

Masterarbeit

Design und Evaluation eines VR-Prototypen zur Prägung des Geschichtsbewusstseins von historischen Ereignissen am Beispiel der Nuklearkatastrophe von Tschernobyl 1986

eingereicht von

Jan Lorenz

aus Hamburg

Studiengang
Erstprüfer
Zweitprüfer
Eingereicht am

M. Sc. Digital Reality
Prof. Dr. Eike Langbehn
Simon Dewert, M.Sc.
2. Januar 2023

Kurzfassung

Im Rahmen dieser Masterarbeit soll untersucht werden, inwieweit Geschichtsbewusstsein mittels Virtual Reality-Technologie (kurz: VR) ansprechend geprägt werden kann. Hierfür wird die Suche nach einem geeigneten geschichtlichen Themas diskutiert und die Auswahl von der Nuklearkatastrophe von Tschernobyl begründet. Dazu wird der geschichtliche Hintergrund des Ereignisses sowie hilfreiche Lernkonzepte für die VR-Entwicklung recherchiert. Anschließend werden verschiedene Konzepte für einen VR-Prototypen beschrieben und eine letztendliche Version vorgestellt. Dieses Konzept wird anschließend konkret für die VR-Hardware *Oculus Quest* mittels der Spieleengine *Unity* entwickelt. Zur Evaluierung des VR-Prototypen wird eine Nutzerstudie entwickelt und an ProbandInnen durchgeführt. Abschließend wird eine Ergebnisauswertung diskutiert und ein Fazit gezogen.

Stichwörter: Prägung von Geschichtsbewusstsein, Virtual Reality, Nutzerstudie

Abstract

This thesis explores the possibilities of virtual reality-technology as a medium to contextualize historical events and to create historical consciousness. The search for an appropriate historical event is discussed and the selected historical event, the nuclear disaster of Chernobyl, is explained. The historical event and helpful concepts of learning are researched. Several concepts for a VR-prototype are discussed and the final version is presented. The presented concept is then developed with the game-engine *Unity* to run on the mobile VR-hardware *Oculus Quest*. The finished prototype is evaluated in a user study. The results of the user study are discussed and conclusions are drawn.

Keywords: historical consciousness, virtual reality, user research

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	i
Abstract	ii
Abbildungsverzeichnis	vii
1 Einführung	1
2 Themenfindung	3
2.1 Rahmenbedingungen	3
2.2 Festlegung des Themas	5
2.2.1 Interaktionsmöglichkeiten	5
2.2.2 Perspektive der Handlung	5
2.2.3 Informationslage	5
2.2.4 Umsetzbarkeit als VR-Prototyp	6
3 Historischer Hintergrund der Nuklearkatastrophe von Tschernobyl 1986	7
3.1 Kernspaltung und Nuklearreaktoren	8
3.1.1 Kernspaltung	8
3.1.2 Nuklearreaktoren	9
3.1.3 Funktionsweise des <i>RBMK</i> -Nuklearreaktors	11
3.1.4 Schwachstelle des <i>RBMK</i> -Nuklearreaktordesigns gegenüber anderen Designs	12
3.2 Vereinfachter Ablauf der Nuklearkatstrophe am 26. April 1986	12
3.3 Politische Realität zum Zeitpunkt der Nuklearkatastrophe	14

4	Lernmethoden	16
4.1	Motivation	16
4.2	Lerntheorien und Lernmethoden	17
4.2.1	Lerntheorie	17
4.2.2	Lernmethoden	18
5	Konzeptionierung der VR-Experience	21
5.1	Rahmenbedingungen	21
5.2	Implementierungsideen	21
5.2.1	Mehrphasige Implementierung	21
5.2.2	Einphasige Implementierung	23
5.2.3	Entscheidung	23
5.3	Konzept des Ablaufs des VR-Prototypen	23
5.4	Umsetzung einzelner Themenaspekte	24
5.4.1	Europakarte	25
5.4.2	Nuklearreaktor	26
5.4.3	Reaktorgebäude	27
5.4.4	Weitere Interaktionen	28
6	Entwicklung des VR-Prototypen	29
6.1	Vorbereitung	29
6.1.1	Unity	29
6.1.2	XR Interaction Toolkit	30
6.1.3	Beispielprojekt	32
6.1.4	LeanTween	33
6.1.5	Blender	33
6.1.6	Audacity	34
6.2	Technische Vorgaben	34
6.2.1	Zusammenfassung	35

6.3	Realisierung des VR-Prototypen	36
6.3.1	Render Pipeline Einstellungen	36
6.3.2	Interaktoren	36
6.3.3	Menüszenen	38
6.3.4	Umsetzung des Kontrollraums	38
6.3.5	Europakarte	40
6.3.6	Nuklearreaktormodell	46
6.3.7	Tisch des Unfallablaufs	50
6.3.8	Reaktorgebäude	52
6.3.9	Fernsehgerät	53
6.3.10	Umsetzung übergreifender Elemente	55
6.3.11	Audio des VR-Prototypen	59
6.4	Build Settings	61
7	Performanzoptimierungstechniken und Anwendung am Prototypen	63
7.1	Parameter der Performanz	63
7.1.1	Draw Calls	64
7.2	Maßnahmen zur Verbesserung der Performanz	64
7.2.1	Draw Call Batching	64
7.2.2	GPU Instancing	65
7.2.3	Texture Baking / Texture Atlasing	65
7.2.4	Level-of-Detail-Groups (LOD-Groups)	65
7.3	Optimierung einzelner Modelle	66
7.3.1	Kontrollraum	66
7.3.2	Reaktorgebäude	66
8	Studiendesign	70
8.1	Nutzerstudie	70
8.2	Fragen zum VR-Prototypen	71
8.2.1	Informationen zum Probanden	71

Inhaltsverzeichnis

8.2.2	Generelle Fragen zur VR-Experience	72
8.2.3	Fragen zu einzelnen Interaktionen	73
8.2.4	Inhaltliche Fragen	73
8.2.5	Zusätzliche Anmerkungen	74
9	Studiendurchführung	75
9.1	Ablauf der Studiendurchführung	75
9.2	Vorkommnisse bei der Studiendurchführung	76
10	Ergebnisdiskussion	77
10.1	Fragen zum Probanden	77
10.2	Fragen zum Empfinden zur gesamten VR-Experience	78
10.3	Beantwortung der ausgewählten Fragen des User Experience Questionnaire	79
10.4	Fragen zu einzelnen Interaktionen	80
10.5	Inhaltliche Fragen	81
10.5.1	Ergebnisbetrachtung in Relation zum Probandenalter	85
11	Fazit	88
11.1	Zusammenfassung	88
11.2	Abschluss	88
	Literatur	90
	Rohdaten der Antworten aus der Nutzerstudie	92

Abbildungsverzeichnis

3.1	Aufnahme des explodierten Reaktorgebäudes am 15. Mai 1986, Igor Kostin/Laski Diffusion/Getty Images [1]	8
3.2	Schematische Darstellung eines RBMK-Reaktors, SoftwareHippie, Felix König, Fireice commonswiki, Sakurambo, Emoscopes [2]	11
5.1	3D-Render des Reaktorgebäudes mit den Positionen der vier Nuklearreaktoren [12]	27
6.1	Komponenten auf einem <i>GameObject</i>	30
6.2	<i>Interactor</i> -Klassenhierarchie des <i>XR Interaction Toolkits</i> [13]	31
6.3	<i>Interactable</i> -Klassenhierarchie des <i>XR Interaction Toolkits</i> [13]	31
6.4	Render-Pipeline Einstellungen des Projekts	36
6.5	Das verwendete <i>XRRig</i>	37
6.6	Der <i>ControllerManager</i> und <i>MapController</i> -Komponente	37
6.7	Bild des Menüs mit Schriftzug und Buttons	38
6.8	Beispiel und Umsetzung des Kontrollraums	39
6.9	Diffus- und Normaltextur des Bodens	39
6.10	Europakarten des Jahres 1986 und 2022 in der Software <i>Blender</i>	41
6.11	Gesamte Interaktion mit der Europakarte	42
6.12	Umsetzung der Wasserbewegung in <i>ShaderGraph</i>	45
6.13	Umsetzung der Wasseroberflächenbewegung in <i>ShaderGraph</i>	45
6.14	Nuklearreaktormodell im Ausgangsstatus und mit geöffneter Tür	47
6.15	Interaktion mit Hebel und Auswirkungen auf Nuklearreaktormodell	48

Abbildungsverzeichnis

6.16	Shader des Kühlwassers in <i>Shader Graph</i>	50
6.17	Interaktion des Unfallablaufs in Unity	51
6.18	Bild des Reaktormodells in <i>Unity</i>	53
6.19	Fernsehgerät in Unity	54
6.20	Verschiedene Stufen der Wandpanele	56
6.21	Die Eigenschaften des Wandpanel- <i>Shaders</i>	57
6.22	Erzeugung der Diffuseigenschaft in <i>ShaderGraph</i>	58
6.23	Erzeugung der Normaleigenschaft in <i>ShaderGraph</i>	58
6.24	Erzeugung der Emissionseigenschaften in <i>ShaderGraph</i>	60
6.25	Die verwendeten <i>Build Settings</i> für den VR-Prototypen	62
7.1	<i>Texture Atlas</i> des Kontrollraums	66
7.2	Diffus- und Normaltextur des Reaktorgebäudes nach <i>Texture Baking</i> . .	67
7.3	Vergleich der Materialien des Reaktorgebäudes vor und nach <i>Texture Baking</i>	68
7.4	Vergleich der <i>Draw Calls</i> des Reaktorgebäudes vor und nach <i>Texture Baking</i> 69	
10.1	Altersverteilung und Nutzererfahrung der Probanden	77
10.2	Empfinden der Probanden zu Anzahl an Interaktionsmöglichkeiten und Balance aus Handlungsfreiheit und linearer Erzählung	78
10.3	Bewertung der VR-Experience nach Empfinden, zeitlicher Länge und Simulationsatmosphäre	79
10.4	Ergebnisse der ausgewählten Fragen des <i>User Experience Questionnaire</i> 80	
10.5	Beurteilung der Interaktionen mit Europakarte und Nuklearreaktor nach Interessantheit und Behilflichkeit für inhaltliches Verständnis (von 1 = überhaupt nicht gefallen bis 5 = sehr gefallen)	81
10.6	Antworten bezüglich der generellen Informiertheit zum Thema nach Abschluss der VR-Experience (1 = gar nicht, 5 = definitiv)	81

Abbildungsverzeichnis

10.7	Vorwissen zum Zeitpunkt des Nuklearunfalls und Vorwissen und Förderung des Wissens durch VR-Experience zum Thema Kalter Krieg vor und nach der VR-Experience	82
10.8	Vorwissen und Förderung des Wissens zur Funktionsweise eines Nuklearreaktors	83
10.9	Vorwissen und Förderung des Wissens zum Ablauf des Nuklearunfalls	84
10.10	Vorwissen und Verständnisk Gewinn durch VR-Experience zum Kalten Krieg	85
10.11	Vorwissen und Verständnisk Gewinn durch VR-Experience zur Funktionsweise eines Nuklearreaktors	86
10.12	Vorwissen und Verständnisk Gewinn durch VR-Experience zum Ablauf des Nuklearunfalls	86

1 Einführung

Die Nuklearkatastrophe von Tschernobyl am 26. April 1986 ist eines der prägendsten Ereignisse des 20. Jahrhunderts. Für einen Großteil der Weltbevölkerung steht der Name Tschernobyl stellvertretend für die erhöhte Gefahrenlage, die von Atomenergie im Vergleich mit anderen Formen der Energiegewinnung auszugehen scheint.

Allerdings hat sich die Geschwindigkeit und Menge an verfügbaren Informationen in diesem Jahrhundert um ein Vielfaches erhöht und die Gesellschaft steht vor großen Herausforderungen, dieser Informationsflut habhaft zu werden. Die Schnelllebigkeit der Informationen lässt vergangenes schnell in Vergessenheit geraten.

Daraus entsteht ein wesentliches Problem: wie auf Ereignisse oder Themen der Gegenwart reagiert wird ist maßgeblich davon geprägt, wie dieses Ereignis oder Thema kontextualisiert werden kann. Fehlt für ein Ereignis in der Gesellschaft jegliches Vermögen zur Einordnung, so wird auf dieses Ereignis im Regelfall anders reagiert, als wenn dieses entsprechend eingeordnet werden kann.

Insbesondere die Auseinandersetzung mit historischen Themen ist für viele Menschen nicht ansprechend. Im Rahmen dieser Thesis soll untersucht werden, ob mithilfe von VR-Technologie ein ansprechender und informativer VR-Prototyp entwickelt werden kann, um den Menschen eine neuartige Möglichkeit bieten zu können, Geschichte zu lernen.

In Kapitel 2 soll ein mögliches historisches Thema diskutiert werden. Im Anschluss wird in Kapitel 3 das historische Thema recherchiert. In Kapitel 4 sollen Lernmethoden diskutiert werden, die bei der Konzeptionierung in Kapitel 5 und Entwicklung des VR-Prototypen in Kapitel 6 hilfreich sein könnten. Anschließend wird in Kapitel 8 ein

1 Einführung

Studiendesign erstellt und die Studie in Kapitel 9 durchgeführt. Zum Abschluss folgt die Ergebnisdiskussion in 10 und ein Fazit wird in Kapitel 11 gezogen.

2 Themenfindung

Bevor eine Konzeptionierung des VR-Prototypen besprochen werden kann, muss ein geeignetes historisches Thema für den VR-Prototypen gefunden werden. Hierfür müssen zuerst Rahmenbedingungen diskutiert werden, welche für ein geeignetes Thema gelten sollen.

2.1 Rahmenbedingungen

Um für einen VR-Prototypen in Erwägung gezogen zu werden, soll das historische Ereignis folgende Punkte erfüllen können:

1. Das historische Ereignis soll Interaktionsmöglichkeiten bieten
2. Das historische Ereignis soll eine zentrale Perspektive einer einzelnen Person enthalten oder bieten können
3. Zum historischen Ereignis soll eine ausreichende historische Faktenlage existieren
4. Das historische Ereignis muss generell als VR-Prototyp umsetzbar sein

Interaktionsmöglichkeiten

Das historische Thema muss die Möglichkeit bieten, dass ein Proband mit einem Ereignis in Form von Interaktionen interagieren kann. Grund hierfür ist, dass die besonderen Vorteile von VR-Technologie, nämlich die direkte, virtuelle Interaktion mit der Umwelt, somit besonders zur Geltung kommen kann.

Perspektive der Handlung

Es sollte gewährleistet sein, dass das historische Ereignis insoweit aus der Perspektive einer Person behandelt werden kann, um gegebenenfalls verwirrende Perspektivwechsel verschiedener Beteiligten zu vermeiden. Denn oftmals ist ein historisches Ereignis außerhalb des Handlungsspielraums einer einzelnen Person, da viele Personen daran beteiligt sind.

Historische Faktenlage

Die historische Faktenlage sollte soweit zugänglich und belastbar sein, dass daraus ein aus historischer Sicht belastbarer VR-Prototyp entstehen kann. Bei historischen Ereignissen aus ferner Vergangenheit - beispielsweise der Antike, dem Römischen Reich oder dem Mittelalter - gibt es meist keine oder nur wenige Dokumente, die von einem bestimmten Ereignis berichten. Allein aufgrund der geringen Anzahl an Personen, welche ein historisches Ereignis überhaupt festhalten konnten, da die Fähigkeit zu schreiben nur in sehr gebildeten Kreisen war und deren Schriften folglich noch zusätzlich auf Erzählungen Dritter beruhten.

Was dadurch ausschließlich möglich ist, ist ein VR-Prototyp, welcher das alltägliche Leben zu einer gegebenen Zeit darstellt, welches nicht an schriftlichen Dokumenten gebunden ist, sondern sich dazu noch aus gefundenen Relikten der Zeit wie beispielsweise Haushaltsutensilien ableiten lässt.

Umsetzbarkeit als VR-Prototyp

Selbst wenn die vorher beschriebenen Punkte erfüllt sind, so kann es trotzdem Gründe geben, warum sich das Thema unter den gegebenen Zielsetzungen nicht realisieren lässt. Hierzu zählen historische Ereignisse, welche in ihrer Komplexität ausschließlich mit tiefergehendem Vorwissen vermittelbar sind.

2.2 Festlegung des Themas

Als Thema wurde sich schließlich für die Nuklearkatastrophe von Tschernobyl am 26. April 1986 entschieden. Dies soll folgend anhand der vorher definierten Kriterien argumentiert werden.

2.2.1 Interaktionsmöglichkeiten

Die Nuklearkatastrophe von Tschernobyl bietet vielfältige Möglichkeiten, mittels Interaktionen erlebbar zu machen. Es kann das Thema des Kalten Krieges behandelt werden, welcher zur Zeit des Nuklearunfalls vorherrschte. Es kann auf die Funktionsweise eines Nuklearreaktors im Allgemeinen und speziellen Reaktordesigns im Speziellen eingegangen werden, mit welchen in verschiedenen Formen interagiert werden kann. Der Ablauf des Nuklearunfalls ist in einer linearen Erzählform darstellbar und lässt sich vielfältig realisieren.

2.2.2 Perspektive der Handlung

Die Ereignisse vor dem Nuklearunfall lassen sich gut aus einer zentralen Perspektive darstellen. Dadurch entfallen eventuell verwirrende Perspektivwechsel und das historische Ereignis kann dadurch gut dargestellt werden.

2.2.3 Informationslage

Aufgrund der bisherigen Einmaligkeit (von dem Nuklearunfall von Fukushima im Jahr 2011 abgesehen) und der Notorietät des Schlagwortes Tschernobyl ist der Nuklearunfall in großen Teilen der Bevölkerung bekannt, allerdings womöglich unterschiedlich stark mit Fakten untermauert. Allerdings ist der Nuklearunfall mit einer sehr guten Informationslage ausgestattet, auch aufgrund des - relativ zu anderen historischen Ereignissen - kürzlich stattgefundenen Ereignisses.

2.2.4 Umsetzbarkeit als VR-Prototyp

Aufgrund der großen Informationslage und der Vielschichtigkeit des Ereignisses kann der Prototyp in verschiedene Themenrichtungen entwickelt werden. Es greift auf ein weitestgehend bekanntes Ereignis zurück und es existiert kein notwendiges Vorwissen, welches nicht im Rahmen der VR-Experience dargestellt werden kann.

3 Historischer Hintergrund der Nuklearkatastrophe von Tschernobyl 1986

Bevor ein Prototyp entwickelt werden kann, muss eine Recherche in den historischen Hintergrund durchgeführt werden. Diese soll relevante Informationen liefern und Grundlage darstellen, in welche konzeptionelle Richtung der VR-Prototyp entwickelt werden soll. Dabei wird sich auf den Abschnitt begrenzt, welcher im letztlichen Prototypen umgesetzt wird. Es ist hilfreich, Fragen zu definieren, welche durch die Recherche beantwortet werden sollen, um eine möglichst ansprechende VR-Experience entwickeln zu können. Die Fragen sollen folgend genannt werden:

- Was sind die grundlegenden Daten zum Reaktorunfall?
- Was geschah am Tag des Reaktorunfalls von Tschernobyl?
- Was wurde als Ursache für den Reaktorunfall festgestellt?
 - Reaktordesign
 - Politischer Hintergrund

Grundlegende Daten

Der Reaktorunfall von Tschernobyl ereignete sich in der Nacht vom 25. April zum 26. April 1986 im Reaktor 4 des Atomkraftwerkes Tschernobyl. Das Atomkraftwerk

liegt nahe der kleinen Stadt Prypjat und 100 km Luftlinie nördlich von Kiew, der heutigen Hauptstadt der Ukraine. Zum damaligen Zeitpunkt war die Ukraine noch der kommunistischen Sowjetunion zugehörig.

Bei dem Reaktorunfall kam es zu einer Explosion des Nuklearreaktors, bei welcher der Nuklearreaktor vollkommen zerstört wurde (siehe Abbildung 3.1). Verursacht wurde die Explosion durch einen starken Anstieg der Leistung des Nuklearreaktors, durch welchen Kühlwasser im Nuklearreaktor schlagartig verdampfte und thermisch expandierte, was den Nuklearreaktor zerstörte.

3.1 Kernspaltung und Nuklearreaktoren

3.1.1 Kernspaltung

Es gibt im Bereich der zivilen Kernenergie zur Stromgewinnung etliche Nuklearreakortypen, welche gebaut und kommerziell zum Einsatz kamen. Bei allen Nuklearreakortypen wird der 1938 von Otto Hahn und Lise Meitner entdeckte physikalische Vorgang der Kernspaltung kontrolliert durchgeführt.

Wird ein Atomkern mit einem Neutron zur Kollision gebracht, führt dies bei ausreichender Energie zu einer Spaltung des Atomkerns, bei welcher ein hohes Maß an Energie freigesetzt wird. Aufgrund der Kernspaltung werden Neutronen freigesetzt, welche nun ebenfalls weitere Atomkerne spalten können, wenn diese kollidieren. Entsprechend kann die Spaltung eines Atomkerns eine Kettenreaktion herbeiführen, bei welcher schlagartig enorme Mengen an Energie freigesetzt werden. Dieser Vorgang ist bei Nuklearwaffen erwünscht, allerdings für die zivile, kommerzielle Nutzung



Abbildung 3.1: Aufnahme des explodierten Reaktorgebäudes am 15. Mai 1986, Igor Kostin/Laski Diffusion/Getty Images [1]

ungeeignet. Kann dieser Vorgang jedoch moderiert, also kontrolliert, durchgeführt werden, kann eine anhaltende Kettenreaktion erreicht werden, bei welcher die Anzahl an gespaltenen Atomkernen pro Zeiteinheit konstant bleibt.

Ein wichtiger Begriff, der die Neutronenbilanz eines Nuklearreaktors beschreibt, ist die sogenannte *Kritikalität*. Ein Nuklearreaktor, bei welchem die Anzahl an Neutronen von einem Moment zu nächsten abnimmt, wird unterkritisch genannt. Ist die Anzahl an Neutronen konstant, ist der Nuklearreaktor kritisch. Nimmt die Anzahl an Neutronen zu, ist der Nuklearreaktor überkritisch und es müssen sofortige Maßnahmen ergriffen werden, um ein schlagartigen Anstieg der freigesetzten Energie zu vermeiden.

Die freigesetzte Energie wird bei jedem Reaktortyp zur Verdampfung von Wasser genutzt, welches anschließend als Wasserdampf Turbinen zugeführt wird, deren Rotation mittels eines Generators in elektrische Energie umgewandelt wird, welche dann zur zivilen Nutzung zur Verfügung steht.

3.1.2 Nuklearreaktoren

Diese Reaktortypen können grundsätzlich konzeptionell in mehrere Kategorien eingeteilt werden. Bei den vier Nuklearreaktoren von Tschernobyl handelte es sich um Reaktoren des Typs *RBMK*, welche zu den graphitmoderierten, wassergekühlten Siedewasser-Druckröhrenreaktoren zählen. Dieser Typ eines Nuklearreaktors ist ausschließlich in der ehemaligen Sowjetunion gebaut worden, da es sich um eine vergleichsweise günstige Konstruktionsart handelt. [3, Kapitel 2] Nachteil dieser Kosteneinsparungen sind einige technische Faktoren, welche jenseits des Regelbetriebs zu erhöhtem Risiko führen, dass es zu einem Unfall kommen könnte.

Folgend soll kurz die Funktionsweise des Nuklearreakortyps beschrieben werden. Hierfür ist es sinnvoll, die wesentlichen Merkmale des Reaktortyps anhand der Namensgebung zu erörtern.

3.1.2.1 Der Moderator

Jeder Nuklearreaktor benötigt für den Betrieb einen sogenannten Moderator, welcher die Aufgabe hat, die bei der Kernspaltung freigesetzten Neutronen zu entschleunigen. Das führt dazu, dass die Neutronen besser mit Atomen kollidieren können und somit die kontrollierte, konstante Kernspaltung aufrechterhalten. Ohne einen Moderator würde die Anzahl an Kernspaltungen exponentiell ansteigen, da bei einer Kernspaltung mit einem einzelnen Neutron jeweils neue Neutronen entstehen. Im Falle des *RBMK*-Reaktortyps handelt es sich beim Moderator um Graphit. [3, Kapitel 2]

3.1.2.2 Wasserkühlung

Bei der Kernreaktion wird ein großes Maß an Energie freigesetzt. Das Brennmaterial, welches das spaltbare Material Uran enthält, muss fortlaufend gekühlt werden, um die Einleitung eines Schmelzvorgangs zu vermeiden. Das Kühlmittel hat zusätzlich die Funktion, dass der entstehende Wasserdampf Neutronen absorbiert und darüber einen exponentiell zunehmenden Kernspaltprozess verhindert. [3, Kapitel 2] Die teilweise oder vollständige Kernschmelze, bei welcher das Brennmaterial, zusammen mit allen im Nuklearreaktor anwesenden Materialien, zu einem Gemisch zusammenschmilzt, was einen schweren Unfall des Nuklearreaktors bedeutet. Als Kühlmittel wurde im *RBMK*-Reaktor Wasser verwendet. Dieses Wasser ist dasselbe, welches im geregelten Prozess verdampfen und den Turbinen zur Energiegewinnung zugeführt werden soll.

3.1.2.3 Siedewasser-Druckröhrenreaktor

Ein Siedewasserreaktor ist eigentlich ein Nuklearreaktordesign, bei welchem Wasser gleichzeitig als Kühlmittel und Moderator fungiert. Im Falle des *RBMK*-Nuklearreaktordesigns wird allerdings Graphit als Moderator verwendet (siehe 3.1.2.1). Ein Druckröhrenreaktor ist eine Bauform eines Nuklearreaktors, bei welcher die Brennstäbe in 1660 einzelnen Röhren angeordnet sind. [4, S. 103]

3.1.3 Funktionsweise des *RBMK*-Nuklearreaktors

In einem *RBMK*-Nuklearreaktor befinden sich die Brennstäbe in abgetrennten Röhren, welche durch den Moderator Graphit einen fortlaufenden Kernspaltungsprozess erzeugen. Veränderungen in der Reaktivität des Nuklearreaktors werden mittels sogenannter Kontrollstäbe reguliert, welche in und aus dem Nuklearreaktor gefahren werden können, um Neutronen zu absorbieren (siehe Abbildung 3.2). Im Reaktor 4 von Tschernobyl waren insgesamt 211 Kontrollstäbe vorhanden. [3, Kapitel 5] Es wird Kühlwasser von unten in die Röhren mit den Brennstäben gepumpt, welche diese kühlen und sich dabei erwärmen. Das sich wärmende Kühlwasser steigt nach oben und verdampft schließlich. Der Dampf wird zu Turbinen geleitet, welche Strom in Generatoren erzeugen. Anschließend wird das Kühlwasser in den Nuklearreaktor zurückgeführt und steht nun als Kühlwasser erneut zu Verfügung.

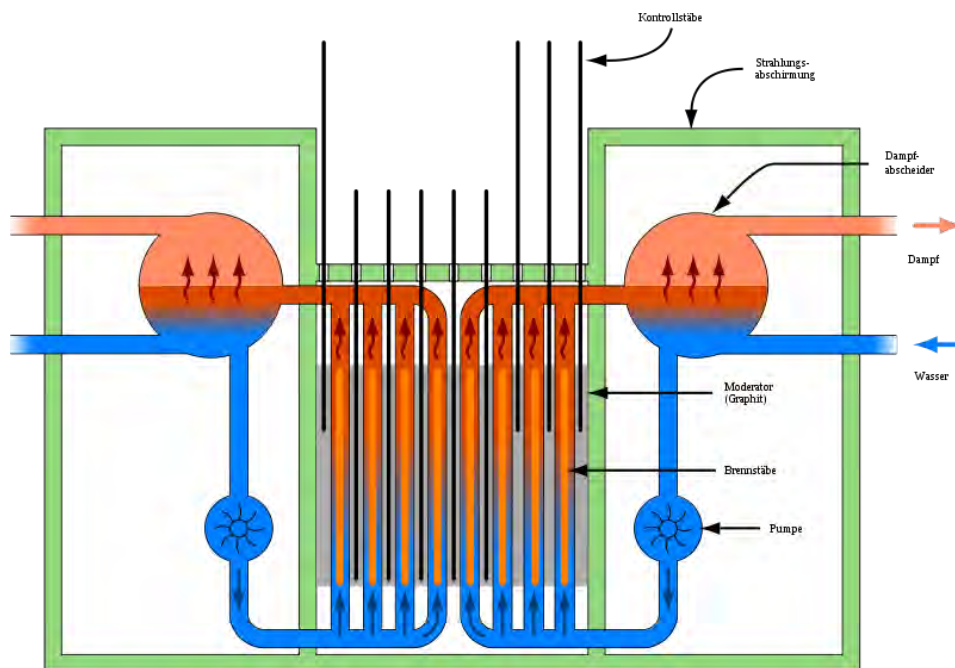


Abbildung 3.2: Schematische Darstellung eines *RBMK*-Reaktors, SoftwareHippie, Felix König, Fireice commonswiki, Sakurambo, Emoscopes [2]

3.1.4 Schwachstelle des *RBMK*-Nuklearreaktordesigns gegenüber anderen Designs

Um besser nachvollziehen zu können, warum ein besonderes Maß an Vorsicht beim Betrieb eines *RBMK*-Nuklearreaktors im Vergleich mit anderen Nuklearreaktordesigns benötigt wird, ist es hilfreich, eine wesentliche Schwachstelle des *RBMK*-Nuklearreaktordesigns verkürzt zu beschreiben. Das ist darum hilfreich, da die Fehler im Betrieb des *RBMK*-Nuklearreaktors, erst durch diese Schwachstelle zu der Nuklearkatastrophe geführt haben.

