachten Fläche

Hier ist eine sehr große Differenz der Fläche möglich je nachdem welches Eingabegerät genutzt wird. Es muss den Eingabegeräten ein entsprechend großer Bereich zur Verfügung gestellt werden, um den kompletten Funktionsumfang nutzen zu können [Dör13].

Als Beispiel unterscheidet sich die Größe der überwachten Fläche bei der Nutzung einer Kamera als Eingabegerät deutlich von der eines Spielecontrollers (Controller), bei dem keine Fläche überwacht werden muss.

Genauigkeit

Die Genauigkeit richtet sich oft nach der Frage des Kostenaufwands. Bessere Kameras liefern bessere Bilder, bessere Controller können eine genauere Steuerung ermöglichen [Dör13].

Wiederholrate

Die Wiederholrate beschreibt das Auflösungsvermögen eines Eingabegeräts in der Zeit. Sie beschreibt die Anzahl der Messpunkte einer Bewegung pro Sekunde. Je höher die Wiederholrate, desto mehr Messpunkte sind vorhanden [Dör13].

Latenz

Die Latenz ist die Zeitspanne die ein Eingabegerät zum Reagieren braucht. Diese verschobene Reaktion kann durch das Abarbeiten von Algorithmen oder durch Laufzeiten von Signalen in Kabeln ausgelöst werden [Dör13].

Drift

Eine Drift, auch Messfehler, kann durch sich immer weiter aufaddierende Fehler entstehen. Wenn Eingabegeräte relative Änderungen aufnehmen (z. B. Positionsänderung gegenüber der vorherigen Abtastung bzw. dem vorherigen Messpunkt), dann können Fehler sich über die Zeit aufaddieren, woraus ein fortwährender und anwachsender Fehler folgt [Dör13].

Abb. 2.2 Mögliche Fehler bei der Datenaufnahme der Position eines bewegten Objektes (schwarze Linie): Aufnahme mit Latenz (blau), mit Drift (Orange), mit Rauschen (grün) dargestellt über die Zeit (horizontale Achse) [Dör13]

Äußere Rahmenbedingungen

Äußere Rahmenbedingungen wie Licht, Temperatur oder die Möblierung eines Raumes, können je nach Eingabegerät Einfluss haben auf die Funktionalität dessen. Optische Verfahren können bei gleichmäßiger Beleuchtung besser arbeiten. Bei Verfahren die den Schall nutzen spielen unterschiedliche Temperaturen oder Luftdrücke eine Rolle. Elektromagnetische Verfahren werden von magnetischen Stoffen oder elektromagnetischen Feldern gestört [Dör13].

Kalibrierung

Die Kalibrierung behandelt den Abgleich von Messwerten. Hier werden Einstellungen vorgenommen, um verfolgte reale Bewegungen den Maßen der virtuellen Welt anzupassen und umzuwandeln. Dadurch fühlt sich die Steuerung intuitiv an [Dör13].

Usability

Usability kann vor allem durch die Freiheiten, die das Eingabegerät den Nutzer gibt, beschrieben werden. So sind zum einen Einschränkungen durch das Tragen von bestimmten Sensoren oder das Halten eines Controllers gegeben. Des Weiteren sind über Funk verbundene Eingabegeräte benutzerfreundlicher als über Kabel verbundene. Bei optischen Verfahren, die den Nutzer über Kameras verfolgen ist der Interaktionsradius bestimmend für die Usability [Dör13].

### Bewegungskontrolle

Allgemein können Bewegungen durch Eingabegeräte gesteuert werden. Ob Touchscreen, Tastatur, Controller oder anderes Eingabegerät, es werden Eingabedaten geliefert, welche verarbeitet und übertragen werden und in Bewegung in der virtuellen Welt umgewandelt werden. Im Folgenden werden mögliche Arten von Eingabegräten und Verfahren zur Kontroller von Bewegung vorgestellt.

#### Durch Software

Bewegungskontrolle kann ohne externes Eingabegerät durch Software erzeugt werden. Dabei dienen bestimmte Punkte in der VR als Bewegungsauslöser. Diese lösen nach einer bestimmten Zeit, in der sie angeschaut werden müssen, eine Bewegung aus und bewegen die virtuelle Kamera in eine bestimmte Richtung oder lassen diese rotieren.

