

Immersion in Virtuellen Welten

Bachelorarbeit

zur Erlangung des Grades Bachelor of Science (B.Sc.)
im Studiengang Computervisualistik

vorgelegt von
Jeldrik Bailer

Erstgutachter: Prof. Dr.-Ing. Stefan Müller
(Institut für Computervisualistik, AG Computergraphik)

Zweitgutachter: Nils Höhner, M.Sc.
(Institut für Computervisualistik, AG Computergraphik)

Koblenz, im April 2019

Erklärung

Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

Ja Nein

Mit der Einstellung der Arbeit in die Bibliothek bin ich einverstanden.

.....
(Ort, Datum) (Unterschrift)

Zusammenfassung

Ist es möglich, allein mittels VR-Headset bei Nutzern Immersion zu erzeugen? Zur Beantwortung dieser Frage werden zwei Simulationen einer Achterbahnfahrt ohne haptisches Feedback mittels der Unreal Engine 4.20.3 für ein HTC-Vive VR Headset entwickelt und implementiert. Die zweite Simulation unterscheidet sich von der ersten durch die Darbietung außergewöhnlicher Ereignisse während der Fahrt, für die vermutet wird, dass sie das Immersionserleben verstärken. Elf Probanden nahmen an der Untersuchung teil. Die Auswertung eines Fragebogens zur Erfassung der Intensität der Immersion und der Antworten auf offenen Fragen zeigt, dass Immersion in beiden Simulation erfolgreich erzeugt werden konnte. Manche Merkmale der Simulation vertieften bei einzelnen Probanden das immersive Erleben, bei anderen dagegen nicht. Die Bedeutung der Ergebnisse und Optimierungsmöglichkeiten für künftige Studien werden diskutiert.

Is it possible, to create immersion only by the use of a VR-headset? To answer this question two roller-coaster simulations without haptic feedback were developed and implemented for a HTC-Vive VR headset, using the Unreal Engine 4.20.3. The second simulation differs from the first one by presenting unusual events through the ride, expecting an increased immersive experience. A subject group of eleven persons participated in the study. The evaluation of a questionnaire recording the immersion and the feedback given in the open questions, have shown that Immersion was created successfully in both roller-coasters. For some users the characteristics of the Simulation depend on the immersive experience, others didn't feel so about them. The results of the study and some improvement possibilities for future studies will be discussed.

Keywords: Immersion; Roller-coaster; Unreal Engine; Virtual Reality

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Grundlagen	2
2.1	Physikalische Grundlagen	2
2.2	Animation und Simulation	4
2.2.1	Integratoren	4
2.2.2	Splines	5
2.3	Immersion - Definition und Begriffsklärung	7
3	Implementation	10
3.1	Unreal als Basis	10
3.1.1	Blueprintprogrammierung	10
3.1.2	Herangehensweise	11
3.2	Achterbahn Komponenten	12
3.2.1	Achterbahnstrecke	12
3.2.2	Aufzug, Bremsen und Beschleunigung	14
3.2.3	Zerstörbares Objekt	15
3.2.4	Achterbahnsitz	15
3.3	Erstellung und Aufbau der Achterbahn	17
3.4	Schwierigkeiten und deren Lösung	20
3.4.1	Physiksimulation	21
3.4.2	Rotation	21
3.4.3	Erstellung	22
4	Methoden	23
4.1	Wie wird Immersion erzeugt?	23
4.2	Fragebogen	23
4.3	Versuchsaufbau	24
4.4	Durchführung	25
4.5	Stichprobenbeschreibung	25
5	Ergebnisse	26
5.1	Erste Achterbahnstrecke	26
5.2	Zweite Achterbahnstrecke	26
5.3	Gegenüberstellung der Achterbahnstrecken	27
5.4	Interpretation der Ergebnisse / Diskussion	28
6	Ausblick	30
A	Anhang	32
A.1	Fragebogen	32
A.2	Video Material	49
A.3	Link Sammlung	49

1 Einleitung

Computerspiele entführen uns schon seit mehreren Jahrzehnten in fiktive Welten. Dies geschieht im Normalfall durch die grafische Darstellung an einem Bildschirm, durch welchen der Nutzer die Welt wie durch ein Fenster betrachten kann. Es kommt durchaus vor, dass man sich in einer solchen Welt verliert und die äußere Realität um sich vergisst. Durch die aufstrebende Technologie der Virtual-Reality(VR)-Headsets wird dieses eintauchen in eine andere Realität noch einfacher. Sie ermöglichen es, den Benutzern eine virtuelle Realität mit den eigenen Augen zu betrachten und sogar direkt mit ihr zu interagieren. Diese Technologie ist nicht neu, jedoch wird sie zu unserer heutigen Zeit auch für private Nutzer erschwinglich. Gab es früher Forschung im Bereich der Virtuellen Realität mit Hilfe von CAVE¹ Systems oder Brillen mit Datenhandschuhen, so waren diese jedoch nur in Forschungseinrichtungen mit genügend finanziellen Mitteln zugänglich. Doch mit der immer rapider zunehmenden Leistung von Rechnersystemen und der sich weiterentwickelnden Technologie sind heute bereits VR-Headsets wie die HTC Vive, Oculus Rift oder Playstation VR auf dem Markt, welche auch für Privatpersonen bezahlbar sind. Durch diesen Faktor gewinnt die VR-Technologie immer mehr in der Unterhaltungsindustrie an Bedeutung und es erscheinen in immer kürzeren Abständen VR-Titel auf dem Markt, in denen es möglich ist, virtuelle Welten zu bereisen und diese zur eigenen Spielwiese zu machen. Wie einfach ist es, sich in einer virtuellen Welt zu verlieren und fühlt sich diese wirklich real an? Der Begriff der Immersion hat sich im Kontext von virtuellen Welten immer weiter durchgesetzt. Er beschreibt eine Art „abtauchen“, „sich in der Welt verlieren“, „die Realität um sich herum vergessen“ und die wahrgenommene Umgebung als real zu empfinden.

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich damit in wie weit Testpersonen sich auf eine virtuelle Welt einlassen und in dieser „abtauchen“ können. Hierfür werden zwei virtuelle Achterbahnfahrten ohne haptisches Feedback und nur mit minimalem Audio-Input konzipiert. Zudem wird untersucht, ob extreme Situationen wie Sprünge, Freien Fall und Kollision mit Hindernissen während der Fahrt ein stärkeres Immersionserlebnis erzeugen können. Zunächst werden die benötigten theoretischen Grundlagen und die Umsetzung und Implementation mithilfe der Unreal Engine beschrieben. Anschließend werden Versuchsaufbau und Methodik dargestellt. Der Bericht der Ergebnisse, deren Interpretationen sowie ein Ausblick schließen die Arbeit ab.

¹Cave Automatic Virtual Environment - Raum dessen Seiten als Projektionsfläche für eine virtuelle Realität dienen

2 Grundlagen

2.1 Physikalische Grundlagen

Als Ausgangspunkt für die Physiks simulation wird ein Massepunkte ohne Masseverteilung verwendet. Daraus folgt, dass sich die berechnete Kraft nur auf einen einzigen Punkt fixiert. Für diesen Punkt können zu jedem Zeitpunkt alle auf diesen Punkt wirkenden Kräfte berechnet werden. Die Summe aller Kräfte, welche auf diesen Massepunkt wirken, ergeben zusammen die tatsächliche Kraft auf dem Massepunkt.

Diese Arbeit stützt sich vor allem auf die Physik, welche auf der Website myphysicslab.com² [myP19] für eine einfache Achterbahn-Simulation beschrieben wird. Dieses Verfahren wird im folgenden aufgezeigt und verwendet.

Es wird angenommen, dass der Punkt sich auf einer Bahn befindet und diese nicht verlassen kann. Er kann sich jedoch frei auf der Länge der Bahn bewegen. Daraus folgen die beiden Variablen:

- p = Position auf der Bahn
- v = Geschwindigkeit auf der Bahn (Velocity)

Ein beliebiger Punkt auf der Bahn wird als Ursprung angenommen und als Punkt $p = 0$ gesetzt, zudem wird eine Richtung entlang der Strecke als positiv festgelegt. Daraus folgt, dass die Position gleich der Länge der Bahn von ihrem Ursprung bis zu jenem Punkt ist.

Die Gravitationskraft ist jene Kraft, welche senkrecht nach unten gerichtet ist. Die Komponente der Kraft, welche in Richtung der Bahn zeigt, ist für unterschiedlich starke Beschleunigungen zuständig. Je steiler die Bahn, desto größer die Beschleunigung.

Sei k die Steigung (der Vektor in Richtung der Bahn) an einem bestimmten Punkt. Sei γ der Winkel zwischen dem Gravitationsvektor und dem Steigungsvektor. Die Gravitationskraft an diesem Punkt bestimmt sich nach der Formel:

$$F = m \cdot a = m \cdot g \cdot \cos \gamma \quad (1)$$

mit m = Masse, a = Beschleunigung und g = Gravitationskonstante. Soll nun noch eine dämpfende Kraft wirken, welche proportional zur Geschwindigkeit gerichtet ist, folgt daraus die Formel:

$$F = m \cdot g \cdot \cos \gamma - b \cdot v \quad (2)$$

Mit b als die Dämpfungskonstante (Reibung zwischen zwei Materialien) und v die Geschwindigkeit in diesem Punkt.

²<https://www.myphysicslab.com/roller/roller-single-en.html>

γ lässt sich über die Formel für den Winkel zwischen zwei Vektoren errechnen:

$$\cos \gamma = \frac{\vec{A} \circ \vec{B}}{|\vec{A}| \cdot |\vec{B}|}$$

Hierbei steht im Zähler das Skalarprodukt der beiden Vektoren und im Nenner das Produkt der Längen der Vektoren.

- $\vec{A} = (1, k)$ der Steigungsvektor in Richtung aufsteigend p

- $\vec{B} = (0, -m \cdot g)$ der Gravitationsvektor

daraus folgt nun:

$$\cos \gamma = \frac{-k \cdot m \cdot g}{m \cdot g \cdot \sqrt{1 + k^2}} = \frac{-k}{\sqrt{1 + k^2}}$$

Nun lässt sich Gleichung (2) darstellen als:

$$a = \frac{-g \cdot k}{\sqrt{1 + k^2}} - \frac{b}{m} \cdot v \quad (3)$$

Zu beachten ist, dass die Steigung k eine Funktion k(p) der Position ist. Hiermit lassen sich Geschwindigkeit und Beschleunigung auf der Bahn berechnen und über k(p) auch die neue Position auf der Bahn.

Eine Randbedingung für diese Berechnung ist, dass die Richtung der Steigung ungleich der Richtung der Gravitation sein muss, da sonst durch 0 dividiert wird. In einem solchen Fall verläuft die Bahn senkrecht nach unten, somit wirkt nur die Gravitation und gegebenenfalls die Reibung mit der Bahn auf den Massepunkt.

Physikalisch berechnet sich Ort(r) und Geschwindigkeit allgemein mit einsetzen in die Formeln:

$$\vec{r}(t + \Delta t) = \vec{r}(t) + \int_t^{t+\Delta t} \vec{v}(t) dt \quad (4)$$

und

$$\vec{v}(t + \Delta t) = \vec{v}(t) + \int_t^{t+\Delta t} \vec{a}(t) dt \quad (5)$$

Beachte das p eine Position auf einer Pfadlänge beschreibt, so werden v und a immer in Richtung des Pfades berechnet. Deshalb müssen zur Berechnung keine Vektoren verwendet werden. Die Strecke, die auf dem Pfad zurück gelegt wurde, muss bestimmt werden und über sie die Position p.

2.2 Animation und Simulation

Zur Darstellung einer Achterbahn bietet sich entweder eine Animation oder eine Simulation an. Der Unterschied einer Animation gegenüber einer Simulation besteht darin, dass bei einer Animation der Pfad, auf welchem sich ein Objekt bewegt, vorgegeben ist. Es werden Punkte (Keyframes) auf dem Pfad definiert, für die die Zeit, nach der sich das animierte Objekt an dieser Stelle befindet bekannt ist. Diese Festlegungen erlauben es, zwischen den Punkten zu interpolieren und Geschwindigkeit zu berechnen. Der Vorteil einer Animation besteht darin das zu Laufzeit fast keine Rechenleistung gebraucht wird da die Punkte und deren Eigenschaften von vornherein gegeben werden. Ein Nachteil einer Animation ist, dass sobald man den Streckenverlauf ändert auch alle Keyframes auf diese Veränderung angepasst werden müssen.

Eine Simulation hingegen benutzt zu jedem Zeitpunkt die vorliegenden Daten und berechnet daraus den neuen Punkt, der sich ergibt. Durch dieses Vorgehen ist eine Simulation rechenintensiver als eine Animation. Auch für eine definierte Strecke kann eine Simulation angewendet werden um zu jedem Zeitpunkt (Frame³) den nächsten Punkt auf dieser Strecke physikalisch genau zu berechnen.

2.2.1 Integratoren

Betrachtet man die Formeln (5) und (4) aus dem Abschnitt Physikalische Grundlagen genauer, benötigt man zur Berechnung der Gleichungen eine veränderbare Unbekannte und deren Ableitung. Die analytische Berechnung dieses Integrals ist jedoch sehr komplex, weshalb ein numerisches Lösungsverfahren verwendet wird um das Integral anzunähern.