3.1.4.1 Positiver Dampfblasen-Koeffizient

Im positiven Dampfblasen-Koeffizient (auch Void-Koeffizient genannt) liegt der wesentliche Schwachpunkt des *RBMK*-Reaktordesigns. Der positive Dampfblasen-Koeffizient bedeutet, dass der Verlust an Kühlwasser auch den Verlust eines Neutronenabsorber bedeutet, sodass die Reaktivität (ein Maß für die Kritikalität des Reaktors), dadurch zusätzlich ansteigt. Dadurch wird eine Kettenreaktion ausgelöst, da diese erhöhte Reaktivität wiederum zu einem intensivierten Verdampfungsprozess führt, wodurch noch weniger Kühlwasser vorhanden ist. [5, S. 7]

3.2 Vereinfachter Ablauf der Nuklearkatstrophe am 26. April 1986

Am Tag des 25. April 1986 sollte ein seit Jahren überfälliger Test durchgeführt werden, welcher eigentlich bereits beim Bau des Nuklearreaktors bis zum Dezember 1983 hätte durchgeführt werden sollen, als der Reaktor 4 in Betrieb ging. [3, Kapitel 5] Dieser Test sollte prüfen, ob die Turbinen noch ausreichend Strom für die Wasserpumpen liefern würden, bevor die Notstromaggregate anspringen, falls es zu einem Notstromfall kommen sollte. Aufgrund des Positiven Dampfblasenkoeffizienten vom *RBMK*-Reaktordesigns (siehe Abschnitt 3.1.4.1) würde ein Verlust an Kühlwasser die

Reaktivität des Nuklearreaktors zusätzlich steigern, was eine gefährliche Kettenreaktion auslösen könnte.

Der Test sollte eigentlich von der Tagesschicht durchgeführt werden. Allerdings kam es zu einer Planänderung und der Test konnte erst 12 Stunden später von der Nachtschicht gestartet werden. [3, Kapitel 5] Die Tagesschicht hatte mit den Vorbereitungen für den Test bereits begonnen und den Nuklearreaktor vom Regelbetrieb von 3200 MW auf 1600 MW heruntergefahren. [4, S. 105] [4, S. 53] Der Test sollte starten, wenn der Reaktor einen Wert über 700 MW und etwa 25 Prozent der Nennleistung erreicht hatte. [6, S. 11] Beim Reduzieren der Leistung von 1600 MW auf 700 MW kam es zu einem stärkeren Leistungsabfall als gewollt und der Nuklearreaktor verlor zunehmend Leistung, bis er bei 30 MW angekommen war. [4, S. 53] Eigentlich hätte zu diesem Zeitpunkt bereits der Test abgebrochen werden müssen, allerdings wollte stellvertretender Chefingenieur Anatoli Djatlow den Test auf jeden Fall durchführen lassen, da ein Abbruch langfristige Verzögerungen von mindestens einem Jahr bedeuten würde. [3, Kapitel 5] Entsprechend wurde zunehmend verzweifelt versucht, die Leistung des Nuklearreaktors auf die im Testprotokoll festgehaltenen 700 MW Mindestleistung zu bringen. Hierfür wurden fortlaufend Kontrollstäbe aus dem Nuklearreaktor gefahren, um die Reaktivität zu steigern. Um die Leistung des Nuklearreaktors zu steigern, wurden letztlich 203 der 211 Kontrollstäbe vollständig aus dem Nuklearreaktor gefahren, was eigentlich ohne Zustimmung des Chefingenieurs verboten war. [3, Kapitel 5] Als sich die Leistung bei 200 MW stabilisierte, wurde mit dem Test begonnen. Angetrieben wurde das Verhalten von Djatlow, welcher seinen Untergebenen offen drohte, dass "wenn er seinen Anweisungen nicht befolge, werde er ganz einfach einen anderen finden, der dazu bereit wäre". [3, Kapitel 5] Die Turbinen wurden abgeschaltet und es sollte geprüft werden, ob die langsam ausbremsenden Turbinen noch genug Leistung für die Wasserpumpen abgaben. Das Kühlmittel im Nuklearreaktor verdampfte nun deutlich schneller, was aufgrund des positiven Dampfblasenkoeffizienten die Menge an Wasser zur Neutronenabsorption verminderte. Nach sechsunddreißig Sekunden wurde der Test mit dem Drücken des Notausknopfes AZ-5 beendet, welcher die Kon-

trollstäbe in den Reaktor hineinließ. [3, Kapitel 5] Da die Kontrollstäbe allerdings mit Graphitspitzen ausgestattet war, stieg dadurch die Reaktivität stark an und sorgte nach einigen Sekunden für eine gewaltige Explosion, ausgelöst durch eine Wärmeleistung von 12 Milliarden Watt und einem enormen Druck, den diese Wärmeleistung durch verdampfendes Wasser erzeugte. [3, Kapitel 5]

3.3 Politische Realität zum Zeitpunkt der Nuklearkatastrophe

Neben den bautechnischen Mängeln des Nuklearreaktordesigns ist zusätzlich eine Betrachtung der zur damaligen Zeit gegenwärtigen politischen Realität interessant, in welcher das Atomkraftwerk eingebettet war.

Die Sowjetunion existierte seit der Oktoberrevolution 1917 und beendete das Jahrhunderte währende Zarenreich. Anstelle einer Monarchie rückte ein sozialistischer Staat, welcher bis 1991 existieren sollte, ehe er in die heutigen Teilstaaten zerbrach. Die Sowjetunion entwickelte sich in ihrer fast 75-jährigen Existenz zu einem totalitären Staat, welcher Dissens unterdrückte und sich einen ideologischen Wettkampf mit dem demokratischen Westen lieferte, welcher in zahlreichen Stellvertreterkonflikten auf der gesamten Welt ausgetragen wurde. Zusätzlich kam es zu einem Wettrüsten zwischen den Vereinigten Staaten von Amerika (USA) und der Sowjetunion und ein Wettlauf in den Weltraum wurde letztlich nur durch die enormen finanziellen Mittel, welche hierfür zur Verfügung gestellt wurden, bis zur Landung auf dem Mond im Jahr 1969 ausgetragen.

Die Menschen waren zunehmend mit den Unzulänglichkeiten der sowjetischen Wirtschaftsordnung konfrontiert. Die Wirtschaft wurde zunehmend von den Vereinigten Staaten von Amerika und dem Westen Europas abgehängt. Die großen Triumphe der Sowjetunion, startend mit dem Pyrrhussieg über Nazideutschland im Zweiten Weltkrieg, die ersten Etappensiege im Wettlauf in den Weltraum, sowie die Entwicklung der stärksten je gezündeten Atomwaffe liegen Jahrzehnte in der Vergangenheit und zurück

3 Historischer Hintergrund der Nuklearkatastrophe von Tschernobyl 1986

blieb die moderate Lebensrealität, mit denen Bürger der Sowjetunion konfrontiert waren.

Die Gefahr, die davon ausging, offen seine Unzufriedenheit auszudrücken, resultierte darin, dass sich besonders Parteimitglieder in entscheidenden Positionen mehr um die eigene Zukunft sorgten, anstatt die moralisch korrekte Entscheidung zu treffen oder Kritik zu üben. Der Mangel an unabhängigen Medien sorgte dafür, dass die politische Führung frei von offen geäußelter Kritik agieren konnte. Lediglich intern musste sich für Fehlschläge gerechtfertigt werden, während nach außen ein von Grund auf positives Bild vermittelt werden sollte.

4 Lernmethoden

4.1 Motivation

Technologische Entwicklungen bieten stets neue Möglichkeiten, Lerninhalte möglicherweise effektiver zu vermitteln. In diesem Falle wird insbesondere die Institution der Schule als primäre Bildungseinrichtung zur Grundlage genommen. Lernende wachsen in einer Zeit sich ständig wandelnden Technologien auf, welche von den Lehrenden selten auf vergleichbarem Niveau durchdrungen werden. Dieser Umstand führt dazu, dass ansprechende, als zeitgerechtere empfundene Bildungsinhalte vermehrt nur in schulfernen Quellen behandelt werden.

XR-Technologie bietet besondere Möglichkeiten dabei, konventionelle Lernprozesse zu erweitern. Hilfreich ist es hier, eine gewöhnliche Schulsituation darzustellen. Darauf folgend können an diesem Beispiel die alternativen Möglichkeiten von XR-Technologien diskutiert werden.

In einer gewöhnlichen Schulsituation unterrichtet eine Person eine größere Gruppe an Lernenden. Dieser Unterricht währt einen längeren Zeitabschnitt mit weitestgehend passivem Niveau des Engagements der Lernenden. Im ungünstigen Fall werden Themen verschiedener Fächer auf eine Weise gelehrt, welche auf visuelle Hilfestellungen verzichtet und somit eine erhöhte Aufmerksamkeitsfähigkeit erfordert.

Die spielende Person geht, konträr zur konventionellen Schulsituation, eine aktive Interaktion mit dem Thema ein. Es bietet sich dadurch die Möglichkeit, ein höheres Maß an Engagement mit den Lerninhalten zu erzielen und folglich den Umfang aktiv gelernter Inhalte zu vergrößern.

Der im Rahmen dieser Masterthesis zu entwickelnde Prototyp behandelt ein Bildungsthema und hierfür ist zielführend, die möglichen Lernmethoden zu durchdringen, um einen möglichst prägenden und ansprechenden Prototypen zu entwickeln und abzugleichen, welche dieser Lernmethoden von VR-Technologie in welcher Form implementiert werden können.

4.2 Lerntheorien und Lernmethoden

4.2.1 Lerntheorie

Der Themenbereich des Lernens kann vereinfacht in zwei Kategorien eingeteilt werden: der Lerntheorie und der Lernmethoden.

Die Lerntheorie beschäftigt sich mit den verschiedenen psychologischen Vorgängen und Konzepten, welche den Lernprozess beschreiben. Folgend sollen drei Lerntheorien kurz vorgestellt werden: der *Behaviorismus*, der *Kognitivismus* und der *Konstruktivismus*.

4.2.1.1 Behaviorismus

Der *Behaviorismus* untersucht das beobachtbare Verhalten von Tieren und Menschen. Die sogenannte *Klassische Konditionierung* beschreibt den Lernprozess durch Kopplung von Reizen. Beispiel hierfür ist der sogenannte *Pawlovsche Hund*[7]. Der *Pawlovsche Hund* wird durch die Kombination von verschiedenen Reizen (Läuten einer Glocke und Bereitstellen von Futter) darauf konditioniert, dass nach erfolgter Konditionierung das alleinige Läuten der Glocke einen Speichelfluss erzeugt, welcher ursächlich vom Futter erzeugt wurde. Analog fallen Anteile der Kindeserziehung in diese Kategorie, beispielsweise, wenn durch Bestrafung oder Lob ein Verhalten belohnt oder bestraft wird. Bei der *Klassischen Konditionierung* steht die kognitive Leistung zum Erreichen des Lernziels im Hintergrund.

4.2.1.2 Kognitivismus

Bei der Lerntheorie des *Kognitivismus* werden die internen Lernvorgänge des Lernenden mit berücksichtigt, was den *Kognitivismus* vom *Behaviorismus* unterscheidet, welcher ausschließlich die äußeren Vorgänge untersucht. Beim *Kognitivismus* wird folglich die eigene kognitive Leistung als treibende Kraft beim Lernprozess angesehen. [8]

4.2.1.3 Konstruktivismus

Beim Konstruktivismus wird davon ausgegangen, dass das Individuum nicht einfach auf Reize der Umwelt reagiert, sondern auf Basis dieser Sinneseindrücke eine *subjektive Realität* erzeugt. Diese ist stark abhängig vom Vorwissen des Individuums und nicht allein auf dessen kognitiven Prozesse zurückzuführen. [9]

4.2.2 Lernmethoden

Lernmethoden sind Konzepte, um den Lernprozess systematisch zu gestalten, damit ein möglichst ausgeprägter Lerneffekt zu erreichen ist. Diese bauen auf Lerntheorien auf und sollen diese mit einer konkreten Methodik erweitern.

Lernmethoden, welche im Rahmen dieser Thesis besonders im Fokus stehen, sind das *Mehrdimensionale Lernen*, das *Entdeckende/Explorative Lernen* und das *Learning-by-doing*. Diese sollen folgend beschrieben werden:

4.2.2.1 Mehrdimensionales Lernen

Beim *Mehrdimensionalen Lernen* setzen sich Lernende auf mehreren Ebenen (oder Dimensionen) mit dem Lerninhalt auseinander. Es sollen die verschiedenen Fähigkeiten und Sinne der Lernenden beim Lernprozess beteiligt werden, um den Zugang zum Lerninhalt zu erhöhen und darüber den Lerneffekt zu verstärken.[10]

Dieser Lernprozess ist stark an das Lernverhalten von Kindern angelehnt. Die Lernenden treten auf mit dem Lerninhalt auf verschiedenen Dimensionen in den Kontakt,

was den Lernprozess stärken soll. Zu diesem Lernverhalten von Kindern zählt unter anderem alles, bei dem der Lerninhalt

- angefasst wird.
- gehört wird.
- ausprobiert wird.
- erlebt wird.

4.2.2.2 Entdeckendes/Exploratives Lernen

Das *Entdeckende/Explorative Lernen* soll das persönliche Interesse des Lernenden am Lernen ausnutzen. Es soll keine äußere (extrinsische) Person Einfluss auf die lernende Person ausüben, sondern die Motivation soll der lernenden Person selbst entstammen (intrinsische Motivation). Das *Entdeckende Lernen* gibt nur begrenzte Rahmenbedingungen vor, sondern lässt die Lernenden die Lerninhalte in eigener Reihenfolge und Geschwindigkeit absolvieren. Ebenfalls können die Lernenden eigene Lösungswege erarbeiten und dieser Prozess wird dokumentiert, was als wichtiger angesehen wird als die Lösung der Aufgabe. Weitere Personen stehen lediglich assistierend zur Seite, um bei Problemen oder bei Verständnisfragen zu helfen. Bekommen die Lernenden eine positive Rückmeldung bezüglich ihres Lernerfolgs, wird die intrinsische Motivation weiter gefördert. Aufgrund der sich bietenden Freiheiten erhöht sich, im Vergleich zum klassischen Frontalunterricht, die Zeit zum Erlernen, allerdings geht dies mit einem potentiell gesteigerten inhaltlichen Verständnisses der Thematik einher. [11]

4.2.2.3 Learning-by-doing

Learning-by-doing beschreibt eine Lernmethode, bei welcher der Lernprozess durch das praktische Ausführen des zu lernenden Inhalts stattfinden soll. Der Lerninhalt soll zuerst ausprobiert und angewandt werden, bevor im Anschluss eine Reflexion

4 Lernmethoden

über die Tätigkeit und ein bleibender Lerneffekt eintritt. Das eigenständige Ausprobieren und die Beobachtung der resultierenden Reaktion ist besonders hilfreich, die Funktionsweise eines Lerninhalts zu verinnerlichen.

5 Konzeptionierung der VR-Experience

5.1 Rahmenbedingungen

Bevor ein Konzept für die VR-Experience entwickelt werden kann, müssen erst die Rahmenbedingungen festgelegt werden, welche für die VR-Experience gelten sollen.

Es wurde veranschlagt, dass sich der zeitliche Umfang der VR-Experience auf eine Zeit von 10 bis 15 Minuten begrenzen sollte. Außerdem wurde festgelegt, dass die VR-Experience auf der *Oculus Quest* betrieben und auf dieser getestet werden soll. Die VR-Experience soll so entwickelt sein, dass möglichst umfangreich historische Informationen vermittelt werden können und dass die Informationen wenn möglich aus Interaktionen hervorgehen.

5.2 Implementierungsideen

5.2.1 Mehrphasige Implementierung

Erste Konzepte waren so ausgelegt, dass die verschiedenen Phasen der Nuklearkatastrophe in der VR-Experience behandelt werden.

5.2.1.1 Phase 1

Hierzu zählen die Momente vor der Explosion in dem Kontrollraum des Nuklearreaktors, wo entscheidende Sicherheitsvorkehrungen missachtet wurden. Die Vorgesetzten übten Druck aus, den vorgesehenen Test unbedingt und entgegen der Meinung der ausführenden Kräfte, welche dem ungewöhnliche Reaktionen des Reaktors misstrauten, durchzuführen. Ebenso wurde das Reaktordesign von den Mitarbeitern nicht soweit durchdrungen, als dass die Konstruktionsmängel aufgrund des kostengünstigen Reaktordesigns bekannt waren. Die Kombination dieser Faktoren ermöglichte erst das Klima, in welchem es zum Unfall kommen konnte.

5.2.1.2 Phase 2

Außerdem war die unmittelbare Reaktion auf den Nuklearunfall für die VR-Experience interessant, bei welcher die Tragweite des Unfalls massiv unterschätzt wurde. Aneilende Rettungskräfte wurden nicht über die unmittelbare Lebensgefahr informiert, welche dadurch hohen Strahlungswerten ausgesetzt waren und im Laufe der nächsten Tage an den Folgen verstarben.

5.2.1.3 Phase 3

Als drittes Thema wurde die Aufarbeitung in den Folgemonaten nach der Katastrophe erwogen. Zu diesem Zeitpunkt ging es darum, die verstrahlte Umgebung des Reaktors zu bearbeiten. Diese wurde durch die Explosion mit verstrahlten Partikeln verseucht, welche nun gemeinsam mit der obersten Erdschicht abgetragen werden musste. Abschließend wurde der Teil des Reaktorgebäudes, welcher zerstört wurde, abgedeckt, um die fortlaufende Verstrahlung der Umgebung zu minimieren.

5.2.1.4 Beurteilung des Konzepts

Da die ursprünglich veranschlagte Zeit für die Absolvierung der VR-Experience auf 10 bis 15 Minuten festgelegt wurde, wurde dieser Ansatz aufgrund des hohen Um-

fangs verworfen. Die einzelnen Themenaspekte müssen mit ausreichendem Wissen unterfüttert sein, welches in der noch verkürzten Zeit nur oberflächlich möglich ist.

5.2.2 Einphasige Implementierung

Bei einer einphasigen Implementierung würde der Fokus auf einer der diskutierten Phasen liegen. Vorteil davon ist, dass dadurch diese vertieft behandelt werden kann. Die vertiefte Behandlung eines Themenaspekts kann notwendig sein, um den historische Kontext ausreichend mit Vorwissen unterstützen zu können.

5.2.3 Entscheidung

Es wurde sich dazu entschlossen, eine einphasige Implementierung zu konzeptionieren, da darin die größten Erfolgchancen gesehen wurden.

Um zu bestimmen, welche Phase hierfür am geeignetsten wäre, wurde die Frage gestellt, welche Phase womöglich für die Lernenden am interessantesten angesehen wird.

Die Phase, in welcher die verschiedensten Themengebiete am besten behandelt werden können, ist die Phase 1, in welcher die Ereignisse vor dem Nuklearunfall behandelt werden. Dieser Themenaspekt ist als positiver Nebeneffekt der wahrscheinlich am unbekanntesten von den drei Phasen, da die Ereignisse, die auf den Nuklearunfall folgten, am umfangreichsten bildlich dokumentiert wurden.

5.3 Konzept des Ablaufs des VR-Prototypen

Um einen möglichen Ablauf des VR-Prototypen zu definieren, sollen die Lerninhalte zuerst definiert werden.

Die Lernenden sollen einen generellen Einblick erhalten, was zu dem Nuklearunfall geführt hat. Die in den Jahrzehnten nach dem Nuklearunfall geäußerte Kritik an der

zivil genutzten Atomenergie hat ihren Ursprung mit darin, dass die Bevölkerung über die konkreten Ereignisse potenziell nicht im ausreichenden Maße informiert ist.

Zusätzlich soll die Realität des Kalten Krieges in der damaligen Zeit deutlich werden. Diese Tatsache ist eng verwoben mit dem Umstand, dass sich der Nuklearunfall in der ehemaligen Sowjetunion ereignet hat. Der konkrete Ort des Nuklearunfalls soll ebenfalls gelernt werden.

Ebenfalls ist das Wissen zur Funktionsweise eines Nuklearreaktors hilfreich, um basierend darauf Kontext für den stattfindenden Unfall zu liefern.

Der Ablauf soll sich nun wie folgt gestalten:

Die Lernenden sollen zuerst verschiedene Interaktionsmöglichkeiten haben, bei welchen sie sich die Reihenfolge frei aussuchen können. Nach Absolvierung dieser Interaktionsmöglichkeiten, welche relevante Informationen zum Nuklearunfall enthalten, soll eine interaktive Phase beginnen, in welcher auf die Ansage des stellvertretenden Chefingenieurs reagiert werden soll. Im Idealfall soll durch die Interaktion mit den vorausgegangenen Interaktionen deutlich werden, dass die Ansagen des stellvertretenden Chefingenieurs unverantwortlich und gefährlich sind. Der Abschluss soll die Explosion des Nuklearreaktors bilden, welcher die VR-Experience abschließt.

5.4 Umsetzung einzelner Themenaspekte

Folgend sollen einzelne Lerninhalte für den VR-Prototypen in ein entwicklungsreifes Konzept überführt werden. Hierfür ist notwendig, dass das Konzept des Lerninhalts drei Faktoren berücksichtigt.

1. Welcher Lerninhalt soll konkret behandelt und vermittelt werden?
2. Was sind geeignete Implementierungen, um den konkreten Lerninhalt mit einem höchstmöglichen Lerneffekt zu vermitteln?
3. Wie lässt sich eine Implementierung konzipieren, die diskutierte Lernmethoden aus Abschnitt 4 berücksichtigt?

5.4.1 Europakarte

Um die Hintergründe des Nuklearunfalls von Tschernobyl nachvollziehen zu können, ist es hilfreich, den Zeitpunkt in einen groben historischen Kontext zu rücken. Außerdem ist die konkrete Örtlichkeit des Nuklearunfalls von Bedeutung. Diese zwei Lerninhalte sollen durch die Interaktion mit einer Europakarte vermittelt werden.

5.4.1.1 Gründe für die Implementierung als Europakarte

Die Implementierung als Karte bietet die Möglichkeit, dass dadurch auf in großen Teilen der Bevölkerung bekanntes Wissen zurückgegriffen werden kann, die eine Europakarte bereits gesehen und gelesen haben. Dadurch kann eine Verknüpfung von bekannten Informationen mit neuen Informationen stattfinden.

5.4.1.2 Ablauf der Interaktion

Die Lernenden sollen zuerst das Land des Nuklearunfalls auf der Europakarte finden können. Es sollen alle Länder Europas und der Umgebung auswählbar sein. Sobald das Land des Nuklearunfalls gefunden wurde, soll der konkrete Ort bestimmt werden. Im Anschluss soll es eine Rückmeldung über die Distanz zwischen der Schätzung und dem tatsächlichen Ort geben. Abschließend soll die Europakarte von der Karte Europas des Jahres 2022 zu einer Europakarte des Jahres 1986, dem Jahr des Unfalls umgestellt werden, um die besondere Situation zu der damaligen Zeit darzustellen.

5.4.1.3 Berücksichtigung von Lernmethoden

Um die Neugier nicht zu beschneiden, soll es sich um ein freies Engagement mit der Europakarte handeln, bei welchem sich die Lernenden neben dem eigentlichen Lernziel mit noch weiteren Aspekten bezüglich der Europakarte vertraut machen können. Die Lernenden bekommen eine Rückmeldung über ihren Status mittels einer Aufgabenliste, welche sie abhandeln sollen. Es soll hier die Lernmethode des *Explorativen Lernens*

umgesetzt werden, bei welchem sich die Lernenden durch Entdecken der Europakarte mit der Thematik vertraut machen.

5.4.2 Nuklearreaktor

5.4.2.1 Gründe für die Implementierung des Nuklearreaktors

Ein wesentlicher Lerninhalt, der mit dieser Interaktion vermittelt werden soll, ist die eigentliche Funktionsweise eines Nuklearreaktors. Die Funktionsweise eines Nuklearreaktors, mittels freigesetzter Energie durch Kernspaltung Wasser zur Verdampfung zu bringen, mit welchem im Anschluss Turbinen angetrieben werden, liefert den gegebenenfalls unwissenden Lernenden eine neue Perspektive auf den vorher abstrakten Begriff des Nuklearreaktors

5.4.2.2 Ablauf der Interaktion

Es soll im ersten Schritt ein Reaktorgebäude geöffnet werden, um den Innenbereich des Reaktorgebäudes zu zeigen. Anschließend soll ein Hebel von der neutralen Position in der Mitte des Bereiches in die maximale Position bewegt werden. Als abschließender Schritt soll der Hebel wieder von der maximalen Position in die minimale Position bewegt werden. Währenddessen soll die Bewegung des Hebels die Veränderungen im Nuklearreaktor zeigen. Beim Bewegen des Hebels bewegen sich die Kontrollstäbe im Nuklearreaktor entweder raus oder rein. Zusätzlich soll deutlich werden, welche Veränderungen die Position der Kontrollstäbe für den Nuklearreaktor bedeuten. Ein Herausfahren der Kontrollstäbe soll die Reaktivität senken, welche auf einem Bildschirm als Zahl dargestellt wird. Zusätzlich soll es visuelle Rückmeldung geben, dass zu weit herausgefahrene Kontrollstäbe eine Gefährdung darstellen, welche es zu vermeiden gilt.

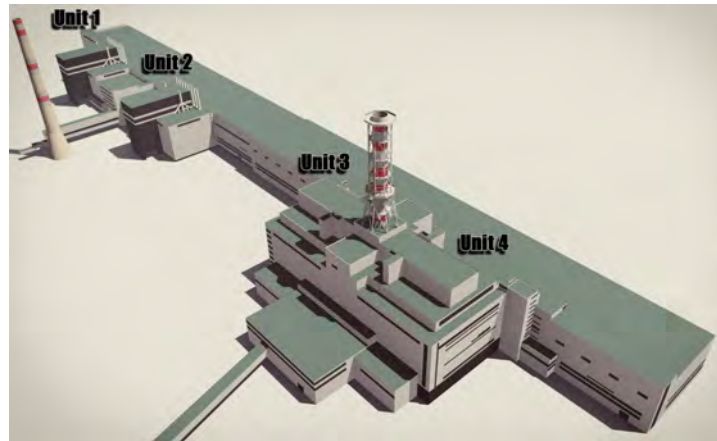


Abbildung 5.1: 3D-Render des Reaktorgebäudes mit den Positionen der vier Nuklearreaktoren [12]

5.4.2.3 Berücksichtigung von Lernmethoden

Bei dem Nuklearreaktormodell soll insbesondere die Lernmethode des *Learning-by-doing* im Fokus stehen. Die Lernenden sollen den Hebel bewegen und durch Beobachtung Rückschlüsse auf die Funktionsweise des Nuklearreaktors ziehen. Da es keinen Zeitdruck gibt, können sich die Lernenden so viel Zeit dabei lassen, die Funktionsweise des Nuklearreaktors zu durchdringen, wie es sich für sie richtig anfühlt.

5.4.3 Reaktorgebäude

5.4.3.1 Gründe für die Implementierung des Reaktorgebäudes

Bei einer Interaktion mit dem Reaktorgebäude soll die Dimension und das äußere Erscheinungsbild des Reaktorgebäudes vermittelt werden. Außerdem soll zur Geltung kommen, dass das Reaktorgebäude nicht bloß aus einem Nuklearreaktor bestand, sondern insgesamt vier Nuklearreaktoren in dem Gebäude verbaut waren (siehe Abbildung 5.1).

