

Entwicklung eines immersiven VR – Exponats zum VW Käfer

Bachelorarbeit



Fachbereich 13: Mathematik und Informatik

eingereicht von: Ronny Angel Osca Monroy

Matrikel-Nr.: 3006094

Betreuung: 1. Udo Frese
2. Nuri Ovüc

eingereicht am: 21.03.2023

Erklärung

Ich versichere, den Bachelor-Report ohne fremde Hilfe angefertigt zu haben. Ich habe keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Veröffentlichungen entnommen sind, sind als solche kenntlich gemacht.

Bremen den, 21.03.2023

(Unterschrift)

Zusammenfassung

In der vorliegenden Bachelorarbeit wird das Thema „Entwicklung eines immersiven VR-Exponats zum VW Käfer“¹ behandelt. Das Ziel ist es, ein Virtual Reality (VR) Exponat zu entwickeln, mit dem der Aufbau, allgemeine Informationen und die Geschichte des VW Käfers anhand von 3D-Objekten, Sounds und Interaktionen in einer virtuellen Umgebung vermittelt werden können. Die Nutzerstudie hat gezeigt, dass durch dieses Projekt das Interesse der Probanden am VW Käfer und an VR geweckt wurde. Zudem gaben die Probanden mehrfach an, dass das 3D-Modell des Autos real auf sie wirkte. Zur Implementierung des VR-Exponats wurden die Entwicklungsumgebung Unity 3D, Blender und GIMP verwendet.



1 Video zum ganzen Projekt: <https://youtu.be/5aA5eOgCodA>

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	7
1.1 Motivation.....	7
2 Verwandte Arbeiten	8
2.1 MusA: A Gamified Virtual Reality Museum.....	8
2.1 Virtual Reality Musical Museum.....	8
3 Grundlagen	9
3.1 Unity.....	9
3.2 Skripten.....	9
3.3 Universal Render Pipeline.....	9
3.4 GameObject-Components.....	9
3.4.1 RigidBody.....	9
3.4.2 Hinge-Joint.....	10
4 Konzeption	11
4.1 Idee.....	11
4.2 Virtuelle Umgebung.....	11
5 Implementierung	13
5.1 Recherche zum VW Käfer.....	13
5.1.1 Skizze.....	13
5.1.2 Bilder.....	14
5.1.3 Handbuch.....	14
5.1.4 Autoteile.....	15
5.1.5 Videos.....	15
5.2 3D-Modellierung.....	18
5.2.1 Vergleich mit Bildern.....	22
5.2.2 Überprüfung von Normalen.....	23
5.2.3 Festlegung des Pivotpunkts.....	23
5.2.4 Zuweisung der Farben.....	24

5.2.5 Liste der modellierten Autoteile.....	25
5.3 Entwicklung der VR-Umgebung.....	32
5.3.1 Erste Überlegungen.....	33
5.3.2 3D Modelle.....	33
5.3.3 Texturen.....	34
5.3.4 Materialien.....	35
5.3.5 Reflection-Probes.....	35
5.3.6 Interaktionen.....	35
5.3.7 Skripten.....	39
5.3.8 Sounds.....	51
5.3.9 Verwendete Software.....	51
6 Evaluation.....	53
6.1 Aufbau des Experiments.....	53
6.2 Studienergebnisse.....	53
6.2.1 Alter der Teilnehmer.....	53
6.2.2 Anzahl der bisherigen Verwendung eines VR - Exponats.....	54
6.2.3 Bisherige Sichtungen eines VW Käfers.....	54
6.2.4 Bedienbarkeit des VR-Exponats.....	55
6.2.5 Umfang des Tests.....	55
6.2.6 Verständnis der Features des VR-Exponats.....	56
6.2.7 Lieblingsfeature der Probanden.....	56
6.2.8 Features mit Verbesserungspotenzial.....	57
6.2.9 Beurteilung der Immersion.....	57
6.2.10 Wunsch nach der Betrachtung des realen Modells.....	58
6.2.11 Beeindruckendste Information.....	58
6.3 Auswertung.....	59
7 Ausblick.....	61
8 Fazit.....	62
9 Anhang.....	63
9.1 Texturen.....	63