In dieser Arbeit wird der einfache Euler Integrator (auch expliziter Euler) verwendet. Der Vorteil dieses Verfahrens ist, dass es sehr einfach zu implementieren und nicht sehr anfällig durch Störungen durch andere Komponenten innerhalb der Simulation ist[Kum10]. Für den einfachen Euler Integrator wird zu Beginn der Simulation Startposition und Geschwindigkeit benötigt. Für ein gegebenes Δt wird in Richtung der Geschwindigkeit ein neuer Punkt bestimmt. Die neue Geschwindigkeit an diesem Punkt errechnet sich aus den auf den (Start-)Punkt wirkenden Kräften gemäß folgender Formeln:

$$\begin{aligned}\vec{r}_{t+1} &= \vec{r}_t + \vec{v}_t \cdot \Delta t \\ \vec{v}_{t+1} &= \vec{v}_t + \frac{\vec{F}_t}{m} \cdot \Delta t\end{aligned}$$

³Einzelnes Dargestelltes Bild einer Frequenz

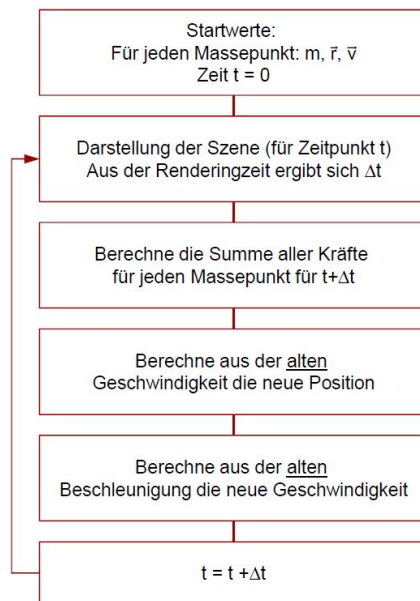


Abbildung 1: Simulationsablauf aus der Vorlesung von Prof. Dr. Müller der Universität Koblenz

Je kleinen Zeitschritte zwischen den einzelnen Berechnungen sind, umso genauer fällt die Berechnung aus.

Diese Arbeit basiert auf dem in Abbildung 1 gezeigten einfachen Simulationsablauf für Massepunkte (Vorlesung *Animation und Simulation* zum Thema Dynamik, Prof. Dr. Müller ,Universität Koblenz, Wintersemester 2017/18), welcher den Euler Integrator verwendet.

Zu beachten ist, dass durch den Fehler, welcher bei der Integration entsteht, die Ergebnisse von den real zu erwartenden Werten abweicht. Die berechnete Geschwindigkeit weicht mit zunehmender Dauer immer stärker von der tatsächlichen Geschwindigkeit ab. Falls es sich anbietet, kann an mehreren Stellen der Simulation, an denen ein Geschwindigkeitswert gegeben sein soll (bekannt ist), die Simulation mit der gegebenen Geschwindigkeit neu gestartet werden. Hierbei sollte beachtet werden, wie stark die simulierte von der erwarteten Geschwindigkeit abweicht.

2.2.2 Splines

Zur Darstellung der Bahn wird auf sogenannte Splines (Isaac Jacob Schoenberg 1946 [Sch46], Gerald Farin [FF02]) zurück gegriffen. Sie sind besonders praktisch, da sie stückweise definiert werden können und sich somit ein-

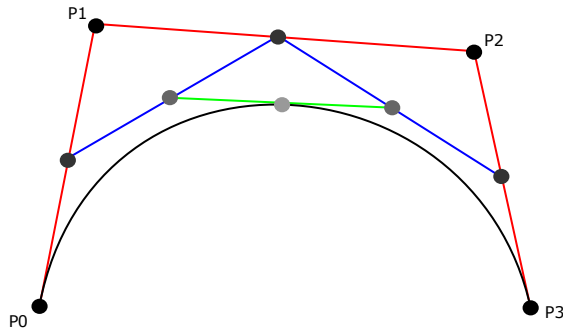


Abbildung 2: Bézier Kurve 3. Grades mit De-Casteljau-Algorithmus

fach eine Kurve/Bahn zusammensetzen lässt.

Zu den Splines gehören unter anderen die Bézier Kurven. Diese sind in der Computergrafik besonders beliebt, da sie leicht zu handhaben sind und ein optisch elegantes Ergebnis liefern. Eine Bézier Kurve 3. Grades wird über 4 Kontrollpunkte (P_0 bis P_3) definiert. Die Kurve verläuft dann durch den ersten (P_0) und letzten Punkt (P_3), die anderen beiden Punkte dienen dazu, den Kurvenverlauf zu beeinflussen. So bestimmt P_1 , die Richtung aus welcher die Kurve in P_0 verläuft und P_2 , aus welcher Richtung die Kurve in P_3 übergeht. Der Abstand zwischen P_0 und P_1 und der Abstand zwischen P_2 und P_3 bestimmen wie weit sich die Kurve in Richtung der Kontrollpunkte P_1 und P_2 bewegt bevor sie in Richtung P_3 verläuft. Im allgemeinen können Bézier Kurven 2 bis n Grade haben. Eine Kurve beginnt immer im Punkt P_0 und endet in P_n . Die Punkte dazwischen werden unter normalen Umständen nicht von der Kurve geschnitten, bestimmen jedoch den Kurvenverlauf zwischen P_0 und P_n . Abbildung 2 zeigt eine solche Bézier Kurve.

Mit Hilfe des De-Casteljau-Algorithmus kann auf der Kurve einfach interpoliert werden und somit können alle Punkte auf der Kurve bestimmt werden. Hierfür interpoliert der Algorithmus immer auf der Geraden welche zwischen zwei aufeinander folgenden Punkten (für alle Punktepaare mit demselben Parameter) aufgespannt werden kann. Mit den so entstehenden Punkten auf den Geraden können neue „Hilfsgeraden“ erstellt werden. Rekursiv werden solange Hilfsgeraden errechnet und auf ihnen interpoliert bis nur noch ein Punkt existiert, dies ist der Punkt welcher auf der Kurve liegt.

2.3 Immersion - Definition und Begriffsklärung

Der ursprüngliche Begriff der Immersion kommt vom lateinischen Wort „immersio“, welches so viel wie Eintauchen bedeutet.

Mc Mahan [McM03] behauptet, dass die von den meisten Autoren im Bereich der Virtuellen Realität akzeptierte Definition von Immersion jene von Jannet Murray [Mur97] sei. Murray definiert Immersion als:

“The experience of being transported to an elaborately simulated place is pleasurable in itself, regardless of the fantasy content. Immersion is a metaphorical term derived from the physical experience of being submerged in water. We seek the same feeling from a psychologically immersive experience that we do from a plunge in the ocean or swimming pool: the sensation of being surrounded by a completely other reality, as different as water is from air, that takes over all of our attention, our whole perceptual apparatus.”

„Die Erfahrung, in eine aufwändig simulierte Umgebung transportiert zu werden, ist an sich angenehm, unabhängig vom fantastischen Inhalt. Immersion ist ein metaphorischer Begriff, abgeleitet von der physikalischen Erfahrung des Untertauchens in Wasser. Wir suchen nach demselben Gefühl einer psychologisch immersiven Erfahrung wie wir sie von einem Sprung ins Meer oder den Swimmingpool erwarten: Das Gefühl, von einer vollständig anderen Realität umgeben zu sein, so unterschiedlich wie sich das Wasser zur Luft verhält, die unsere gesamte Aufmerksamkeit auf sich zieht, unseren gesamten Wahrnehmungsapparat.“⁴

– Janet H. Murray: Hamlet on the Holodeck S.98f

Brown und Cairns [BC04] entwickeln eine eigene Theorie der Immersion. Hierzu befragten sie „Gamer“ zu ihren Erfahrungen innerhalb von Spielen und ihrer Auffassung von Immersion. Sie kommen zu dem Ergebnis, dass sich anhand von Immersion der Grad der Beteiligung („Involvement“) an einem Spiel beschreiben lässt. Dabei unterscheiden sie drei Stufen von Beteiligung sowie die Barrieren, welche überwunden werden müssen, um die nächste Stufe zu erreichen. Das Erreichen einer höheren Stufe setzt voraus, dass alle vorangegangenen Stufen ebenfalls erreicht wurden.

Die drei Stufen nach Brown und Cairns sind:

⁴deutsche Übersetzung aus [https://de.wikipedia.org/wiki/Immersion_\(virtuelle_Realität\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Immersion_(virtuelle_Realität))

Beschäftigung („engagement“) Diese wird erreicht wenn sich der Spieler mit dem Spiel auseinandersetzt und Zeit, Bemühung und Aufmerksamkeit in das Spiel investiert. Die Barriere für diese Stufe besteht darin, dass sich der Spieler mit dem Spiel auseinandersetzen, seine Steuerung erlernt, sich für das Spiel interessiert und darauf einlässt. Andernfalls wird er diese Stufe nur schwer oder gar nicht erreichen.

Vertiefung („engrossment“) Diese wird erreicht, wenn das Spielerlebnis direkt auf die Emotionen des Spielers Einfluss nimmt und den größten Teil seiner Aufmerksamkeit beansprucht. Die zu überwindende Barriere wird durch das Gamedesign gesetzt. Selbst wenn sich ein Spieler mit einem Spiel auseinandersetzt, wird er diese Barriere nicht überwinden, sollten ihm die Konstruktion und der Aufbau des Spiels nicht gefallen.

Totale Immersion („total immersion“ auch als Präsenz bezeichnet) Diese wird erreicht, wenn sich der Spieler von der Realität abgeschnitten fühlt und nur noch das Spiel für ihn zählt. Die zu überwindende Barriere wird durch Empathie und Atmosphäre beeinflusst. Ein Spieler, der sich nicht in seinen Spiel-Charakter oder Avatar einfühlen kann oder für den die Atmosphäre innerhalb des Spiels unstimmig ist, wird sich nur schwer in das Spielgeschehen hineinversetzen können.

Alle Stufen hängen von der Bedienbarkeit des Spiels ab. So kann keine Stufe von Immersion erreicht werden, falls sich Nutzungs- und Steuerungsprobleme negativ auf das Spiel auswirken .

Jannett et al. [JCC⁺08] stützen sich die zuvor skizzierte Arbeit von Brown und Cairns und entwickeln einen Fragebogen zur Messung von Immersion. Sie arbeiten heraus, dass sich Immersion in folgenden Phänomenen zeigt:

- Mangel an Zeitbewusstsein (Lack of awareness of time)
- Verlust über das Bewusstsein der realen Welt (Loss of awareness of the real world)
- Beteiligung und ein Gefühl vom Sein in einer gegebenen Umgebung (Involvement and a sense of being in the task environment)

Im Gegensatz zu Brown und Cairns argumentieren Jannett et al. jedoch, dass Präsenz und Immersion nicht gleichzusetzen sind. Präsenz sei stelle nur ein kleinen Teil der Spielerfahrung dar und würde im allgemeinen als ein Geisteszustand angesehen. Immersion sei demgegenüber Erfahrung in

der Zeit. Präsenz sei auch ohne Immersion möglich, da man sich auch in einer virtuellen Umgebung präsent fühlen könne, jedoch nicht sein Gefühl über die Zeit verliere.

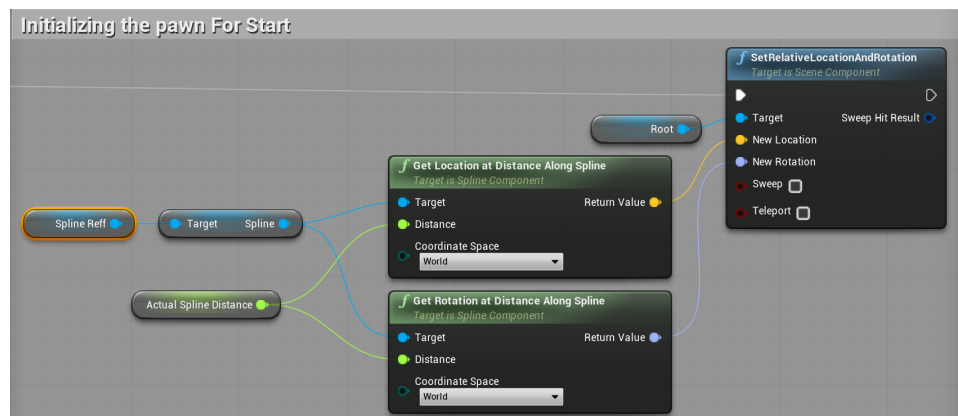


Abbildung 3: Blueprint Graph welche die anfängliche Position und Rotation des Achterbahnsitzes setzt.