#### Optisches Tracking

Optische Trackingverfahren verfolgen die Idee eine Positionierung und Orientierung von Objekten im Raum festzustellen. Diese Feststellung findet anhand von Tiefen- und Farbkameras (RGBD-Kamera) statt. Diese können über ein mit Infrarot projiziertes Muster oder über die Berechnung der Laufzeiten des reflektierten Lichts (Time of Flight, TOF) eine Tiefenerkennung durchführen und Bewegungen erkennen.

Aktuelle Hardware, die diese Technik anwendet, ist die Kinect von Microsoft, die es einem Nutzer erlaubt, ohne einen Controller Bewegungen in eine virtuelle Welt zu übertragen [Dör13] sowie die Leap Motion, die im Gegensatz zur Kinect nicht den ganzen Körper aufnimmt sondern nur die Hände des Nutzers [@Leap]. Eine noch in der Entwicklung befindliche Hardware ist Project Tango von Google, was Ähnlichkeiten zu einem Android-Smartphone besitzt und es ermöglicht 3D Bewegungen, was auch die Translation mit einbezieht, innerhalb eines Raumes zu verfolgen [@Tan].



Abb. 2.3 Ansicht von Kinect, Leap Motion und Project Tango

#### Bewegungsplattformen

Bewegungsplattformen ermöglichen dem Nutzer die Fortbewegung in einer VR. Durch Laufen oder laufähnliche Bewegungen wird diese in die VR übertragen. Als Eingabegerät dienen hier Laufbänder, die eine omnidirektionale Bewegung, d.h. eine Bewegung in alle Richtungen ermöglichen. Solche omnidirektionalen Laufbänder (omnidirectional treadmill, ODT) können aus mehreren kleinen Laufbändern bestehen, die orthogonal zur Hauptrichtung angeordnet sind. Über Tracking wird die Geschwindigkeit der Laufbänder so gesteuert, dass sich der Nutzer immer in der Mitte der ODT befindet. Eine günstigere Alternative zum Tracking ist das fixieren des Nutzers durch eine Halterung, wie in Abb. 2.3 [Dör13].

Eine weitere Möglichkeit ist die Nutzung von entsprechend gelagerten Kugeln, in denen sich ein Nutzer bewegen kann und auf der Stelle bleibt. Hierbei wird das Laufen erschwert, da dem Nutzer kein ebener Boden zur Verfügung steht. Als Beispiel ist hier die Cybersphere zu nennen [FRE03].

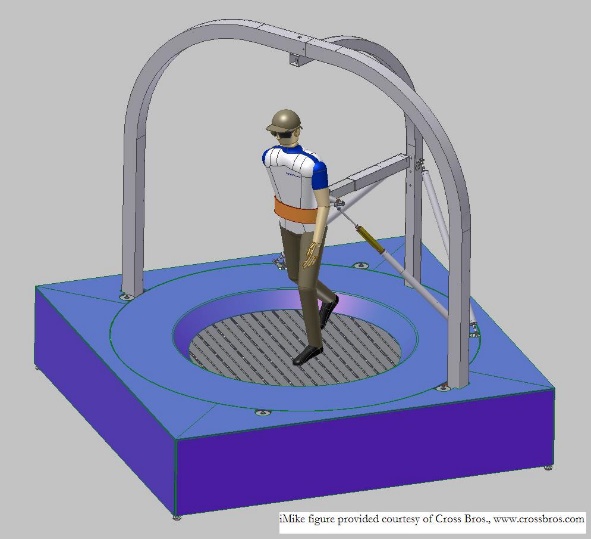


Abb. 2.4 ODT mit Halterung für den Nutzer

#### Akustisches Tracking

Das akustische Tracking nutzt Unterschiede in der Laufzeit oder Phase von Schallwellen. Dabei wird Ultraschall verwendet und mithilfe eines Senders, der am zu überwachenden Objekt angebracht ist, und Empfängers wird eine Abstandsbestimmung durchgeführt. Durch die so gesammelten Daten können Bewegungen in die VR übertragen werden.

Je mehr Sender und Empfänger genutzt werden, desto höher sind die DOF die erreicht werden können [Dör13].

„Durch Hinzufügen eines zweiten Senders oder eines zweiten Empfängers kann die Position bereits auf eine Kreisbahn (als Schnittpunkt von zwei Kugeln) eingegrenzt werden. Die Erweiterung eines dritten Senders oder Empfängers schränkt dann die Position auf zwei Punkte ein (als Schnittpunkte von drei Kugeln bzw. als Schnittpunkte von zwei Kreisen). Mittels Plausibilitätsüberprüfung wird aus diesen beiden die Position bestimmt.“ [Dör13]

So können mit einem Sender und drei Empfängern die drei DOF der Translation erreicht werden und mit drei Sendern sogar sechs DOF.