5.4.3.2 Ablauf der Interaktion

Die Lernenden sollen vier Modelle eines Nuklearreaktors an den jeweiligen Platz in dem Reaktorgebäude platziert werden. Die Nuklearreaktoren sollen auf dem Tisch

platziert sein und somit unmittelbar gegriffen und bewegt werden können. Mittels eines Knopfes soll das Modell des Reaktorgebäudes transparent geschaltet werden, um die jeweiligen Positionen der Nuklearreaktoren im Reaktorgebäude offenzulegen. Nach der erfolgten Platzierung soll ein Text mit der Bezeichnung des Nuklearreaktors und eventuelle Zusatzinformationen über dem Nuklearreaktor erscheinen. Sobald alle vier Nuklearreaktoren platziert sind, soll die Interaktion abgeschlossen sein

5.4.3.3 Berücksichtigung der Lernmethoden

Hier steht ebenfalls das *Explorative Lernen* im Fokus. Die Lernenden können sich das Reaktorgebäude im Detail anschauen und mithilfe der direkten Interaktion mit Nuklearreaktoren im Idealfall einen vertieften Lerneffekt erhalten.

5.4.4 Weitere Interaktionen

Neben den verpflichtenden Interaktionen soll es möglicherweise andere Interaktionen geben, die freiwillig zu absolvieren sind.

Hierzu zählt die Interaktion mit einem Fernsehgerät, welches historischen Kontext mit einem informellen Video aus der damaligen Zeit bieten soll. Das Fernsehgerät soll ein- und ausschaltbar sein.

6 Entwicklung des VR-Prototypen

6.1 Vorbereitung

Bevor die Beschreibung der Entwicklung des VR-Prototypen beginnt, sollen im Vordergrund wesentliche Software und Fremdarbeiten vorgestellt werden, welche bei der Entwicklung verwendet wurden. Bei der Entwicklung des VR-Prototypen wurden verschiedene Unity-Pakete, Assets und Klassen aus Beispielprojekten verwendet.

6.1.1 Unity

Für die Umsetzung des VR-Prototypen wurde die Videospieleengine *Unity* verwendet. In *Unity* wird die Anwendung in Szenen strukturiert, welche geladen und gestartet werden. Jede Szene enthält sogenannte *GameObjects*. In *Unity* wird die Funktionalität von *GameObjects* mittels Komponenten erweitert, welche zu den *GameObjects* hinzugefügt werden (siehe Abbildung 6.1). Eine Komponente, welche jedes *GameObject* stets nutzt, ist die *Transform*-Komponente. Diese enthält Informationen zu der Position, Rotation und Skalierung des *GameObjects*. Damit ein *GameObject* in der Szene sichtbar wird, werden die Komponenten *Mesh Filter* und *Mesh Renderer* benötigt. Die *Mesh Filter*-Komponente hält eine Referenz zur Geometrie und der *Mesh Renderer* definiert das verwendete Material. Ebenso wird hier festgelegt, wie das *GameObject* mit Lichtquellen interagieren soll (beispielsweise Schattenwurf).

6.1.2 XR Interaction Toolkit

Das *XR Interaction Toolkit* ist ein Paket, welches die Spieleengine *Unity* zur Verfügung stellt. Das *XR Interaction Toolkit* liefert grundlegende und erweiterbare Klassen, welche für die Interaktion von XR-Geräten mit Objekten in der Spielszene zuständig sind.

Das *XR Interaction Toolkit* unterteilt hierfür Objekte in der Spielszene in sogenannte *Interactors* und *Interactables*. Als *Interactors* können alle Objekte klassifiziert werden, welche vom Nutzer aktiv gesteuert werden. Konkretes Beispiel für diesen VR-Prototypen sind die Hardware der *Oculus Quest*, welche aus einem Headset und zwei Controllern besteht. Die zwei Controller fungieren als *Interactors* und können auf verschiedenste Weise mit Objekten, den *Interactables*, in der Spielszene interagieren. Beide Klassen kommunizieren mittels einer Vermittlungsklasse, dem *XR Interaction Manager*.

Die Klassenstrukturen des *XR Interaction Toolkits* sind folglich gelöst:

Sowohl für *Interactors* als auch für *Interactables* existieren Basisklassen, die *BaseInteractor*-Klasse und die *BaseInteractable*-Klasse.

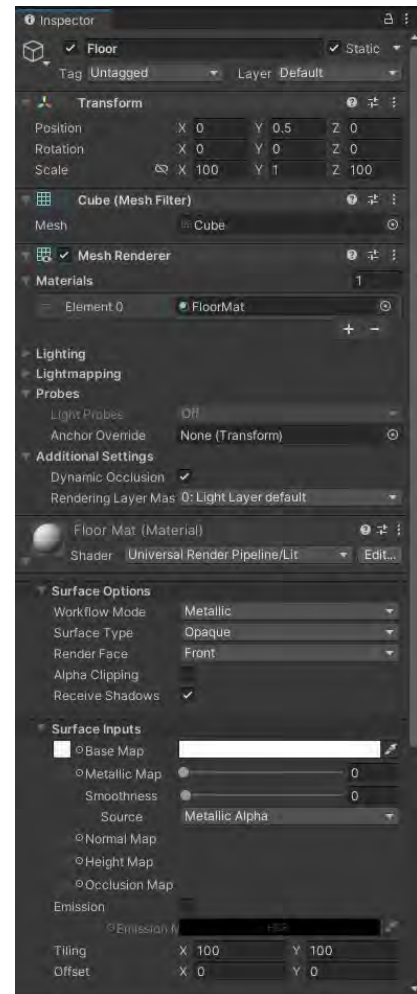


Abbildung 6.1: Komponenten auf einem *GameObject*

6 Entwicklung des VR-Prototypen

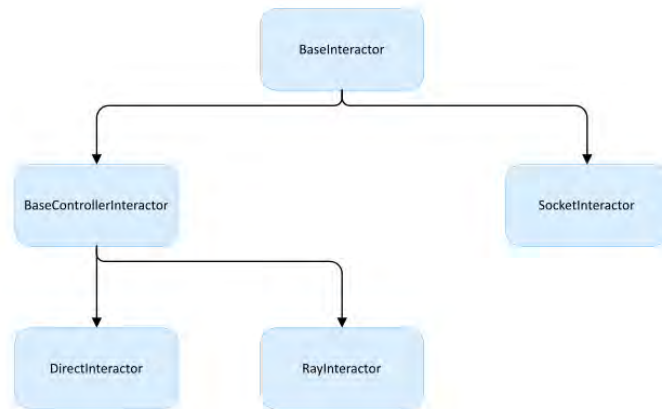


Abbildung 6.2: *Interactor*-Klassenhierarchie des *XR Interaction Toolkits* [13]

Die vom *BaseInteractor* ererbenden Klassen implementieren verschiedene Wege, mit denen mit Objekten interagiert wird (siehe Abbildung 6.2). *BaseControllerInteractor* ist die Basisklasse zweiter *Interactors*-Klassen, welche die Interaktion des *Interactors* mit dem *Interactable* via direktem Kontakt (*DirectInteractor*) und via einer gerenderten Linie (*RayInteractor*) ermöglicht.

Der *SocketInteractor* ermöglicht das Sockeln eines *Interactables*, wenn es mit dem *BoxCollider* des *SocketInteractor-GameObject* in Berührung kommt. Somit können Objekte nach der Interaktion an festen Orten verankert werden.

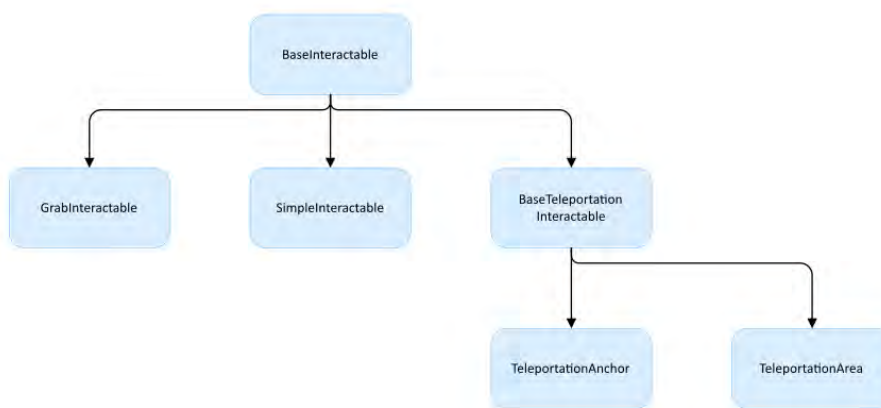


Abbildung 6.3: *Interactable*-Klassenhierarchie des *XR Interaction Toolkits* [13]

Ebenfalls gibt es verschiedene Subklassen für *Interactables* (siehe Abbildung 6.3). *Interactables* sind aufgeteilt in einfache *Interactables*, welche von der Klasse *SimpleInteractable* realisiert werden und greifbare *Interactables*, welche in der Klasse *GrabInteractable* definiert sind.

SimpleInteractables sind nützlich für Interaktionen, bei welcher das *GameObject* nicht bewegt werden soll, sondern lediglich auf *Hover-*, *Select-* und *Activate-*Events warten soll, um bestimmte Funktionen auszuführen. Als *Interactor* ist hierfür der *RayInteractor* am sinnvollsten, da der Verzicht auf bewegbare *GameObjects* meist auch einen Verzicht auf greifbare Interaktionen bedeutet.

Im Gegensatz hierzu ist das *GrabInteractable* genau für Fälle vorgesehen, wo mit einem *GameObject* mittels Greifinteraktion interagiert werden soll. Die *GrabInteractable*-Klasse liefert ebenfalls Funktionalitäten, ob auf Position und/oder Rotation reagiert werden soll und ob das *GameObject* beim Beenden der Interaktion geworfen werden soll.

Zusätzlich zu den Klassen werden vorkonfigurierte Objekte für *Unity* mitgeliefert, welche unter anderem ein Rig des XR-Spielers umfassen.

Ebenfalls enthalten sind vorgefertigte *Input Action Assets*, welche das actionbasierte *InputSystem* von *Unity* verwenden. Dieses enthält vordefinierte *Actions*, welche die Implementierung von Funktionalität unabhängig von konkret verwendeter Hardware ermöglicht. Dies lässt konkrete Hardwareimplementierungen entfallen.

Für die VR-Prototyp-Entwicklung hilfreich ist der *XRDeviceSimulator*, welcher die im *Input Action Asset* definierten Aktionen auf die Eingabe mittels Maus und Tastatur überträgt. Dadurch kann das Programm ohne XR-Hardware getestet werden.

6.1.3 Beispielprojekt

Es existiert ein Beispielprojekt namens *XR Interaction Toolkit Examples*¹, in welchem die Funktionalitäten des *XR Interaction Toolkits* beispielhaft angewandt werden. In diesem Beispielprojekt ist die Klasse *ActionBasedControllerManager* enthalten, welche

¹<https://github.com/Unity-Technologies/XR-Interaction-Toolkit-Examples>

das Umschalten von Controllertypen zur Teleportation ermöglicht. Zusätzlich sind einfache Teleportanker mit Visualisierungen vorhanden. Beides wurde im Rahmen des VR-Prototypen verwendet.

6.1.4 LeanTween

*LeanTween*² ist ein kostenloses Asset aus dem *Unity Asset Store*, welches simple Animationen mittels *Tweening* ermöglicht. Das *Tweening* entspricht einer Interpolation zwischen zwei Werten über eine definierte Zeit. Für einfache Animationen ist die funktionsreiche *Animator*-Komponente. Bei einfachen Animationen sind Animationen in *Unity* mit erhöhter Rechenleistung verbunden. Deshalb wurden in diesem Projekt vorkommende Animationen mittels *LeanTween* realisiert, wodurch auf die Verwendung der Animationspakete von *Unity* verzichtet werden konnte.

6.1.5 Blender

Zur Entwicklung von Modellen wurde die kostenlose 3D-Software *Blender* extensiv verwendet. Auf die jeweiligen Modellierarbeiten wird bei der Diskussion der einzelnen Interaktionen eingegangen.

6.1.5.1 Blender-PlugIns

Um die Entwicklung zu vereinfachen, wurden mitunter PlugIns in *Blender* verwendet. Hierzu zählen die zwei PlugIns *BoxCutter* und *HardOps* von *TeamC*³, die nicht destruktives Modellieren in *Blender* stark vereinfachen.

Ebenfalls wurde das Plugin *SimpleBake* von *HaughtyGreyAlien*⁴ genutzt, da hiermit der Prozess des *Texture Baking* und *Texture Atlas Baking* (welche in Abschnitt 7 besprochen werden) enorm erleichtert.

²<https://assetstore.unity.com/packages/tools/animation/leantween-3595>

³<https://blendermarket.com/products/hard-ops--boxcutter-ultimate-bundle>

⁴<https://blendermarket.com/products/simplebake---simple-pbr-and-other-baking-in-blender-2>

6.1.6 Audacity

Für die Aufnahme von eingesprochenen Audiodateien wurde die kostenlose Audio-software *Audacity* verwendet.

6.2 Technische Vorgaben

Da für die Entwicklung des VR-Prototypen als Hardware die *Oculus Quest* ausgewählt wurde, ist es wesentlich, im Voraus die Limitierungen der Hardware zu kennen. Dafür stellt *Oculus* beziehungsweise *Meta* (seit gemeinsamer Umbenennung der VR-Sparte mit dem Mutterkonzern *Meta* (ehemals *Facebook*)) Empfehlungen, welche zu befolgen sind. [14]

6.2.0.1 Bilder pro Sekunde

Um als *Meta Quest App* zugelassen zu werden, wird eine Bildwiederholrate von 72 Bildern pro Sekunde festgelegt.

6.2.0.2 Draw Calls

Für die im Rahmen dieser Thesis verwendeten *Oculus Quest 1* werden je Anwendungstyp unterschiedliche Anzahlen an *Draw Calls* empfohlen (siehe Tabelle 6.1). Eine detailliertere Definition von *Draw Calls* wird in Abschnitt 7.1.1 vorgenommen.

Für besonders rechenintensive Anwendungen werden maximal 150 *Draw Calls* empfohlen. Anwendungen mit weniger Rechenbedarf können bis zu 400 *Draw Calls* enthalten. Da es sich bei dem geplanten VR-Prototypen um eine Variante eines *Escape Rooms* oder Puzzlespiel handeln wird, wird eine Anzahl von maximal 400 *Draw Calls* veranschlagt. Hierbei soll von vornherein jede Möglichkeit genutzt werden, die Anzahl an *Draw calls* so minimal wie möglich zu halten. Hierauf wird in Abschnitt 7 eingegangen werden.

Quest	Draw Calls	Anwendungstyp
Quest 1	50 - 150	Busy Simulation
Quest 1	150 - 250	Medium Simulation
Quest 1	250 - 400	Light Simulation

Tabelle 6.1: Von *Oculus* empfohlene Anzahl an *Draw Calls* je Anwendungstyp

6.2.0.3 Anzahl an Dreiecksgeometrien

Die Anzahl an Vertexpunkten (engl. vertex (plural: vertices) und Dreiecksgeometrien (engl. triangles) in 3D-Anwendungen ist wesentlicher Faktor für die Performance. Je höher die Anzahl an Vertexpunkten, desto mehr Information muss beim Rendern eines neuen Bildes berechnet werden. Für die *Oculus Quest* werden 350.000 bis 500.000 *Triangles* als Maximum genannt.

6.2.1 Zusammenfassung

Bei der Entwicklung des Prototypen sollen folglich diese Faktoren berücksichtigt werden:

- mindestens 72 Bilder pro Sekunde (möglichst konstant)
- maximal 400 *Draw Calls* (möglichst gering halten)
- maximal 350.000 bis 500.000 *Triangles* in der VR-Experience

6.3 Realisierung des VR-Prototypen

6.3.1 Render Pipeline Einstellungen

Die Einstellung der *Render Pipeline* sind zentrale Anweisungen, welche *Render*-Einstellungen, welche visuelle Qualitätsstufe und wie das Projekt mit Licht- und Schatteneffekten umgehen soll.

Da die *Oculus Quest* als Hardware genutzt wird, wurden die *Render*-Einstellungen so niedrig wie nötig eingestellt, ohne zu große Abstriche in der visuellen Qualität machen zu müssen. Die gewählten *Render*-Einstellungen orientieren sich weitestgehend an den Einstellungen der *Medium*-Einstellungen der voreingestellten *Universal Render Pipeline*-Einstellungen. Es wird bei der Qualität auf hohe Dynamik und starkes *Anti Aliasing* verzichtet und die Schattendistanz wurde begrenzt (siehe Abbildung 6.4).

6.3.2 Interaktoren

Um die Interaktoren besser nachvollziehen zu können, ist die Struktur des *XRRigs* hilfreich (siehe Abbildung 6.5). Neben der Kamera-Komponente befinden sich hier die Hände sowie die jeweiligen Controller für jede Hand.

Der *Action Based Controller Manager* aus dem Beispielprojekt zum *XR Interaction Toolkit* legt unter

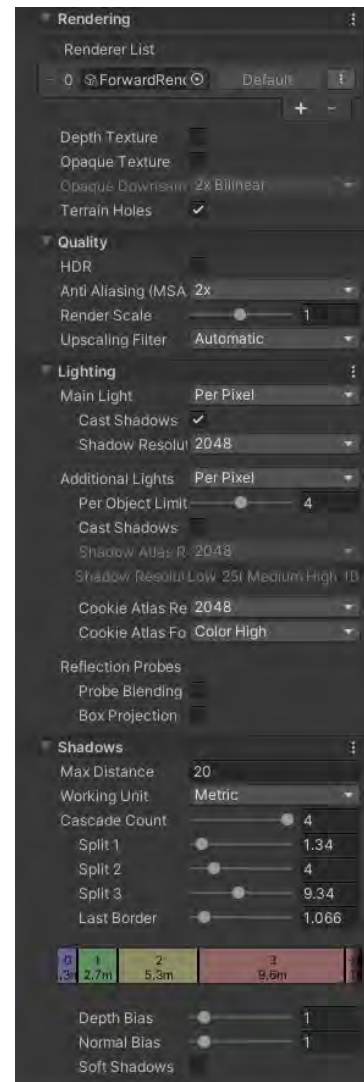


Abbildung 6.4: Render-Pipeline Einstellungen des Projekts

6 Entwicklung des VR-Prototypen

Controller GameObjects die im *XRRig* verfügbaren Controller fest und wechselt zwischen diesen basierend auf die Eingabe für die Teleportation.



Abbildung 6.5: Das verwendete *XRRig*

Der *MapController* nimmt diese Funktionalität zur Grundlage und tauscht das *BaseController-GameObject* bei der Kollision mit dem *BoxCollider* über der Europakarte mit dem *MapController* aus, welcher anstatt von *DirectInteractor*-Komponenten über die *RayInteractor*-Komponente verfügt, mit welcher die Interaktion mit der Europakarte intuitiver vonstatten geht.

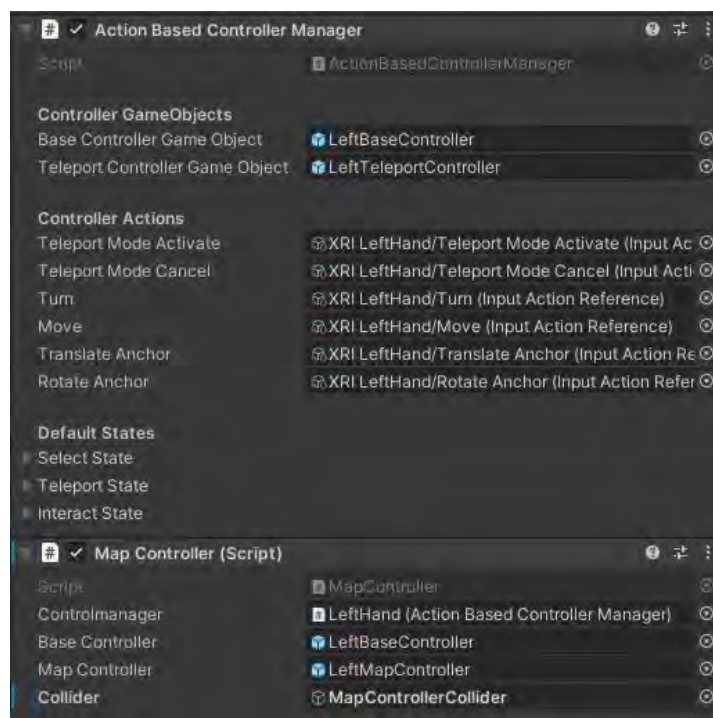


Abbildung 6.6: Der *ControllerManager* und *MapController*-Komponente



Abbildung 6.7: Bild des Menüs mit Schriftzug und Buttons

6.3.3 Menüszene

Beim Start der VR-Experience lädt eine Szene namens *Menu*. Diese Szene befindet sich ebenfalls in der Szenerie der eigentlichen VR-Experience, allerdings sind die Tische weitestgehend leer belassen und das Modell des Reaktorgebäudes wurde auf dem mittleren Tisch in den Sichtbereich platziert. Über dem Modell ist ein Schriftzug mit dem Wort *Tschernobyl* zu sehen, um das Thema der VR-Experience deutlich zu machen (siehe Abbildung 6.7).

Zusätzlich existieren ein Button für den Start und das Beenden der VR-Experience. Beim Drücken des *Start*-Buttons wird die eigentliche Szene geladen. Nach dem Absolvieren der VR-Experience wird die Menü-Szene erneut geladen. Das Drücken des *Beenden*-Buttons schließt die Anwendung.

6.3.4 Umsetzung des Kontrollraums

6.3.4.1 Modell

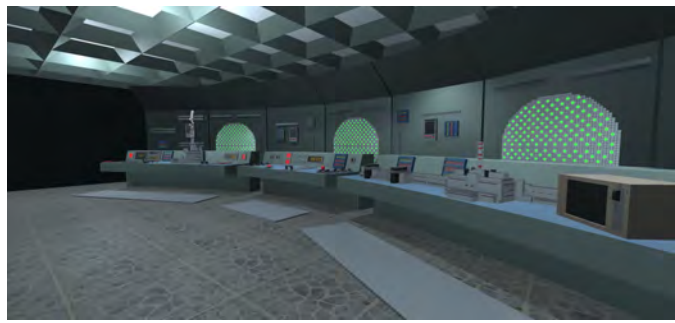
Der Kontrollraum des Reaktors 4, in welchem die entscheidenden Fehler vor der Nuklearkatastrophe begangen wurden, ist der Ort, an dem sich der Spielablauf des VR-Prototypen abspielt. Für den Kontrollraum wurden verschiedene vorhandene Fotos vergleichbarer Kontrollräume der Reaktoranlage als Grundlage genommen, um ein Abbild des Kontrollraums zu schaffen (siehe Abbildung 6.8). Es wurde darauf Rücksicht genommen, das Modell des Kontrollraums gleichzeitig optisch an den realen

6 Entwicklung des VR-Prototypen

Kontrollraum anzugleichen und die Ausstattung auf das Wesentliche zu reduzieren, um den notwendigen Effekt zu erzeugen.



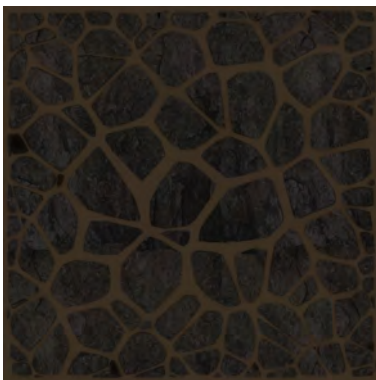
(a) Kontrollraums aus Reaktoreinheit 3, BBC World Service [15]



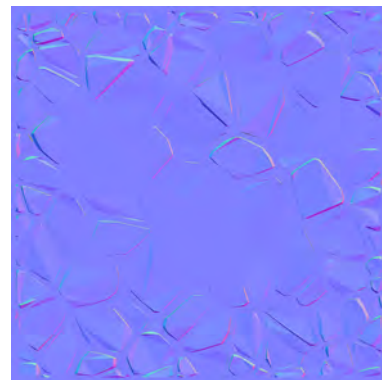
(b) Bild der Umsetzung des Kontrollraums in *Unity* basierend auf Kontrollraum von Reaktoreinheit 3

Abbildung 6.8: Beispiel und Umsetzung des Kontrollraums

Für den Boden wurde eine Diffus- und Normaltextur in *Blender* erstellt, welche ungefähr den Boden des Kontrollraums aus Abbildung 6.8a abbildet (siehe Abbildung 6.9a). Die Texturen wurden einem Material in *Unity* zugeordnet und die Texturen wurden mittels *Tiling*-Prozesses visuell vermehrt, sodass sich die Textur mehrfach über dasselbe Objekt spannt, um den Eindruck eines fortlaufenden Bodens zu haben. Dieses Material wurde auf ein *Plane*-Objekt gelegt, um dem Boden Details bei minimaler Vertex-Zahl zu geben.



(a) Diffustextur des Bodens



(b) Normaltextur des Bodens

Abbildung 6.9: Diffus- und Normaltextur des Bodens

Die Diffustextur enthält die Farbeigenschaften für das Modell und die Normaltextur enthält Informationen bezüglich der Tiefenwahrnehmung, ohne dass diese modelliert werden muss und somit komplexere Geometrie erzeugt.

6.3.5 Europakarte

6.3.5.1 Modell

Für die Europakarte wurde eine Vektorgrafik Europas als Grundlage genommen. Die Vektorgrafik en für das Jahr 1986 und 2022 stammen von *Wikipedia* und wurden in Blender weiterverarbeitet.^{5 6}

Blender importiert Vektorgrafiken als Kurven. Diese können in ein *Mesh* umgewandelt werden. Hierbei entstanden die *Meshes* der jeweiligen Länder. Es musste darauf geachtet werden, den Detailgrad der Karten weitestgehend zu minimieren. Dafür wurde die Geometrie der resultierenden *Meshes* mittels Dezimierung deutlich reduziert.

Für das Material der Europakarte wurden die Nationalflaggen Europas auf einer Textur und die Nationalflagge des jeweiligen Landes entsprechend via *UV-Editing* zugeordnet, um den letztlichen Effekt zu erzeugen.

Um eine geeignete Karte zu erhalten, wurde mittels *Boolean-Modifier* ein ausreichender Bildausschnitt Europas gewählt (siehe Abbildung 6.10).

⁵https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Europe_blank_laea_location_map_before_1990.svg, Urheber: TouN

⁶https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Europe_blank_laea_location_map.svg, Urheber: Alexrk2



(a) Europakarte des Jahres 1986 in der Software *Blender*



(b) Europakarte des Jahres 2022 in der Software *Blender*

Abbildung 6.10: Europakarten des Jahres 1986 und 2022 in der Software *Blender*

Für die Umsetzung des Konzeptes für die Europakarten-Interaktion in *Unity* wurden diese im *fbx*-Dateiformat importiert. Ursprünglich waren die Europakarten in 2D-Version ohne Tiefe implementiert worden. Aufgrund eines großen Puffers an verfügbaren *Triangles* bis zum von *Oculus* genannten Limit, wurden die Europakarten in 3D-Versionen umgewandelt, was zu einer ansprechenderen Präsentation führte.

6.3.5.2 Ablauf der Interaktion

Der Ablauf der Interaktion soll folgend dargestellt werden, bevor auf die Umsetzung einzelner Elemente eingegangen wird.

Rechts auf dem Tisch sind die jeweilig zu absolvierenden Aufgaben aufgelistet. Wird eine Aufgabe absolviert, wird eine Lampe von der Farbe rot auf die Farbe grün geschaltet.

Die Ausgangsphase ist eine Europakarte, bei der alle Länder verdeckt sind (siehe Abbildung 6.11a). Wird mit einem Land via *Hover* interagiert, erscheint dieses dunkel und signalisiert die Interaktion (siehe Abbildung 6.11b). Bei der Auswahl eines Landes erscheint der Name des Landes auf einem Display. Nach erfolgreicher Auswahl des Landes Ukraine wird die nächste Phase gestartet, in welcher eine Figur auf dem Land Ukraine mit der geschätzten Position platziert werden soll (siehe Abbildung 6.11c). Hierfür wird eine Figur auf der Karte platziert. Nach erfolgter Platzierung

6 Entwicklung des VR-Prototypen

wird die Distanz zwischen der geschätzten Position und der tatsächlichen Position des Reaktorgebäudes auf einem Display angezeigt (siehe Abbildung 6.11d).



(a) Bild der Interaktion mit Europakarte im Ausgangsstatus



(b) Bild der Interaktion mit Europakarte während des *Hover-Events*



(c) Europakarte mit Figur während des *Hover-Events*



(d) Europakarte nach Platzierung des Reaktors



(e) Europakarte nach platziertem Reaktor

Abbildung 6.11: Gesamte Interaktion mit der Europakarte

Zum Abschluss soll ein Hebel bewegt werden, welcher die Karte zwischen einer Europakarte des Jahres 2022 und einer Europakarte des Jahres 1986 umschaltet (siehe Abbildung 6.11e). Somit ist der Tisch absolviert und die rote Lampe links auf dem Tisch wird umgeschaltet, um die Absolvierung des Tisches zu signalisieren. Zusätzlich geht auf dem Tisch in der Mitte, welcher die zweite Phase einleitet, die zugehörige Lampe an. Zusätzlich wird eine Audiodatei mit einer ausgedachten Ansage des stellvertre-

tenden Chefsingenieurs, in welcher auf den Konflikt des Kalten Krieges hingewiesen und gemahnt wird, den Test unbedingt durchführen zu müssen, um sich vor dem demokratischen Westen nicht zu blamieren.