9.2 Sounds.....	63
9.3 Bilder.....	64
9.4 Fakten.....	64
9.5 3D-Hände.....	64

1 Einleitung

Als Studierende der Digitale Medien habe ich mich intensiv mit der Entwicklung von Apps, Webseiten und Spielen sowie mit 3D-Modellierung auseinandergesetzt. Dank der Entwicklungsumgebung Unity 3D und Unreal Engine war ich in der Lage, meine Programmierkenntnisse einzusetzen. Durch die Entwicklung von Spielen konnte ich meine Kenntnisse in Blender vertiefen und erweitern. Mein persönliches Ziel für diese Bachelorarbeit war es, alle an der Universität Bremen und der Hochschule für Künste erworbenen Fähigkeiten einzusetzen und weitere zu erlernen.

1.1 Motivation

Heutzutage können Artefakte häufig aufgrund von Zerbrechlichkeit, wegen ihrer Größe oder ihres Fehlens nicht in Museen ausgestellt werden. Dies lässt sich durch den Einsatz von VR ändern. Denn diese Technologie bietet Möglichkeiten, um z. B. mit Objekten zu interagieren, interaktive Geschichten zu erzählen oder bisher unbekannte Orte zu besuchen. Zudem können Personen, die sich nicht frei bewegen können, mit VR Zugang zu Exponaten erhalten.

Für die vorliegende Arbeit wurde entschieden, ein VR-Exponat zum VW Käfer zu entwickeln, da dieser ein Symbol für den Neuanfang der deutschen Automobilindustrie war. Besonders komfortabel war das Auto nicht und es wies trotz niedriger Geschwindigkeit einen langen Bremsweg auf [1]. Jedoch war das Modell günstig, unkompliziert zu reparieren und zuverlässig [2]. Der VW Käfer erreichte Produktionsrekorde und war der meistgebaute Pkw der Welt, bis er im Jahr 2002 vom VW Golf abgelöst wurde. Der Käfer war ein Symbol des Wirtschaftswunders, das bis zum Ende des Jahres 1953 in 88 Länder exportiert wurde. Am 5. August 1955 wurde das millionste Exemplar hergestellt, während die Gesamtproduktionsmenge im Jahr 1957 bereits auf zwei und bis zum Jahr 1959 auf drei Millionen stieg. Am 30. Juli 2003 lief in Mexiko das letzte Exemplar vom Band, das die Nummer 21.529.464 trug [2].

2 Verwandte Arbeiten

2.1 MusA: A Gamified Virtual Reality Museum

Im Projekt *MusA: A Gamified Virtual Reality Museum* [3] wurde ein VR-Raum erstellt, in dem Museumsstücke aus den Sammlungen der Bibliothek, der Dokumentverwaltung und den Museology-Services (Sbidm) der Universität von Aveiro (UA) ausgestellt werden. Die Hauptziele dieses Projekts waren:

- die Behebung des Mangels an Raum für die Ausstellungen der Sammlungen und die Förderung von Ausstellungen,
- die interaktive Präsentation der Sammlungen ohne den Gebrauch von physischen Objekten bei gleichzeitiger Erforschung des Potenzials des digitalen Mediums,
- die Erleichterung des Zugangs der Öffentlichkeit zu den Sammlungen der Universität sowie
- die Gewinnung neuen Publikums für die vom Sbidm entwickelten Ausstellungen.

Hierfür wurden zwei Ausstellungen gestaltet, die nachfolgend erläutert werden.

- *Die Geschichte des Fado* ermöglicht es den Besuchern, die entscheidenden Momente in der Entwicklung des Fado in Portugal kennenzulernen und zu verstehen.
- Einige Werke von Hélène de Beauvoir aus den Jahren 1940 bis 1945 sind Gemälde mit Fokus auf das portugiesische Landleben. In dieser Zeit wohnte die Künstlerin aufgrund des Zweiten Weltkriegs in Portugal.