3 Implementation

3.1 Unreal als Basis

Die Unreal-Engine⁵ 4 ist das aktuelle Produkt von Epic Games und wird in dieser Arbeit in der Version 4.20.3 verwendet. Sie ist eine Spiele-Engine,⁶ die Programmieren, eine große Palette von Werkzeugen zur Entwicklung von Spielen zur Verfügung stellt. Epic Games stellt die Unreal-Engine Entwicklern frei zur Verfügung. Ab einem gewissen Jahresumsatz, der mithilfe der Unreal-Engine erzielt wird, verlangt Epic Games eine prozentuale Beteiligung. Die Unreal-Engine bietet sich als Basis für Spiele an, da sie verschiedene Templates⁷ bereitstellt, welche einen Einstieg in verschiedene Spiel-Genres ermöglicht. Alle Funktionen, welche die Unreal-Engine bietet, lassen sich detailliert in der Unreal eigenen Dokumentation⁸ nachschlagen. Außerdem gibt es das Unrealforum⁹, in welchem aufkommende Fragen und Probleme diskutiert werden können. Zusätzlich zu den offiziellen Unreal-Seiten finden sich auch diverse Lehrvideos im Internet.

3.1.1 Blueprintprogrammierung

In der Unreal-Engine lässt sich neben C++ auch die Engine interne Blueprint-Programmierung verwenden, um Funktionalitäten für Objekte zu schaffen.

⁵<https://www.unrealengine.com>

⁶Framework welches Spielverlauf steuert und für die Visuelle Darstellung verantwortlich ist, sowie Entwicklungsumgebung mit Werkzeugen dafür

⁷Vorlagen mit Funktionalität, welche von Unreal gegeben sind und ausgebaut werden können

⁸<https://docs.unrealengine.com>

⁹<https://forums.unrealengine.com>

Die Programmierung mit Blueprints kann man sich wie einen Baukasten aus verschiedenen Steinen oder Knoten vorstellen, welche durch Verbindung untereinander Funktionalitäten erschaffen.

Um mit Blueprints programmieren zu können, ist wie für jede andere Programmiersprache eine spezielle Syntax zu verwenden. Diese wird bei der Blueprintprogrammierung durch visuelle Darstellung vereinfacht, werden zum Beispiel Prozeduren, Variablen und Operatoren durch Farben und Formen voneinander unterschieden (Beispiel eines Graphen siehe Abbildung 3).

Blueprints bestehen grundlegend aus Komponenten. Komponenten können bereits eigene funktionierende Blueprints sein oder leere Objekten eines bestimmten Typs. Standardmäßig lassen sich Komponenten und zugehörige Variablen in 3 Bereichen bearbeiten: dem „*Viewport*“, dem „*Construction-Script*“ und „*Event-Graph*“. Im *Viewport* werden die Komponenten, aus denen sich die Blueprint zusammensetzt, visuell dargestellt und können bearbeitet werden. Das *Construction-Script* wird immer dann ausgeführt, wenn ein Objekt erstellt wird. Hier lassen sich verschiedene Funktionalitäten implementieren, welche noch vor Spielbeginn und im Editor berechnet werden sollen. Der *Event-Graph* ist für alle Funktionalitäten während des Spiels zuständig. In ihm werden „Events“ implementiert welche unter bestimmten Bedingungen ausgelöst werden.

3.1.2 Herangehensweise

Um eine Achterbahn in VR entwickeln zu können, war zuerst wichtig, sich in die von Unreal gegebenen Funktionalitäten für die Entwicklung mit VR einzuarbeiten. Anschließend ist eine Auseinandersetzung mit der zu verwendenden Physik erforderlich. Die vorliegende Arbeit nutzt nicht die Unreal interne Physik-Engine, sondern beruht auf einer eigenen Implementierung der im teil Grundlagen geschilderten Physiksimulation. Anstelle einer Animation wird eine Simulation gewählt da die erforderliche Rechenleistung gegeben ist und sich so die Strecke leichter anpassen lässt. Ein weiterer Vorteil der Simulation ist, dass die so erstellten Bausteine (genannt *Assets*¹⁰) einfach weiter verwendet werden können, um ohne viel Aufwand weitere Achterbahnen erstellen zu können. Zudem soll sie sicherstellen das sich die Achterbahn physikalisch korrekt verhält.

Ein weiteres Thema, ist der Aufbau und die Streckenführung der Achterbahn. soll die Achterbahn beinhalten, hierunter fallen in dieser Achterbahn Kurvenfahrten, Loopings, Sprünge, Rückwärtsfahrten, Zusammenstöße und Beschleunigung. Dies Elemente sollen so gewählt sein, dass sie

¹⁰Ein für ein Unreal-Engine-Projekt erstellter Baustein.
<https://docs.unrealengine.com/en-us/Engine/Basics/AssetsAndPackages>

die Immersion positiv beeinflussen.

Überlegungen sind erforderlich hinsichtlich der Umgebung für die Achterbahnstrecke, minimal sollten für den Nutzer Orientierungspunkte vorhanden sein.

3.2 Achterbahn Komponenten

In diesem Abschnitt wird näher beleuchtet, aus welchen Bausteinen die Achterbahn aufgebaut ist, wie diese umgesetzt und implementiert wurden. Alle Bausteine werden als eigene Abschnitte aufgeführt, in welchen die Idee hinter den implementierten Blueprints vorgestellt und ihre Funktionsweise erläutert wird. Die selbst erstellten und hier beschriebenen Bausteine sind:

- Achterbahnstrecke
- Aufzug, Bremsen und Beschleunigung
- zerstörbares Objekt
- Achterbahnsitz

3.2.1 Achterbahnstrecke

Die Achterbahnstrecke wurde über einen Spline realisiert. Hierfür wurde das Spline Template von Unreal verwendet, welches es ermöglicht, zwei oder mehr Vektorpunkte im 3D Raum zu verbinden.

Die Form der Verbindung der Punkte kann durch Erstellen von neuen Punkten und dem Verschieben dieser im Raum angepasst werden. Die Tangente, mit der die Kurve in einen Punkt verläuft kann mittels der Rotation des Punktes verändert werden (Abbildung 4).

Das Spline-Template ist äußerst nützlich da, es wichtige Funktionen bereits zur Bestimmung der Position auf diesem Spline beinhaltet. So lässt sich die Anzahl der Spline-Punkte und deren Rotation sowie Ort im Raum abfragen. Zudem kann mithilfe eines Befehls mit der Eingabe einer Distanz auf dem Spline der Ort im Raum zu dieser Strecke herausgefunden werden.

Dieses Spline-Template wurde zudem so erweitert, dass eine Achterbahnstrecke auf dem Spline gerendert wird. Dies funktioniert über das Anfügen sogenannter Spline-Mesh-Components. Diese werden zwischen

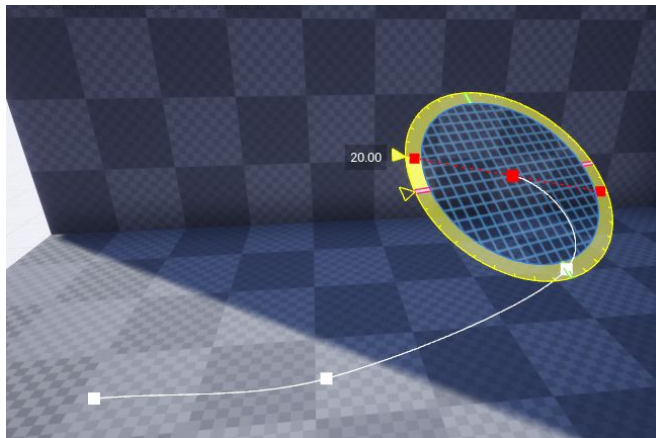


Abbildung 4: Verformter Spline mit Tangente am Endpunkt

Spline-Punkten erzeugt und sorgen dafür, dass ein gegebenes Model¹¹ verformt auf den Spline gerendert wird. Dafür wurde das Construction-Script verwendet.

Das Construction-Script läuft nach einer bestimmten Prozedur ab. Zuerst wird über eine Referenz zum Spline herausgefunden, wie viele Spline-Punkte auf dem Spline existieren. Danach wird für jeden Abschnitt zwischen zwei Spline-Punkten ein Array-Element erzeugt in dem vorher definierte Standardwerte für die Abmessung der einzelnen Bahnteile gespeichert sind. Zuletzt wird über eine Funktion dafür gesorgt, dass jeweils zwischen zwei aufeinander folgenden Punkten eine Spline-Mesh-Componente mit den gegebenen Parametern erzeugt wird.

Das verwendete Model kann frei angepasst werden, da es durch eine öffentliche (public) Variable gesetzt werden kann. Das Mesh¹² des verwendeten Model muss aus genügend Polygonen besteht, sodass eine Streckung nicht zu ungewünschten Kanten führt, denn die Polygone lassen sich nicht um die definierte Kurve strecken/verformen (es werden bei der Verformung/Streckung keine Neuen Polygone erzeugt). Mithilfe von Blender¹³ wurde ein einfaches Strecken-Mesh erstellt, welches diese Kriterien erfüllt (siehe Abbildung 5).

Zudem können verschiedene weitere öffentliche Variablen gesetzt werden, welche Eigenschaften repräsentieren. Diese Eigenschaften werden vom Achterbahnsitz während der Fahrt abgefragt und berücksichtigt. Diese Varia-

¹¹Model bezeichnet hier ein Mesh auf welches eine Textur gerendert wurde und welches weitere Informationen bereit stellen kann

¹²Mesh bezeichnet einen Körper welcher aus mehreren Polygonen meist Dreiecken zusammengesetzt wird.

¹³<https://www.blender.org/>

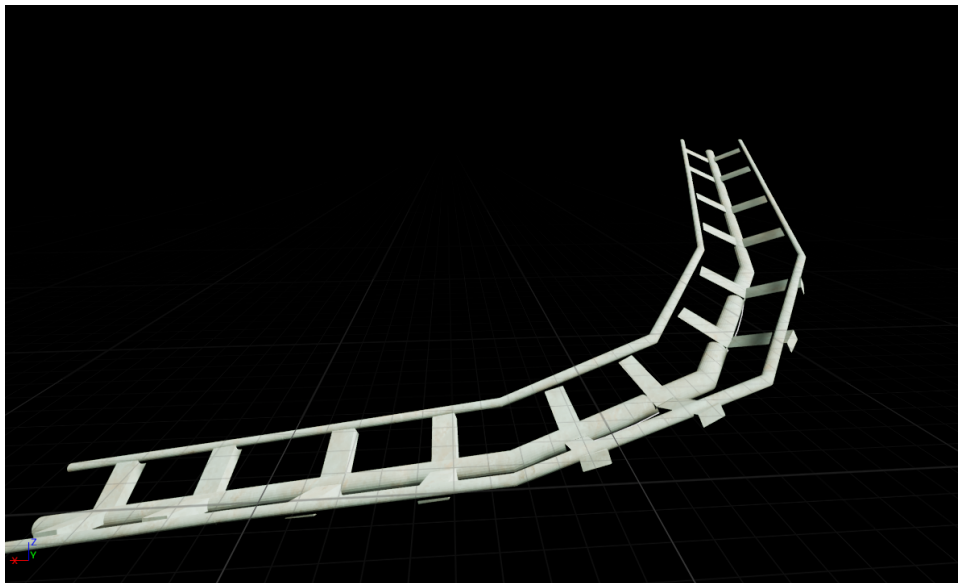


Abbildung 5: An einem Spline verformtes Model

blen bestimmen das Verhalten des Achterbahnsitzes auf dem Spline. Die Eigenschaften, die durch diese Variablen bestimmt werden, sind:

- Nachfolgender Spline (Referenz auf anderen Spline falls vorhanden)
- Vorwärts/Rückwärts fahren (Boolean unterscheidet die Fälle)
- Orientiert sich die Blickrichtung am Spline? (Boolean unterscheidet die Fälle)
- Reibungskonstante auf dem Spline (Float)

3.2.2 Aufzug, Bremsen und Beschleunigung

Es wurden für die Arbeit drei kleinere Komponenten mit ähnlicher Funktionalität erstellt. Bei den Objekten handelt es sich um eine Bremse, einen Lift/Aufzug und einen Beschleuniger. All dieser Objekte verwenden eine `TriggerBox`¹⁴, um dem Achterbahnsitz mitzuteilen, dass er eine dieser Boxen betritt oder verlässt und daher sein Verhalten anpassen muss. Die Objekte besitzen zudem jeweils eine öffentliche Variable, über welche das für sie spezifische Verhalten angepasst werden kann. So lassen sich über diese Variablen Bremskraft bei der Bremse, die Beschleunigung des Beschleunigers und die Lift-Geschwindigkeit des Aufzugs anpassen.

¹⁴ein Box Volumen welches erkennt ob sich Objekte in ihm befinden



Abbildung 6: Hindernis, das bei der Achterbahnfahrt durchbrochen wird

3.2.3 Zerstörbares Objekt

Hindernisse, mit denen die Achterbahn kollidieren kann sind über spezielle Objekte geregelt. Diese Objekte reagieren darauf, wenn der Achterbahnsitz sie mit einer dafür vorgesehenen Komponente berührt. Diese Objekte verwenden eine Mesh-Funktion welche aus einem Static-Mesh¹⁵ ein Procedural-Mesh¹⁶ erstellt, dieses Spezielle Mesh kann über eine bestimmte Funktion zerschnitten werden. Abbildung 6 zeigt eine Situation auf der Achterbahn, welche beim Durchfahren zerschnitten wird.