6.3.5.3 Umsetzung

Da als wesentliches Interaktionskonzept die gewählte Vorgabe war, möglichst viele Interaktionen mittels *DirectInteractor* nur bei direktem Kontakt des Controllers mit dem *Interactable* zuzulassen, musste die Europakarte auf anderem Interaktionsweg umgesetzt werden, da sich die Interaktion mit direktem Kontakt als unpraktikabel erwiesen hat. Deshalb sollte ausschließlich für diese Interaktion eine Interaktion mittels *RayInteractor* möglich sein. Dazu wurde über der Europakarte ein *GameObject* mit *Box Collider* als *Trigger* positioniert, welches den Basiscontroller mit einem *RayInteractor* austauscht.

Für die Bildschirme wurde eine Schriftart gefunden, welche einer Siebensegmentanzeige gleicht.⁷ Diese Schriftart wurde für alle Bildschirme verwendet, welche sich in der Szene befinden (siehe hierfür Abschnitt 6.3.6 sowie Abschnitt 6.3.7).

Der Ablauf der Interaktion mit der Europakarte wird von dem Skript *HistoryTable* gesteuert. Die Klasse hat eine Liste an *States* (Typ *enum*, welche den aktuellen Status der Interaktion lenkt. Die Phase *SelectCountry* ist die Ausgangsphase und in dieser wird verblieben, bis das Land Ukraine ausgewählt wurde. Anschließend wird in die Phase *SelectReactorLocation* gewechselt, in welcher die Position des Reaktorgebäudes auf der Karte bestimmt werden soll, wobei nur beim *Hovern* der Ukraine als Indikator eine kleine Figur des Reaktorgebäudes zu sehen ist. Die Steuerung dieses Interaktionsteils wird vom Skript *MapReactor* übernommen, welches vom Skript *HistoryTabelle* aktiviert wird. Beim Selektieren einer Position auf der Fläche der Ukraine wird an der Stelle der Selektion (bestimmt mittels *Raycast*) eine Figur positioniert, welche sich im Anschluss an die tatsächliche Position des Reaktorgebäudes bewegt, wofür das Package *LeanTween* verwendet wurde, welche das *GameObject* des Modells über 2 Sekunden

⁷<https://www.keshikan.net/fonts-e.html>, Urheber: Keshikan

zur Position bewegt. Eine Säule markiert erst die Stelle der tatsächlichen Position und nach Abschluss der Bewegung der Figur zum Punkt wird die Säule an der Position der ursprünglichen Selektion platziert. Eine Funktion berechnet, basierend auf der Länge des *GameObjects* vom Land Deutschland als Maßstab, welche Distanz in etwa zwischen der selektierten und tatsächlichen Position liegt.

Um zu vermeiden, für jedes Land-*GameObject* alle notwendigen Komponenten zu konfigurieren, wurde ein Skript *MapSetup* dem übergeordneten *GameObject* hinzugefügt, welches beim Laden der Szene folgende Komponenten den Ländern anfügt.

- Eine *BoxCollider*-Komponente
- Eine *SimpleInteractable*-Komponente
- Eine Skript namens *CountryInteractable*

Die *BoxCollider*-Komponente ermöglicht die Interaktion mit den Ländern. Die *SimpleInteractable*-Komponente ermöglicht die Interaktion mittels eines *RayInteractors*, um auf das *Hover*-Event und *Select*-Event zu reagieren.

Das Skript *CountryInteractable* fügt die entsprechende Funktionalität für das Anpassen der Materialien bei der Interaktion hinzu. Beim *Hovern* soll das Material des jeweilig ausgewählten Landes mit einer dunkleren Version des Ursprungmaterials ausgetauscht werden, um visuell die Interaktion mit dem Land zu zeigen. Wird das Land nicht mehr ausgewählt, soll das Material zum ursprünglichen Material wechseln. Wird ein Land ausgewählt, soll die Nationalflagge des jeweiligen Landes als Material sichtbar sein.

Für das Wasser wurde eine Wassertextur verwendet⁸. In *ShaderGraph* wurde für die Europakarte zwei Shader erstellt. Der Shader *Water Shader* bewegt die genannte Textur (welche zusätzlich mittels *Tiling And Offset*-Knoten vervielfacht wurde) seicht hin und her. Die Geschwindigkeit wird mittels Variablen *Speed* eingestellt (siehe Abbildung 6.12).

⁸https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Water_texture_1390894_Nevit.jpg, Urheber: © Nevit Dilmén

6 Entwicklung des VR-Prototypen

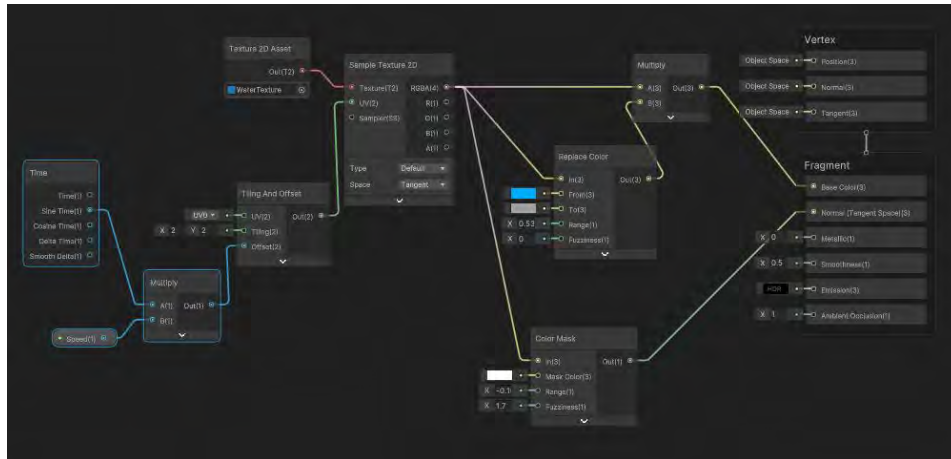


Abbildung 6.12: Umsetzung der Wasserbewegung in ShaderGraph

Der zweite Shader bewegt die Wasseroberfläche der Europakarte, um diese ansprechender erscheinen zu lassen. Dafür wird ein Ebenen-*GameObject* in ShaderGraph manipuliert, damit es auf der vertikalen Achse wellenartig ausschlägt. Dafür wird mittels *Normal Vector*-Knoten die Position mit einer Variable *Intensity* multipliziert, um die Stärke der Wellenbewegung zu definieren. Dies wird anschließend zur Vertex-Position mittels *Position*-Knoten hinzuaddiert (siehe Abbildung 6.13).

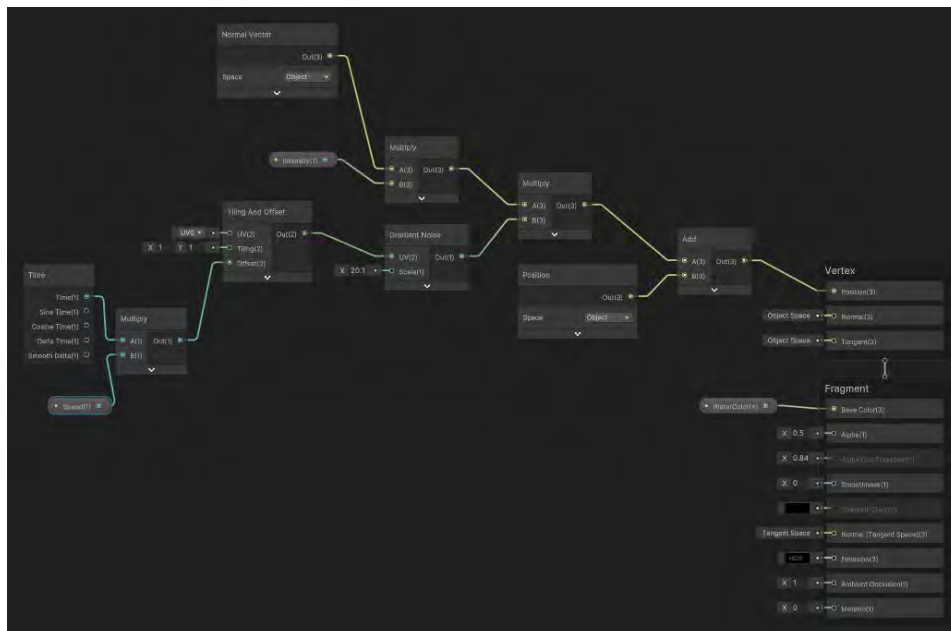


Abbildung 6.13: Umsetzung der Wasseroberflächenbewegung in ShaderGraph

Der *Reset*-Button ruft eine Funktion auf, welcher mittels eines Interfaces *IReset* die *GameObjects* der Länder, die Bildschirm zurücksetzt und den bewegbaren Hebel wieder auf die ursprüngliche Position zurücksetzt.

6.3.5.4 Audio

Um eine Rückmeldung über den Erfolg oder Misserfolg zu geben, wurde es als sinnvoll erachtet, mittels Wiedergabe einer Audiodatei darüber Aufschluss zu geben. Hierfür wurden zwei kurze Töne verwendet, welche sich subjektiv nach Erfolg⁹ und Misserfolg¹⁰ anhörten.

6.3.6 Nuklearreaktormodell

6.3.6.1 Modell

Für diese Interaktion wurde das Modell des Reaktorgebäudes abgewandelt, welches noch in Abschnitt 6.3.8 besprochen wird. Das Reaktorgebäude wurde in *Blender* mittels *Boolean-Modifier* auf den wesentlichen Teil des Gebäudes verkürzt. Zusätzlich wieder ebenfalls mit *Boolean-Modifier* der Innenbereich des Gebäudes ausgeschnitten. Dies war sinnvoll, um denselben Platz mit einem separaten Modells des Innenbereichs zu füllen, um diesen für spätere Modifikationen austauschbar zu machen. Um den Innenbereich für den beabsichtigten Lerneffekt schlicht und übersichtlich zu halten, wurde von dem eigentlichen Reaktordesign eines *RBMK*-Reaktors aus Abschnitt 3 abgewichen. Stattdessen wurde eine simplifizierte Version erdacht in welcher die Komponenten aus schlichten Geometrien gebaut wurden. Ausschließlich die Rohre, in welchen sich der Dampf bewegt, ist komplexere Geometrie.

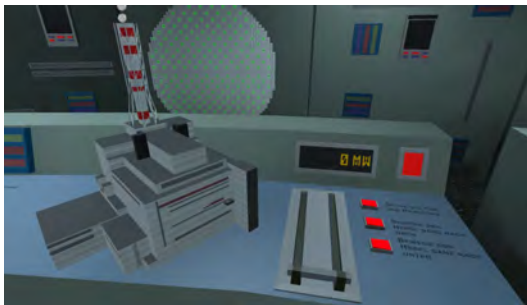
⁹<https://freesound.org/people/JustInvoke/sounds/446111/>, Urheber: JustInvoke

¹⁰<https://freesound.org/people/lluisset7/sounds/141334/>, Urheber: lluisset7

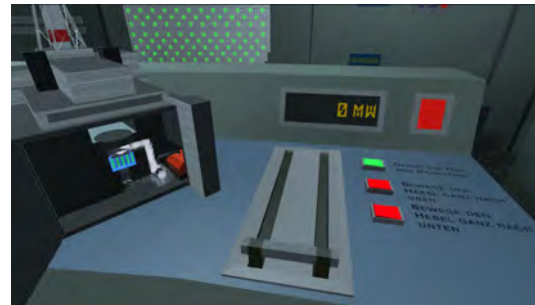
6.3.6.2 Ablauf der Interaktion

Wie bei der Europakarte (siehe Abschnitt 6.3.5) sind drei Aufgaben rechts auf dem Tisch notiert, welche durch die Interaktion mit dem Tisch leiten. Ebenso sind drei - vorerst rote - Leuchten vorhanden, um den Fortschritt zu visualisieren.

Die erste Aufgabe beinhaltet das Öffnen des Nuklearreaktormodells. Dafür ist eine kleine Lasche an dem Reaktorgebäude zu sehen, welche gegriffen werden kann (siehe Abbildung 6.14a). Nach Öffnung des Reaktorgebäudes über einen Winkel hinaus ist die Aufgabe abgeschlossen (siehe Abbildung 6.14b).



(a) Nuklearreaktormodell im Ausgangsstatus

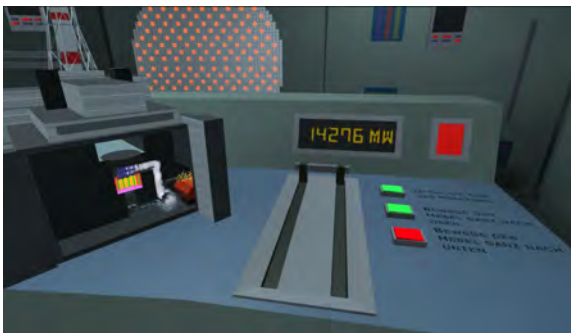


(b) Nuklearreaktormodell mit geöffneter Tür

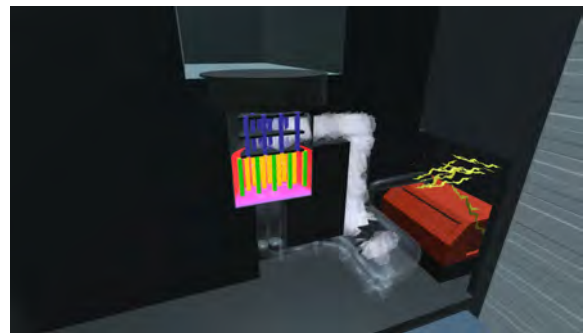
Abbildung 6.14: Nuklearreaktormodell im Ausgangsstatus und mit geöffneter Tür

Die zweite Aufgabe besteht darin, den Hebel auf die maximale Position zu bewegen. Beim Bewegen des Hebels verändert sich der Innenbereich und passt sich an. Zusätzlich verändert sich die Textanzeige auf dem Bildschirm und die Wandpaneele an der Wand hinter dem Tisch verändern die Farbe von grün nach rot und fangen zu blinken an (siehe Abbildung 6.15a). Im Innenbereich des Reaktorgebäudes bewegen sich mit dem Hebel die Kontrollstäbe aus dem Nuklearreaktor. Zusätzlich verändert sich die Farbe des Kühlwassers von ursprünglich nur kochend rot an der Oberfläche hin zu komplett kochend rot. Die Bewegung des Dampfes beschleunigt sich und dadurch folglich auch die Bewegung der Turbine. Ebenfalls erhöht sich die Anzahl an Blitzen beim Generator, um die Erhöhung der erzeugten elektrischen Energie zu visualisieren (siehe Abbildung 6.15b). Mit Abschluss der Aufgabe soll nun der Hebel wieder auf die minimale Position bewegt werden (siehe Abbildung 6.15c). Geschieht dies, verän-

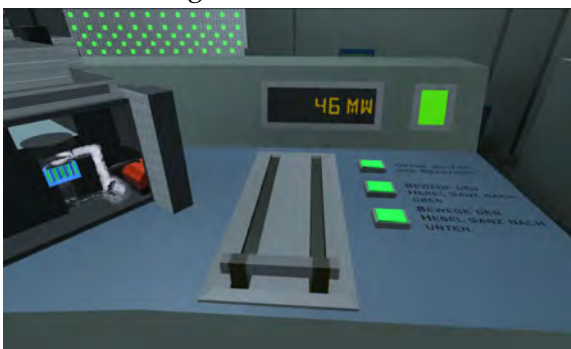
dert sich der Innenbereich des Reaktorgebäudes wieder zurück zum Ursprung: Die Kontrollstäbe sind komplett in den Nuklearreaktor gefahren, das Kühlwasser hat (bis auf die Wasseroberfläche) eine kühlend blaue Farbe, der Dampf bewegt sich langsam durch die Turbine, welche sich folglich langsam dreht und der Generator erzeugt folglich wenig Strom. Die Wandpanele im Hintergrund des Tisches verändern ihre Farbe wieder zu grün, allerdings sind sie blinkend, da der Nuklearreaktor droht, aufgrund zu geringer Reaktivität auszugehen (siehe Abbildung 6.15d).



(a) Nuklearreaktormodell mit Hebel in Maximalstellung



(b) Inneres des Nuklearreaktormodell mit Hebel in Maximalstellung



(c) Nuklearreaktormodell mit Hebel in Minimalstellung



(d) Inneres des Nuklearreaktormodell mit Hebel in Minimalstellung

Abbildung 6.15: Interaktion mit Hebel und Auswirkungen auf Nuklearreaktormodell

6.3.6.3 Umsetzung

Für die Umsetzung wurde - wie bei der Europakarte - das *State Pattern* verwendet, da die Interaktion phasenabhängig ist. Dieses Mal wurde statt einer Variante mittels Liste (Typ *enum*) ein klassenbasiertes *State Pattern* ausprobiert. Dieses bietet die Möglichkeit,

die einzelnen Phasen auf Skriptebene besser voneinander zu trennen und übersichtlicher zu gestalten. Dafür wird eine *StateMachine* verwendet, welche eine Referenz zur aktuellen Phase enthält und eine Methode, mit welcher die Phase gewechselt werden kann. Es gibt zusätzlich eine Basisklasse *State*, welche abstrakte virtuelle Methoden definiert, welche Funktionalitäten beim Eintritt in die Phase, fortlaufend während der Phase und beim Austritt aus der Phase definieren. Die Methoden sind virtuell, um sie in den erfinden, richtigen Phasenskripten mit der gewünschten Funktionalität zu überschreiben.

Wie bei der Europakarte wurde mittels eines Interfaces namens *ILever* auf allen *GameObjects*, die auf die Hebelbewegung reagieren sollen, eine Methode *LeverPosition* aufgerufen. Jedes *GameObject* hat entsprechend der Funktionalität mit einem entsprechenden Skript individuell darauf reagiert.

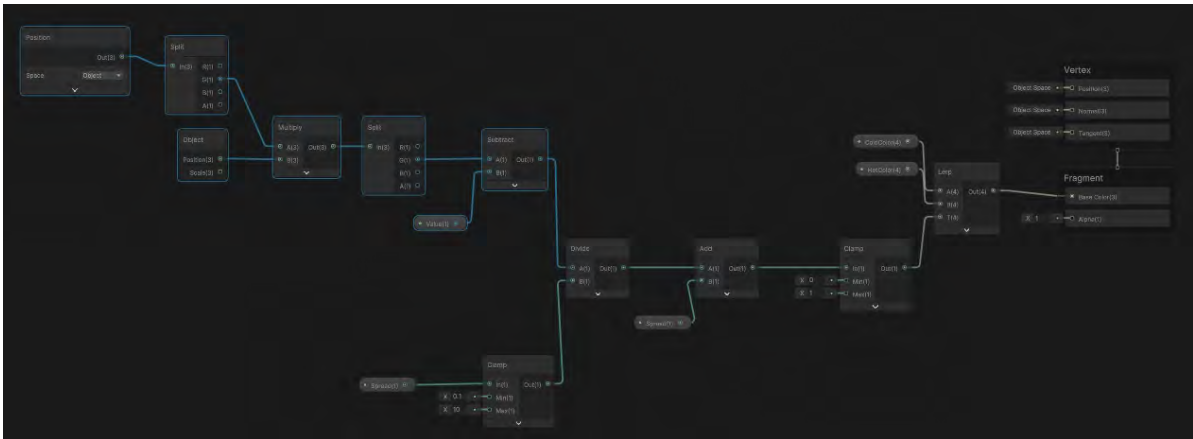
Aus dem Schornstein des Reaktorgebäudes tritt fortlaufend Rauch aus. Dieser wurde mithilfe eines *Particle Systems* realisiert, wobei dieses - basierend auf die Hebelposition, mehr oder weniger Rauch aufsteigen lässt, was mittels Veränderung der Partikelemission geschieht. Das *Particle System* hat eine Eigenschaft *Renderer*, in welcher das zu emittierende Material definiert wird. Für diesen VR-Prototypen wurde eine schlichte Rauch-Textur verwendet ¹¹.

Für die Kontrollstäbe wurden zwei *GameObjects* namens *MinPosition* und *MaxPosition*, zwischen welchen sich die Kontrollstäbe abhängig von der Hebelposition bewegen sollen.

Die Turbine verändert - basierend auf die Hebelposition, die Rotationsgeschwindigkeit und dreht schneller oder langsamer.

Der Dampf besteht - wie der Rauch aus dem Schornstein - aus einem *Particle System* mit derselben Textur. Hier wird mit der Hebelbewegung die Simulationsgeschwindigkeit verändert.

¹¹<https://www.pngkey.com/maxpic/u2q8a9i1u2r5a9w7/>, Urheber: unbekannt

Abbildung 6.16: Shader des Kühlwassers in *Shader Graph*

Für den Shader des Kühlwassers im Nuklearreaktor wurden zwei Farben (rot und blau) definiert, zwischen welchen mittels *Lerp*-Knoten interpoliert wird, um einen Farbverlauf herzustellen (siehe Abbildung 6.16). Dieser Farbverlauf ergibt einen visuellen Schnitt, welcher das Objekt horizontal in zwei Bereiche schneidet. Der Ort des Farbverlaufs auf dem Objekt wird abschließend mit Subtraktion der *BlendValue*-Eigenschaft verändert.

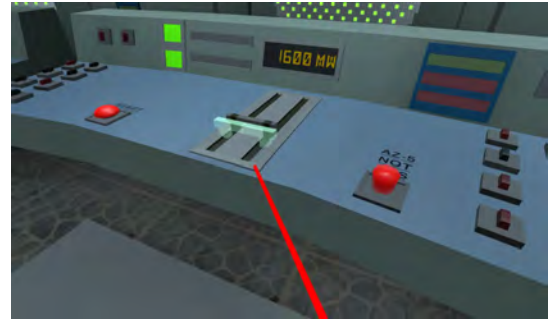
6.3.7 Tisch des Unfallablaufs

Diese Interaktion soll den eigentlich Unfallablauf darstellen. Die Probanden sollen im Idealfall die von den anderen Interaktionen dargestellten Informationen als Grundlage nehmen, um die Fehler in den Aktionen bis zum Unfall nachvollziehen zu können.

Sobald alle notwendigen Interaktionen abgeschlossen sind und die am Tisch befindlichen Leuchten grün leuchten, kann mit Drücken des Startknopfes der Start der interaktiven Phase gestartet werden (siehe Abbildung 6.17a). Diese hat folgenden Ablauf: es kommt eine Ansage vom stellvertretenden Cheffingenieur, in welcher erklärt wird, was gemacht werden soll. Sobald die Ansage abgeschlossen ist, kann der Hebel auf dem Tisch bewegt werden und kann auf die angesagte Stellung bewegt werden. Sobald sich der Hebel in der Nähe befindet, leuchtet ein grüner Indikator auf (siehe Abbildung 6.17b).



(a) Tisch für Unfallablauf beim Start der Interaktion



(b) Tisch für Unfallablauf beim Start der Interaktion mit *Hover-Event*

Abbildung 6.17: Interaktion des Unfallablaufs in Unity

Anschließend werden verschiedene Elemente animiert: die Anzeige verändert den Wert der Reaktivität auf einen definierten Wert und die Wandpanele verändern ihre Farbe basierend auf einen weiteren Wert. Dies geschieht über einen Zeitraum, welcher ebenfalls festgelegt wird.

6.3.7.1 Umsetzung

Für die Umsetzung wurde ein sogenanntes *Scriptable Object* verwendet. Diese sind Datencontainer, in welchen große Mengen an Daten gespeichert werden können. Sobald ein *Scriptable Object* und dessen Eigenschaften definiert sind, können über die Menüleiste Objekte dieses *Scriptable Objects* erstellt werden und die gewünschten Eigenschaften wie gewünscht aufgefüllt werden.

Die Animationen der Elemente erfolgt mittels *Tweening* aus der Bibliothek *LeanTween* (siehe Abschnitt 6.1.4). Mittels *Tweening* wird über den im *Scriptable Object* Zeitraum vom vorherigen zum nächsten, ebenfalls im *Scriptable Object* definierten Wert interpoliert. Durch die zeitliche Interpolation lässt sich ein realistischerer Ablauf der Tatsachen darstellen.

Im Falle dieser Anwendung wurde ein *Scriptable Object* verwendet, um für jeden Abschnitt die Audiodateien, die Werte für die Anzeige und die Wandpanele und die Zeit, in welcher sich diese auf den Zielwert bewegen sollen. Dies hat den Vorteil, dass so die Unfallabfolge in beliebiger Länge und Detailgrad nachbilden lässt. Sobald die

Unfallabfolge abgeschlossen ist, soll auf den Notausknopf AZ-5 gedrückt werden, welcher schließlich die Reaktivität erhöht und die Explosion verursacht.

Bei der Explosion erhöht sich die Anzeige der Reaktivität um ein vielfaches des sicheren Bereiches, die Wandpanele werden rotblinkend und es wird das Audio einer Explosion abgespielt. Die Audiodatei der Explosion wurde aus zwei verschiedenen Audiodateien in *Audacity* erstellt ^{12 13}.

Im Anschluss an die Explosion ist die VR-Experience abgeschlossen und es wird die Szene *Menü* geladen.

6.3.8 Reaktorgebäude

Das Reaktorgebäude wurde in der in Abschnitt 5.4.3 nicht umgesetzt, da sich die VR-Experience in Testläufen bereits zeitlich als ausreichend lang erwiesen hat und die geplante Interaktion subjektiv nicht den Mehrwert gebracht hat, wie es die anderen Interaktionen getan haben. Entsprechend wird folgend nur die Modellierung des Reaktorgebäudes besprochen, welche zu diesem Zeitpunkt bereits abgeschlossen war und welches in Ausschnitten für die Interaktion mit dem Nuklearreaktormodell genutzt wurde (siehe Abschnitt 6.3.6).

6.3.8.1 Modell

Für das Modell des Reaktorgebäudes wurde ein verfügbares, hochdetailliertes Modell als Grundlage verwendet, um eine schlichtere, minderdetaillierte Version des Reaktorgebäudes zu schaffen, welche den Dimensionen dessen entspricht. ¹⁴

Das genannte Modell wurde in *Blender* stark simplifiziert und die Anzahl an *Triangles* konnte von 2.5 Millionen auf 3575 reduziert werden. Da das Modell allerdings zum Betrachten trotzdem geeignet ist, wurde das Modell dennoch in der VR-Experience belassen (siehe Abbildung 6.18).

¹²<https://freesound.org/people/SpaceLife/sounds/329157/>, Urheber: SpaceLife

¹³<https://pixabay.com/de/sound-effects/distant-explosion-80398/>, Urheber: 1piemanpie

¹⁴<https://skfb.ly/6QUnJ>, Urheber: ml64

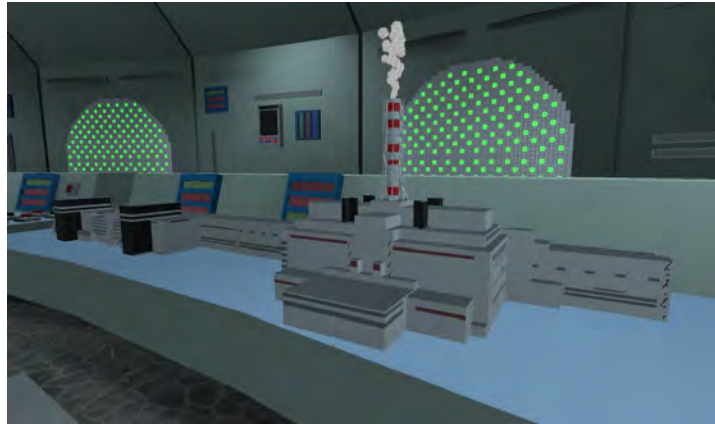


Abbildung 6.18: Bild des Reaktormodells in *Unity*

Um das Modell ansprechender zu gestalten, wurde ein *Particle System* zum *Game-Object* hinzugefügt, welches in konstanter Rate Rauchwolken aus dem Schornstein ausstößt. Bei der Textur des Rauches handelt es sich um dieselbe Textur, wie sie für das Nuklearreaktormodell verwendet wurde (siehe Abschnitt 6.3.6).

6.3.9 Fernsehgerät

Für das Fernsehgerät wurde ein simples Modell in Blender modelliert (siehe Abbildung 6.19). Die Rotation des Schalters schaltet hierbei das Fernsehgerät an und aus.