2.1 Virtual Reality Musical Museum

Das Projekt *Virtual Reality Musical Museum (VRM2)* [4] wurde entwickelt, um ein virtuelles Museum für historische malaysische Musikobjekte zu erzeugen. Eine immersive virtuelle Umgebung soll den Benutzern das Gefühl vermitteln, sich physisch in einem Musikinstrumentenmuseum zu befinden. Ein Ziel dieses Projekts ist es zudem, die Werte dieser Musikinstrumente vor dem Vergessen zu bewahren. Das Projekt umfasst dreidimensionale künstliche musikalische Artefakte aus Malaysia, Interaktionsmöglichkeiten, Klangbeispiele der Artefakte und Informationen. Der Anwender hat die Möglichkeit, die 3D-Objekte zu verschieben, deren Größe zu verändern und sie zu drehen.

Mit VRM2 soll das Interesse der Nutzer an musikalischen Artefakten durch VR geweckt werden.

3 Grundlagen

3.1 Unity

Unity ist eine Entwicklungsumgebung, die die Erstellung und Gestaltung von Computerspielen ermöglicht. Die integrierte Programmierumgebung MonoDevelop ermöglicht es, die vorgefertigten Unity-Prozesse durch individuelle Programmierung in einer Sprache wie UnityScript, C# oder Boo zu ergänzen [5].

3.2 Skripten

Mithilfe von Skripten können nahezu alle Teile eines Spiels oder eines interaktiven Echtzeithalts entwickelt werden [6].

3.3 Universal Render Pipeline

Mit der Universal Render Pipeline (URP) können Projekte auf über 20 Plattformen bereitgestellt werden. Dies umfasst VR und mobile Geräte bis hin zu High-End-Konsolen und Desktoprechnern [7].

Dabei bietet URP die folgenden drei Rendering-Pfade, um die Vielfalt der mit Unity entwickelten Spiele zu unterstützen:

- **Forward-Rendering** für auf allen unterstützten Plattformen skalierbare optimierte Material- und Beleuchtungs-Workflows,
- **Deferred Rendering** für das Rendering einer hohen Anzahl von Lichtern ohne die mit Forward-Rendering-Techniken einhergehenden erheblichen Leistungseinbußen sowie
- **2D-Rendering** zur Darstellung von Licht- und Schatteneffekten in Echtzeit für 2D-Spiele.

3.4 GameObject-Components

Components sind die funktionalen Teile eines GameObjects. Sie enthalten Eigenschaften, die bearbeitet werden können, um das Verhalten eines GameObjects zu definieren [8].

3.4.1 Rigidbody

Ein Rigidbody bietet eine physikbasierte Möglichkeit, die Bewegung und die Position eines GameObjects zu steuern [9].

3.4.2 Hinge-Joint

Mit einem Hinge-Joint können zwei Rigibodys kombiniert werden, sodass sie sich so bewegen, als wären sie durch ein Scharnier verbunden. Es eignet sich für Türen, kann jedoch auch zum Modellieren von z. B. Ketten und Pendeln verwendet werden [10].

4 Konzeption

4.1 Idee

Die Grundidee des Exponats ist es, Menschen den VW Käfer inkl. seines Aufbaus, und seiner Geschichte näherzubringen. Dabei ist es entscheidend, den VW Käfer so zu modellieren, dass dem Anwender das Gefühl vermittelt wird, sich tatsächlich vor dem Pkw zu befinden. Die Gestaltung des Exponats soll interaktiv und leicht zu verstehen sein.

4.2 Virtuelle Umgebung

Die VR-Umgebung besteht aus zwei Teilen: der Werkstatt und der Fahrweg.

- In der Werkstatt befinden sich der VW-Käfer und dessen Teile. Hier finden die meisten Interaktionen statt.
- Der Fahrweg ist eine kurze Strecke, auf der das Auto gefahren wird.

Zu Beginn der Interaktion befindet sich der Benutzer vor dem Auto in der Werkstatt. An der rechten und der linken Seite des Benutzers befindet sich jeweils ein Stehtisch mit Knöpfen. Der rechte Tisch bietet die Möglichkeit, die Farbe des Autos zu verändern. Hierfür wurden Originalfarben des VW Käfers aus einem alten Handbuch verwendet und den Knöpfen einzeln zugewiesen. Der linke Tisch bietet die Möglichkeit, sich das Auto schichtenweise anzusehen und die zugehörigen Informationen ein- oder auszublenden. Um die Interaktion zu verbessern, wird nach jedem Knopfdruck eine Audiodatei abgespielt.