Der Vorteil liegt hier an den günstigen Anschaffungskosten. Diese stehen aber einem großen Nachteil gegenüber. Dieser besteht in der Empfindlichkeit des Systems in Bezug auf Temperatur- oder Luftdruckänderungen. Eine solche Änderung hat jedes Mal eine Neukalibrierung des Systems zur Folge.

#### Inertial Tracking

Das Inertial Tracking nutzt Sensoren, die die Beschleunigung messen. Diese werden auch Trägheits- oder Beschleunigungssensoren genannt. Diese können in lineare Inertialsensoren und Beschleunigungssensoren unterteilt werden. Erstere messen die Beschleunigung anhand einer Achse und letztere erfassen die Winkelbeschleunigung um eine Achse und werden auch Gyrosensoren genannt aufgrund des ähnlichem Verhaltens zu einem Gyroskop. Die linearen Beschleunigungssensoren werden im Ruhezustand zur Lagebestimmung genutzt [Dör13].

„Dann kann auf Basis der Erdbeschleunigung die Neigung zu deren Richtung (d. h. der Senkrechten) gemessen werden. Da die Ausrichtung in der Horizontalen (y-Achse) senkrecht zur Gravitation liegt, kann diese mit linearen Inertialsensoren nicht erfasst werden. Es werden somit maximal Rotationen um die beiden in der horizontalen Ebene liegenden Achsen (x-Achse und z-Achse) erfasst.“ [Dör13]

Neben der Lageerfassung kann auch eine Positionsbestimmung stattfinden. Diese ist aufgrund der geringen Genauigkeit bei der Umwandlung von analogen Messwerten zu digitalen Werten aber nicht optimal und kann zu Drifteffekten führen. Dasselbe gilt für die Messung der Winkelgeschwindigkeit um einen Rotationswinkel zu erhalten [Dör13].

Als Beispiel ist hier Sphero [@Sph] und 3DRudder [@Rud] aufzuführen, die später genauer behandelt werden.

#### Magnet

Eine weitere Möglichkeit der Steuerung in einer VR ist über einen Magneten. So können bestimmte mobile Geräte Dockingstationen oder Abdeckungen anhand der eingebauten Magnetsensoren erkennen. Durch die Veränderung der Position eines Magneten im Radius dieser Sensoren kann ein vorher implementierter Vorgang ausgelöst werden, wie z.B. eine Vorwärtsbewegung. Somit kann die Veränderung des magnetischen Feldes um ein mobiles Gerät registriert werden [@Car].

## Virtual Reality für mobile Geräte

Virtual Reality lässt sich relativ einfach über ein HMD erzeugen. Aktuelle Geräte wie die Oculus Rift haben aber hohe Anschaffungskosten und sind per Kabel an einen PC angeschlossen. Dieser PC ist auch unabdingbar, da hier die Spiele oder virtuelle Welten erzeugt werden [@Ocu].

Aufgrund dieser Einschränkungen wurden kostengünstige Instrumente entwickelt, die aktuelle Eigenschaften von Smartphones nutzen und somit eine Verbindung zu einem PC überflüssig machen, da die virtuellen Inhalte vom Smartphone selbst berechnet werden. Diese Instrumente sind Behälter in die das Smartphone hineingelegt werden kann. Grundlegend besitzen alle Behälter zwei Linsen, um das Sichtfeld des Nutzers auf den Handybildschirm zu reduzieren und teilen das Sichtfeld durch eine Trennwand innerhalb des Behälters. Dadurch kann für jedes Auge ein separates Bild erzeugt werden und dem Nutzer ein immersives Gefühl vermittelt werden. Im folgenden Abschnitt werden aktuelle VR-erzeugenden Instrumente für mobile Geräte vorgestellt.

### Boxx3D

Die Boxx3D von der Firma Die Etagen ist eine Halterung für Smartphones, um eine immersive VR zu erzeugen. Sie besitzt die Grundlegeden Eigenschaften und unterstützt unterschiedliche Smartphone Größen [Bus14].