Es wurde ein modifiziertes Video eines sowjetischen Sendeschlusses als Videomaterial verwendet.¹⁵ Um zusätzlich den visuellen Eindruck eines Fernsehbildschirms zu erzeugen, wurde in *ShaderGraph* eine Textur eines Fernsehgerätbildschirms über das Videomaterial gelegt.¹⁶

¹⁵<https://youtu.be/LT40nTFax7U>, Urheber: TreeMovies

¹⁶<https://www.istockphoto.com/de/foto/tv-struktur-gm471372185-19793073>, © aetb



(a) Bild des ausgeschalteten Fernsehgeräts



(b) Bild des eingeschalteten Fernsehgeräts

Abbildung 6.19: Fernsehgerät in Unity

Das Einschalten des Fernsehgeräts erfolgt mittels des rotierbaren Schalters. Auf dem *GameObject* des Schalters befindet sich ein *GrabInteractable*-Skript, sowie ein *Configurable Joint*, welcher die Rotation des Schalters auf ein Intervall auf einer Achse begrenzt. Zusätzlich befindet sich ein Skript *VRTurnSwitch* auf dem Schalter. Dies erbt von der Basisklasse *VRSwitch* und erweitert diese um Funktionalitäten für die Rotation. Der Schalter soll mittels *GrabInteractable* greifbar sein und sich rotieren lassen. Dazu soll beim Loslassen des Schalters die dichteste Rotation berechnet werden und sich der Schalter auf die jeweilige Position drehen. Hierzu hat das Skript eine Liste von Typ *Vector3*, welche die Rotationen enthält. Die Rotationen werden vom Skript basierend auf den Limits des *Configurable Joints* berechnet.

Die eigentliche Funktionalität des Fernsehgeräts wird im Skript *TVSwitch* bestimmt. Dieses schaltet beim Schaltvorgang den *Mesh Renderer* des *GameObjects TVScreen* ein und startet das Video. Das Video läuft vom ersten Einschalten an und ein Ausschalten des Fernsehgeräts deaktiviert den *Mesh Renderer* und stellt die *Audio Source* stumm, um das Fortlaufen des Videos zu gewährleisten, wie es bei einem typischen Fernsehgerät der Fall ist. Wird der Schalter gegriffen, soll das Fernsehgerät auch während des Greifvorgangs ein- und ausgeschaltet werden. Hierfür hat die Basisklasse *VRSwitch* ein Feld *IsGrabbed(bool)*, welches während des Greifvorgangs *true* und sonst *false* ist. Im Skript *TVSwitch* wird geprüft, ob der Schalter gegriffen wird und im Anschluss, basierend auf die momentane Rotation des Schalters, gegebenenfalls ein- und ausgeschaltet.

Die *Audio Source* des Fernsehgeräts hat eine geringe hörbare Distanz, um das Fernsehgerät nur in nächster Nähe eingeschaltet hörbar sein zu lassen, da die Audiowiedergabe während der restlichen VR-Experience als störend empfunden werden kann.

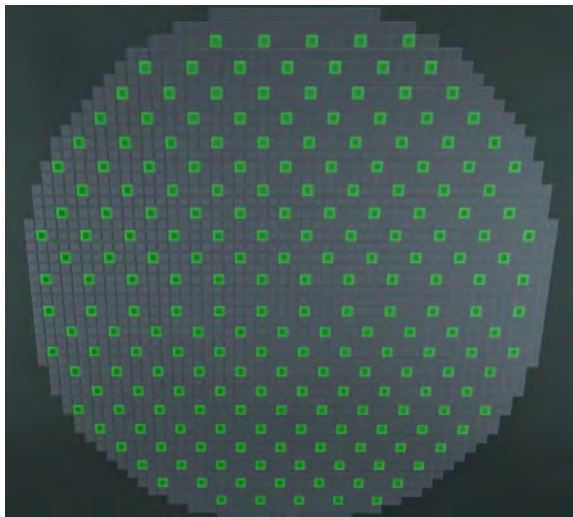
6.3.10 Umsetzung übergreifender Elemente

Ein Element, was relevant für mehrere Interaktionen ist, sind die Wandpanele, welche ein visuelles Feedback zum Status des Nuklearreaktors geben sollen. Dieses Feedback wird sowohl bei der Interaktion mit dem *Nuklearreaktormodell* in Echtzeit, als auch beim Tisch für den Unfallablauf in animierter Form gegeben und muss entsprechend unterschiedlich implementiert werden.

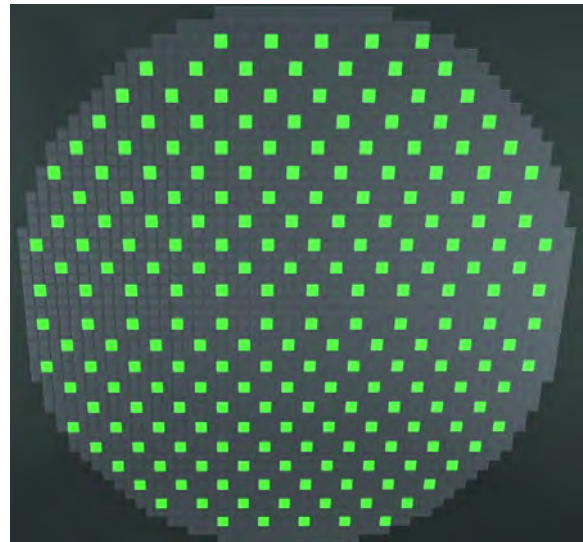
6.3.10.1 Modell

Es handelt sich bei den Wandpanelen um drei identische Modelle, welche die Anzahl an Brenn- und Kontrollstäben im Nukleareaktor nachempfunden sind. Die Geometrie ist hier eine runde 2D-Geometrie, welche mit rechteckigen Elementen nachgebaut wurde.

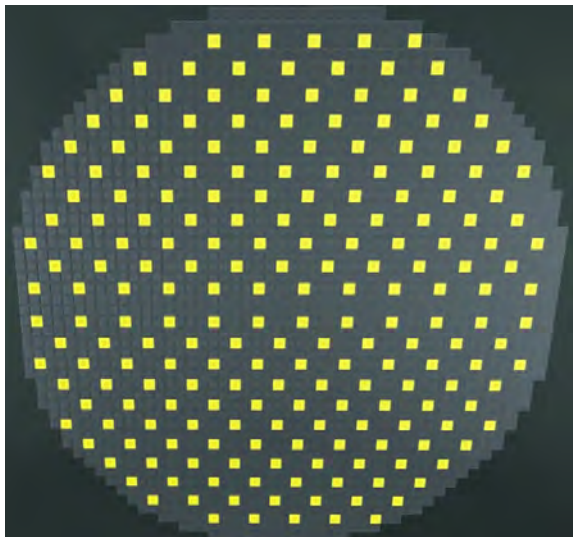
Das Wandpanel soll verschiedene Farben darstellen, welche grundlegend die Gefahr für einen Unfall widerspiegeln soll. Die niedrigste Stufe ist hier eine Stufe, bei welcher der Nuklearreaktor droht, sich auszuschalten, da die Reaktivität zu gering ist, um eine konstante Kernspaltung aufrecht zu erhalten (siehe Abbildung 6.20a). Die Wandpanele sollen auf dieser Stufe lediglich leicht blinken, um den Effekt einer schwachen Leistung zu erzeugen.



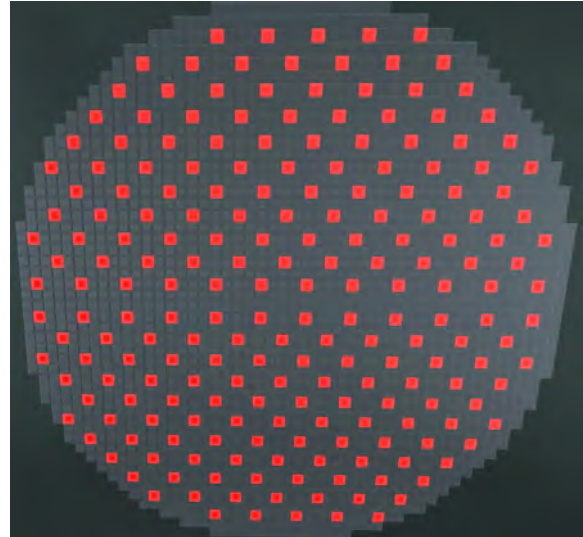
(a) Wandpanel bei niedrigster Stufe



(b) Wandpanel bei niedriger Stufe



(c) Wandpanel bei mittlerer Stufe



(d) Wandpanel bei höchster Stufe

Abbildung 6.20: Verschiedene Stufen der Wandpanele

Der sichere Betrieb wird mit grüner beziehungsweise gelber Farbe signalisiert (siehe Abbildungen 6.20b und 6.20c).

Der gefährliche Betrieb wird mit konstant blinkenden, heller leuchtenden, roten Leuchten dargestellt. Es soll deutlich werden, dass der Betrieb gefährdet ist und die Reaktivität extrem kritisch ist (siehe Abbildung 6.20d).

6.3.10.2 Shader

Für die Wandpanele wurde ein eigener *Shader* in *Shader-Graph* entwickelt, um diese Effekte zu erzeugen. Es wurden in *Blender* verschiedene Texturen erstellt, welche hier eingesetzt werden (siehe Abbildung 6.21).

Bei den Texturen handelt es sich um drei Texturen, welche die Diffuseigenschaften des Materials beeinflussen sollen. Dazu zählt eine Textur, die ausschließlich die grauen Umrisse des Panels darstellen. Zwei weitere Texturen mit grünen und roten Farben für die Kontrollstäbe werden verwendet und erzeugen die jeweilige Färbung mittels Überlagerung der beiden Texturen. Eine Normaltextur erzeugt den visuellen Eindruck von Tiefe und lässt das Wandpanel realistischer aussehen. Abschließend gibt es zwei Texturen, welche die Emission des Wandpanels erzeugen. Wie bei den Diffuseigenschaften wird hier mittels Überlagerung die gewünschte Farbe eingestellt.

Zu den weiteren Eigenschaften zählen die Stärke der Emission im Normalbetrieb und zwei Faktoren für die Helligkeit im niedrigsten Betrieb (*minValueFactor*) und im höchsten Betrieb (*maxValueFactor*). Es gibt zwei Grenzwerte (*UpperTreshhold* und *LowerThreshhold*), die sagen, ab welchem Wert sich die Helligkeit ändern und sich das Blinken einstellen soll.

Eingestellt wird dies über die Eigenschaft *BlendValue*, welcher in einem Intervall von 0 bis 1 eingestellt wird.

Die Diffuseigenschaft wird erzeugt, indem der *Blend*-Knoten verwendet wird. Dieser Knoten interpoliert zwischen den zwei Texturen in Abhängigkeit von der Eigenschaft *BlendValue* und erzeugt somit die gewünschte Farbe (siehe Abbildung 6.22)

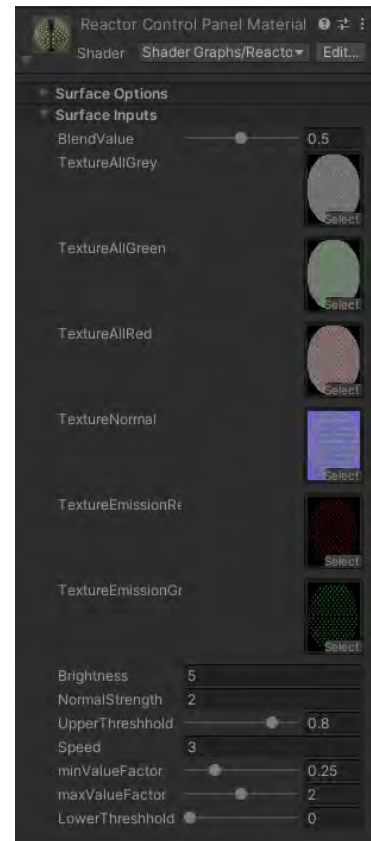


Abbildung 6.21: Die Eigenschaften des Wandpanel-Shaders

6 Entwicklung des VR-Prototypen

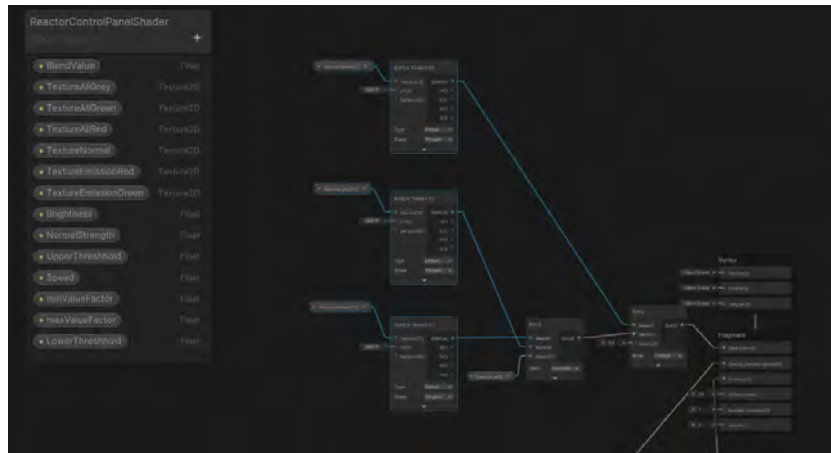


Abbildung 6.22: Erzeugung der Diffuseigenschaft in *ShaderGraph*



Abbildung 6.23: Erzeugung der Normaleigenschaft in *ShaderGraph*

Für die Normaleigenschaft wird neben der Textur der Knoten *Normal Strength*, um die Stärke des Effekts zu steuern (siehe Abbildung 6.23).

Die Emission erforderte ein komplexes Netz an Knoten (siehe Abbildung 6.24). Grundsätzlich gibt es jeweils für die Emission über und unter den Grenzwerten *UpperThreshold* und *LowerThreshold* ein *Branch*-Knoten, welcher prüft, ob eine Unterbeziehungsweise Überschreitung des Grenzwertes vorliegt. Ist dies nicht der Fall, wird die normale Stärke ohne Blinkeffekt mit den Emissionstexturen multipliziert. Sind die Grenzwerte erreicht, wird mittels *Time*-Knoten und *Clamp*-Knoten zwischen festgelegten Werten oszilliert.

6.3.11 Audio des VR-Prototypen

Das Sounddesign ist ein wesentlicher Aspekt dabei, die Spielenden emotional durch die Simulation zu führen. Mit dem Sounddesign kann zusätzlich zur emotionalen Führung auch durch akustische Signalgeräusche Informationen zum Status im Spiel liefern.

Beim akustischen Prototypdesign wurde auf Soundeffekte verzichtet, welche die Simulation dramaturgisch erhöhen bzw. überhöhen und den Probanden emotional durch die Simulation leiten. Stattdessen wurde sich auf Audio beschränkt, welches ausschließlich informell agiert. Mittels Signaleffekten soll den Spielenden ein Feedback gegeben werden, ob sie etwas richtig oder falsch gemacht hat. Dazu kommen Ansagen einer in der Simulation präsenten Person, welche den Probanden durch die Simulation führen und Unfallursache aus historischer Perspektive begleiten. Diese Person nimmt die Rolle des stellvertretenden Chefsingenieurs am Tag des Unfalls ein, welche, wie in Kapitel 3 beschrieben, auf die agierenden Techniker eingewirkt haben, um die Durchführung des überfälligen Tests zu gewährleisten.

6.3.11.1 Europakarte

Bei der Europakarte weist der stellvertretende Chefsingenieur nach Absolvierung der Interaktion beim Anblick der Europakarte im Jahre 1986 auf den Konflikt des Kalten

6 Entwicklung des VR-Prototypen

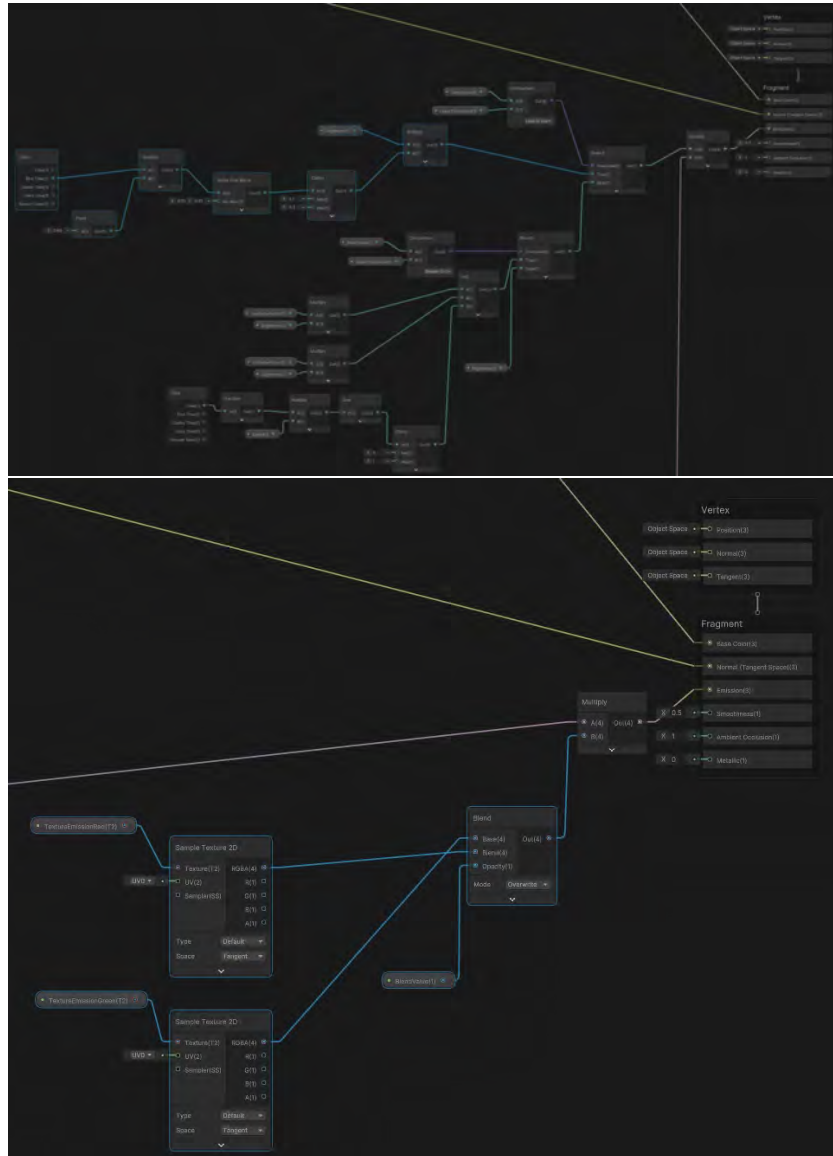


Abbildung 6.24: Erzeugung der Emissionseigenschaften in *ShaderGraph*

Krieges hin und das man sich nicht wegen des Tests blamieren dürfe, wenn der demokratische Westen davon erfuhre, dass der Test jahrelang verschoben wurde. Es wird mit einer ausgedachten, implizierten Drohung der Familie der Ernst der Lage verdeutlicht.

6.3.11.2 Nuklearreaktormodell

Beim Abschluss des Nuklearreaktormodells beschreibt der stellvertretende Chefingenieur, dass die meisten Genossen nicht wüssten, dass bei einem Nuklearreaktor letztlich nur Wasser zum verdampfen gebracht wird, welcher eine Turbine antreibt. Zusätzlich wird gesagt, dass der es sehr unsicher ist, den sicheren Betriebsbereich zu verlassen, indem zu viele Kontrollstäbe aus dem Nuklearreaktor gezogen werden. Die Aussage wird gemacht, um der späteren Handlung des Unfallablaufs als Spieler zu realisieren, dass der Unfallablauf grad alles andere als sicher sein kann und dennoch fortgeführt wird.

6.3.11.3 Unfallablauf

Beim Unfallablauf wird mit zunehmendem Druck gesagt, es solle erst die Reaktivität reduziert werden, nur um beim drohenden Abschalten des Reaktors fahrlässig zu handeln und immer mehr Kontrollstäbe aus dem Nuklearreaktor fahren zu lassen. Es wird zunehmend intensiver gedroht, um die Absurdität der Handlung zu untermauern. Dies soll als spielende Person deutlich werden, dass es sich hierbei um keinen sicheren Betrieb handelt.

6.4 Build Settings

Im Anschluss an die Entwicklung des VR-Prototypen muss dieser noch im *Build*-Prozess zu einer - auf der *Oculus Quest* ausführbaren - Datei zusammengefügt werden. Dazu sind einige Einstellungen notwendig, welche von *Meta* empfohlen werden. [16]

6 Entwicklung des VR-Prototypen

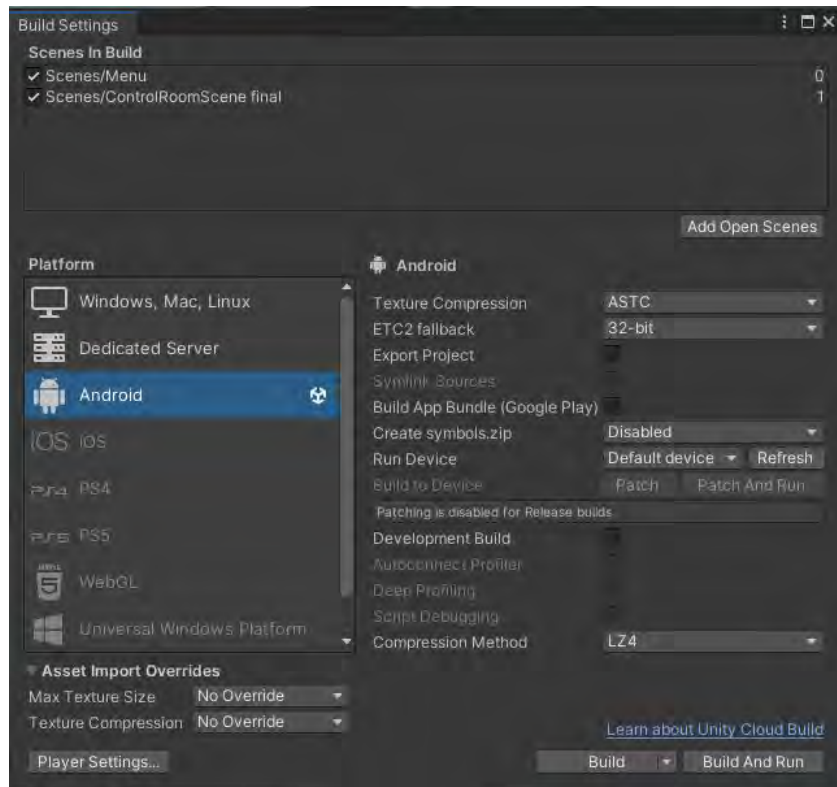


Abbildung 6.25: Die verwendeten *Build Settings* für den VR-Prototypen

7 Performanzoptimierungstechniken und Anwendung am Prototypen

Bei jeder Anwendung spielt die Performanz eine wesentliche Rolle. Unter anderem hochauflösende Texturen und detaillierte Modelle können diese stark mitunter stark beeinträchtigen, wenn die Hardware, auf welcher die Anwendung läuft, nicht leistungsstark genug ist. Deshalb ist es wichtig, beim Entwickeln einer Anwendung stets die Performanz der Anwendung fortlaufend zu optimieren, um umfangreiche Anpassungen bei Produktionsende zu vermeiden.

In diesem Kapitel sollen die wesentlichen Parameter der Performanz dargelegt werden. Des Weiteren wird beschrieben, wie diese Parameter in *Unity* beziehungsweise der *Oculus Quest* beobachtet werden können, um daraus Rückschlüsse für die Performanz zu ziehen. Darauf folgend sollen einige Optimierungsmaßnahmen vorgestellt werden, welche beim Entwickeln des Prototypen zur Anwendung kamen oder hätten verwendet werden können.

7.1 Parameter der Performanz

Wesentliches Maß der Performanz bei Videospielen ist die Anzahl an Bildern (kurz fps), welche die verwendete Hardware pro Sekunde rendern kann. Dies ist darin begründet, dass die Anzahl an Bildern pro Sekunde den größten Effekt auf die wahrgenommene Spielequalität des Videospiele hat. Die Anzahl an Bildern pro Sekunde kann durch

eine Vielzahl von Prozessen reduziert werden, aber hauptsächlich fallen in diesem Zusammenhang folgende Begriffe.

7.1.1 Draw Calls

7.1.1.1 Definition

Sogenannte *Draw Calls* sind Befehle von *Unity* an das Grafikinterface, welche Anweisungen zum Zeichnen von Bildinhalten gibt. In *Unity* sind diese Bildinhalte *GameObjects* mit der *MeshRenderer*-Komponente, welche ein Verweis zu einer im Projekt gespeicherten Geometrie darstellt. Ist ebenfalls die

Da eine hohe Anzahl an *Draw Calls* negativen Einfluss auf die Performanz hat, sollte die Anzahl an *Draw Calls* im Laufe der Entwicklung stets berücksichtigt werden.

7.2 Maßnahmen zur Verbesserung der Performanz

Es gibt einige Maßnahmen, die ergriffen werden können, um die Anzahl an *Draw Calls* zu reduzieren, ohne die subjektive Qualität des Videospiele zu mindern. [17]

Diese sollen folgend aufgelistet werden:

1. Draw Call Batching (*Static Batching* und *Dynamic Batching*)
2. GPU Instancing
3. Texture Baking / Texture Atlasing
4. Level-of-Detail-Groups (LOD-Groups)

7.2.1 Draw Call Batching

Das *Draw Call Batching* reduziert in *Unity* durch das Zusammenfügen von Geometrien zu einer neuen, kombinierten Geometrie. Dies wird entweder als *Static Batching* auf alle, als statisch markierten *GameObjects* angewandt, oder dynamisch via *Dynamic Batching*

auf *GameObjects*, welche gewisse Attribute wie Position teilen. [17] Alternativ kann das *Static Batching* in *Unity* auch als Code in Laufzeit realisiert werden. Hierfür existiert die *StaticBatchingUtility*-Klasse mit der Methode *Combine*.

7.2.2 GPU Instancing

GPU Instancing ist eine Einstellung der Materialien, mit welcher alle Objekte, die dasselbe Material nutzen und zeitgleich über dieselbe Geometrie verfügen, mit einem gemeinsamen *Draw Call* gezeichnet werden. Diese Funktion ist nützlich für gleiche Geometrien, die sich in der Szene befinden und gegebenenfalls nicht statisch sind wie Modelle von Büschen. Allerdings kann *GPU Instancing* nicht mit *Static Batching* kombiniert werden.

7.2.3 Texture Baking / Texture Atlasing

Da jedes Material einen *Draw Call* erfordert, ist es sinnvoll, die Anzahl an Materialien so gering wie möglich zu halten. Um trotzdem ansprechende Modelle zu erhalten, ist hierfür das sogenannte *Texture Baking* hilfreich. Es wird eine Textur erstellt, auf welcher alle verwendeten Materialien zusammengefügt werden, wodurch die Notwendigkeit von mehreren Materialien entfällt. Stattdessen reduziert sich die Anzahl an Materialien im Idealfall auf ein einzelnes Material.

Mithilfe von *Texture Atlasing* wird dieser Prozess von einem Modell auf möglichst viele in der Szene vorhandenen Modelle ausgeweitet, welche folglich im Idealfall ebenfalls nur ein einzelnes Material verwenden und somit die Anzahl an *Draw Calls*.

7.2.4 Level-of-Detail-Groups (LOD-Groups)

Sogenannte *Level-of-Detail-Groups* (kurz: *LOD-Groups*) sind mehrere Versionen des gleichen Modells in unterschiedlichen Detailgraden, zwischen welchen mittels Distanzbestimmung zur Kamera dynamisch gewechselt wird. Befindet sich ein Objekt in der Spielwelt in größerer Entfernung, wird eine niedrigauflösende Version des Objekts

geladen. Wird sich dem Objekt genähert, wird dieses - entsprechend der gewünschten Distanzen - sukzessiv um die jeweils hochauflösenderer Version ausgetauscht. Dadurch lässt sich Rechenleistung einsparen, welche keine subjektive Verschlechterung der Spielwelt bedeutet.

7.3 Optimierung einzelner Modelle

7.3.1 Kontrollraum

Zur Optimierung des Kontrollraums wurden alle Objekte des Kontrollraums auf *statisch* gesetzt, um die Vorteile des *Static Batchings* auszunutzen.

Außerdem wurde in *Blender* ein sogenannter *Texture Atlas* erstellt. Dies ist eine Textur, welche die Texturen möglichst vieler in der Szene befindlichen Objekte beinhaltet (siehe Abbildung 7.1).