3.2.4 Achterbahnsitz

Der Achterbahnsitz bildet die Hauptkomponente der Achterbahn. In seiner Blueprint finden alle wichtigen Berechnungen und Funktionalitäten statt. Er reagiert zudem auf verschiedene Inputs der vorher beschriebenen Komponenten. Der Achterbahnsitz ist ein Objekt der Unreal Klasse „Pawn“. Diese Klasse wird in Unreal für Objekte verwendet, die von einem Spieler gesteuert werden können und somit direkt auf seine Inputs reagieren. Der Viewport des Nutzers wird zu Beginn der Simulation in die Kamera welche am Sitz angebracht ist gelegt (siehe Abbildung 7). Der Orientierungspunkt für die Kamera, welche über das VR-Headset gesteuert wird, wird bei Start der Anwendung gesetzt. Dadurch kann es dazu kommen, dass die Kamera

¹⁵Basis Mesh in Unreal

¹⁶Mesh welches während der Laufzeit manipuliert werden kann

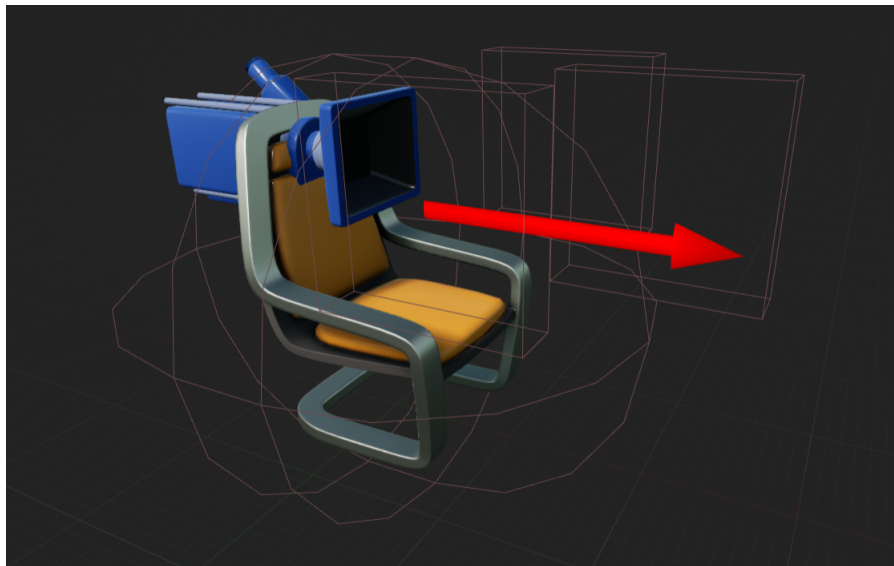


Abbildung 7: Ansicht der Sitzblueprint im Viewport

nicht korrekt positioniert ist, sobald der Nutzer das VR-Headset aufgesetzt hat (Abseits des Sitzes oder falsch rotiert). Um dies zu beheben, ist eine Funktion definiert, welche es ermöglicht während der Nutzung den Viewport an die richtige Stelle über den Sitz zu verschieben. Die Funktion, welche die Achterbahnfahrt startet befindet sich ebenfalls innerhalb der Sitz-Blueprint. Sie baut auf einer weiteren Nebenfunktion des Sitzes auf, die dafür zuständig ist der Simulation des Sitzes Energie hinzuzufügen und somit eine Beschleunigung hervorzurufen.

Damit sich der Achterbahnsitz auf einem gegebenen Spline bewegt, wird ihm zu Beginn ein Start-Spline über eine öffentliche Variable zugewiesen. Der erste Punkt dieses Splines stellt den Startpunkt der Achterbahn dar. Zu Beginn der Simulation werden über das Event „Beginplay“, das bei jedem Start des Projekts aufgerufen wird, die Startwerte für die Simulation gesetzt. Die Berechnung der Simulation in Echtzeit geschieht mithilfe von Event Tick, welches pro Frame ausgelöst wird. Die Simulation beginnt mit der Bestimmung der Kraft, welche von der Gewichtskraft hervorgerufen wird. Dies basiert auf der für den 3-Dimensionalen-Raum erweiterten Physik-Simulation für eine einfache Achterbahn (siehe Kapitel 3.4.1, S.21). Durch eine Abfrage wird geprüft, ob sich die Achterbahn in einer Lift- oder Bremszone befindet. Im Falle eines Lifts wird die Achterbahn-Simulation ausgesetzt und der Sitz mit konstanter Geschwindigkeit über die Bahn bewegt. Ähnlich verhält sich dies bei einer Bremszone, nur dass hier der Sitz um einen prozentualen Anteil seiner Geschwindigkeit abgebremst wird, ohne dabei weiter zu beschleunigen.

Im nächsten Schritt wird mithilfe des expliziten Eulers die neue Position

auf der Bahn bestimmt und in einer Variable gespeichert. Bei der Berechnung der Geschwindigkeit muss beachtet werden ob ein Brems- oder Liftvorgang stattfindet, ansonsten verläuft die Berechnung nach dem Vorgehen eines einfachen Simulationsablaufs wie er im Kapitel 2.2.1 beschrieben wurde.

Zuletzt wird aus der Distanz, welche auf dem Spline zurück gelegt wurde, mithilfe der von Unreal gegebenen Funktionen für Splines die neue Position für den Achterbahnsitz bestimmt. Um die Rotation für den Sitz zu bestimmen wird, zuerst bestimmt, ob der zu diesem Zeitpunkt benutzte Spline Variablen gesetzt hat, welche die auf ihm stattfindende Rotation bestimmen. Ist dies der Fall, werden je nach gesetzter Variable besondere Eigenschaften bei der Rotation berücksichtigt. Falls keine Variablen gesetzt werden, welche die Rotation beeinflussen, so orientiert sich die Rotation an der (aufsteigenden) Richtung des Splines.

Neben der Simulation der Achterbahn befindet sich auch eine Funktion in der Blueprint, welche es dem Sitz ermöglicht, dafür vorgesehene Objekte zu zerstören/zerschneiden. Diese Funktion kommt dann zum Einsatz, wenn ein solches Objekt mit dem Sitz kollidiert. Hierfür sind am Achterbahnsitz mehrere Boxen definiert, welche bei Überschneidung mit dafür vorgesehenen Objekten ein Event auslösen. Dieses Event ruft eine Funktion auf, welche dem zerstörbaren Objekt mitteilt an welcher Stelle es zerschnitten wird. Im groben funktioniert die dafür zuständige Funktion so, dass ein Procedural-Mesh so angepasst wird, dass es bis zu einer bestimmten Stelle abgeschnitten wird. Die andere Hälfte wird dann über die Funktion als neues Procedural-Mesh in die Welt gesetzt. Dieses Mesh kann eigene Eigenschaften haben und hängt nicht mit der anderen Hälfte zusammen.

3.3 Erstellung und Aufbau der Achterbahn

Unter der Verwendung der vorher beschriebenen Komponenten werden zwei Achterbahnstrecken erstellt. Als Umgebung wird das, von Unreal kostenlos zur Verfügung gestellt, „SoulCave“ Beispiel verwendet, das bereits ein ausgestaltetes Level beinhaltet. Beide Achterbahnen beginnen in einer kleinen Nebenhöhle, in der lediglich ein paar hinausführende Schienen zusehen sind (Abbildung 8).

Die erste Achterbahn beginnt mit einem Aufzug (siehe Abbildung 9 links) nachdem der Sitz gestartet ist. Der Sitz wird bis kurz vor der Abfahrt gezogen, von dort aus setzt dann die eigentliche Physik-Simulation ein. Die erste Achterbahnstrecke besitzt neben der anfänglichen Abfahrt, welche den Sitz beschleunigt, mehrere Kurven. Hierbei wird nur die Ge-

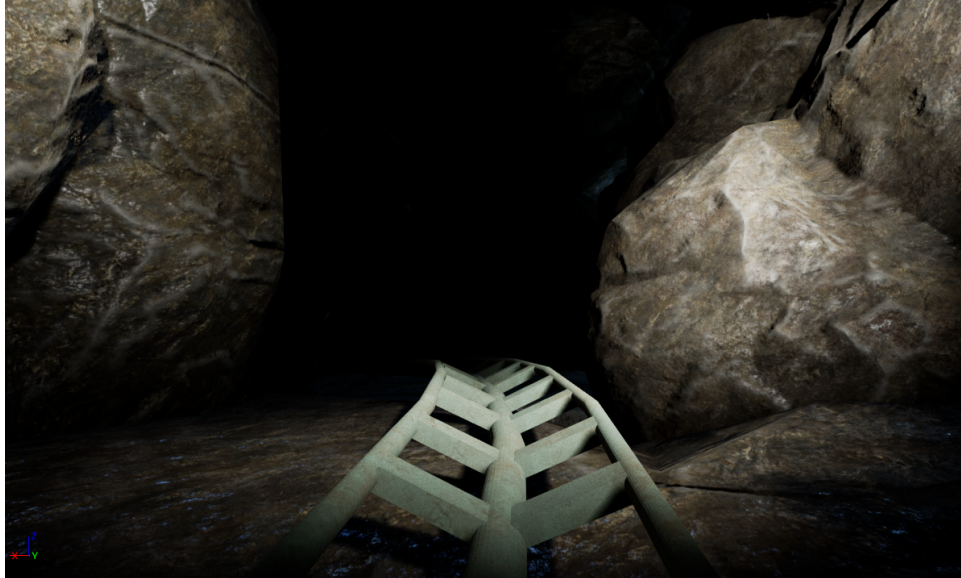


Abbildung 8: Aussicht beim zum Start der Achterbahn



Abbildung 9: Teile der ersten Achterbahnstrecke.



Abbildung 10: Stelle an welcher die Achterbahn über eine Kante springt



Abbildung 11: Blick auf den Höhlenkomplex der zweiten Achterbahnfahrt

schwindigkeit verwendet, die durch die Abfahrt am Anfang generiert wurde. Die Achterbahn endet mit einer Art Schaukelbewegung, bei der sie auf eine Schräge zufährt, aber nicht schnell genug ist diese zu überschreiten und dementsprechend zurück „rollt“.

Die zweite Achterbahn bedient sich im Vergleich zur ersten Achterbahn eines größeren Gebiets und mehreren Aufzügen. Diese Achterbahn beginnt ebenfalls mit einem Aufzug, der jedoch nur eine kleine Strecke überbrückt bevor sie in mehrere Kurven übergeht. Darauf folgt der erste größere Aufzug, der den Sitz in Kurvenbewegungen nach oben befördert und sich dabei sehr nah an Objekten der Umgebung bewegt. Der Aufzug endet damit, dass der Sitz auf eine Ende der Schiene hinzu fährt und über diese hinaus (Abbildung 10. Dieser Sprung wird über Verwendung mehrerer aufeinander folgenden Splines realisiert. Während des Sprungs ist kein Model(Schienen) des Splines zu sehen der Sitz behält während des Sprungs die Ausrichtung von vor dem Absprung bei. Der Sprung endet auf einem weiteren Spline, welcher wieder ein Model(Schienen) besitzt. Der Sitz fährt in einer Kurvenbewegung weiter bis er zu einer Stelle kommt an der er mehrere Balken durchbricht (Abbildung 6). Danach führt die Strecke in eine weitläufigere Umgebung, der Sitz wird zum letzten mal mithilfe eines Aufzugs nach oben gezogen. Es folgt eine sehr steile Abfahrt die auf das in Abbildung 11 gezeigte Konstrukt zuführt. Sobald die Schienen darüber hinweg führen fallen animierte Gesteinsbrocken von der Decke. Eine folgende längere Kurvenstrecke endet in einer Rückwärtsfahrt. Anschließend geht die Fahrt wieder in Blickrichtung weiter. Nach einer kurzen Strecke flogt erneut ein Sprung. Anschließend wird der Sitz soweit beschleunigt, dass er den in Abbildung 11 zu sehenden Looping durchfahren kann. Die Bahn endet wie bei der ersten Achterbahn mit einer Schaukelbewegung am Schluss, wobei kurz vorher noch einmal mehrere Balken durchbrochen werden

Eine Achterbahnfahrt mit Blick aus der starren Kamera wurde für beiden Achterbahnen auf YouTube hochgeladen die Links hierzu finden sich im Anhang A.2.

3.4 Schwierigkeiten und deren Lösung

Bei der Implementation waren drei wesentliche Herausforderungen zu bewältigen.

3.4.1 Physiksimulation

Die Unreal-Engine verfügt über eine eigene Physik-Engine. Es war zunächst naheliegend diese Engine auch für die Umsetzung der Achterbahn zu nutzen. Das Problem hierbei ist jedoch das die grundlegende Physik welche sich mit Unreal einfach umsetzen lässt zwar grundlegende Dinge wie Gewichtskraft und Kollisionen zwischen Objekten enthält. So lässt sich für jedes Objekt eine Masse definieren, die Gewichtskraft setzen und weiteres, jedoch war es bei der Auseinandersetzung nicht möglich ein Objekt über die Physik-Engine auf einem vorgegebenen Pfad zu halten, möglich wäre dies vielleicht mit einer passenden Umsetzung von einem echten Achterbahnwagen welcher durch umschließen einer Schiene für den Halt auf dieser sorgt, was jedoch sehr umständlich wäre und erfahrungsgemäß auch zu vielen Fehlern führen kann da bewegliche Objekte welche frei Simuliert werden bei anderen durchgeführten Projekten schon zu Fehlern (Bugs) geführt haben. Durch die Aufgezählten Problematiken wurde von der Benutzung der internen Physik-Engine für den Achterbahnwagen abgesehen.