Zwei weitere Tische befinden sich in der rechten Seite des Raums. Dort stehen dem Benutzer zwei Bildschirme zur Verfügung: ‚Fakten I‘ und ‚Fakten II‘. Auf diesen werden jeweils zehn Informationspunkte dargestellt, zwischen denen der Benutzer per Knopfdruck wechseln kann.

An den Wänden des Raums sind alte Bilder und eine Pinnwand zu sehen. Auf diesen ist dargestellt, wie früher der VW Käfer gebaut wurde, als die Technologie und die Automatisierung noch nicht so weit fortgeschritten waren.

Ein weiterer Tisch in der Nähe der Werkstatttür bietet die Möglichkeit, das Auto zu fahren. Nach dem Drücken dieses Knopfs wird der Benutzer aufgefordert, zunächst die Werkstatttür zu öffnen, um fahren zu dürfen. Anschließend wird dem Benutzer eine Zwischenszene mit einer Anleitung angezeigt: Der Anwender muss

die VR-Brille abnehmen, zu seiner Startposition zurückkehren und dort Platz nehmen. Wenn die Anweisungen befolgt wurden, kann die Brille wieder aufgesetzt werden. In der VR-Umgebung befindet sich an der rechten Hand des Anwenders ein Knopf, der zur nächsten und letzten Szene führt. In dieser erscheint der Benutzer im Auto und erhält eine weitere Anleitung dazu, wie das Lenken funktioniert und wie die Fahrt gestartet werden kann. Eine am Lenkrad platzierte rote Kugel muss festgehalten werden, um lenken zu können. Wenn der Benutzer bereit ist, kann er den an der Mitte des Lenkrads platzierten Knopf drücken, um loszufahren. Wenn das Ende der Strecke erreicht ist, wird das Auto automatisch angehalten und ein Abschiedstext wird eingeblendet. Anschließend wird der Anwender nach 20 Sekunden wieder in die Werkstatt zurückversetzt.



Abb. 1: Werkstatt



Abb. 2: Fahrweg

5 Implementierung

Die Implementierung des Projekts wurde in die folgenden drei Phasen eingeteilt:

- Recherche zum VW Käfer,
- 3D-Modellierung sowie
- Entwicklung der VR-Umgebung.

5.1 Recherche zum VW Käfer

Während der Recherche wurde nach Informationen über den Aufbau des VW Käfers gesucht. Hierbei wurden Skizzen, Bilder, Baueinleitungen, Videos und Dokumentationen gefunden, die für die Modellierung des Autos hilfreich waren.

5.1.1 Skizze

Mithilfe der folgenden Skizze wurde der äußere Teil des VW Käfers modelliert. Die vordere, die hintere, die linke und die rechte Seite sind auf dem Bild zu sehen [11].

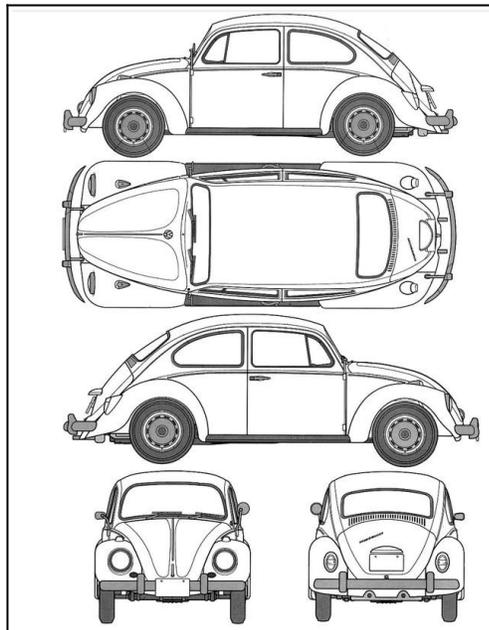


Abb. 3: Skizze

5.1.2 Bilder

Auf der Webseite kaeferwerkstatt-regensburg.de waren Bilder des VW Käfers Ovali 1955 zu sehen, die z. B. den Innenbereich, den Motor und den Kofferraum zeigen [12].



Abb. 4: Innenraum



Abb. 5: Motor



Abb. 6: Kofferraum

5.1.3 Handbuch

Das folgende Handbuch enthält die Originalfarben, die früher beim Kauf eines VW Käfers zur Auswahl standen [13].