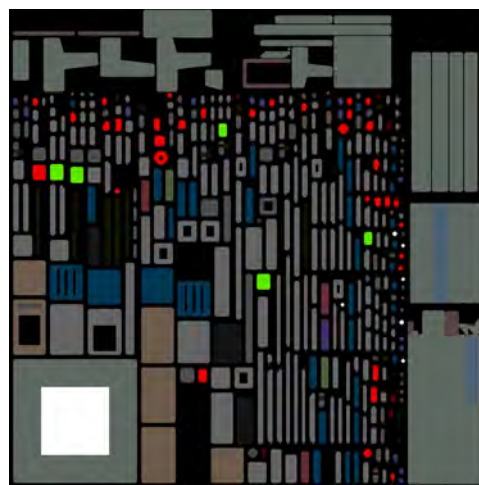
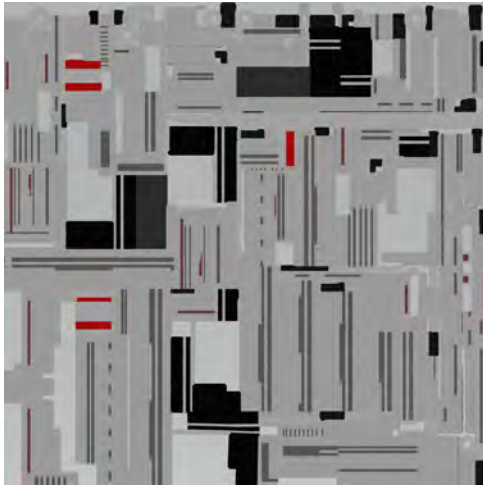


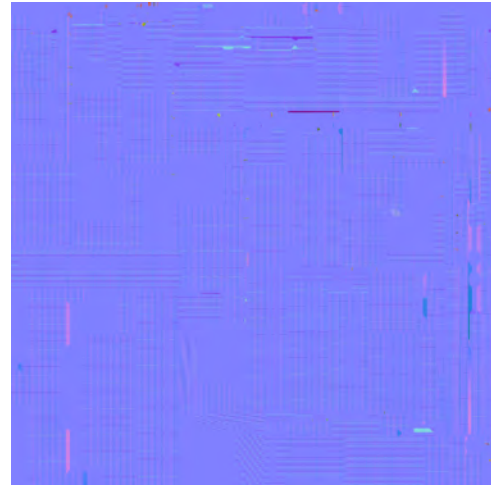
Abbildung 7.1: *Texture Atlas* des Kontrollraums

7.3.2 Reaktorgebäude

Da auf dem Reaktorgebäude ursprünglich viele Materialien vorhanden waren, konnte hier mittels *Texture Baking* eine Anzahl an *Draw Calls* eingespart werden. Hierzu wurde mittels des Blender-Plugins *SimpleBake* eine gemeinsame Textur aller verwendeten Materialien des Reaktorgebäudes erstellt. Um den Eindruck von Tiefe der Oberfläche zu erzeugen wurde zusätzlich eine *Normal*-Textur erstellt (siehe Abbildung 7.2). Da das Modell allerdings sehr groß und detailliert mit Materialien versehen war, mussten diese Texturen entsprechend groß sein, um diese Details abbilden zu können.



(a) Diffus- und Normaltextur des Reaktorgebäudes nach *Texture Baking*

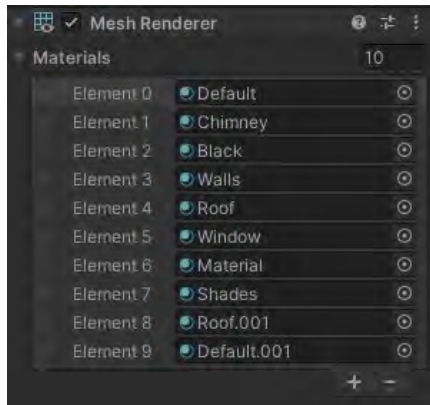


(b) Normaltextur des Reaktorgebäudes nach *Texture Baking*

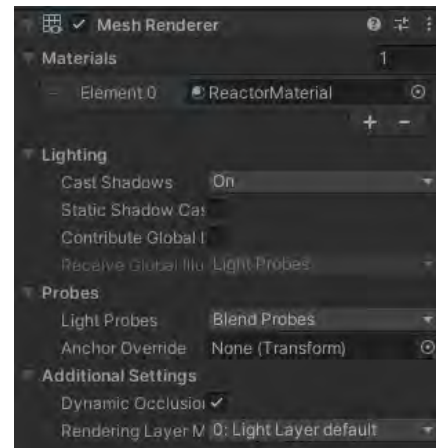
Abbildung 7.2: Diffus- und Normaltextur des Reaktorgebäudes nach *Texture Baking*

Für die Materialien wurden hierfür iterativ verschiedene Auflösungen getestet, bis bei der letztlichen Auflösung von 4096 mal 4096 Pixeln verblieben wurde. Es soll allerdings gesagt sein, dass es so große Texturen eigentlich zu vermeiden gilt, da diese beim Abspielen des Programms fortlaufend geladen werden müssen, was bei größeren Auflösungen mit größeren Datenmengen verbunden ist. Wenn die Performance der VR-Anwendung stark unter zu großen Texturen leiden würde, kann die Auflösung in den *Texture import settings* überschrieben werden. Diese sind zu finden, indem auf die in *Unity* importierte Texture geklickt wird. Dort können auch Einstellungen bezüglich der sogenannten *MipMaps* vorgenommen werden, welche Texturen dynamisch auf unterschiedliche *Mip-Level* mit niedrigerer Auflösung skalieren, um Rechenleistung einzusparen, falls sich das mit der Textur versehene Objekt weiter von der Kamera befindet.

7 Performanzoptimierungstechniken und Anwendung am Prototypen



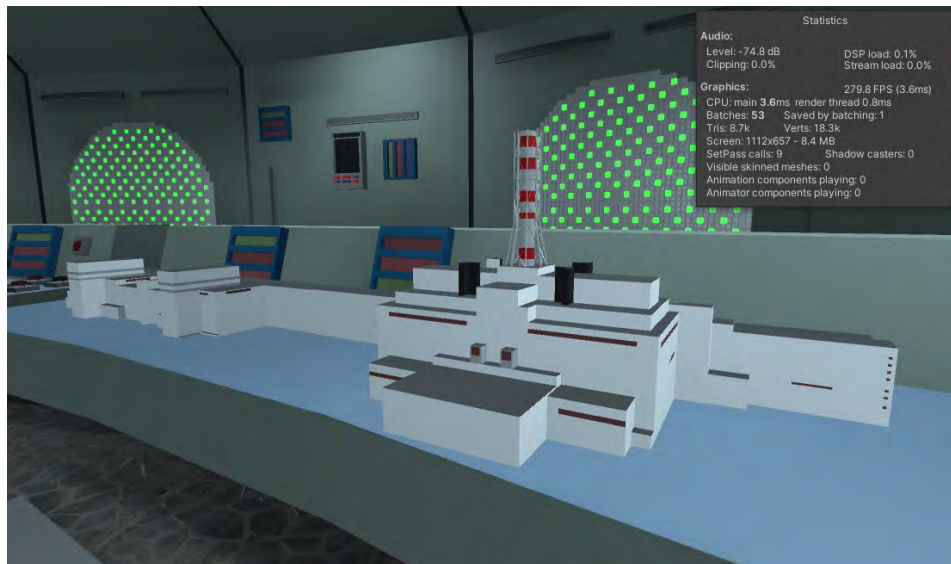
(a) Liste der Materialien des Reaktorgebäudes vor *Texture Baking*



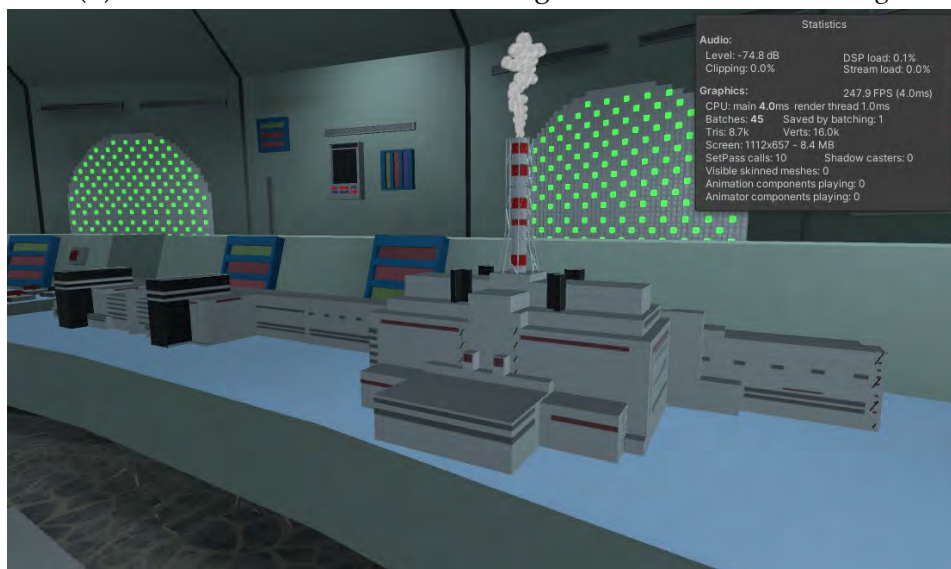
(b) Liste der Materialien des Reaktorgebäudes nach *Texture Baking*

Abbildung 7.3: Vergleich der Materialien des Reaktorgebäudes vor und nach *Texture Baking*

Die Anzahl an Materialien konnte somit von ursprünglich 10 auf lediglich 1 Material reduziert werden (siehe Abbildung 7.3).



(a) Liste der *Draw Calls* des Reaktorgebäudes vor *Texture Baking*



(b) Liste der *Draw Calls* des Reaktorgebäudes nach *Texture Baking*

Abbildung 7.4: Vergleich der *Draw Calls* des Reaktorgebäudes vor und nach *Texture Baking*

Durch den Prozess des *Texture Baking*s konnte somit die Anzahl an *Draw Calls* so um 8 reduziert werden (siehe Abbildung 7.4).

8 Studiendesign

Das Studiendesign wurde in zwei Abschnitte aufgeteilt: der erste Abschnitt orientiert sich an verfügbaren Nutzerstudien. Der zweite Abschnitt behandelt konkrete Fragen zum VR-Prototypen.

8.1 Nutzerstudie

Als Grundlage für die Nutzerstudie wurde das *User Experience Questionnaire* ¹ verwendet. Das *User Experience Questionnaire* fragt die Probanden nach Aspekten der *Usability* und der Nutzererfahrung. Hierfür werden in der herkömmlichen Variante 26 Begriffspaare abgefragt, bei welchen die Probanden einen Wert von 1 bis 7 angeben können. Da nicht alle Begriffspaare im Rahmen dieser Studie Sinn ergeben (Beispiel Attraktivität), wurde der Umfang auf 10 Begriffspaare reduziert, welche relevante Informationen enthalten.

Die Begriffspaare lauten:

- unverständlich/verständlich
- kreativ/unkreativ
- leicht zu lernen/schwer zu lernen
- langweilig/spannend
- unberechenbar/voraussagbar
- originell/konventionell
- gut/schlecht
- kompliziert/einfach
- unangenehm/angenehm
- übersichtlich/verwirrend

¹<https://www.ueq-online.org/>

8.2 Fragen zum VR-Prototypen

Der zweite Abschnitt enthält Fragen, welche vom *User Experience Questionnaire* nicht abgedeckt werden.

8.2.1 Informationen zum Probanden

Um die späteren Fragen in der Auswertung besser einordnen zu können, sind grundlegende Informationen zum Probanden relevant. Hierzu zählen das Alter der Probanden und die bisherige Nutzererfahrung mit VR-Technologie. Antworten zu beiden Fragen können Indikatoren sein, falls die Reaktion auf den VR-Prototypen laut weiterer Antworten negativ ausfallen sollte. Mit zunehmendem Alter sinkt erfahrungsgemäß die Bereitschaft vieler Menschen, neue Technologien anzunehmen und in ihr Leben zu integrieren. Ebenfalls kann eine nicht existente oder geringe Erfahrung mit VR-Technologie in Überforderung beim Absolvieren des VR-Prototypen resultieren und sich negativ auf die Nutzererfahrung auswirken.

Beide Fragen sollen hierbei in Multiple-Choice-Fragen abgefragt werden. Für das Alter von 20 - 70 Jahren sollen jeweils Intervalle von 10 Jahren betrachtet werden. Zusätzlich gibt es Antwortmöglichkeiten für unter 20 Jahre und über 70 Jahre.

Für die Nutzererfahrung werden Antwortmöglichkeiten abgefragt, für welche jeweils eine wahrnehmbare Verbesserung der Familiarität mit VR-Technologie zu erwarten ist. Es sind folgende Antwortmöglichkeiten vorhanden:

- nie
- 1 - 2 Male
- 3 - 10 Male
- häufig
- regelmäßig

Dadurch lässt sich untersuchen, ob der VR-Prototyp für Erstnutzer oder Nutzer mit geringer Erfahrung womöglich schwerer zu bedienen ist, oder ob die Eingewöhnungsphase Auswirkungen auf das subjektive Lernerlebnis hat.

8.2.2 Generelle Fragen zur VR-Experience

Bei den generellen Fragen zur VR-Experience sollen die Probanden beantworten, wie sie die VR-Experience in der Gesamtheit bewerten.

Dazu werden folgende Fragen gestellt:

1. Wie ist der generelle Eindruck der VR-Experience? Hat sie Ihnen gefallen?
2. War sie von der zeitlichen Länge her angemessen?
3. Wie gut konnten Sie sich in die Szenerie hineinversetzen?
4. Empfanden Sie die Anzahl an Interaktionen als ausreichend?
5. Die VR-Experience enthält einen Abschnitt mit Handlungsfreiheiten (Europakarte, Reaktormodell, Reaktorgebäudemodell, TV) und einem linearen Abschnitt, welcher den Unfallhergang verdeutlicht. Wie haben Sie die Balance aus Handlungsfreiheit und linearer Erzählung empfunden? Was wäre aus Ihrer Einschätzung ansprechender?

Die Frage zum generellen Eindruck dient dazu, den Ersteindruck der Probanden nach Absolvierung der VR-Experience abzufragen. Die Frage soll auf einer Skala von 1 (überhaupt nicht gefallen) bis 5 (sehr gefallen) bewertet werden.

Mit der Einschätzung der Länge der VR-Experience soll abgefragt werden, ob Probanden womöglich umfangreichere und tiefergehende oder kürzere und oberflächlichere VR-Experiences im Format des VR-Prototypen wünschen, oder ob die Länge der VR-Experience angemessen war. Bewertet wird die Frage von 1 (zu kurz) bis 5 (zu lang).

Die Frage zur Fähigkeit des Hineinversetzens in die Szenerie zielt darauf ab, eine Aussage zur Präsentation der VR-Experience zu erhalten. Sind die Antworten hierauf als geringwertend zu interpretieren, deutet dies darauf hin, dass bezüglich der atmosphärischen und ästhetischen Aspekte der VR-Experience Veränderungen abzuwägen sind. Bewertet wird die Frage von 1 (gar nicht) bis 5 (sehr gut).

Da die Anzahl an Interaktionen ein kritischer Faktor bei der Bewertung der VR-Experience ist, wird eine Frage gestellt, ob die Anzahl an Interaktionen als ausreichend

wahrgenommen wird. Sollten mehr Interaktionen gewünscht sein, kann dies in zukünftigen Iterationen bewerkstelligt werden, indem entweder mehr Objekte mit Interaktionsmöglichkeiten hinzugefügt werden oder die bereits vorhandenen Interaktionen mit weiteren Funktionen erweitert werden. Beantwortet wird die Frage mit einer der folgenden Antwortmöglichkeiten:

- zu viele
- genau richtig viele
- zu wenig
- etwas zu viele
- etwas zu wenig

8.2.3 Fragen zu einzelnen Interaktionen

In diesem Abschnitt sollen Fragen zu den einzelnen Interaktionen beantwortet werden. Dadurch kann erörtert werden, welche der verfügbaren Interaktionen mehr oder weniger gefallen haben und eventuell Anpassungen benötigen. Die Fragen beziehen sich darauf, wie interessant die Probanden die Interaktion mit der Europakarte und dem Nuklearreaktormodell finden und wie hilfreich sie die Interaktionen zum Verständnis der Thematik empfunden haben. Die Fragen werden jeweils auf einer Skala von 1 (überhaupt nicht) bis 5 (sehr) bewertet.

Da es sich bei der Interaktion mit der Europakarte aufgrund der Interaktion mittels *RayInteractor* um eine abstraktere Form der Interaktion und bei der Interaktion mit dem Nuklearreaktormodell um eine konkret greifbare Form der Interaktion handelt, können Antworten hier Rückschlüsse geben, ob eine der Interaktionsformen hier bevorzugt werden oder beide Interaktionsformen positiv bewertet werden.

8.2.4 Inhaltliche Fragen

Da im Rahmen dieser Nutzerstudie untersucht werden soll, inwieweit VR-Experiences historische Ereignisse ansprechend und einprägsam verarbeitet werden können, sind inhaltliche Fragen sinnvoll. Die Fragen sollen hierzu den subjektiven Eindruck der Probanden abfragen.

Eine einführende Frage soll prüfen, ob sich die Probanden generell informierter zur gesamten Thematik fühlen. Die Frage wird von 1 (überhaupt nicht) bis 5 (definitiv) beantwortet.

Zusätzlich soll das Vorwissen zu den einzelnen Themenaspekten abgefragt werden und inwieweit sich dieses Wissen nach der VR-Experience subjektiv verbessert hat. Bei den Themenaspekten handelt es sich um:

1. Die Thematik des Kalten Krieges und die lokale Verortung des Reaktorgebäudes auf der Europakarte
2. Die Funktionsweise eines Nuklearreaktors anhand des Nuklearreaktormodells
3. Der Ablauf des Reaktorunfalls in dem linearen Abschnitt

Zu jedem Themenbereich gibt es eine Frage zur Präsenz des Vorwissens, welche von 1 (überhaupt nicht präsent) bis 5 (sehr präsent) beantwortet werden. Dazu kommt jeweils eine Frage, die prüft, wie stark sich das Wissen zu der Thematik durch die VR-Experience geprägt oder verbessert hat. Die Antworten reichen von 1 (überhaupt nicht) bis 5 (sehr).

8.2.5 Zusätzliche Anmerkungen

Falls die Probanden zusätzliche Anmerkungen zur VR-Experience haben, welche von den vorausgegangenen Fragen nicht abgedeckt wurden, haben sie die Möglichkeit, diese nach eigenem Ermessen ausführlich hier zu formulieren. Damit sollen spezielle Faktoren, die einen Einfluss auf das Nutzererlebnis der VR-Experience spielen, berücksichtigt werden können.

9 Studiendurchführung

9.1 Ablauf der Studiendurchführung

Vor dem Start des Durchlaufs wurde ein designierter Bereich definiert, in welchem sich die Probanden frei bewegen konnten. Den Probanden wurde der Ablauf der Studie, zuerst die Absolvierung der VR-Experience und im Anschluss die Beantwortung der dazugehörigen Fragen, beschrieben. Zusätzlich wurde Ihnen ein Zeitrahmen von jeweils fünf bis zehn Minuten für die Absolvierung der VR-Experience und der Beantwortung der Fragen gegeben, welcher allerdings nur einen informellen Rahmen setzen sollte und sowohl über- als auch unterschritten werden konnte.

Den Probanden wurde die Steuerung der VR-Experience mit Worten beschrieben und zusätzlich sichtbar demonstriert. Den Probanden wurde eine Orientierungsphase im Menü der VR-Experience überlassen, um sich an die VR-Brille zu gewöhnen. Um für Rücksprachen mit dem Probanden zur Verfügung zu stehen, wurde darauf verzichtet, die Absolvierung der VR-Experience mit Kopfhörern immersiver zu gestalten. Stattdessen wurde die Lautstärke an der *Oculus Quest* von den Probanden auf eine akzeptable und gut hörbare Lautstärke eingestellt.

Während der gesamten Zeit bis zur Absolvierung der VR-Experience konnten Fragen gestellt werden. Des Weiteren wurde sich bei den Probanden erkundigt, ob Sie Schwierigkeiten bei der Bedienung haben, falls längere Zeit kein weiterer Schritt zur Absolvierung der VR-Experience unternommen wurde.

Es konnten für die Durchführung der Studie 13 Probanden gewonnen werden. Eine weitere Person hat sich nach den einführenden Worten und einer kurzen Orientierungsphase nicht in der Lage gesehen, die Studie erfolgreich zu beenden.

9.2 Vorkommnisse bei der Studiendurchführung

Bei der Durchführung traten bei der Absolvierung der VR-Experience vereinzelte Fehler der VR-Experience auf. Beim Auftreten der Fehler wurde geprüft, ob sich der Fehler im gestarteten Durchlauf korrigieren ließ. War dies nicht der Fall, wurde ein Neustart der VR-Experience durchgeführt und die VR-Experience bis zum Auftreten des Fehlers gespielt, bevor die *Oculus Quest* den Probanden zur Absolvierung übergeben wurde.

Die Fehler sollen folgendermaßen beschrieben werden:

9.2.0.1 Blockierung des Hebels in der interaktiven Phase zum Ablauf des Nuklearunfalls

Der Hebel der interaktiven Phase zum Ablauf des Nuklearunfalls blockierte bei einigen Probanden und ließ sich nicht auf die nächste Position bewegen. Eine Reproduktion dieses Fehlers war nicht möglich.

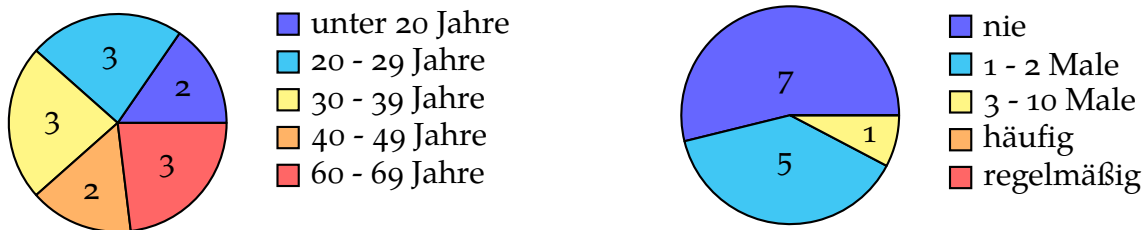
9.2.0.2 Fehlerhafte vertikale Positionierung des VR-Rigs in der VR-Experience

Nach dem erneuten Starten der VR-Experience aus dem Menü der Anwendung heraus wurde teilweise das VR-Rig fehlerhaft auf der falschen Höhe platziert, wodurch die Interaktion mit der VR-Experience in inakzeptabler Weise erschwert wurde. Der Fehler konnte reproduziert werden, allerdings wurde keine Lösung für den Fehler gefunden.

10 Ergebnisdiskussion

10.1 Fragen zum Probanden

Folgend werden die Angaben der Probanden zur ihrer Person und ihrem Nutzungsverhalten dargestellt. Laut Abbildung 10.1a konnte ein breites Spektrum an Altersgruppen im Rahmen der Studiendurchführung gewonnen werden. Im Gegensatz dazu ist die Nutzererfahrung der Probanden zum großen Teil bisher nicht oder nur geringfügig vorhanden gewesen. Demnach haben ein Großteil der Probanden die ersten Erfahrungen mit VR-Technologie im Rahmen dieser Nutzerstudie gesammelt (siehe Abbildung 10.1b).



(a) Altersverteilung der Probanden

(b) Nutzererfahrung mit VR-Technologie

Abbildung 10.1: Altersverteilung und Nutzererfahrung der Probanden

10.2 Fragen zum Empfinden zur gesamten VR-Experience

Bezüglich der Anzahl an Interaktionen empfanden 9 von 13 Probanden (69 Prozent) die Anzahl als genau richtig viel. Die restlichen 4 Probanden empfanden eher zu wenig Interaktionen vorhanden.

Bei der Handlungsfreiheit haben 10 von 13 Probanden gemeint, dass die VR-Experience genau die richtige Balance aus Handlungsfreiheit (Europakarte und Nuklearreaktor) und linearer Erzählung (Unfallablauf) hatte (siehe Abbildung 10.2a). Zwei Probanden wünschten sich etwas mehr und ein Proband mehr Handlungsfreiheit (siehe Abbildung 10.2b).

Es kann aus den Antworten geschlossen werden, dass tendenziell ein größeres Maß an Freiheit mit mehr Interaktionsmöglichkeiten in einer ansprechenderen VR-Experience resultieren würde.

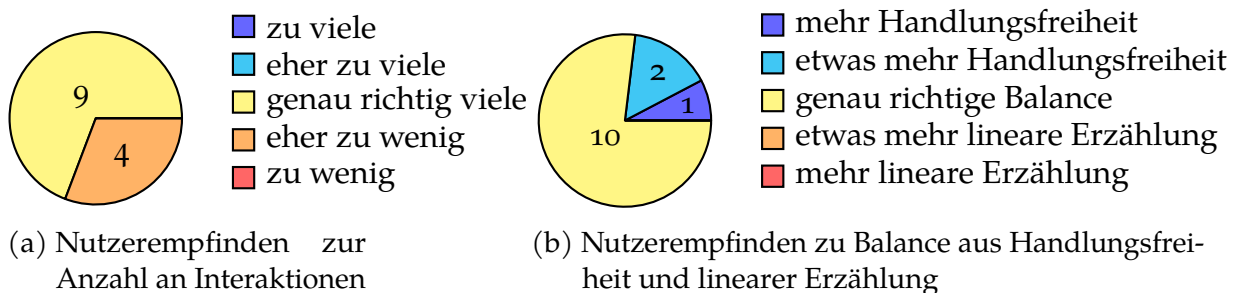
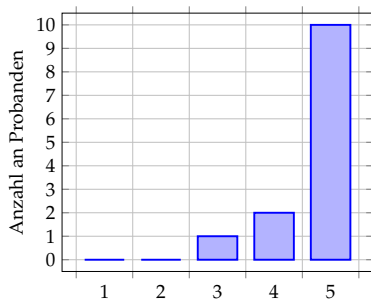


Abbildung 10.2: Empfinden der Probanden zu Anzahl an Interaktionsmöglichkeiten und Balance aus Handlungsfreiheit und linearer Erzählung

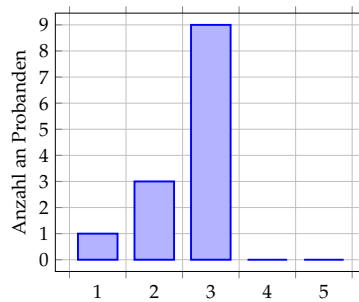
Die VR-Experience wurde von den Probanden weitestgehend mit *sehr gefallen* bewertet (siehe Abbildung 10.3a) und auf einer Skala von 1 (nicht gefallen) bis 5 (sehr gefallen) wurde die VR-Experience mindestens mit einer 3 bewertet.

Bezüglich der zeitlichen Länge der VR-Experience wurde von fast 70 Prozent der Probanden gesagt, die VR-Experience hat genau die richtige zeitliche Länge. Insgesamt 4 Probanden empfanden die VR-Experience als etwas zu kurz oder zu kurz. Kein Proband empfand die Länge der VR-Experience als zu lang (siehe Abbildung 10.3b).

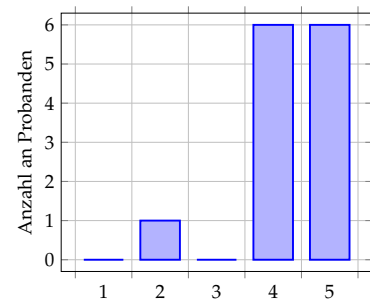
10 Ergebnisdiskussion



(a) Bewertung der VR-Experience nach generellem Empfinden (1 = nicht gefallen bis 5 = sehr gefallen)



(b) Bewertung der VR-Experience bezüglich der zeitlichen Länge (1 = zu kurz bis 5 = zu lang)



(c) Bewertung der VR-Experience bezüglich Niveau der Atmosphäre (1 = gar nicht bis 5 = sehr gut)

Abbildung 10.3: Bewertung der VR-Experience nach Empfinden, zeitlicher Länge und Simulationsatmosphäre

Die Atmosphäre der VR-Experience wurde bis auf ein Votum von allen Probanden (92 Prozent aller Stimmen) auf einer Skala von 1 (gar nicht) bis 5 (sehr gut) mit 4 oder 5 bewertet (siehe Abbildung 10.3c).

Aus diesen Angaben kann geschlossen werden, dass die VR-Experience in ihrer präsentierten Darstellung zu großen Teilen positiv aufgenommen wurde. Sowohl der generelle Eindruck, als auch die zeitliche Länge und die Atmosphäre wurden positiv bewertet.

10.3 Beantwortung der ausgewählten Fragen des User Experience Questionnaire

Die ausgewählten Fragen aus dem *User Experience Questionnaire* wurden teilweise stark divergierend beantwortet (siehe Abbildung 10.4).