Abb. 2.5 Verschiedene Ansichten der Boxx3D

### Google Cardboard

Cardboard von Google entwickelt ist ähnlich zu der Boxx3D. Auch hier kann ein Smartphone hineingelegt werden und ein immersiver Eindruck wird vermittelt. Neben den grundlegenden Eigenschaften besitzt Cardboard eine zusätzliche Funktionalität – einen an der Seite befindlichen Schalter. Dieser besteht aus zwei Magneten. Einer an der Außenseite und ein weiterer an der Innenseite des Gehäuses befestigt. Durch das Herunterziehen des Schalters und das darauf



Abb. 2.6 Verschiedene Ansichten der Cardbox

folgende Zurückschnellen des äußeren Magneten, wird das Magnetfeld beeinflusst. Dieses wiederum kann von bestimmten Smartphones registriert werden und dann bestimmte Aktionen auslösen [@Car].

### Gear VR

Die Gear VR ist durch eine Kollaboration von Samsung Electronics und Oculus VR entstanden. Im Gegensatz zu der Boxx3D und Cardboard besitzt diese eine Kopfbefestigung. Des Weiteren sind die Kosten gegenüber den anderen beiden vorgestellten Instrumenten deutlich höher, da das Gehäuse der Gear VR hochwertiger ist und Anschlüsse innerhalb des Gehäuses verbaut sind. Außerdem kann die Gear VR nur mit einem bestimmten Smartphone benutzt werden, was wieder Kosten verursachen kann [@Gear].



Abb. 2.7 Ansicht der Gear VR

## Unity

Unity wird als Entwicklungsumgebung genutzt, um die prototypische Anwendung umzusetzen. Unity ist besonders für Anwendungen im Bereich VR geeignet, da Unity das Programmieren auf Objekte ermöglicht und die Platzierung von virtuellen Kameras trivial gestaltet. Des Weiteren können die Anwendungen auf verschiedene Plattformen veröffentlicht werden, ohne die Anwendung zu ändern [Sei14]. Dieser Abschnitt gibt einen Überblick über die Funktionen und Werkzeuge die Unity bietet. Außerdem werden genutzte Plugins kurz vorgestellt.

Es wird mit Version 4.6 gearbeitet, die zum Vorgänger Änderungen am GUI-System hat und allgemein eine höhere Leistung aufweist [@Uni].

### Programmierung über Skripte

Unity hat für das Programmieren von Skripten eine eigene Entwicklungsumgebung. Diese ist MonoDevelop, welche Open-Source ist und unter dem Aspekt entstanden ist ein leichteres Debuggen von Unity Projekten zu ermöglichen. Verfügbare Programmiersprachen sind C#, JavaScript und Boo. In dieser Arbeit wird mit C# gearbeitet. Skripte sind als eigene Klassen aufzufassen, die als Komponente an Objekte angehängt werden und dadurch erst genutzt werden können. Jedes Skript muss von der Klasse MonoBehaviour erben und die Funktionalität eines Skripts als Komponente ermöglicht. Skripte lassen über das Hauptmenü erstellen oder können direkt als Komponenten eines Objektes zugewiesen werden [Sei14].

Ein neu erstelltes C#-Skript enthält über using eingebundene Namespaces, um bestimmte Grundlegende Funktionalitäten zur Verfügung zu stellen. Nach den Namespaces kommt die Klassendefinition und die MonoBehaviour-Erbung. Diese Erbung erhält jedes Skript Standardmäßig da hier auch die Start- und Update-Methoden bereitgestellt werden [Sei14].

Die Start-Methode wird einmalig ausgeführt, und dient der Initialisierung von Variablen. Sobald eine Skript-Instanz aktiviert ist, wird als erstes die Start-Methode ausgeführt. Dadurch ist es möglich die Reihenfolge von Initialisierungen zu bestimmen [Sei14].

Die Update-Methode zählt zu den wichtigsten Methoden in Unity. Update wird jedes Mal aufgerufen bevor ein Frame gerendert wird. Hier ist es z.B. möglich einenm Objekt Bewegungen zuzufügen durch das Verändern der Positionsparameter [Sei14].

using UnityEngine;

using System.Collections;

public class NewScript : MonoBehaviour {

// Use this for initialization

void Start () {

}

// Update is called once per frame

void Update () {

}

}

Code 2.1 Grundgerüst eines C#-Skripts

Neben diesen beiden Methoden gibt es noch weitere Grundlegende Methoden die je nach Notwendigkeit genutzt, aber hier nicht näher beleuchtet werden.