Die nächste Überlegung war, selbst Kräfte welche auf die Achterbahn wirken zu simulieren, jedoch führt dies zu einem ähnlichen Problem wie die Verwendung Unreal Physik-Engine, dem Problem das nicht garantiert wird das die Achterbahn ihre Strecke hält. Da es jedoch für die Achterbahn in dieser Arbeit nicht ausschlaggebend ist, dass sie sich auf eine korrekte Simulation des Zusammenspiels von Wagen und Schiene bezieht, sondern nur drauf aus ist ein korrektes Geschwindigkeitsgefühl auf der Bahn zu erzeugen wurde auch unter der selben Prämisse wie bei der Nutzung der Unreal internen Physik von dieser Umsetzung abgesehen.

Durch die Verwendung von Splines und deren Funktionalitäten wurde dann die in Kapitel aufgezeigte Physik für die Kräfte auf einem Pfad für den Gebrauch im 3-Dimensionalen Raum erweitert. Da sich eine Achterbahn im Normalfall auf ihren Schienen bewegt führte dies zum erwünschten Ergebnis. Für Situationen wie Sprünge an welchem die Bahn die Strecke verlässt, müssen mit dieser Umsetzung jedoch „Tricks“ angewendet werden um diese vorzutäuschen.

3.4.2 Rotation

Eine andere Schwierigkeit, welche sich bei der Implementation herausstellte, war, dass sich die Rotation von Spline Punkten im Zusammenhang mit Spline-Mesh-Components in Unreal nur in zwei von drei Richtungen wie erwartet verhält. So wird die Rotation in Z(yaw) und Y(pitch) Richtung wie erwartet ausgeführt (dies sind die Richtungen, in welche sich die bei Veränderung die Richtung der Tangente in den Spline-Punkt verändert). Bei der

Rotation in X(roll) Richtung (Rotation um die Tangent) kommt es jedoch bei den mit dem Spline verbundenen Spline-Mesh-Components zu einer Überrotation. So wickelt eine minimale Rotation in X Richtung das Model welches auf den Spline gerendert wird mehrere Male um den Spline. Der Achterbahnsitz welcher sich auch an der Rotation des Splines orientiert verhält sich jedoch normal. Das Problem, der Überrotation des Models wurde dadurch gelöst, dass innerhalb der Spline Blueprint an der Stelle, an welcher die Spline-Mesh-Components zwischen den Spline Punkten erzeugt werden, die Rotation der Spline-Mesh-Components in X Richtung angepasst wurde. Dies geschah durch dividieren mit einem festen Wert welcher durch eigenständiges testen ermittelt wurde.

3.4.3 Erstellung

Als zusätzliche Schwierigkeit hat sich herausgestellt, dass die Rotation in den Kurven von Hand eingestellt werden muss. Die Streckenführung lässt sich zwar anhand des verwendeten Models, welches auf dem Spline liegt, sehen, jedoch ist dadurch noch nicht gegeben, dass sich dies auch gut innerhalb der Simulation für den Nutzer anfühlt. Da dies nur durch Testen der Bahn überprüft werden konnte, war ein weiteres Problem jenes, dass die Bahn jedes mal bis zu dieser Stelle simuliert werden musste. Falls an einem anderen Punkt angesetzt wurde, durchfuhr die Achterbahn meist den zu betrachtenden Punkt nicht mit der gleichen Geschwindigkeit wie bei Simulation von Beginn der Strecke. Dies führt dazu, dass Stellen, welche relativ spät in der Achterbahn waren, schwerer zu modellieren ließen.

4 Methoden

4.1 Wie wird Immersion erzeugt?

Immersion eine bestimmte Art von Beteiligung an einer Virtuellen Umgebung (siehe Kapitel 2.3). Hierfür wird ausschließlich das Steuermedium des VR-Headsets verwendet, um die Steuerung möglichst simpel und intuitiv zu halten. Dies bietet den Vorteil, dass sich der Nutzer nur wenig mit der Steuerung beschäftigen muss und so seine komplette Aufmerksamkeit dem Geschehen in der Virtuellen Realität widmen kann. Es wird davon ausgegangen, dass sich alle Nutzer etwas unter einer Achterbahn vorstellen können. Besonders Nutzer, welche bereits eine Achterbahn gefahren sind, bringen so gewisse Erwartungen an bestimmte Stellen der Achterbahn mit. Wenn diese Stellen nun der Erwartung relativ nahe kommen, ist die Wahrscheinlichkeit hoch, dass sich an diesen Stellen auch Immersion, das „Gefühl vom Sein“ in der Umgebung, einstellt. Bei einer Achterbahn sind dies Kurven, Beschleunigung, steile Abfahrten und der Moment, wenn der Wagen über die Kante kippt. Eine weitere Annahme ist, dass Situationen, welche nicht real erlebt werden können, auch Immersion erzeugen. Der Moment, wenn ein Wagen auf eine Klippe oder ein Hindernis zufährt, sollte in der Theorie ebenso eine (möglicherweise unwohle) Erwartung beim Nutzer auslösen. Zudem wird darauf geachtet, dass das Bild für den Nutzer möglichst nah an dem ist, was auch in der Realität zu erwarten wäre. Die Physik sollte sich so verhalten, wie der Nutzer es erwartet. Durch die sitzende Position soll zusätzlich auch der Körper in eine Haltung gebracht werden, wie man es aus einer Achterbahn kennt. All dies soll dahinführen, dass der Nutzer während der Fahrt das Bewusstsein über die reale Welt um sich herum verliert und sich in die gezeigte Umgebung hinein versetzt.

4.2 Fragebogen

Zur Messung des Immersionserlebens haben Jannett et al. einen Fragebogen entwickelt, bei dem die Probanden zu 32 Aussagen auf einer 5-stufigen Skala angeben sollten, wie sehr sie diesen Aussagen jeweils zustimmten. Von diesem englischsprachigen Fragebogen ausgehend wurde der in dieser Arbeit verwendete Fragebogen zur Erfassung der Immersion entwickelt. Er besteht aus 16 Aussagen zum Immersionserleben mit 5-stufiger Antwortskala und vorgegebenen Ankern für die beiden Pole der Skala, z. B.: „Ich konnte mich gut in die gezeigte Umgebung einfinden“ mit den Ankern „Ja, sehr gut“ und „Nein, überhaupt nicht“ oder „Mir war zu jedem Zeitpunkt bewusst, dass ich eine VR Brille trage“ mit den Ankern „Ja, ich war mir zu jedem Zeitpunkt vollkommen im klaren das ich eine VR Brille aufgesetzt hatte“ und „Nein, während der Ereignisse in der Virtuellen Rea-

lität konnte ich dies vergessen“.

Der Anker im Sinne des Fehlens von Immersion wird mit 0, derjenige im Sinne maximaler Immersion mit 4 kodiert. Den Zwischenstufen werden die Werte 1, 2 und 3 zugewiesen. Als Maß für das Immersionserleben wird ein Immersions-Score definiert als Summe der Zustimmungswerte zu den einzelnen Aussagen, was in einer theoretischen Spannweite von 0 (maximale Ablehnung bei allen Items) bis 64 (maximale Zustimmung bei allen Items) resultiert. Je höher dieser Score, desto höher das Immersionserleben.

Um einer möglichen Ja- bzw. Nein-Sage-Tendenz entgegen zu wirken, werden die Items für die Darbietung unterschiedlich gepolt. Die Polung der Items im Fragebogen wurde per Münzwurf festgelegt.

Als Globaleinschätzung der Immersion dient die Frage: „Wie Immersiv würdest du dein Erlebnis beschreiben?“, die auf einer 10-stufigen Antwortskala mit den Ankern „nicht immersiv (hat mich vollkommen kalt gelassen)“, kodiert mit 1, und „vollkommen immersiv (ich war komplett in der dargestellten Welt abgetaucht)“, kodiert mit 10, beantwortet wird.

Zusätzliche offene Fragen zu jeder der beiden Achterbahnfahrten einzeln sowie im Vergleich sollen Hinweise auf mögliche Probleme oder Optimierungsmöglichkeiten liefern.

Alle Items des Fragebogens sind im Anhang A.1 dokumentiert. Er wird am Bildschirm dargeboten und kann per Eingabe mittels Tastatur am PC bearbeitet werden. Hierfür wird das Programm grafstat¹⁷ verwendet.

4.3 Versuchsaufbau

Für den Versuch wurde ein Raum vorbereitet, in dem auf dem Boden der Bereich markiert wurde, in dem sich der Stuhl, auf welchem die Probanden während des Tests Platz nehmen, befinden sollte. Hiermit soll das ordnungsgemäße funktionieren des verwendeten HTC-Vive Headset sicher gestellt werden. Das verwendete HTC Vive System ortet das zugehörige Headset über zwei Basisstationen (sogenannte Lighthouses). Sollte während der Simulation der Sichtkontakt von den Basisstationen zum VR-Headset unterbrochen werden, schlägt das akkurate Tracking¹⁸ fehl und führt zu gravierenden Störungen in der Darstellung der Simulation. Alle Tests wurden mit dem gleichen Equipment durchgeführt: ein Stuhl welcher während der Achterbahnsimulation als Sitz fungiert, ein für VR ausgestatteter

¹⁷<https://www.grafstat.de/index.php>

¹⁸Identifikation der Position im Raum

Rechner, das HTC Vive VR-Headset¹⁹ mit zugehörigen Lighthouses und ein Notebook zum Bearbeiten des Fragebogens.

4.4 Durchführung

Für die Durchführung wurden mehrere Testpersonen rekrutiert. Bei der Begrüßung wurden die Teilnehmer über die Studie informiert. Ihnen wurde mitgeteilt, dass sie nacheinander zwei Achterbahnen fahren werden und dass es sich bei der ersten Fahrt um eine Achterbahn handelt, welche sich mehr an einer realen Achterbahn orientieren, mit Kurven und Beschleunigung, und dass es sich bei der zweiten Achterbahn um eine Fahrt handelt, bei der Situationen zustande kommen werden, welche so nicht in einer realen Achterbahn auftreten werden, darunter Sprünge und Kollisionen. Den Probanden wurde darüber aufgeklärt, dass sie nach jeder Fahrt einen Fragebogen ausfüllen sollten, welcher ihre Erfahrungen mit der zuvor gefahrenen Achterbahn evaluiert. Sie wurden zudem vor jeder Fahrt darauf hingewiesen, dass, falls sie es für nötig hielten, die Fahrt zu jedem Zeitpunkt abgebrochen werden kann. Nach der Einführung wurden die Probanden gebeten, auf dem für den Test vorgesehenen Stuhl Platz zu nehmen. Anschließend wurden sie in die Nutzung des HTC Vive VR-Headsets eingewiesen und in die Ausgangsposition für den Start der Achterbahn gebracht. Die Achterbahn wurde nach Absprache mit dem Teilnehmer gestartet. Nach Ende der Fahrt wurde dem Probanden das VR-Headset abgenommen und er wurde gebeten, den vorbereiteten Fragebogen auszufüllen. Fragen bezüglich des Fragebogens wurden bei Bedarf beantwortet. Nach Abschluss des Fragebogens wurde dieser gespeichert und der Tester gebeten für die zweite Achterbahnfahrt Platz zu nehmen. Der Proband wurde ein weiteres Mal darauf hingewiesen, dass er die Simulation zu jedem Zeitpunkt abbrechen darf. Der Start erfolgte wiederum nach Absprache. Nach Abschluss der zweiten Achterbahn wurde der Teilnehmer gebeten, den zweiten Fragebogen auszufüllen, zudem wurde er darauf hingewiesen, dass sich am Ende der Befragung Fragen zu beiden Achterbahnen befinden. Nach dem Beenden des zweiten Fragebogens erfolgte ein kurzer Austausch mit dem Probanden über seine Meinung zu den Achterbahnen. Abschließend wurde sich für die Teilnahme bedankt.

4.5 Stichprobenbeschreibung

Insgesamt haben 11 Personen an der Studie teilgenommen. 4 weibliche und 7 männliche Personen. Die Teilnehmer waren überwiegend zwischen 21 und 26 Jahre alt und hatten nur wenig bis gar keine Vorerfahrung mit VR. Manche Probanden gaben an, in ihrer Freizeit gerne Achterbahn zu fahren,

¹⁹<https://www.vive.com/de/product/#vive-spec>

andere gaben an nur wenig oder gar keine Achterbahn zu fahren. Die erste Achterbahnfahrt diente dazu die Teilnehmer mit VR vertraut zu machen.

5 Ergebnisse

5.1 Erste Achterbahnstrecke

Die erste Achterbahnstrecke wurde mit einem durchschnittlichen Immersions-Score von 43,92 (Median 47) bewertet. Die offene Frage danach, welche Stellen besonders aufgefallen sind, wurde mehrfach das Gefühl „in der dargestellten Welt zu sein“ bezogen auf die Stelle kurz vor Beginn der steilen Abfahrt, genannt. Mehrere Probanden hoben Passagen hervor, an welchen Töne zu hören waren. Ebenso wurde die kurze Rückwärtsfahrt am Ende der Achterbahnsimulation als besonders immersiv hervorgehoben. Demgegenüber wurde bemängelt, dass das Durchfahren von Kurven als zu schnell erlebt wurde und damit die Immersion störte.