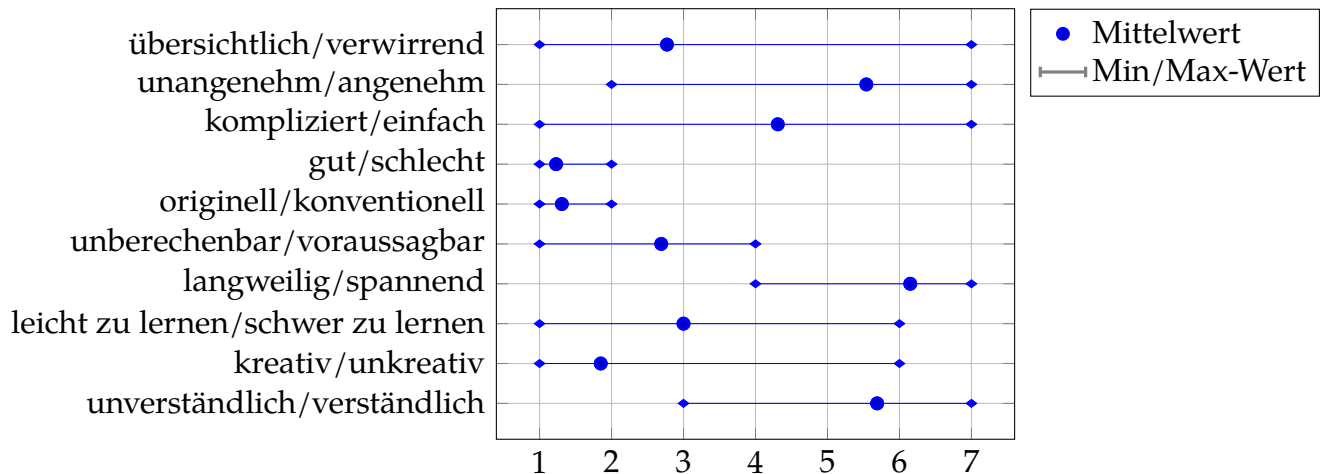


Abbildung 10.4: Ergebnisse der ausgewählten Fragen des *User Experience Questionnaire*

Bei 6 der 10 Fragen gibt es eine zwischen der Minimal- und Maximalbewertung einen Unterschied von mindestens 5 von 7 Punkten. Insbesondere Fragen zur Übersichtlichkeit, Angenehmheit, der Komplexität und der Lernbarkeit wurden sehr gemischt beantwortet. Daraus lässt sich schließen, dass Probanden - eventuell basierend auf ihr Alter oder Erfahrung mit VR-Technologie - Schwierigkeiten mit der VR-Experience hatten.

Die Fragen mit den eindeutigsten Ergebnissen waren Fragen, ob die VR-Experience für gut oder schlecht befunden wurde und zur Originalität. Ebenfalls empfanden die meisten Probanden den VR-Prototypen als spannend und und kreativ.

Auf Basis dieser Ergebnisse sollte der VR-Prototyp insbesondere bezüglich der Steuerung und Klarheit der Interaktionen nachgebessert werden, damit die Probanden in der Lage sind, sich besser auf die Inhalte zu konzentrieren.

10.4 Fragen zu einzelnen Interaktionen

Die Fragen zu den einzelnen Interaktionen sollten prüfen, ob die Probanden die Interaktionen als ansprechend und lehrreich empfanden. Diese Fragen wurde durchschnittlich mit hohen Werten beantwortet (siehe Abbildung 10.5). Die Interaktion mit dem Nuklearreaktormodell wurde von den Probanden allerdings für distinktiv interessanter

wahrgenommen. Auf die Verständlichkeit der beiden Interaktionen hatte dies laut den Probandenantworten allerdings - wenn überhaupt - nur geringen Einfluss.

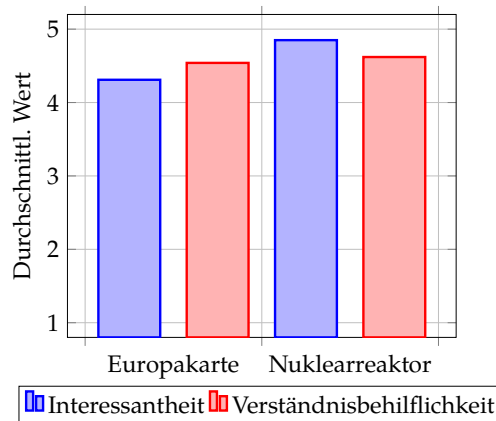


Abbildung 10.5: Beurteilung der Interaktionen mit Europakarte und Nuklearreaktor nach Interessantheit und Behilflichkeit für inhaltliches Verständnis (von 1 = überhaupt nicht gefallen bis 5 = sehr gefallen)

10.5 Inhaltliche Fragen

Bezüglich des Inhaltes gaben 8 von 13 Probanden (61 Prozent) an, dass sie sich definitiv informierter bezüglich der Thematik fühlen. Die verbliebenden 5 Probanden beantworteten die Frage mit mindestens 3.

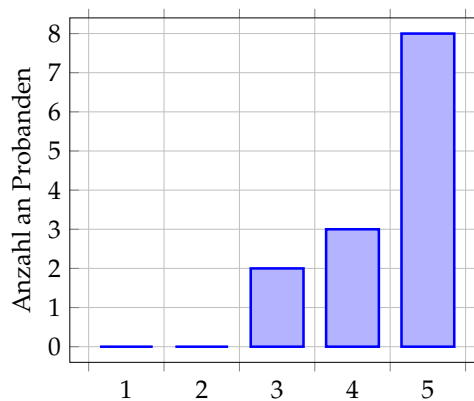


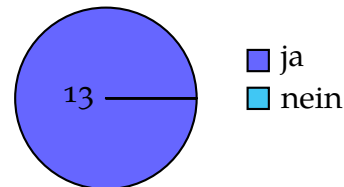
Abbildung 10.6: Antworten bezüglich der generellen Informiertheit zum Thema nach Abschluss der VR-Experience (1 = gar nicht, 5 = definitiv)

Daraus kann geschlossen werden, dass die Probanden einen - wenn auch variablen - subjektiven Lerneffekt von der VR-Experience mitnehmen konnten.

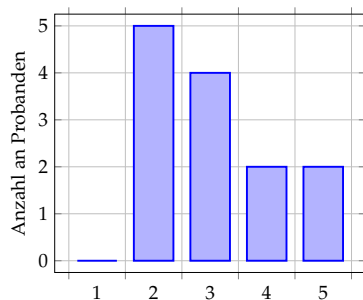
10.5.0.1 Zeitpunkt des Nuklearunfalls und Kalter Krieg



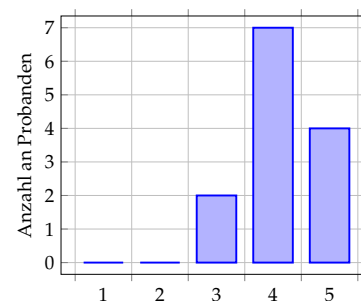
(a) Bekanntheit des Zeitpunkts des Unfalls vor der VR-Experience



(b) Förderung des Wissens zum Zeitpunkt des Nuklearunfalls nach der VR-Experience



(c) Vorwissen zum Kalten Krieg vor der VR-Experience (1 = überhaupt nicht, 5 = sehr)



(d) Förderung des Wissens zum Kalten Krieg nach VR-Experience (1 = überhaupt nicht, 5 = sehr)

Abbildung 10.7: Vorwissen zum Zeitpunkt des Nuklearunfalls und Vorwissen und Förderung des Wissens durch VR-Experience zum Thema Kalter Krieg vor und nach der VR-Experience

Über den Zeitpunkt des Nuklearunfalls wussten 8 von 13 Probanden (61 Prozent) vor der VR-Experience Bescheid. Alle Probanden gaben an, dass die VR-Experience das Wissen über den Zeitpunkt entweder geschaffen oder verbessert hat (siehe Abbildung 10.7a und 10.7b).

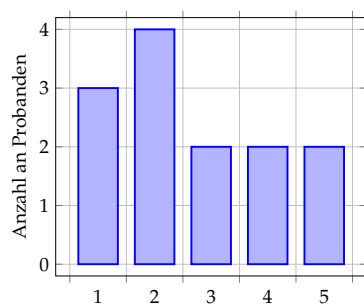
Das Vorwissen zum Kalten Krieg wurde sehr gemischt beantwortet, wobei 9 der 13 Probanden (69 Prozent) ihr Vorwissen mit 2 oder 3 (1 = gar nicht, 5 = sehr) bewerteten. Die restlichen 4 Probanden bewerteten ihr Vorwissen höher mit 4 oder 5 (siehe Abbildung 10.7d). Alle Probanden bewerteten die Frage nach der Wissensförderung

durch die VR-Experience mit mindestens 3 von 5 (1 = überhaupt nicht, 5 = sehr) und 11 von 13 Probanden beantworteten die Frage mit mindestens 4.

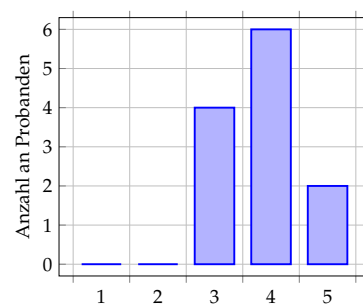
Es kann daraus geschlossen werden, dass die VR-Experience nach Eigenaussage mittelstark bis stark dabei geholfen haben, das gemischte Vorwissen zu fördern.

10.5.0.2 Funktionsweise eines Nuklearreaktors

Über die Funktionsweise eines Nuklearreaktors gab es laut Eigenaussage der Probanden sehr unterschiedliches Vorwissen. Die Frage wurde von den Probanden mit allen möglichen Antwortmöglichkeiten beantwortet (siehe Abbildung 10.8a).



(a) Vorwissen zur Funktionsweise eines Nuklearreaktors vor VR-Experience (1 = überhaupt nicht präsent, 5 = sehr präsent)



(b) Förderung des Wissens zur Funktionsweise eines Nuklearreaktors nach VR-Experience (1 = leicht gefördert, 5 = sehr gefördert)

Abbildung 10.8: Vorwissen und Förderung des Wissens zur Funktionsweise eines Nuklearreaktors

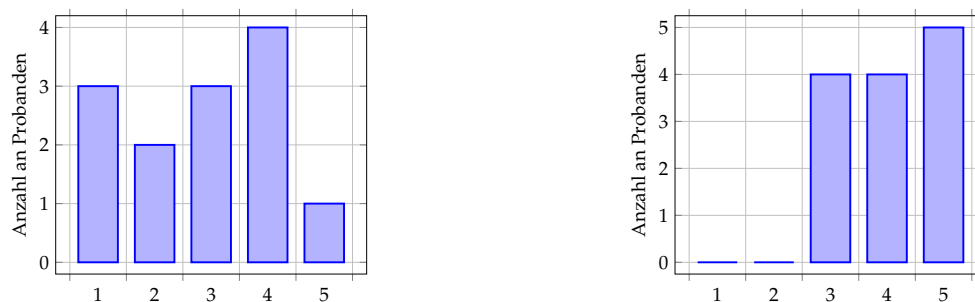
Nach Absolvierung der VR-Experience gaben die Probanden an, dass ihr Wissen mindestens mittelstark gefördert wurde (siehe Abbildung 10.8b). 8 von 10 Probanden (61 Prozent) beantworteten die Frage mit einer 4 oder 5. Ein Proband gab an, dass die Interaktion ihr Wissen überhaupt nicht gefördert hat.

Die Antworten können so interpretiert werden, dass obwohl das Vorwissen sehr durchwachsen war, hat sich ein zumindest mittelstarker Lerneffekt bei allen Probanden eingestellt. Da aber 10 von 13 Probanden die Frage nicht mit der höchstmöglichen Wertung beantwortet haben, kann man (auch in Kombination mit den Erkenntnissen der Frage zur Interaktionsanzahl (siehe Abbildung 10.2a) als Verbesserung des VR-

Prototypen einen ausgeprägteren, direkten Kontakt mit dem Nuklearreaktor an sich in Erwägung ziehen.

10.5.0.3 Ablauf des Nuklearunfalls

Wie bei der Funktionsweise des Nuklearreaktors (Abschnitt 10.5.0.2) wurde das eigene Vorwissen von den Probanden sehr unterschiedlich bewertet. Erneut wurden alle Antwortmöglichkeiten mindestens ein Mal ausgewählt (siehe Abbildung 10.9a).



(a) Vorwissen zum Ablauf des Nuklearunfalls vor VR-Experience (1 = überhaupt nicht präsent, 5 = sehr präsent)

(b) Förderung des Wissens zum Ablauf des Nuklearunfalls nach VR-Experience (1 = leicht gefördert, 5 = sehr gefördert)

Abbildung 10.9: Vorwissen und Förderung des Wissens zum Ablauf des Nuklearunfalls

Die Förderung des Wissens der Probanden zum Ablauf des Nuklearunfalls hat sich nach Eigenaussage mindestens mittelstark gezeigt. Alle Probanden beantworteten die Frage mit mindestens 3 von 5 (siehe Abbildung 10.9b).

Es wurde - trotz durchwachsenem Vorwissen - eine zumindest mittelstarke Förderung des Wissens zum Ablauf des Nuklearunfalls aller Probanden angegeben. Allerdings haben 8 von 13 Probanden die Frage nicht mit der höchsten Antwortmöglichkeit beantwortet. Da die Interaktion vom Verständnis der Informationen der vorausgegangenen Interaktionen teilweise abhängig war, kann dies einen negativen Einfluss auf den Lerneffekt gehabt haben. Da die Umsetzung des Ablaufs vom Nuklearunfall aber - entsprechend des irritierenden Verhaltens des Nuklearreaktors beim Unfall - entgegen der Informationen aus den vorherigen Interaktionen abläuft, kann dies zur gemischten Antwortenlage geführt haben.

10.5.1 Ergebnisbetrachtung in Relation zum Probandenalter

Da angenommen wird, dass das Alter der Probanden einen Einfluss darauf haben kann, inwieweit die Informationen aus den Interaktionen gewonnen werden können, soll folgend eine altersabhängige Prüfung der Antworten getätigt werden. Es muss hierbei allerdings gesagt sein, dass die geringe Anzahl an Probanden pro Altersgruppe hierbei starke Unsicherheiten mit sich bringt, weshalb die Ergebnisse lediglich als informell angesehen werden und nur bei starken Auffälligkeiten eine Aussage getroffen werden kann. Da es sich zusätzlich um Selbstaussagen handelt, sind zusätzlich die womöglich unterschiedlichen Maßstäbe der jeweiligen Probanden ein Faktor.

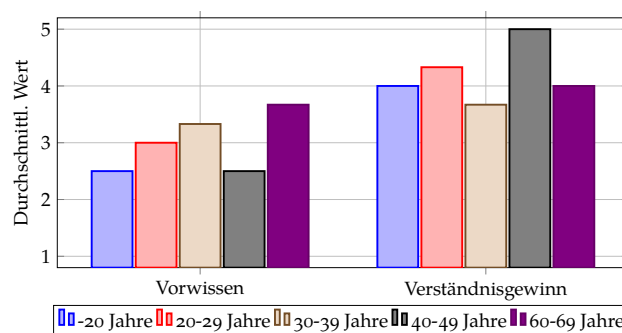


Abbildung 10.10: Vorwissen und Verständnisgewinn durch VR-Experience zum Kalten Krieg

Alle Altersgruppen haben zum Themenbereich Kalter Krieg bei durchwachsenem einen Wissensgewinn durch die VR-Experience angegeben. Das Vorwissen der Altersgruppe von 60 - 69 Jahren war nach Eigenaussage am höchsten ausgeprägt und wurde trotzdem mittelstark gefördert (siehe Abbildung 10.10).

10 Ergebnisdiskussion

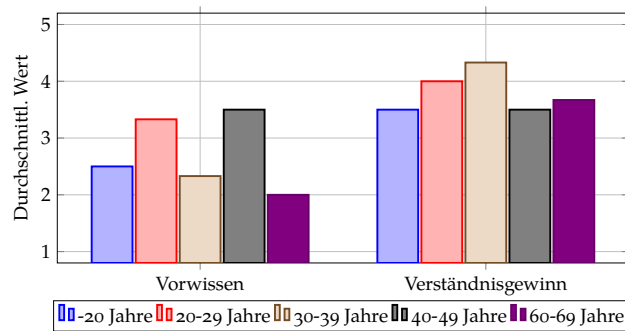


Abbildung 10.11: Vorwissen und Verständnisgewinn durch VR-Experience zur Funktionsweise eines Nuklearreaktors

Beim Vorwissen zur Funktionsweise des Nuklearreaktors waren die Antworten bei allen Altersgruppen höchstens auf mittlerer Stufe. Die Altersgruppe mit dem zweitgeringsten Vorwissen (30 - 39 Jahre) vermeldete den höchsten subjektiven Lerneffekt (siehe Abbildung 10.11).

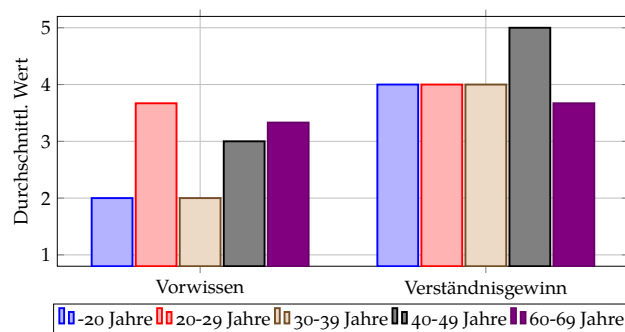


Abbildung 10.12: Vorwissen und Verständnisgewinn durch VR-Experience zum Ablauf des Nuklearunfalls

Beim Ablauf des Nuklearunfalls hatte die Altersgruppe von 20 - 29 Jahren nach Selbstauskunft das größte Vorwissen. Abgesehen von dieser Gruppe wurde das Vorwissen kontinuierlich mit steigendem Alter als höher eingeschätzt. Es sticht keine Altersgruppe heraus, welche hier eine - von den restlichen Altersgruppen - abweichende Förderung des Wissens durch die VR-Experience angab, da der durchschnittliche Wert mindestens bei 3.67 liegt.

Abschließend kann gesagt werden, dass es bei der altersabhängigen Betrachtung keine starken Abweichungen zwischen den Altersgruppen ergab. Zu jeder Frage bezüglich der Wissensförderung gaben die Probanden ein vergleichbaren Wert an.

11 Fazit

11.1 Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Thesis wurde ein historisches Ereignis in einer VR-Experience umgesetzt. Dafür wurde diskutiert, welche Voraussetzungen ein Ereignis haben soll, um für diese Arbeit geeignet zu sein. Nachdem ein geeignetes Thema gefunden wurde, wurde dieses recherchiert und die Ergebnisse festgehalten. Zusätzlich wurden relevante Lernmethoden erörtert, welche bei der Konzeptionierung und Umsetzung des VR-Prototypen hilfreich sein könnten. Es wurde ein VR-Prototyp konzeptioniert, welcher die historischen Informationen möglichst ansprechend umsetzt und dabei versucht, die Vorzüge der VR-Technologie weitestgehend zu nutzen, um das Thema interessant aufzubereiten. Im Anschluss wurde ein VR-Prototyp entwickelt, welcher als Ziel hat, das Konzept bestmöglich zu folgen und gegebenenfalls adäquate Alternativen zu entwickeln. Um die Akzeptanz dieses VR-Prototypen zu untersuchen, wurde ein Studiendesign erstellt, welches die Meinungen von Probanden zur Umsetzung des VR-Prototypen abfragen soll. Nach erfolgreicher Durchführung der Nutzerstudie wurden die Rohdaten ausgewertet und diskutiert.

11.2 Abschluss

Es konnte gezeigt werden, dass es möglich ist, ein historisches Thema in einer VR-Experience ansprechend aufzubereiten. Im Rahmen der durchgeführten Nutzerstudie wurde subjektiv von Probanden verschiedener Altersgruppen und Erfahrungsschätze

bestätigt, dass sie durch die VR-Experience Einblick in ein historisches Thema erhalten haben und dass sie nach der Absolvierung der VR-Experience den Eindruck eines gestärkten historischen Bewusstseins erhalten haben. Hierbei war die Art der Interaktion unwesentlich dafür, wie eine Interaktion aufgenommen wurde; sowohl abstraktere Interaktionen (Europakarte), als auch Interaktionen mit direkter Interaktion (Nuklearreaktormodell) wurden positiv angenommen. Auch die Balance aus großer Handlungsfreiheit und linearer Erzählung wurde für positiv befunden. Ob eine der Interaktionsformen geeigneter für einen tatsächlichen Lerneffekt ist, wurde im Rahmen dieser Thesis nicht untersucht.

Literatur

- [1] Igor Kostin/Laski Diffusion/Getty Images. „CHERNOBYL, UKRAINE, USSR - MAY 1986: Chernobyl nuclear power plant a few weeks after the disaster. Chernobyl, Ukraine, USSR, May 1986“. (25. Dez. 2022), Adresse: <http://www.gettyimages.com/detail/629912323>.
- [2] SoftwareHippie, Felix König, Fireice commonswiki, Sakurambo, Emoscopes. „Schema eines Kernreaktors der Bauart RBMK“. (25. Dez. 2022), Adresse: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:RBMK_reactor_schematic_de.svg.
- [3] A. Higginbotham, *Mitternacht in Tschernobyl die geheime Geschichte der größten Atomkatastrophe aller Zeiten*. S. Fischer, 2019.
- [4] I. N. S. A. Group, „INSAG-7 The Chernobyl Accident: Updating of INSAG-1“, Techn. Ber., 1992.
- [5] B. für Strahlenschutz, „Der Reaktorunfall 1986 von Tschernobyl“, Techn. Ber., 2016.
- [6] „Der Reaktorunfall in Tschernobyl“, Techn. Ber., 2011.
- [7] A. A. Pläßmann und G. Schmitt. „Klassische Konditionierung nach Pawlow“. (6. Sep. 2022), Adresse: <http://www.lern-psychologie.de/behavior/pawlow.htm>.
- [8] A. A. Pläßmann und G. Schmitt. „Einführung: Kognitivismus“. (6. Sep. 2022), Adresse: <http://www.lern-psychologie.de/kognitiv/kognitiv.htm>.
- [9] S. Höhne. „Lernpsychologie Lernen und Gedächtnis – einfach erklärt“. (6. Sep. 2020), Adresse: <http://www.lernpsychologie.net/lerntheorien/konstruktivismus>.

Literatur

- [10] S. A. Warwitz und A. Rudolf, *Projektunterricht. Didaktische Grundlagen und Modelle*. Schorndorf: Hofmann, 1977.
- [11] U. Zocher, *Entdeckendes Lernen lernen. Zur praktischen Umsetzung eines pädagogischen Konzepts in Unterricht und Lehrerfortbildung*. Donauwörth: Auer, 2000.
- [12] Tadpolefarm. „Chernobyl Power Station aerial view“. (10. Okt. 2022), Adresse: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Chernobyl_Power_Station_aerial_view.jpg.
- [13] Unity Technologies. „XR Interaction Toolkit“. (25. Aug. 2022), Adresse: <https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.xr.interaction.toolkit@2.1/manual>.
- [14] „Testing and Performance Analysis“. (10. Okt. 2022), Adresse: <https://developer.oculus.com/documentation/unity/unity-perf/>.
- [15] BBC World Service. „The control room of Chernobyl’s Reactor Three“. (15. Sep. 2022), Adresse: <https://www.flickr.com/photos/bbcworldservice/5411039578>.
- [16] „Build and Run your App“. (10. Okt. 2022), Adresse: <https://developer.oculus.com/documentation/unity/unity-build/>.
- [17] Unity Technologies. „Optimizing draw calls“. (7. Okt. 2022), Adresse: <https://docs.unity3d.com/Manual/optimizing-draw-calls.html>.

Rohdaten der Antworten aus der Nutzerstudie

Befragung zum Thema Geschichte in VR am Beispiel Tschernobyl

Im Vordergrund dieser Befragung wurde eine VR-Experience durchgeführt. Diese handelt sich bei Nuklearkatastrophe von Tschernobyl im Jahr 1986.

Über Experience Questionnaire

In diesem Abschnitt soll die Erfahrung mit der VR-Experience auf einer 7-stufigen Likert-Skala von 1 bis 7 bewertet werden. Hierbei soll die Erfahrung als Ganzes bewertet werden.

UEQ 1*

1 2 3 4 5 6 7

unverständlich verständlich

UEQ 2*

1 2 3 4 5 6 7

lektiv aktiv

UEQ 3*

1 2 3 4 5 6 7

leicht zu lernen schwer zu lernen

Wie ist der generelle Eindruck dieser VR-Experience? Hat sie Ihnen gefallen?*

1 2 3 4 5

überhaupt nicht gefallen sehr gefallen

Wie war von der zeitlichen Länge bei angemessen?*

1 2 3 4 5

zu kurz zu lang

Wie gut können Sie sich in die Szenario hineinversetzen?*

1 2 3 4 5

gar nicht sehr gut

Erfanden Sie die Anzahl an Interaktionen als ausreichend? Es gibt...*

genau richtig viele

Die VR-Experience enthält einen Teil mit Handlungsebenen (Dioramane, Reaktormodell, Reaktorgebäudemodell, TV) und einem linearen Teil, welcher den Unfallhergang verdeutlicht. Wie haben Sie die Balance von Handlungsebene und linearem Erzählung empfunden? Was wäre aus Ihrer Einschätzung am vorzuziehen?*

genau richtige Balance

Fragen zu den einzelnen Interaktionen:

Wie interessant war die Interaktion mit der Dioramane?*

1 2 3 4 5

überhaupt nicht sehr

Wie hilfreich war die Interaktion mit der Dioramane zum Verständnis der Thematik?*

1 2 3 4 5

überhaupt nicht sehr

Wie interessant war die Interaktion mit dem Modell des Nuklearreaktors?*

1 2 3 4 5

überhaupt nicht sehr

Wie hilfreich war die Interaktion mit dem Modell des Nuklearreaktors zum Verständnis der Thematik?*

1 2 3 4 5

überhaupt nicht sehr

Wie präsent war Ihr Vorwissen zum Kalten Krieg vor der VR-Experience?*

1 2 3 4 5

überhaupt nicht sehr

Hat die Kontextualisierung ein Teilchen der VR-Experience beim Verständnis der Thematik geholfen?*

1 2 3 4 5

überhaupt nicht sehr

Wie ausgeprägt war Ihr Vorwissen zur grundsätzlichen Funktionsweise eines Nuklearreaktors vor der VR-Experience?*

1 2 3 4 5

überhaupt nicht präsent sehr präsent

Wie die Interaktion mit dem Modell eines Nuklearreaktors zum Verständnis der grundsätzlichen Funktionsweise beigetragen?*

Nein Ja

Wenn ja, wie stark?*

1 2 3 4 5

wenig gefördert stark gefördert

Wie präsent war Ihr Vorwissen zum Ablauf des Nuklearunfalls vor der VR-Experience?*

1 2 3 4 5

überhaupt nicht präsent sehr präsent

Hat die VR-Experience ein Verständnis zum Ablauf des Unfalls gefördert?*

Nein Ja

Wenn ja, wie stark?*

1 2 3 4 5

wenig gefördert stark gefördert

Zusätzliche Anmerkungen

Zusätzliche Anmerkungen, welche von den Fragen nicht abgedeckt wurden

UEQ 4**

1 2 3 4 5 6 7

langweilig spannend

UEQ 5**

1 2 3 4 5 6 7

uninteressant interessant

UEQ 6**

1 2 3 4 5 6 7

regional international

UEQ 7**

1 2 3 4 5 6 7

ger sehr

UEQ 8**

1 2 3 4 5 6 7

kompliziert einfach

UEQ 9**

1 2 3 4 5 6 7

unprägnant prägnant

UEQ 10**

1 2 3 4 5 6 7

übersichtlich unübersichtlich

Allgemeine Fragen zum Nutzer

Wie alt sind Sie?*

18-29 Jahre

Wie oft wurde bereits VR-Technologie genutzt?*

nie 1-2 Male 3-10 Male häufig regelmäßig

Wie häufig war die Interaktion mit dem Modell des Nuklearreaktors zum Verständnis der Thematik?*

1 2 3 4 5

überhaupt nicht sehr

Inhaltliche Fragen

Fühlen Sie sich informiert bezüglich der Thematik?*

1 2 3 4 5

überhaupt nicht sehr

Wussten Sie den Zeitpunkt des Nuklearunfalls von Tschernobyl vor der VR-Experience?*

kein Vorwissen war bekannt

Hat die VR-Experience Ihr Wissen über den Zeitpunkt des Nuklearunfalls gefördert oder geprägt? Wie?*

nein ja

Google Formulare

Rohdaten der Antworten aus der Nutzerstudie

Befragung zum Thema Geschichte in VR am Beispiel Tschernobyl

In Vorbereitung dieser Befragung wurde eine VR-Experience durchgeführt. Diese handelt von der Nuklearreaktion von Tschernobyl im Jahr 1986.

User Experience Questionnaire

In diesem Abschnitt soll die Erfahrung mit der VR-Experience auf einer linearen Skala von 1 bis 7 für verschiedene Faktoren bewertet werden. Hierbei soll die Erfahrung als Ganzes bewertet werden.