Der nächste wichtige Aspekt ist die Komponentenprogrammierung. Diese erlaubt es ein Skript zu erstellen, welches an beliebig viele Objekte angehängt werden kann und nicht andersherum.

„Ein wichtiger Grundsatz von Unity ist, dass jedes GameObject seine eigenen Components

besitzt. Sie programmieren also keine Lebensverwaltung, die die Lebensstärke aller Gegner

verwaltet, sondern ein Skript, das lediglich die Gesundheit eines einzelnen Gegners verwaltet. Dieses Skript wird dann aber wieder jedem Gegner zugefügt, sodass jeder Gegner seine

eigene Verwaltung hat.“ [Sei14]

So ist es möglich über die Variable gameObject auf Komponenten des eigenen Objektes zuzugreifen.

Transform transform = gameObject.GetComponent<Transform>();

Code 2.2 Zugriff auf eigene Komponente eines Objektes

Parallel Code ausführen

Invoke

Daten speichern

Szeneübergreifen

Debug

Kompilierung

### Objekte im 3D-Raum

Virtuelle Objekte können in Unity in einer Szene platziert werden. Es ist möglich platzierte Objekte zu skalieren, rotieren oder zu verschieben, um so eine virtuelle Welt für den Nutzer zu erzeugen.

Für die Darstellung von Objekten wird ein linkshändiges Koordinatensystem genutzt. Die Darstellung erfolgt anhand von Punkten, die im dreidimensionalen Raum durch Vektoren beschrieben werden. Unity hat dafür den Typ Vector3, über den die Parameter x, y, z eines Vektors verändert werden können. Neben der Beschreibung von Punkten werden Vektoren auch für die Richtungsbeschreibung und Abfragen von Kollisionen eingesetzt [Sei14].

Vector3 v1 = new Vector3(1, 1, 1);

Vector3 v2 = new Vector3();

v2.x = 1;

v2.y = 1;

v2.z = 1;

Code 2.3 Beispiele für die Erzeugung eines Vektors

Viele einzelne Vektoren zusammen ergeben dann ein 3D-Modell. Diese einzelnen Vektoren werden auch Vertices genannt und drei beieinander liegenden Vertices, die eine dreieckige Fläche ergeben, werden Polygone genannt. Komplexere 3D-Modelle bestehen also aus vielen Polygonen. Diese Struktur wird oft als Polygonnetz oder Mesh bezeichnet. In Unity wird der Begriff Mesh genutzt. Umso mehr Polygone ein Objekt besitzt desto höher sind die Anforderungen an die Performance. Daher sollte immer darauf geachtet werden möglichst wenige Polygone pro Objekt zu haben, insbesondere wenn Anwendungen für mobile Geräte (Apps) umgesetzt werden [Sei14] [Bla11].

Jedes Objekt in einer Szene in Unity wird als GameObject bezeichnet. Ein GameObject kann mithilfe von Komponenten ein Mesh darstellen. Die erste Komponente ist der MeshFilter, damit das GameObject das Mesh aufnehmen kann. Für das Anzeigen des eigentlichen 3D-Objektes ist im nächsten Schritt der MeshRenderer zuständig Die Erzeugung der Komponenten findet automatisch statt, wenn ein 3D-Modell aus dem Project Browser in die Szene hineingezogen wird. Alle Komponenten können per Code verändert und angepasst werden [Sei14].

Eine weitere Komponente, die jedes GameObject erhält, ist die Transform-Komponente. Diese sorgt dafür, dass ein Objekt skaliert, rotiert und verschoben werden kann. Die zugehörigen Parameter können direkt in der Szene über die Transform-Tools geändert werden oder im Inspector in die entsprechenden Felder eingetragen werden. Der Inspector gibt eine Übersicht der Komponenten eines einzelnen Objektes und der Nutzer hat die Möglichkeit Werte anzupassen. Diese Anpassung kann auch mit Hilfe von Code erfolgen durch den Zugriff auf die Transform-Klasse. Diese stellt Eigenschaften und Methoden bereit um das Objekt zu transformieren [Sei14].

Da ein Mesh ein aus Polygonen bestehendes Netz ist bietet Unity die Möglichkeit durch Materials die Oberfläche eines solchen Drahtgitters zu verändern. So können Eigenschaften wie die Textur, die Farbe und die Reaktion auf äußere Einflüsse wie Licht festgelegt werden. Die Berechnung des Aussehens findet mit Hilfe von Shadern statt. Shader bestimmen wie Materialien auf Oberflächen gerendert werden sollen. Hier muss bei Apps wieder darauf geachtet werden spezielle mobile Shader zu verwenden, um eine hohe Performance zu erreichen [Sei14].