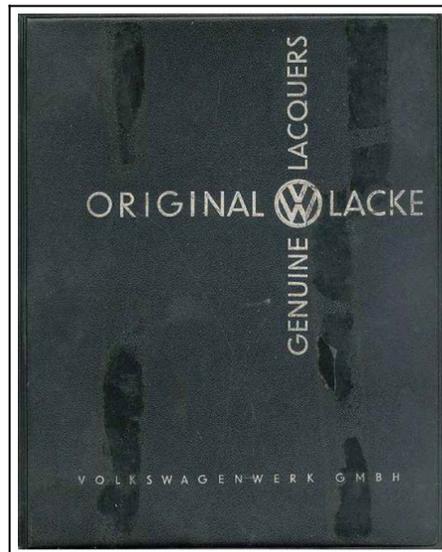


Abb. 7: Handbuch

5.1.4 Autoteile

Auf der Webseite werk34.de waren alle Teile des VW Käfers zu finden. Diese Informationen waren zentral für die Benennung der in Blender modellierten Teile [14].



Abb. 8: VW – Käfer Teile

5.1.5 Videos

Folgende Videos wurden für das Modellieren des VW Käfers verwendet:

- **Floorpan Replacement and Painting the Chassis:** Hier wurde das Fahrgestell eines VW Käfers ausgetauscht und lackiert [15].



Abb. 9: Fahrgestell (YouTube)

- **FULL BUILD 1965 VW Beetle Chassis:** In diesem Video wurde die Bodengruppe vollständig restauriert. Teile wie die Vorderachse, das Getriebe und die Drehstäbe wurden gebaut und installiert. Anhand dieses Videos konnten die Bodengruppe und deren Komponenten in Blender modelliert werden [16].



Abb. 10: Bodengruppe (YouTube)

- **Käfer Getriebe:** In diesem Video ist zu sehen, wie ein Getriebe gereinigt wird [17].



Abb. 11: Getriebe (YouTube)

- **Classic VW BuGs Full 36hp Original Beetle Engine Rebuild:** Hier wurde ein 36-hp-Motor schrittweise neugebaut. Nahezu alle Motorteile und deren Eigenschaften waren ausreichend zu sehen, um diese Informationen für die Modellierung des Motors nutzen zu können [18].



Abb. 12: Motor (YouTube)

- **VW Käfer (1952), VW Käfer (1956) und VW Beetle Käfer Ovali 30HP (1955):** In diesen drei Videos werden verschiedene VW-Käfer-Modelle vorgestellt und beschrieben. Mithilfe dieser Videos konnten Eigenschaften wie der Innenbereich des VW Käfers modelliert werden [19] [20] [21].
- **Fall Drive in a 1966 VW Beetle:** In diesem Video wird ein 1966er VW Käfer gefahren. Dessen Inhalt wurde für die Sounderstellung des VW Käfers verwendet [22].



Abb. 13: Autofahrt (YouTube)

5.2 3D-Modellierung

Die erste Idee bestand darin, den VW Käfer mithilfe von Photogrammetrie zu erstellen. Doch da weitere Komponenten wie der Innenbereich des Autos und der Motor ebenfalls modelliert werden sollten, wurde diese Idee nicht umgesetzt, um einen Stilbruch wegen unterschiedlich erstellter Teile zu vermeiden. Aus diesem Grund wurde entschieden, alle Objekte in Blender zu modellieren.

Anhand der gefundenen Skizzen wurde zunächst der äußere Teil des Autos (die Karosserie) modelliert. Die Skizzen waren Darstellungen der vorderen, der hinteren, der linken und der rechten Seite des Autos. Diese Bilder wurden in Blender hinzugefügt und für die Modellierung verwendet. Der erste Prototyp war eine High-Poly-Version, der auf eine Low-Poly-Version reduziert wurde.