Die Globaleinschätzung der Immersion wurde durchschnittlich mit 7,18 auf der 10er-Skala bewertet.

Rückblickend auf die erste Achterbahnfahrt nach Bewältigen der zweiten, stimmen die Probanden ihrer ersten Einschätzung der Immersion (Wert von 1 bis 10) immer noch zu, einige bewerteten sie sogar noch höher.

5.2 Zweite Achterbahnstrecke

Die zweite Achterbahnstrecke erzielte einen durchschnittlichen Immersions-Score von 46,63 (Median 52).

In den Anmerkungen wurden die Sprünge und das Durchbrechen der Hindernisse auf der Strecke von manchen Teilnehmern als „aus der Umgebung herausgerissen werden“ beschrieben. Als besonders positiv für die Immersion wurden Abschnitte bezeichnet, bei denen die Möglichkeit bestand, sich in der Umgebung umzuschauen. Ebenfalls wie in der ersten Achterbahn wurden Ton und der Moment vor rasanten Abfahrten als immersionsfördernd hervorgehoben.

Die Globaleinschätzung der Immersion wurde durchschnittlich mit 7,73 auf der 10er-Skala bewertet.

Immersion-Score	Achterbahn 1	Achterbahn 2
Median	47	52
Mittelwert	43,92	46,63
Globaleinschätzung		
Median	7	7
Mittelwert	7,18	7,73

Tabelle 1: Median und Mittelwert des Immersion-Score und der Globaleinschätzung, (n=11)

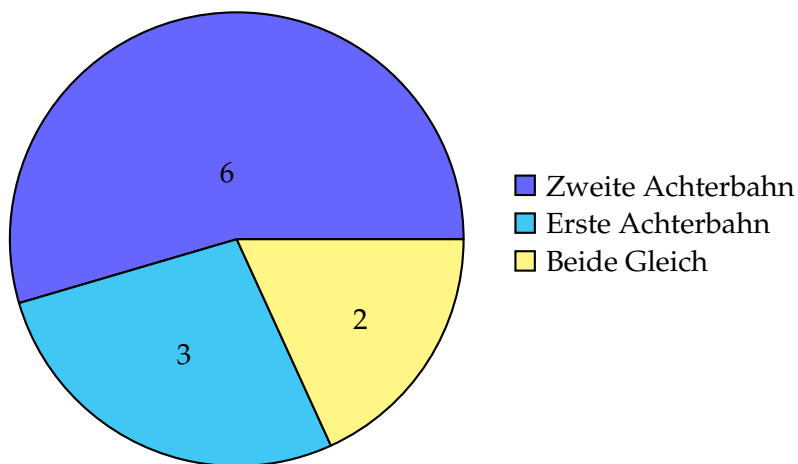


Abbildung 12: Bei welcher Achterbahn hattest du mehr das Gefühl im Geschehen zu sein?

5.3 Gegenüberstellung der Achterbahnstrecken

Sowohl Immersion-Score wie auch Globaleinschätzung fallen bei der zweiten Achterbahn höher aus (siehe 1).

Bei der Frage nach den Hauptunterschieden zwischen den Achterbahnen wurden vor allem die besondere Situationen der zweiten Achterbahn genannt: der Sprung/ freie Fall, das Durchbrechen einer Holzwand und die rasantere Fahrt.

Die Mehrzahl der Teilnehmer berichteten für die zweite Achterbahn ein höheres immersives Erlebnis, siehe Diagramm 12.

5.4 Interpretation der Ergebnisse / Diskussion

Lässt sich eine Immersive Virtual-Reality-Achterbahnfahrt, ohne haptisches Feedback und nur minimaler Audiospur realisieren? Diese Frage kann bejaht werden. Bei beiden Achterbahnen berichteten die Probanden, dass sie sich in die Virtuelle Realität einfinden und auch zum Teil in diese „abtauchen“ konnten. Das grundlegende Konzept der Simulation einer Achterbahn ist hinreichend, um bei den meisten Nutzern Immersion hervorzurufen.

Erzielt eine Achterbahn mit extremeren Situationen ein höheres Immersionserlebnis? Diese Frage kann nicht eindeutig beantwortet werden. Auch wenn der Immersions-Score bei der zweiten Achterbahnfahrt höher ist als bei der ersten (vergleiche Tabelle1), kann daraus nicht geschlossen werden, dass sie bei allen Probanden ein höheres Immersionserlebnis erzeugt hat. Dieses wird aus den Antworten zu den offenen Fragen ersichtlich. Manche Probanden empfanden die erste Achterbahn als immersiver (siehe Abbildung 12). Sie fühlten sich durch die extremeren Situationen wie Sprüngen oder dem Durchbrechen von Objekten innerhalb der zweiten Achterbahn aus der Umgebung „herausgerissen“. Dies spricht nicht dafür, dass solche Situationen nicht immersiv sein können, möglicherweise war die Umsetzung nicht optimal. So bemängelten einige Probanden das fehlende Feedback beim Durchfahren von Hindernissen. Andererseits könnte die fehlende Erfahrung über eine solche Situation in der Realität dafür gesorgt haben, dass falsch, zu hohe oder keine Erwartungen mit der Situation einher gingen. Im Vergleich dazu hat jene Situation, direkt vor der Abfahrt, bei den meisten Probanden ein starkes Immersionserlebnis hervorgerufen. Das kann darauf beruhen, dass die meisten Nutzer bereits reale Achterbahnfahrten absolviert und eine damit einhergehende Erwartung an die Situation hatten.

Ein weiterer Grund dafür das keine hinreichende Aussage zu der Frage getroffen werden kann, liegt an der Aussage vieler Probanden, dass längere Strecken bei denen der Achterbahnsitz nach oben gezogen wurde, für sie besonders immersiv waren. Sie begründen dies damit, dass sie sich dort in der Welt besser umsehen und sich dadurch in der Umgebung besser einfinden konnten. Da dies mit großer Wahrscheinlichkeit auch in die Bewertung der Achterbahn mit eingeflossen ist, kann nicht unterschieden werden, ob die erhöhte Immersion damit zusammen hängt, dass mehr extreme Situationen vorhanden waren oder aber mit der Tatsache, dass den Probanden mehr Zeit zum Umschauen gelassen wurde. Somit kann nicht ausgeschlossen werden, dass die erste Achterbahn, falls sie mehr langsame Abschnitte beinhaltet hätte, nicht genau so gut oder besser hätte abschneiden können. Zumal der ermittelte Unterschied im Immersions-Score zwischen den Ach-

terbahnen sehr gering ist. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass extreme Situationen die Immersion verstärken. Einige Probanden haben angegeben, dass sie durch die erhöhte Geschwindigkeit und Situationen wie längere Rückwärtsfahrten, besonders in das Geschehen „hinein gezogen“ wurden.

Allgemein lässt sich sagen, dass beide Achterbahnen für die meisten Probanden ein immersives Erlebnis dargestellt haben. Zwar bemängelten einige Probanden das fehlen von Geräuschen oder das Gefühl in den Sitz gedrückt werden. Aber im allgemeinen fällt die Bewertung durchaus positiv aus. Es gab keine Probanden die ihre Immersion als nicht vorhanden eingeschätzt hätten. Vieles spricht auch dafür, dass jeder Teilnehmer eine eigene Auffassung von Immersion hat. Dies wird vor allem in den durchmischten Antworten auf die Frage deutlich, in welcher Achterbahn sich die Probanden mehr im Geschehen gefühlt haben. So zeigt sich, dass Probanden welche bei der zweiten Achterbahnfahrt mehr im Geschehen waren, meist auch hohe Geschwindigkeiten und unvorhersehbare Stellen als besonders spannend in ihren Antworten beschrieben. So lässt sich die Vermutung anstellen, dass Personen, welche gerne schnelle Achterbahnen fahren, auch in einer Simulation einer solchen mehr dazu neigen, sich einfacher dort einzufinden. Die meisten Teilnehmer hatten kaum oder keine Erfahrungen mit VR mitgebracht und für viele war es das erste mal ein VR-Headset aufzusetzen. Daher kann nicht ausgeschlossen werden, dass sich bei einem Versuch mit Probanden, welche regelmäßig Umgang mit VR pflegen, nicht ein komplett anderer Immersions-Score ergeben hätte. Unter anderem deswegen, da solche Probanden das Umschauen in VR gewöhnt sind und möglicherweise dies nicht als besonders immersiv beschrieben hätten.

6 Ausblick

Die Ergebnisse haben gezeigt, dass es möglich ist, ein immersives Erleben mit einer Achterbahn Simulation ohne haptischem Feedback und lediglich geringem auditiven Input zu erzeugen. Alle Probanden berichteten von einem mehr oder weniger intensiven Eingebunden-sein in die Virtuelle Realität. Einige Probanden berichteten, dass sich die Simulation teilweise so real anfühlte, als wären sie tatsächlich in einer Achterbahn unterwegs. Es zeigte sich, dass Orte an denen Ton vorhanden war, meist als immersiver beschrieben wurden. Unter Berücksichtigung dieser Beobachtung sollte bei einer Wiederholung der Studie in Betracht gezogen werden, mehr Ton zu verwenden. Vor allem der typische Sound einer Achterbahn auf Schienen, das Getriebe welches die Achterbahnen hochzieht sowie eine Verzerrung durch Wind oder Geschwindigkeit könnten sich als stark immersionsfördernd herausstellen. Abbrechender Ton oder Splittergeräusche könnten Situationen wie Sprünge oder durchbrochene Objekte untermale. Dies könnte dem von Nutzern beschriebenen Phänomen der Realitätsferne und Unbekanntheit entgegenwirken. In einer weiteren Studie könnte auch überprüft werden, ob auch geringes haptisches Feedback zu einer gesteigerten Immersion führt. So könnten zum Beispiel die HTC Vive Hand-Controller, welche eine „rumble“ Funktion beinhalten verwendet werden, um dann an bestimmten Stellen zu vibrieren. Die genannten Optionen wären alle mit dem von dieser Studie verwendeten Equipment möglich.

Eine weitere Untersuchung die daraufhin angelegt werden kann könnte beinhalten, dass sich die Achterbahnen kaum oder nur in bestimmten Stellen unterscheiden. In der vorliegenden Arbeit konnte keine Aussage zur Steigerung der Immersion bei extremeren Stellen machen. Zwar war ein Unterschied erkennbar, jedoch unterschieden sich die Achterbahnen stark durch eine andere Streckenführung, die Fahrdauer und die Möglichkeiten sich umzuschauen. So könnte bei Folge Versuchen im einzelnen getestet werden ob eine Strecke, welche viel Zeit zum Umschauen und Betrachten lässt, immersiver ist als eine Strecke, welche dies nicht beinhaltet.

Der Versuchs-Durchführende verfolgte bei allen Probanden deren Achterbahnfahrten auf dem Bildschirm mit. Durch das regelmäßige Betrachten fielen im Laufe der Versuchsdurchführungen Stellen auf, welche nicht so flüssig wie beabsichtigt waren, sowie Abschnitte in der Streckenführung mit unharmonischen Bewegungen. In anderen Bereichen war der Kurvenverlauf zu scharf. Manche Abschnitte wurden von den Probanden nicht so empfunden wie sie bei der Simulation beabsichtigt waren. Hier wurde vor allem der Übergang in die längere Rückwärtsfahrt bei der zweiten Achterbahn genannt. Bei weiteren Untersuchungen mit den hier verwendeten Achterbahnen bestehen in dieser Hinsicht Verbesserungsmöglichkeiten.

A Anhang

A.1 Fragebogen

Grundauswertung Teil 1 der Befragung: achterbahn1

1) Ich konnte mich gut in die gezeigte Umgebung einfinden.

(63,64%)	Ja, sehr gut	7
(27,27%)		3
(9,09%)		1
(0,00%)		0
(0,00%)	Nein, überhaupt nicht	0
<hr/>		
	Summe	11
	ohne Antwort	0
	Mittelwert	4,55
	Median	5

2) Ich war gespannt was als nächstes passieren wird.

(45,45%)	Ja, immer	5
(45,45%)		5
(9,09%)		1
(0,00%)		0
(0,00%)	Nein, zu keinem Zeitpunkt	0
<hr/>		
	Summe	11
	ohne Antwort	0
	Mittelwert	4,36
	Median	4

3) An manchen Punkten war ich so gefesselt, dass ich auf die Situation im Spiel direkt reagieren wollte.

(18,18%)	Ich stimme nicht zu	2
(36,36%)		4
(27,27%)		3
(9,09%)		1
(9,09%)	Ich stimme zu	1
<hr/>		
	Summe	11

ohne Antwort	0
Mittelwert	2,55
Median	2

4) Mir hat die Grafik gefallen

(9,09%)	Ich stimme nicht zu	1
(9,09%)		1
(9,09%)		1
(9,09%)		1
(63,64%)	Ich stimme zu	7
<hr/>		
	Summe	11
	ohne Antwort	0
	Mittelwert	4,09
	Median	5

5) Mir hat die Achterbahnfahrt gefallen.