Das Hinzufügen von 3D-Modellen erfolgt wie erwähnt über den Project Browser. Hier stellt Unity schon vorgefertigte Grundobjekte wie Kugeln oder Würfel zur Verfügung. Diese werden oft als Hilfsmittel genutzt. Komplexere 3D-Modelle werden in einem dafür entsprechenden Programm erstellt und in Unity importiert. Die importierten Modelle werden als Prefab angelegt und erhalten sobald sie in die Szene gezogen werden, die notwendigen Komponenten [Sei14]. Auf Prefabs wird im Abschnitt 2.3.7 näher eingegangen.

### Kamera

ScreenPointToRay

Mehrere Kameras

Skybox

### Physik

Rigidbodies

Character Controller

### Inputmöglichkeiten

Input Manager

Auswertung von Eingaben

Auswertung von Beschleunigungssensor

### GUI

Elemente

Positionierung und Verankerung

uGui

### Prefabs/Plugins

Was ist das

Erzeugen

Instanzen

### Performance/Fehlersuche

Debugging

Echtzeitanaylyse

### Build Prozess

Plattformen

SDK’s

#### DiveFPSController

Von Durovis Dive zur Verrfügung gestelltes Plugin um aus der First Person Perspektive zu sehen. Steuerung durch Tastatur und Maus möglich

#### Durovis Dive SDK in Unity

Dive SDK platziert zwei Kameras

## Android

Betriebssystem

### Android Debug Bridge(ADB)

Echtzeit debugging möglich, filtern nach Unity ausgaben

## Git

Versionierungstool

### GitHub

Hosting services für git repositories

### GitExtensions

Tool für das arbeiten mit git unter windows

# Anforderungsanalyse

## Systemidee

Controller evaluieren für die Steuerung von Fortbewegung in einer VR,

## Stakeholder

Nutzer von Smartphones die VR erleben wollen

Die nicht so viel geld ausgeben wollen

Steuerung innerhalb der VR

### Stakeholdermap

Nach einfluss und Motivation der stakeholder

## Ziele

### Muss

Steuerung in der VR

Stabile Verbindung mit dem Controller

Verbindung wird automatisch hergestellt

### Wunsch

## Systemkontext

## Systemabgrenzung

## Funktionale Anforderungen

### Use-Case

Bild

### Anforderungen

## Nicht Funktionale Anforderungen

### Technologisch

### Benutzeroberfläche

### Qualität

### Durchzuführende Tätigkeiten

### Rechtlich-vertraglich

### Hier fehlt noch eine

## Tests

### Testgeräte

Galaxy S5, Galaxy S3, anderes Android smartphone, iPhone?

### Testszenarien

Tabelle von Testszenarien, Erklärungen

## Risikomanagement?

# Evaluation des Controllers

Aus Nutzersicht wäre ein markenloses Outside-In-verfahren natürlich wünschenswert, da

hierbei die Einschränkungen für den Nutzer am geringsten sind. Nutzer müssen nichts in

den Händen halten, brauchen keine Markierungen auf der Kleidung und können sich frei

bewegen und auch frei durch den Raum gehen. In der Praxis zeigt sich allerdings, dass

markenlose Tracking-Systeme gegenüber markenbasierten zum einen anfälliger gegen-

über Störungen (z. B. weitere Personen im Raum oder sich wechselnde Lichtverhältnisse) sind und zum anderen, dass die Genauigkeit bei markenbasierten Systemen höher ist.

Auch weisen Outside-In-verfahren den Nachteil auf, dass die Interaktionsfläche durch die

Kamerapositionen begrenzt ist. Der Interaktionsbereich kann zwar durch den Einsatz von

zusätzlichen Kameras vergrößert werden, dennoch bedeutet ein größerer Interaktionsraum entweder Mehrkosten (für die zusätzlichen Kameras) oder durch den größeren Abstand zu den Kameras eine größere Ungenauigkeit.

## Verfügbare Controller

Vorstellung von Controllern Verschiedene Arten

### Veränderung des Magnetfeldes

### Gyroskop

### Gamepad

### Kamera die Bewegungen aufnimmt kinect

## Bewertung der Controller

Bewertungsskala erstellen, Punktesystem aufstellen danach dann Controller auswählen

Bewertungsskala anhand der Grundlagen aus [Dör13], Freiheitsgrad etc.