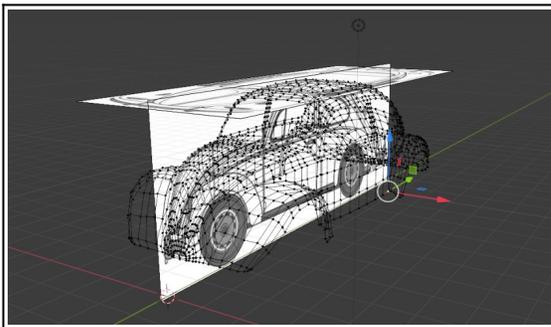


Abb. 14: Modellierung der Karosserie Teil 1

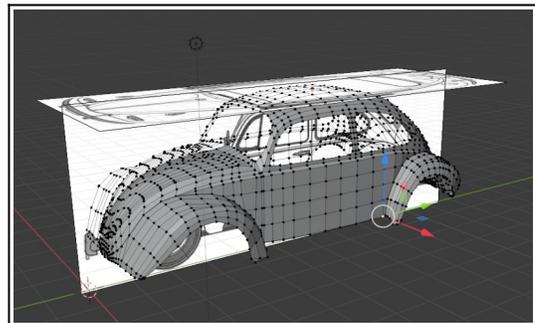


Abb. 15: Modellierung der Karosserie Teil 2

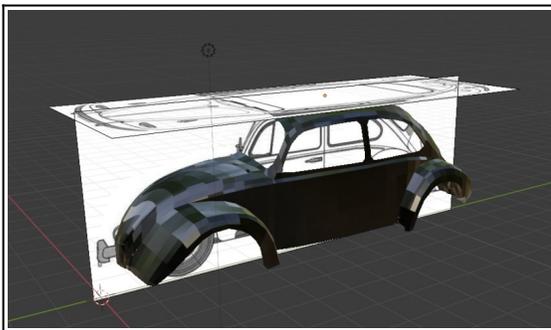


Abb. 16: Modellierung der Karosserie Teil 3



Abb. 17: Modellierung der Karosserie Teil 4

Um weitere Autoteile modellieren zu können, musste die Karosserie in einzelne Teile zerlegt werden. Die Türen, die Motor- und die Kofferraumhaube sowie die Fensterscheiben sind daraus entstanden.

Der nächste Schritt war es, die Bodengruppe zu modellieren. Anhand der erstellten Karosserie wurde dieser Teil erstellt und angepasst. Dadurch konnten weitere Objekte auf Grundlage der bereits bekannten Höhe als Referenz leicht modelliert werden. Dank dem YouTube-Video „FULL BUILD 1965 VW Beetle Chassis | Complete Restoration“ [16] war es möglich, die Struktur und die Einzelteile der Bodengruppe zu betrachten. Da die Räder zusammen mit der Karosserie modelliert wurden, dienten diese als Referenz für die Modellierung von Elementen wie den Bremsankerplatten und der Vorderachse.

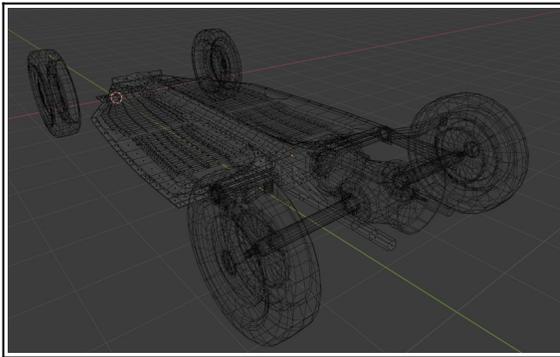


Abb. 18: Modellierung der Bodengruppe Teil 1

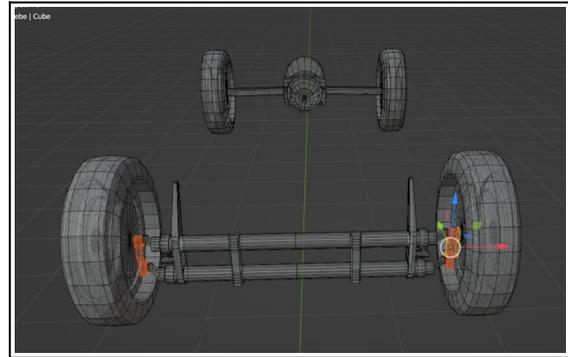


Abb. 19: Modellierung der Bodengruppe Teil 2

Für die Modellierung des Getriebes wurden Bilder und Videos [17] als Referenzen verwendet, die diesen aus verschiedenen Perspektiven zeigen. Anhand der bereits modellierten Räder wurden weitere Komponenten des Betriebs modelliert, deren Größe wurde angepasst und mit den bereits vorhandenen Teilen abgeglichen.