(36,36%)	Ich stimme zu	4
(36,36%)		4
(27,27%)		3
(0,00%)		0
(0,00%)	Ich stimme nicht zu	0
<hr/>		
	Summe	11
	ohne Antwort	0
	Mittelwert	4,09
	Median	4

6) Ich bin mit dem umschauen in der VR gut zurecht gekommen.

(0,00%)	Nein, ich bin damit überhaupt nicht zurecht gekommen	0
(0,00%)		0
(0,00%)		0
(0,00%)		3
(27,27%)		3
(72,73%)	Ja, es war kein Problem	8
<hr/>		
	Summe	11

ohne Antwort	0
Mittelwert	4,73
Median	5

7) Mir war zu jedem Zeitpunkt bewusst, dass ich eine VR Brille trage

Ja, ich war mir zu jedem Zeitpunkt vollkommen im klaren das ich eine VR Brille aufgesetzt hatte. 3

(27,27%)

3

(27,27%)

3

(27,27%)

2

(18,18%)

Nein, während der Ereignisse in der Virtuellen Realität konnte ich dies Vergessen 0

(0,00%)

Summe	11
ohne Antwort	0
Mittelwert	3,64
Median	4

8) Die Achterbahn hat sich während der Fahrt so verhalten wie ich es erwartet habe.

Ja, alle Situationen waren vorhersehbar 1
(9,09%)

5

(45,45%)

2

(18,18%)

1

(9,09%)

Nein, nichts hat sich so verhalten wie ich es erwartet habe 2
(18,18%)

Summe	11
ohne Antwort	0
Mittelwert	3,18
Median	4

9) Die Achterbahnfahrt hat sich echt angefühlt.

ich stimme nicht zu, es hat sich überhaupt nicht echt angefühlt 0
(0,00%)

1

(9,09%)

4

(36,36%)

4

(36,36%)

Ja, ich habe mich gefühlt wie in einer echten Achterbahn 2
(18,18%)

	Summe	11
	ohne Antwort	0
	Mittelwert	3,64
	Median	4

10) Ich war mir während der Fahrt immer bewusst was in der Realität um mich herum geschieht.

	Ich stimme nicht zu	4
(36,36%)		
		4
(36,36%)		
		3
(27,27%)		
		0
(0,00%)		
	Ich stimme zu	0
(0,00%)		

	Summe	11
	ohne Antwort	0
	Mittelwert	1,91
	Median	2

11) Ich habe mich abgekapselt von der Echten Welt gefühlt.

	Ich stimme zu	2
(18,18%)		
		7
(63,64%)		
		1
(9,09%)		
		1
(9,09%)		
	Ich stimme nicht zu	0
(0,00%)		

	Summe	11
	ohne Antwort	0
	Mittelwert	3,91
	Median	4

12) Ich habe während der Achterbahnfahrt ein Gefühl von Übelkeit und/oder Schwindel gespürt.

	Das Gefühl war sehr stark	0
(0,00%)		
		3
(27,27%)		
		0
(0,00%)		
		3
(27,27%)		

(45,45%)	Ich hatte kein solches Gefühl	5
<hr/>		
	Summe	11
	ohne Antwort	0
	Mittelwert	2,09
	Median	2

13) Alltägliche Gedanken und Sorgen waren auch während der Achterbahnfahrt präsent.

(72,73%)	Nein während der Fahrt konnte ich diese vergessen	8
(18,18%)		2
(9,09%)		1
(0,00%)		0
(0,00%)	Ja, die Fahrt hat mich davon nicht im geringsten abgelenkt	0
(0,00%)		0
<hr/>		
	Summe	11
	ohne Antwort	0
	Mittelwert	1,36
	Median	1

14) Ich hatte während der Fahrt das Bedürfnis die Brille abzunehmen um zusehen was um mich herum geschieht

(81,82%)	Ich stimme nicht zu	9
(9,09%)		1
(0,00%)		0
(0,00%)		0
(9,09%)	Ich stimme zu	1
<hr/>		
	Summe	11
	ohne Antwort	0
	Mittelwert	1,45
	Median	1

15) Ich habe mich zum Zeitpunkt der Achterbahnfahrt gefühlt als wäre ich in der dargestellten Welt.

(9,09%)	Ich stimme nicht zu	1
(9,09%)		1
(9,09%)		1

(9,09%)		6
(54,55%)		
(18,18%)	Ich stimme zu	2
<hr/>		
	Summe	11
	ohne Antwort	0
	Mittelwert	3,64
	Median	4

16) Die Achterbahnfahrt ging für mich wie im Flug vorbei.

	Ich stimme zu	9
(81,82%)		0
(0,00%)		1
(9,09%)		0
(0,00%)		1
(9,09%)	Ich stimme nicht zu	1
<hr/>		
	Summe	11
	ohne Antwort	0
	Mittelwert	4,45
	Median	5

17) Wie Immersiv würdest du dein Erlebnis beschreiben?

	nicht immersiv (hat mich vollkommen kalt gelassen)	0
(0,00%)		0
(0,00%)		0
(0,00%)		1
(9,09%)		1
(9,09%)		1
(9,09%)		3
(27,27%)		3
(27,27%)		1
(9,09%	vollkommen Immersiv (Ich war komplett in der dargestellt Welt abgetaucht)	1
(9,09%)		
<hr/>		
	Summe	11

ohne Antwort	0
Mittelwert	7,18
Median	7

18) Gab es Stellen an denen du sagen würdest das du mehr oder weniger in der Welt abgetaucht warst? Welche Stellen waren dies? Beschreibe warum du glaubst an diesen Stellen mehr oder weniger Abgetaucht gewesen zu sein?

<1/1> Am Ende die kleine Rückwärtsfahrt hat sich irgendwie realer angefühlt. (Keine Ahnung wieso)

<2/2> Der Teil in der die Achterbahn rückwärts fährt, löste ein sehr realitätsnahes Gefühl aus, dadurch war dies ein Zeitpunkt in dem ich vollkommen in der Welt abgetaucht war.

<3/3> am Anfang hat es ein paar sekunden gedauert bis ich mich einfühlte konnte, aber danach war ich, auch durch zutun der Musik, in der Achterbahn drin.

dies hat damit zutun, dass ich am Anfang mir noch mehr die Grafik der Umgebung angeschaut habe bevor ich mich vollends auf die Fahrt konzentrieren konnte.

war an dem Punkt vorbei als die Abfahrt begann.

<4/4> nach einer gewissen Zeit, habe ich mich mehr auf die Virtuellewelt eingelassen und so auch mehr abtauchen. Anfängliches zögern war dann vorbei.

<5/5> am anfang als es das erste mal runter ging

am ende vor dem stopp beim anblick der endenden bahn

<6/6> Stellen mit Ton fühlen sich tiefer an

<7/7> - an Stellen an denen die Geschwindigkeit höher war, war ich mehr in der Welt abgetaucht

- bei schnellem Richtungswechseln war ich mehr in der Welt abgetaucht

Grund: es gab mehr zu sehen, ich habe mich mehr konzentriert

<8/8> An den Stellen, an denen die Achterbahn eine steile Abfahrt hatte - wegen dem Adrenalin, dem Gefühl, welches bei dieser Senkrechten entstand...wie auch in der Realität bei einer Achterbahnfahrt.

<9/9> als es am Anfang runter ging, hat man sich mehr in der Welt gefühlt, da man am da noch nicht wirklich weiß was passiert und sich erst mal nur leiten lässt.

<10/10> Mehr wenn es bergab ging und schnell war, weniger bei kurven

mehr bei schnelligkeit weil man das gefühl aus vielen situationen im alltag kennt

weniger bei kurven weil das in dedr schnelligkeit im echten leben nicht so vorkommt

<11/11> Stellen, an denen die Achterbahn sehr ruckelig in der Kurve war, haben mir gezeigt, dass es doch nur eine Simulation ist

Die Geräusche verbunden mit den Bildern haben die Immersion verstärkt.

Gerade die Bewegung im Hintergrund (Wasserfall) hat dafür gesorgt, dass ich mehr in die Simulation eingestiegen bin

Grundauswertung Teil 1 der Befragung: achterbahn2

1) Ich konnte mich gut in die gezeigte Umgebung einfinden.

(54,55%)	Ja, sehr gut	6
(45,45%)		5
(0,00%)		0
(0,00%)		0
(0,00%)	Nein, überhaupt nicht	0
(0,00%)		0
<hr/>		
	Summe	11
	ohne Antwort	0
	Mittelwert	4,55
	Median	5

2) Ich war gespannt was als nächstes passieren wird.

(63,64%)	Ja, immer	7
(36,36%)		4
(0,00%)		0
(0,00%)		0
(0,00%)	Nein, zu keinem Zeitpunkt	0
(0,00%)		0
<hr/>		
	Summe	11
	ohne Antwort	0
	Mittelwert	4,64
	Median	5

3) An manchen Punkten war ich so gefesselt, dass ich auf die Situation im Spiel direkt reagieren wollte.

(27,27%)	Ich stimme nicht zu	3
(18,18%)		2
(0,00%)		0
(45,45%)		5
(9,09%)	Ich stimme zu	1
<hr/>		
	Summe	11

ohne Antwort	0
Mittelwert	2,91
Median	4

4) Mir hat die Grafik gefallen

	Ich stimme nicht zu	1
(9,09%)		
		2
(18,18%)		
		1
(9,09%)		
		2
(18,18%)		
	Ich stimme zu	5
(45,45%)		

Summe	11
ohne Antwort	0
Mittelwert	3,73
Median	4

5) Mir hat die Achterbahnfahrt gefallen.

	Ich stimme zu	7
(63,64%)		
		2
(18,18%)		
		0
(0,00%)		
		1
(9,09%)		
	Ich stimme nicht zu	1
(9,09%)		

Summe	11
ohne Antwort	0
Mittelwert	4,18
Median	5

6) Ich bin mit dem umschauen in der VR gut zurecht gekommen.

	Nein, ich bin damit überhaupt nicht zurecht gekommen	0
(0,00%)		
		0
(0,00%)		
		0
(0,00%)		
		1
(9,09%)		
	Ja, es war kein Problem	10
(90,91%)		

Summe	11
-------	----

ohne Antwort	0
Mittelwert	4,91
Median	5

7) Mir war zu jedem Zeitpunkt bewusst, dass ich eine VR Brille trage

Ja, ich war mir zu jedem Zeitpunkt vollkommen im klaren das ich eine VR Brille aufgesetzt hatte. 3

(27,27%)

3

(27,27%)

3

(27,27%)

2

(18,18%)

Nein, während der Ereignisse in der Virtuellen Realität konnte ich dies Vergessen 0

(0,00%)

Summe	11
ohne Antwort	0
Mittelwert	3,64
Median	4

8) Die Achterbahn hat sich während der Fahrt so verhalten wie ich es erwartet habe.

Ja, alle Situationen waren vorhersehbar 1
(9,09%)

2

(18,18%)

4

(36,36%)

2

(18,18%)

Nein, nichts hat sich so verhalten wie ich es erwartet habe 2
(18,18%)

Summe	11
ohne Antwort	0
Mittelwert	2,82
Median	3

9) Die Achterbahnfahrt hat sich echt angefühlt.

ich stimme nicht zu, es hat sich überhaupt nicht echt angefühlt 0
(0,00%)

3

(27,27%)

3

(27,27%)

3

(27,27%)

Ja, ich habe mich gefühlt wie in einer echten Achterbahn 2
(18,18%)

	Summe	11
	ohne Antwort	0
	Mittelwert	3,36
	Median	3

10) Ich war mir während der Fahrt immer bewusst was in der Realität um mich herum geschieht.

	Ich stimme nicht zu	6
(54,55%)		
		3
(27,27%)		
		1
(9,09%)		
		1
(9,09%)		
	Ich stimme zu	0
(0,00%)		

	Summe	11
	ohne Antwort	0
	Mittelwert	1,73
	Median	1

11) Ich habe mich abgekapselt von der Echten Welt gefühlt.

	Ich stimme zu	6
(54,55%)		
		3
(27,27%)		
		0
(0,00%)		
		2
(18,18%)		
	Ich stimme nicht zu	0
(0,00%)		

	Summe	11
	ohne Antwort	0
	Mittelwert	4,18
	Median	5

12) Ich habe während der Achterbahnfahrt ein Gefühl von Übelkeit und/oder Schwindel gespürt.

	Das Gefühl war sehr stark	3
(27,27%)		
		1
(9,09%)		
		2
(18,18%)		
		2
(18,18%)		

(27,27%)	Ich hatte kein solches Gefühl	3
<hr/>		
	Summe	11
	ohne Antwort	0
	Mittelwert	2,91
	Median	3

13) Alltägliche Gedanken und Sorgen waren auch während der Achterbahnfahrt präsent.

(63,64%)	Nein während der Fahrt konnte ich diese Vergessen	7
(18,18%)		2
(18,18%)		2
(0,00%)		0
(0,00%)	Ja, die Fahrt hat mich davon nicht im geringsten abgelenkt	0
<hr/>		
	Summe	11
	ohne Antwort	0
	Mittelwert	1,55
	Median	1

14) Ich hatte während der Fahrt das Bedürfnis die Brille abzunehmen um zusehen was um mich herum geschieht

(100,00%)	Ich stimme nicht zu	11
(0,00%)		0
(0,00%)		0
(0,00%)		0
(0,00%)		0
(0,00%)	Ich stimme zu	0
<hr/>		
	Summe	11
	ohne Antwort	0
	Mittelwert	1
	Median	1

15) Ich habe mich zum Zeitpunkt der Achterbahnfahrt gefühlt als wäre ich in der dargestellten Welt.