## Auswahl eines Controllers

# Konzept der Anwendung

## GUI

## VR Szene

## Benötigte Funktionen

## Spiellogik

# Umsetzung der Anwendung

## GUI

## Verbindung des Motion Controllers

## Auslesen der Daten

## Szene

## Spiellogik

# Tests

## Schnelle Bewegungen

## Bewegungsräume bei falscher Handhabung

## Erfahrungen

# Ergebnisse und Ausblick

## Bewertung

### Controller

### Applikation

asdasd

## Ausblick

### Prototypen von Controllern, was kommt ist in Arbeit

# Zusammenfassung

asd

# Referenzen

**Berichte**

[Bus14] T. Busch: „Einarbeitung in Virtual Reality und Augmented Reality durch die Umsetzung von prototypischen Applikationen“, Osnabrück, November 2014

**Bücher**

[Bla11] S. Blackman: „Beginning 3D Game Development with Unity: The World’s most widely used multiplatform game engine“, Apress, New York, Mai 2011

[Dör13] R. Dörner et al. (Hrsg): „Virtual und Augmented Reality (VR/AR): Grundlagen und Methoden der Virtuellen und Augmentierten Realität“, 1.Auflage, Springer Verlag, Berlin Heidelberg, September 2013

[Rup14] C. Rupp, die SOPHISTen: „Requirements-Engineering und -Management: Aus der Praxis von klassisch bis agil“,6. Auflage, Carl Hanser Verlag, München, Oktober 2014

[Sei14] C. Seifert: „Spiele entwickeln mit Unity: 3D-Games mit Unity und C# für Desktop, Web & Mobile“, 1. Auflage, Carl Hanser Verlag, München, September 2014

**Magazine**

[FRE03] K.J. Fernandes, V. Raja, J. Eyre: „Cybersphere: the fully immersive spherical projection system“, Communications of the ACM 46 Nr. 9, ACM, New York, September 2003

**Webseiten**

zuletzt am 01.02.2015 abgerufen.

[@Car] Google Cardboard Developer Documentation, <https://developers.google.com/cardboard/overview>

[@Dur] Durovis Dive SDK, <https://www.durovis.com/sdk.html>

[@Ext] Git Extensions Manual, <https://git-extensions-documentation.readthedocs.org/en/latest/https://git-extensions-documentation.readthedocs.org/en/latest/>

[@Gear] Gear VR, <http://www.samsung.com/global/microsite/gearvr/index.html>

[@Git] Git Documentation, <http://git-scm.com/doc>

[@Hub] GitHub, <https://github.com/>

[@Leap] Leap Motion Forum, <https://forums.leapmotion.com/>

[@Mag] Magnet Button for Cardboard, <https://www.quora.com/How-does-the-magnet-select-button-for-Android-Cardboard-work>

[@Ocu] Oculus Rift Support, <https://support.oculus.com>

[@Rud] 3DRudder, <http://www.3drudder.com/>

[@Sph] Sphero, <http://www.gosphero.com/de/>

[@Tan] Project Tango, <https://www.google.com/atap/projecttango/#project>

[@Uni] Unity Documentation, <http://unity3d.com/learn/documentation>

**Bildquellen**

[@Com] Wikimedia Commons: Eine freie Sammlung von Bildern, [www.commons.wikimedia.org](http://www.commons.wikimedia.org)

[@Bus] Bilder von Tobias Busch

# Inhalt der CD

In der beigefügten CD sind folgende Ordner und Dateien enthalten.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Ordnerverzeichnis | Dateien | Beschreibung |
| \Bachelorarbeit | Bachelorarbeit\_BuschTobias.pdf | Die Bachelorarbeit im Portable Document Format (PDF) |
| Bachelorarbeit\_BuschTobias.docx | Die Bachelorarbeit im Microsoft Word Format |
| \Quellen | \*.pdf | benutzte Internetseiten |
| \Bilder | \*.jpg, \*.png | verwendete Bilder in größerem Format |
| \unity-project | **\*.\*** | Testapplikation |
| \Videos | \*.mp4 | Videos der getesteten Controller |

Tabelle B.1 Inhalt der CD

**Erklärung**

Hiermit versichere ich, dass ich meinen Projektbericht selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

Datum: ……......................................................

(Unterschrift)