UEQ 1*

1 2 3 4 5 6 7
 unverständlich verständlich

UEQ 2*

1 2 3 4 5 6 7
 hoch niedrig

UEQ 3*

1 2 3 4 5 6 7
 leicht zu lernen schwer zu lernen

UEQ 4*

1 2 3 4 5 6 7
 langweilig spannend

UEQ 5*

1 2 3 4 5 6 7
 uninteressant interessant

UEQ 6*

1 2 3 4 5 6 7
 langsam schnell

UEQ 7*

1 2 3 4 5 6 7
 gut schlecht

UEQ 8*

1 2 3 4 5 6 7
 komplex einfach

UEQ 9*

1 2 3 4 5 6 7
 unpräzise präzise

UEQ 10*

1 2 3 4 5 6 7
 überstrukturiert unstrukturiert

Allgemeine Fragen zum Nutzer

Wie alt sind Sie?

IC: 18 Jahre

Wie oft wurde bereits VR-Technologie genutzt? nie 1-2 Male 3-10 Male häufig regelmäßig

Wie ist der generelle Eindruck dieser VR-Experience? Hat sie Ihnen gefallen? überhaupt nicht gefallen sehr gefallen

War sie von der zeitlichen Länge bei angemessen? zu kurz zu lang

Wie gut konnten Sie sich in die Szenerie hineinversetzen? gar nicht sehr gut

Erfanden Sie die Anzahl an Interaktionen als ausreichend? Es gibt eher zu wenige

Die VR-Experience enthält einen Teil mit Handlungselementen (Europakarte, Reaktormodell, Reaktorgebäudemodell, TV) und einem linearen Teil, welcher den Unfallhergang verdeutlicht. Wie haben Sie die Balance aus Handlungsfreiheit und linearer Erzählung empfunden? Was wäre aus Ihrer Einschätzung ableitbar?

Wie hilfreich war die Interaktion mit dem Modell des Nuklearreaktors zum Verständnis der Thematik? überhaupt nicht sehr

Inhaltliche Fragen

Fühlten Sie sich informiert bezüglich der Thematik? überhaupt nicht definitiv

Wussten Sie den Zeitpunkt des Nuklearunfalls von Tschernobyl vor der VR-Experience? kein Vorwissen war bekannt

Hat die VR-Experience Ihr Wissen über den Zeitpunkt des Nuklearunfalls gefördert oder geschärft? nein ja

Wie präsent war Ihr Vorwissen zum Kalten Krieg vor der VR-Experience? überhaupt nicht sehr

Wie präsent war Ihr Vorwissen zum grundsätzlichen Funktionsweise eines Nuklearreaktors vor der VR-Experience? überhaupt nicht präsent sehr präsent

Hat die Interaktion mit dem Modell eines Nuklearreaktors zum Verständnis der grundsätzlichen Funktionsweise beigetragen? Nein Ja

Wie präsent war Ihr Vorwissen zum Ablauf des Unfallherganges vor der VR-Experience? überhaupt nicht präsent sehr präsent

Hat die VR-Experience ein Verständnis zum Ablauf des Unfalls gefördert? Nein Ja

Wenn ja, wie stark? leicht gefördert stark gefördert

Zusätzliche Anmerkungen

Zusätzliche Anmerkungen, welche von den Fragen nicht abgedeckt wurden!

Quelle: grundlegendes für eine Google-Form und ein Google-Sperrwörterverzeichnis

Rohdaten der Antworten aus der Nutzerstudie

Befragung zum Thema Geschichte in VR am Beispiel Tschernobyl

In Vorbereitung dieser Befragung wurde eine VR-Experience durchgeführt. Diese handelt von der Nuklearkatastrophe von Tschernobyl im Jahr 1986.

User Experience Questionnaire

In diesem Abschnitt soll die Erfahrung mit der VR-Experience auf einer linearen Skala von 1 bis 7 für verschiedene Faktoren bewertet werden. Hiermit soll die Erfahrung als Ganzes bewertet werden.

UEQ 1*

1 2 3 4 5 6 7
 unverständlich verständlich

UEQ 2*

1 2 3 4 5 6 7
 hoch niedrig

UEQ 3*

1 2 3 4 5 6 7
 leicht zu lernen schwer zu lernen

UEQ 4*

1 2 3 4 5 6 7
 langweilig spannend

UEQ 5*

1 2 3 4 5 6 7
 uninteressant interessant

UEQ 6*

1 2 3 4 5 6 7
 langweilig spannend

UEQ 7*

1 2 3 4 5 6 7
 gut schlecht

UEQ 8*

1 2 3 4 5 6 7
 komplex einfach

UEQ 9*

1 2 3 4 5 6 7
 unangenehm angenehm

UEQ 10*

1 2 3 4 5 6 7
 übersehbar unübersehbar

Allgemeine Fragen zum Nutzer

Wie alt sind Sie? *

40-49 Jahre

Wie oft wurde bereits VR-Technologie genutzt? *

nie
 1-2 Male
 3-10 Male
 häufig
 regelmäßig

Wie ist der generelle Eindruck dieser VR-Experience? Hat sie Ihnen gefallen? *

überhaupt nicht gefallen sehr gefallen

War sie von der zeitlichen Länge bei angemessen? *

zu kurz zu lang

Wie gut konnten Sie sich in die Szenerie hineinversetzen? *

gar nicht sehr gut

Erfanden Sie die Anzahl an Interaktionen als ausreichend? Es gibt *

etwa zu wenige

Die VR-Experience enthält einen Teil mit Handlungselementen (Europakarte, Reaktorbaudruckmodell, TV) und einem linearen Teil, welcher den Unfallhergang verdeutlicht. Wie haben Sie die Balance aus Handlungsfreiheit und linearer Erzählung empfunden? Was wäre aus Ihrer Einschätzung ableitbar? *

genau richtige Balance

Fragen zu den einzelnen Interaktionen:

Wie interessant war die Interaktion mit der Europakarte? *

überhaupt nicht sehr

Wie hilfreich war die Interaktion mit der Europakarte zum Verständnis der Thematik? *

überhaupt nicht sehr

Wie interessant war die Interaktion mit dem Modell des Nuklearreaktors? *

überhaupt nicht sehr

Wie hilfreich war die Interaktion mit dem Modell des Nuklearreaktors zum Verständnis der Thematik? *

überhaupt nicht sehr

Wie präsent war Ihr Vorwissen zum Kalten Krieg vor der VR-Experience? *

überhaupt nicht sehr

Hilft die Kontextualisierung ein Teilchen der VR-Experience beim Verständnis der Thematik? *

überhaupt nicht sehr

Wie ausgeprägt war Ihr Vorwissen zur grundsätzlichen Funktionsweise eines Nuklearreaktors vor der VR-Experience? *

überhaupt nicht präsent sehr präsent

Hilft die Interaktion mit dem Modell eines Nuklearreaktors zum Verständnis der grundsätzlichen Funktionsweise beitragen? *

Nein
 Ja

Wie präsent war Ihr Vorwissen zum Ablauf des Unfallhergangs vor der VR-Experience? *

überhaupt nicht präsent sehr präsent

Hilft die VR-Experience ein Verständnis zum Ablauf des Unfalls zu gewinnen? *

Nein
 Ja

Wie präsent war Ihr Vorwissen zum Ablauf des Unfallhergangs vor der VR-Experience? *

überhaupt nicht präsent sehr präsent

Hilft die VR-Experience ein Verständnis zum Ablauf des Unfalls zu gewinnen? *

Nein
 Ja

Zusätzliche Anmerkungen

Zusätzliche Anmerkungen (weichte von den Fragen nicht abgedeckt wurden)

© 2019 Universität Wien, alle Rechte vorbehalten. Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt.

Rohdaten der Antworten aus der Nutzerstudie

Befragung zum Thema Geschichte in VR am Beispiel Tschernobyl

In Vorbereitung dieser Befragung wurde eine VR-Experience durchgeführt. Diese handelt von der Nuklearkatastrophe von Tschernobyl im Jahr 1986.

User Experience Questionnaire

In diesem Abschnitt soll die Erfahrung mit der VR-Experience auf einer linearen Skala von 1 bis 7 für verschiedene Faktoren bewertet werden. Hierbei soll die Erfahrung als Ganzes bewertet werden.

UEQ 1*

1 2 3 4 5 6 7
 unverständlich verständlich

UEQ 2*

1 2 3 4 5 6 7
 hoch niedrig

UEQ 3*

1 2 3 4 5 6 7
 leicht zu lernen schwer zu lernen

UEQ 4*

1 2 3 4 5 6 7
 langweilig spannend

UEQ 5*

1 2 3 4 5 6 7
 uninteressant interessant

UEQ 6*

1 2 3 4 5 6 7
 einfach komplex

UEQ 7*

1 2 3 4 5 6 7
 gut schlecht

UEQ 8*

1 2 3 4 5 6 7
 komplex einfach

UEQ 9*

1 2 3 4 5 6 7
 unangenehm angenehm

UEQ 10*

1 2 3 4 5 6 7
 übersehbar unübersehbar

Allgemeine Fragen zum Nutzer

Wie alt sind Sie?*

20-29 Jahre -

Wie oft wurde bereits VR-Technologie genutzt? *

nie
 1-2 Male
 3-12 Male
 häufig
 regelmäßig

Wie ist der generelle Eindruck dieser VR-Experience? Hat sie Ihnen gefallen? *

1 2 3 4 5
 überhaupt nicht gefallen sehr gefallen

War sie von der zeitlichen Länge bei angemessen? *

1 2 3 4 5
 zu kurz zu lang

Wie gut konnten Sie sich in die Szenerie hineinversetzen? *

1 2 3 4 5
 gar nicht sehr gut

Erfanden Sie die Anzahl an Interaktionen als angemessen? Es gibt *

genau richtig viele -

Die VR-Experience enthält einen Teil mit Handlungsoptionen (Europakarte, Reaktormodell, Reaktorgebäudemodell, TV) und einem linearen Teil, welcher den Unfallhergang verdeutlicht. Wie haben Sie die Balance aus Handlungsfreiheit und linearer Erzählung empfunden? Was wäre aus Ihrer Einschätzung ableitbar? *

genau richtige Balance -

Fragen zu den einzelnen Interaktionen:

Wie interessant war die Interaktion mit der Europakarte? *

1 2 3 4 5
 überhaupt nicht sehr

Wie hilfreich war die Interaktion mit der Europakarte zum Verständnis der Thematik? *

1 2 3 4 5
 überhaupt nicht sehr

Wie interessant war die Interaktion mit dem Modell des Nuklearreaktors? *

1 2 3 4 5
 überhaupt nicht sehr

Wie hilfreich war die Interaktion mit dem Modell des Nuklearreaktors zum Verständnis der Thematik? *

1 2 3 4 5
 überhaupt nicht sehr

Wie präsent war Ihr Vorwissen zum Kalten Krieg vor der VR-Experience? *

1 2 3 4 5
 überhaupt nicht sehr

Hilft die Kontextualisierung im Rahmen der VR-Experience beim Verständnis der Thematik? *

1 2 3 4 5
 überhaupt nicht sehr

Wie ausgeprägt war Ihr Vorwissen zur grundsätzlichen Funktionsweise eines Nuklearreaktors vor der VR-Experience? *

1 2 3 4 5
 überhaupt nicht präsent sehr präsent

Hilft die Interaktion mit dem Modell eines Nuklearreaktors zum Verständnis der grundsätzlichen Funktionsweise beitragen? *

Nein
 Ja

Wenn ja, wie stark? *

1 2 3 4 5
 leicht gefördert stark gefördert

Wie präsent war Ihr Vorwissen zum Ablauf des Nuklearunfalls vor der VR-Experience? *

1 2 3 4 5
 überhaupt nicht präsent sehr präsent

Hilft die VR-Experience ein Verständnis zum Ablauf des Unfalls geförder? *

Nein
 Ja

Wenn ja, wie stark? *

1 2 3 4 5
 leicht gefördert stark gefördert

Zusätzliche Anmerkungen

Zusätzliche Anmerkungen (weichte von den Fragen nicht abgedeckt wurden)

© 2019 Universität Wien, Institute für Medien- und Kommunikationswissenschaft

Google Formulare

Rohdaten der Antworten aus der Nutzerstudie

Befragung zum Thema Geschichte in VR am Beispiel Tschernobyl

In Vorlesung dieser Befragung wurde eine VR-Experience durchgeführt. Diese handelt von der Nuklearkatastrophe von Tschernobyl im Jahr 1986.

User Experience Questionnaire

In diesem Abschnitt soll die Erfahrung mit der VR-Experience auf einer linearen Skala von 1 bis 7 für verschiedene Faktoren bewertet werden. Hierbei soll die Erfahrung als Ganzes bewertet werden.

UEQ 1*

1 2 3 4 5 6 7
 unverständlich verständlich

UEQ 2*

1 2 3 4 5 6 7
 hoch niedrig

UEQ 3*

1 2 3 4 5 6 7
 leicht zu lernen schwer zu lernen

UEQ 4*

1 2 3 4 5 6 7
 langweilig spannend

UEQ 5*

1 2 3 4 5 6 7
 uninteressant interessant

UEQ 6*

1 2 3 4 5 6 7
 langweilig spannend

UEQ 7*

1 2 3 4 5 6 7
 gut schlecht

UEQ 8*

1 2 3 4 5 6 7
 komplex einfach

UEQ 9*

1 2 3 4 5 6 7
 unangenehm angenehm

UEQ 10*

1 2 3 4 5 6 7
 übersehbar unsehbar

Allgemeine Fragen zum Nutzer

Wie alt sind Sie?

Wie oft wurde bereits VR-Technologie genutzt? nie 1-2 Male 3-10 Male häufig regelmäßig

Wie ist der generelle Eindruck dieser VR-Experience? Hat sie Ihnen gefallen? überhaupt nicht gefallen sehr gefallen

War sie von der zeitlichen Länge bei angemessen? zu kurz zu lang

Wie gut konnten Sie sich in die Szenerie hineinversetzen? gar nicht sehr gut

Erfanden Sie die Anzahl an Interaktionen als angemessen? Es gibt

Wie präsent war Ihr Vorwissen zum Kalten Krieg vor der VR-Experience? überhaupt nicht sehr

Hilf die Kontextualisierung ein Teilchen der VR-Experience beim Verständnis der Thematik? überhaupt nicht sehr

Wie ausgeprägt war Ihr Vorwissen zur grundsätzlichen Funktionsweise eines Nuklearreaktors vor der VR-Experience? überhaupt nicht präsent sehr präsent

Hilf die Interaktion mit dem Modell eines Nuklearreaktors zum Verständnis der grundsätzlichen Funktionsweise beigetragen? Nein Ja

Wie präsent war Ihr Vorwissen zum Ablauf des Nuklearunfalls vor der VR-Experience? überhaupt nicht präsent sehr präsent

Hilf die VR-Experience ein Verständnis zum Ablauf des Unfalls geförder? Nein Ja

Wenn ja, wie stark? leicht gefördert stark gefördert

Zusätzliche Anmerkungen

Zusätzliche Anmerkungen (weichte von den Fragen nicht abgedeckt wurden)

© 2019 Universität Wien, VR-Experience Tschernobyl

Rohdaten der Antworten aus der Nutzerstudie

Befragung zum Thema Geschichte in VR am Beispiel Tschernobyl

In Vorbereitung dieser Befragung wurde eine VR-Experience durchgeführt. Diese handelt von der Nuklearkatastrophe von Tschernobyl im Jahr 1986.

User Experience Questionnaire

In diesem Abschnitt soll die Erfahrung mit der VR-Experience auf einer linearen Skala von 1 bis 7 für verschiedene Faktoren bewertet werden. Hierbei soll die Erfahrung als Ganzes bewertet werden.

UEQ 1*

1 2 3 4 5 6 7
 unverständlich verständlich

UEQ 2*

1 2 3 4 5 6 7
 hoch niedrig

UEQ 3*

1 2 3 4 5 6 7
 leicht zu lernen schwer zu lernen

UEQ 4*

1 2 3 4 5 6 7
 langweilig spannend

UEQ 5*

1 2 3 4 5 6 7
 unanschaulich anschaulich

UEQ 6*

1 2 3 4 5 6 7
 ungenau genau

UEQ 7*

1 2 3 4 5 6 7
 gut schlecht

UEQ 8*

1 2 3 4 5 6 7
 kompliziert einfach

UEQ 9*

1 2 3 4 5 6 7
 uninteressant interessant

UEQ 10*

1 2 3 4 5 6 7
 überflüssig notwendig

Allgemeine Fragen zum Nutzer

Wie alt sind Sie?*

20-29 Jahre -

Wie oft wurde bereits VR-Technologie genutzt?*

nie
 1-2 Male
 3-12 Male
 häufig
 regelmäßig

Wie ist der generelle Eindruck dieser VR-Experience? Hat sie Ihnen gefallen?*

1 2 3 4 5
 überhaupt nicht gefallen sehr gefallen

War sie von der zeitlichen Länge bei angemessen?*

1 2 3 4 5
 zu kurz zu lang

Wie gut konnten Sie sich in die Szenario hineinversetzen?*

1 2 3 4 5
 gar nicht sehr gut

Erfanden Sie die Anzahl an Interaktionen als angemessen? Es gibt...*

genau richtig viele -

Die VR-Experience enthält einen Teil mit Handlungsoptionen (Europakarte, Reaktormodell, Reaktorgebäudemodell, TV) und einem linearen Teil, welcher den Unfallverlauf verdeutlicht. Wie haben Sie die Balance aus Handlungsfreiheit und linearer Erzählung empfunden? Was wäre aus Ihrer Einschätzung ableitbar?*

genau richtige Balance -

Fragen zu den einzelnen Interaktionen:

Wie interessant war die Interaktion mit der Europakarte?*

1 2 3 4 5
 überhaupt nicht sehr

Wie hilfreich war die Interaktion mit der Europakarte zum Verständnis der Thematik?*

1 2 3 4 5
 überhaupt nicht sehr

Wie interessant war die Interaktion mit dem Modell des Nuklearreaktors?*

1 2 3 4 5
 überhaupt nicht sehr

Wie hilfreich war die Interaktion mit dem Modell des Nuklearreaktors zum Verständnis der Thematik?*

1 2 3 4 5
 überhaupt nicht sehr

Wie präsent war Ihr Vorwissen zum Kalten Krieg vor der VR-Experience?*

1 2 3 4 5
 überhaupt nicht sehr

Hilft die Kontextualisierung ein Teilchen der VR-Experience beim Verständnis der Thematik?*

1 2 3 4 5
 überhaupt nicht sehr

Wie ausgeprägt war Ihr Vorwissen zur grundsätzlichen Funktionsweise eines Nuklearreaktors vor der VR-Experience?*

1 2 3 4 5
 überhaupt nicht präsent sehr präsent

Hilft die Interaktion mit dem Modell eines Nuklearreaktors zum Verständnis der grundsätzlichen Funktionsweise beitragen?*

Nein
 Ja

Wie präsent war Ihr Vorwissen zum Ablauf des Unfalls vor der VR-Experience?*

1 2 3 4 5
 nicht gelistet stark gelistet

Hilft die VR-Experience ein Verständnis zum Ablauf des Unfalls zu erlangen?*

Nein
 Ja

Wenn ja, wie stark?*

1 2 3 4 5
 nicht gelistet stark gelistet

Zusätzliche Anmerkungen

Zusätzliche Anmerkungen (weichte von den Fragen nicht abgedeckt wurden)

© 2019 Universität der Saarlands. Alle Rechte vorbehalten.

Rohdaten der Antworten aus der Nutzerstudie

Befragung zum Thema Geschichte in VR am Beispiel Tschernobyl

In Vorlesung dieser Befragung wurde eine VR-Experience durchgeführt. Diese handelt von der Nuklearkatastrophe von Tschernobyl im Jahr 1986.

User Experience Questionnaire

In diesem Abschnitt soll die Erfahrung mit der VR-Experience auf einer linearen Skala von 1 bis 7 für verschiedene Faktoren bewertet werden. Hierbei soll die Erfahrung als Ganzes bewertet werden.

UEQ 1*

1 2 3 4 5 6 7
 unverständlich verständlich

UEQ 2*

1 2 3 4 5 6 7
 hoch niedrig

UEQ 3*

1 2 3 4 5 6 7
 leicht zu lernen schwer zu lernen

UEQ 4*

1 2 3 4 5 6 7
 langweilig spannend

UEQ 5*

1 2 3 4 5 6 7
 uninteressant interessant

UEQ 6*

1 2 3 4 5 6 7
 langsam schnell

UEQ 7*

1 2 3 4 5 6 7
 gut schlecht

UEQ 8*

1 2 3 4 5 6 7
 komplex einfach

UEQ 9*

1 2 3 4 5 6 7
 unangenehm angenehm

UEQ 10*

1 2 3 4 5 6 7
 überfordert versorgt

Allgemeine Fragen zum Nutzer

Wie alt sind Sie? *

20-29 Jahre

Wie oft wurde bereits VR-Technologie genutzt? *

nie
 1-2 Male
 3-10 Male
 häufig
 regelmäßig

Wie ist der persönliche Eindruck dieser VR-Experience? Hat sie Ihnen gefallen? *

überhaupt nicht gefallen sehr gefallen

War sie von der zeitlichen Länge bei angemessen? *

zu kurz zu lang

Wie gut konnten Sie sich in die Szenario hineinversetzen? *

gar nicht sehr gut

Erfanden Sie die Anzahl an Interaktionen als angemessen? Es gibt *

genau richtig viele

Die VR-Experience enthält einen Teil mit Handlungsoptionen (Europakarte, Reaktormodell, Reaktorgebäudemodell, TV) und einem linearen Teil, welcher den Unfallverlauf verdeutlicht. Wie haben Sie die Balance aus Handlungsfreiheit und linearer Erzählung empfunden? Was wäre aus Ihrer Einschätzung ableitbar? *

genau richtige Balance

Fragen zu den einzelnen Interaktionen:

Wie interessant war die Interaktion mit der Europakarte? *

überhaupt nicht sehr

Wie hilfreich war die Interaktion mit der Europakarte zum Verständnis der Thematik? *

überhaupt nicht sehr

Wie interessant war die Interaktion mit dem Modell des Nuklearreaktors? *

überhaupt nicht sehr

Wie hilfreich war die Interaktion mit dem Modell des Nuklearreaktors zum Verständnis der Thematik? *

überhaupt nicht sehr

Wie präsent war Ihr Vorwissen zum Kalten Krieg vor der VR-Experience? *

überhaupt nicht sehr

Hilft die Kontextualisierung ein Teilchen der VR-Experience beim Verständnis der Thematik? *

überhaupt nicht sehr

Wie ausgeprägt war Ihr Vorwissen zur grundsätzlichen Funktionsweise eines Nuklearreaktors vor der VR-Experience? *

überhaupt nicht präsent sehr präsent

Hilft die Interaktion mit dem Modell eines Nuklearreaktors zum Verständnis der grundsätzlichen Funktionsweise beitragen? *

Nein
 Ja

Wenn ja, wie stark? *

keine stark

Zusätzliche Anmerkungen

Zusätzliche Anmerkungen, welche von den Fragen nicht abgedeckt wurden!

© 2019 Universität der Saarlands. Alle Rechte vorbehalten.

Rohdaten der Antworten aus der Nutzerstudie

Befragung zum Thema Geschichte in VR am Beispiel Tschernobyl

In Vorbereitung dieser Befragung wurde eine VR-Experience durchgeführt. Diese handelt von der Nuklearreaktion von Tschernobyl im Jahr 1986.

User Experience Questionnaire

In diesem Abschnitt soll die Erfahrung mit der VR-Experience auf einer linearen Skala von 1 bis 7 für verschiedene Faktoren bewertet werden. Hierbei soll die Erfahrung als Ganzes bewertet werden.

UEQ 1*

1 2 3 4 5 6 7
 Unverständlich Verständlich

UEQ 2*

1 2 3 4 5 6 7
 Leicht Schwer

UEQ 3*

1 2 3 4 5 6 7
 Leicht zu lernen Schwierig zu lernen

UEQ 4*

1 2 3 4 5 6 7
 Langweilig Spannend

UEQ 5*

1 2 3 4 5 6 7
 Uninteressant Wissenswert

UEQ 6*

1 2 3 4 5 6 7
 Irrig Korrekter

UEQ 7*

1 2 3 4 5 6 7
 Gut Schlecht

UEQ 8*

1 2 3 4 5 6 7
 Kompliziert Einfach

UEQ 9*

1 2 3 4 5 6 7
 Uninteressant Angenehm

UEQ 10*

1 2 3 4 5 6 7
 Unschön Schön

Allgemeine Fragen zum Nutzer

Wie alt sind Sie?*

30-39 Jahre

Wie oft wurde bereits VR-Technologie genutzt?*

nie
 1-2 Male
 3-12 Male
 häufig
 regelmäßig

Wie ist der generelle Eindruck dieser VR-Experience? Wie sie Ihnen gefaltet?*

1 2 3 4 5
 überhaupt nicht gefallen sehr gefallen

Wie war von der zeitlichen Länge bei angemessen?*

1 2 3 4 5
 zu kurz zu lang

Wie gut konnten Sie sich in die Szenerie hineinversetzen?*

1 2 3 4 5
 gar nicht sehr gut

Erfanden Sie die Anzahl an Interaktionen als angemessen? Es gibt...*

genau richtig viele

Die VR-Experience enthält einen Teil mit Handlungsoptionen (Europakarte, Reaktorstudienmodell, TV) und einem linearen Teil, welcher den Unfallhergang verdeutlicht. Wie haben Sie die Balance aus Handlungsoptionen und linearem Erzählung empfunden? Was wäre aus Ihrer Einschätzung anzuwendender?*

genau richtige Balance

Fragen zu den einzelnen Interaktionen:

Wie interessant war die Interaktion mit der Europakarte?*

1 2 3 4 5
 überhaupt nicht sehr

Wie hilfreich war die Interaktion mit der Europakarte zum Verständnis der Thematik?*

1 2 3 4 5
 überhaupt nicht sehr

Wie interessant war die Interaktion mit dem Modell des Nuklearreaktors?*

1 2 3 4 5
 überhaupt nicht sehr

Wie hilfreich war die Interaktion mit dem Modell des Nuklearreaktors zum Verständnis der Thematik?*

1 2 3 4 5
 überhaupt nicht sehr

Wie hilfreich war die Interaktion mit dem Modell des Nuklearreaktors zum Verständnis der Thematik?*

1 2 3 4 5
 überhaupt nicht sehr

Wie präsent war Ihr Vorwissen zum Kalten Krieg vor der VR-Experience?*

1 2 3 4 5
 überhaupt nicht sehr

Hilft die Kontextualisierung ein Teilchen der VR-Experience beim Verständnis der Thematik?*

1 2 3 4 5
 überhaupt nicht sehr

Wie ausgeprägt war Ihr Vorwissen zur grundsätzlichen Funktionsweise eines Nuklearreaktors vor der VR-Experience?*

1 2 3 4 5
 überhaupt nicht präsent sehr präsent

Hilft die Interaktion mit dem Modell eines Nuklearreaktors zum Verständnis der grundsätzlichen Funktionsweise beizutragen?*

Nein
 Ja

Wenn ja, wie stark?*

1 2 3 4 5
 leicht gefördert stark gefördert

Wie präsent war Ihr Vorwissen zum Ablauf des Nuklearunfalls vor der VR-Experience?*

1 2 3 4 5
 überhaupt nicht präsent sehr präsent

Hilft die VR-Experience ein Verständnis zum Ablauf des Unfalls geförder?*

Nein
 Ja

Wenn ja, wie stark?*

1 2 3 4 5
 leicht gefördert stark gefördert

Zusätzliche Anmerkungen

Zusätzliche Anmerkungen (weichte von den Fragen nicht abgedeckt wurden)

Bitte grundsätzlich für eine Google-Anfrage und nicht eine Google-Suchmaschinenanfrage

Eigenständigkeitserklärung

Masterarbeit von Jan Lorenz (M. Sc. Digital Reality)

Anschrift



Matrikelnummer



Titel der Arbeit *Design und Evaluation eines VR-Prototypen zur Prägung des Geschichtsbewusstseins von historischen Ereignissen am Beispiel der Nuklearkatastrophe von Tschernobyl 1986*

Hiermit erkläre ich,

- dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst habe,
- dass keine anderen als die angegebenen Quellen benutzt und alle wörtlich oder sinngemäß aus anderen Werken übernommenen Aussagen als solche gekennzeichnet sind,
- dass die eingereichte Arbeit weder vollständig noch in wesentlichen Teilen Gegenstand eines anderen Prüfungsverfahrens gewesen ist,
- dass ich die Arbeit weder vollständig noch in Teilen bereits veröffentlicht habe.

Tornesch, den 2. Januar 2023