(0,00%)	Ich stimme nicht zu	0
(9,09%)		1
		0

(0,00%)		8
(72,73%)		
(18,18%)	Ich stimme zu	2
<hr/>		
	Summe	11
	ohne Antwort	0
	Mittelwert	4
	Median	4

16) Die Achterbahnfahrt ging für mich wie im Flug vorbei.

	Ich stimme zu	8
(72,73%)		1
(9,09%)		1
(9,09%)		0
(0,00%)		
(9,09%)	Ich stimme nicht zu	1
<hr/>		
	Summe	11
	ohne Antwort	0
	Mittelwert	4,36
	Median	5

17) Wie Immersiv würdest du dein Erlebnis beschreiben?

	nicht immersiv (hat mich vollkommen kalt gelassen)	0
(0,00%)		0
(0,00%)		0
(0,00%)		0
(0,00%)		0
(0,00%)		0
(0,00%)		1
(9,09%)		5
(45,45%)		2
(18,18%)		2
(18,18%)		2
(18,18%)	vollkommen Immersiv (Ich war komplett in der dargestellt Welt abgetaucht)	1
(9,09%)		
<hr/>		
	Summe	11

ohne Antwort	0
Mittelwert	7,73
Median	7

18) Gab es Stellen an denen du sagen würdest das du mehr oder weniger in der Welt abgetaucht warst? Welche Stellen waren dies? Beschreibe warum du glaubst an diesen Stellen mehr oder weniger Abgetaucht gewesen zu sein?

- <1/1> 1. Der erste Sprung war zu abgehackt, daher wurde die Immersion hier gebrochen.
 2. Ab und zu gab es kleinere Ruckler (aber nur minimaler Effekt)
 3. An den Stellen in denen man in die Holzbretter fährt, hatte man (zumindest meinem Gefühl nach) nicht genug Geschwindigkeit (ist schwierig zu erklären). Dadurch fühlten sie sich nicht so sehr nach einer Gefahr an
- <2/2> Stellen an denen die Achterbahn stark beschleunigt oder rückwärts fährt haben das Gefühl in der Welt zu sein verstärkt, da sich dort ein schwindlegefühl aufgebaut hat.
- <3/3> Im Vergleich zur ersten Fahrt war ich von Anfang an in der Welt drin, wurde allerdings an der Stelle bei der man gegen die Balken fährt wieder rausgerissen. Desweiteren zwischendurch ein paar mal an denen die Bahn sehr hackellick gefahren ist oder die Grafik durch die Geschwindigkeit nicht mit der Darstellung der Umgebung hinterher kam.
- <5/5> steile abfahrten
 stürze durch die luft
 langsames heranhfahren an stellen, wo nicht immer ganz klar war, wie es weiter geht
- <6/6> Durch den Ton und unvorhersehbare Dinge, taucht man tiefer ein.
- <7/7> - das ersten Bergabfahren war am schlimmsten
 - bei Situationen, die in der Realität auch passieren können, war ich mehr in der Welt abgetaucht, als zum Beispiel bei Sprüngen oder durch Holz fahren, an diesen Stellen war ich weniger in die Welt abgetaucht
- Grund: Stellen, die man aus der Realität kennt, wirken auch realer
- <8/8> Dadurch, dass an manchen Stellen die Fahrt langsam war, konnte ich mir die "Welt" genauer anschauen und mir sind viele Details aufgefallen, wie beispielsweise die große Kriegerinnen-Statue. Ich denke, dass einen diese Welt die einen gänzlich umgibt durch die langsamen Teile der Achterbahn viel bewusster wahrnimmt, da man sich zu diesem Zeitpunkt nicht so sehr darauf konzentriert, was bei der Achterbahn und deren Lauf als nächstes passiert...da man z.B. die gerade Strecke sehen und abschätzen konnte (durch die langsame Fahrt).
- <9/9> Bei den Stellen wo es etwas langsamer wurde war es einfacher in die VR Welt einzutauchen, da man sich etwas mehr umschauchen konnte und richtig erkennen konnte was um sich rum ist.
- Die "schnellen" Stellen haben sich dafür nicht so gut geeignet, da man immer sehr schnell schauen musste was als nächstes passiert, bzw. die Umgebung sehr schnell gewechselt hat.
- <10/10> Mehr wieder bei Schnelligkeit, wegen Erfahrung aus echtem leben
 Weniger bei Strecke nach erstem Sprung, weil ziemlich unreal
- <11/11> Gerade Möglichkeiten, in denen die Umgebung noch genauer betrachtet werden konnten, haben das "Abgetauchtsein" verstärkt

19) Wo war für dich der Hauptunterschied bei den zwei Achterbahnen?

- <1/1> Die Zweite Achterbahn war länger, schneller und hatte mehr "interessante" Stellen, sowohl in der Streckenführung als auch beim Erkunden(umsehen).
- <2/2> Die zweite Achterbahn fährt rasanter, schneller und mit mehr extremen Fahrverhalten. Zudem kamen untypische Situationen hinzu, wie das Durchbrechen einer Holzwand oder einem Sprung durch freie oder ein freier Fall.
- <3/3> Die unerwarteten Elemente wie das Fallen oder die Balken die die Strecke blockiert haben.
- Außerdem der nicht reibungslose Ablauf der Bahnfahrt. In der ersten Fahrt ist die Achterbahn

ruhiger und nicht so abgehackt gefahren.

<4/4> bei der zweiten Fahrt, war ich viel entspannter und meine Erwartungshaltung war höher, daher hat mich die erste Fahrt wohl mehr beeindruckt und begeistert.

<5/5> unvorhersehbarkeit bei manchen stellen

steilere strecken, looping, stürze

schnellere kurven

<6/6> Das unvorhergesehene (Sprünge / Wände / Rückwärts)

<7/7> - in der Länge der Achterbahnen

- bei der ersten Achterbahn war die Fahrt vorbei, bevor ich damit gerechnet hatte

- bei der zweiten Achterbahn wollte ich, dass die Fahrt vorbei ist, aber sie ging immer weiter

<8/8> Die Umsetzung und die Spannung: Die erste Fahrt war wesentlich realer (Tempo hat sich dem Streckenverlauf angepasst, keine unerwarteten Wendungen oder Hindernisse) und könnte so auch existieren, war aber doch vorhersehbarer als die zweite Fahrt. Die zweite Fahrt war somit überraschender, aber ist für die Realität nicht umzusetzen.

<9/9> - Geschwindigkeit

- in der zweiten Achterbahn gab es mehr Elemente die man beobachten konnte/mehr ins Detail gegangen/mehr extras

<10/10> 2te war intensiver, mehr krasse situationen

<11/11> Die zweite Fahrt war vom Gefühl her schneller und hat Elemente in einer Anzahl beinhaltet, wie sie, zumindest aktuell, keine andere Achterbahn aufweist

20) Bei welcher der beiden Fahrten hattest du mehr das gefühl im geschehen zu sein?

<1/1> Bei beiden ungefähr gleich.

<2/2> In der zweiten Achterbahn, da dort die extremen visuellen Einflüsse mehr an eine echte Achterbahn "erinnert" hat.

<3/3> In der ersten Fahrt, weil die Bahn dort ruhiger gefahren ist.

<4/4> bei der ersten

<5/5> 2.

<6/6> Nr. 2

<7/7> - bei der ersten hat es sich realer angefühlt

- bei der zweiten waren Teile wie zum Beispiel das erste Bergabfahren realer, aber durch die Sprünge und das durch Holz fahren, hatte ich das Gefühl insgesamt dort weniger im Geschehen zu sein

<8/8> Bei der ersten Achterbahnfahrt habe ich mich auf das wesentliche, die Fahrt, konzentriert und war da voll dabei.

Bei der zweiten Achterbahn gab es allerdings viele Ereignisse, die unerwartet waren und die meine Aufmerksamkeit gesteigert haben (beispielsweise die langsame Fahrt), wodurch ich die Umgebung und die Geräusche viel eher wahrgenommen habe als bei der ersten Fahrt.

<9/9> Bei der zweiten

<10/10> bei der 2ten achterbahn

<11/11> bei der zweiten

21) Ist die bewertung der Immersion welche du bei der ersten Achterbahnfahrt gegeben hast noch zutreffend? Falls nicht wie würdest du sie jetzt einschätzen?

<1/1> Ist noch zutreffend.

<2/2> sie ist noch immer zutreffend.

<3/3> In der ersten Fahrt war sie höher als in der zweiten aus dem Grund, dass die erste Bahn ruhiger und nicht so hackelig gefahren ist.

<4/4> zutreffend

<5/5> höher

<6/6> Zutreffend

<7/7> - die Bewertung der ersten Achterbahnfahrt ist immer noch zutreffend
<8/8> Ist gleich.
<9/9> Ich würde bei der Bewertung bleiben und diese nicht mehr ändern
<10/10> ja, immernoch zutreffend
<11/11> Immersion ist eher gesteigert
Aber das beschriebene Verhalten in den Kurven (starkes Ruckeln des Wagens zu beiden Richtungen) war bei der zweiten Fahrt gefühlt stärker

22) Was ist dir bei den beiden Achterbahnfahrten besonders aufgefallen?

<1/1> Die Umgebung
<2/2> Das sich die Immersion nochmals durch den akustischen Einfluss verstärkt.
<3/3> Das die erste Fahrt realistischer war als die zweite.
In der zweiten konnte man mehr erahnen was kommt, da man mehr von der Strecke gesehen hat.
<4/4> in schnellen kehrtwendungen ist mir die virtuelle welt wieder klar geworden. zu schnelle und abhackte wendungen, da kam das auge kaum mit.

der start bzw die ersten 15-20 sekunden waren für mich am realsten.

kaum änderung der geräuschkulisse bei schnelleren fahrten. fehlende wind etc.
<5/5> fehlende körperempfindungen / schwerkraftauswirkungen
<6/6> Die Flüssige Umgebung
<7/7> - ich habe mich auf die Schienen konzentriert, um zu sehen, wann es das nächste mal Bergab geht
<8/8> Die erste Fahrt war realitätsnah und die Zweite eher weniger (freier Fall, Hindernisse, usw.). Dennoch ist die "Welt" bei beiden Fahrten wirklich sehr ansprechend (Umgebung, Schienen, etc.).

Das Ende war interessant, da die Schienen einfach geendet haben.

<10/10> 1te Achterbahn kam mir allgemein langsamer vor
2te viel ausgebautere landschaft und schneller, mehr spaß
<11/11> Die Umgebung, Wasserfälle, Figuren in Steinen

A.2 Video Material

Link zum YouTube Video der ersten Achterbahnfahrt:

https://youtu.be/EB_cY7Nylvs

Link zum YouTube Video der zweiten Achterbahnfahrt:

<https://youtu.be/VoipDW2m1sA>

A.3 Link Sammlung

My Physiks lab website

<https://www.myphysicslab.com/roller/roller-single-en.html> Seite 2

Wikipedia

[https://de.wikipedia.org/wiki/Immersion_\(virtuelle_Realitat\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Immersion_(virtuelle_Realitat)) Seite 7

Unreal Engin

- <https://www.unrealengine.com> Seite 10

- <https://docs.unrealengine.com> Seite 10

- <https://forums.unrealengine.com> Seite 10

- <https://docs.unrealengine.com/en-us/Engine/Basics/AssetsAndPackages>
Seite 11

Blender

<https://www.blender.org/> 13

grafstat4

<https://www.grafstat.de/index.php> Seite 24

HTC-Vive

<https://www.vive.com/de/product/#vive-spec> Seite 25

Literatur

- [BC04] Emily Brown and Paul Cairns. A grounded investigation of game immersion. In *CHI'04 extended abstracts on Human factors in computing systems*, pages 1297–1300. ACM, 2004.
- [FF02] Gerald E Farin and Gerald Farin. *Curves and surfaces for CAGD: a practical guide*. Morgan Kaufmann, 2002.
- [JCC⁺08] Charlene Jennett, Anna L Cox, Paul Cairns, Samira Dhoparee, Andrew Epps, Tim Tijs, and Alison Walton. Measuring and defining the experience of immersion in games. *International journal of human-computer studies*, 66(9):641–661, 2008.
- [Kum10] Jakob Kummerow. Implementierung und vergleich weiterer zeit-integrationsverfahren idp numerische aspekte bei molekulardynamik-simulationen. *Technische Universität München*, September, 2010.
- [McM03] Alison McMahan. Immersion, engagement and presence. *The video game theory reader*, 67:86, 2003.
- [Mur97] Janet Horowitz Murray. Hamlet on the holodeck: The future of narrative in cyberspace. 1997.
- [myP19] myphysicslab roller coaster. <https://www.mypysicslab.com/roller/roller-single-en.html>, 24.02.2019.
- [Sch46] Isaac Jacob Schoenberg. Contributions to the problem of approximation of equidistant data by analytic functions. part b. on the problem of osculatory interpolation. a second class of analytic approximation formulae. *Quarterly of Applied Mathematics*, 4(2):112–141, 1946.