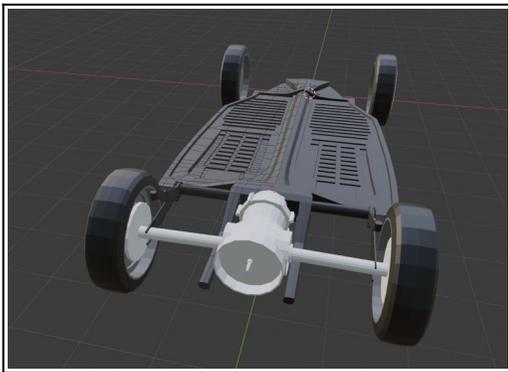


Abb. 20: Modellierung der Getriebe Teil 1

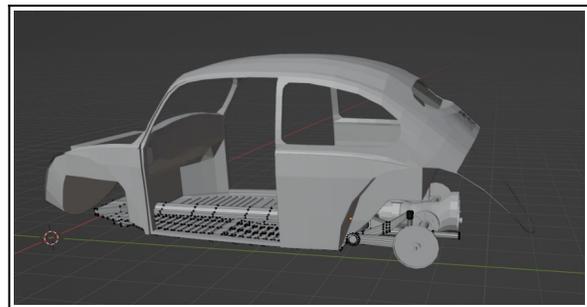


Abb. 21: Modellierung der Getriebe Teil 2

Für den Motor wurde das YouTube-Video „Classic VW BuGs Full 36hp Original Beetle Engine Rebuild full 55min Restoration Video“ [18] verwendet, in dem ein Motor schrittweise neugebaut wird. Nachdem alle Komponenten des Motors modelliert waren, wurde dieser mit der Karosserie abgeglichen und eine Anpassung der Größe wurde vorgenommen. Da nicht alle Komponenten erkennbar waren, wurde im Internet nach Bildern recherchiert, um den Motor zu vervollständigen. Komponenten, die klein oder nicht ausreichend zu sehen waren, wurden unter Beibehaltung ihrer Hauptstruktur vereinfacht.

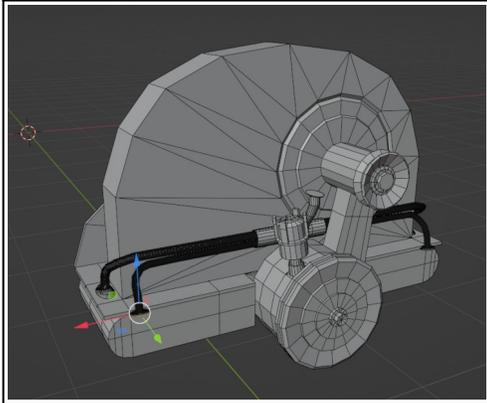


Abb. 23: Modellierung des Motors Teil 1

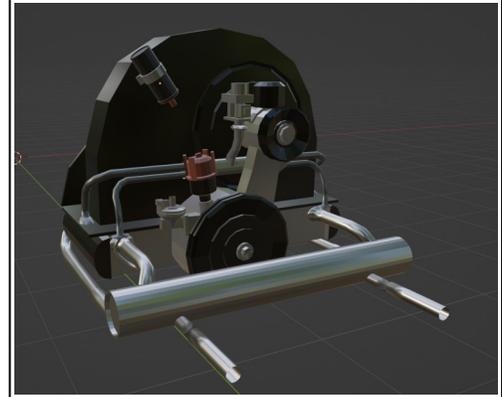


Abb. 22: Modellierung des Motors Teil 2

Für den inneren Bereich des Autos wurde die Webseite kaeferwerkstatt-regensburg.de [12] verwendet, auf der der VW Käfer aus verschiedenen Perspektiven zu sehen ist. Anhand dieser Bilder wurden z. B. die Sitze, das Lenkrad, die Halteschleufe, der Handbremshebel und das Radio erstellt. Für die Texturierung des Radios, des Tachometers und des Lenkrads wurde GIMP verwendet.



Abb. 24: Innenraum des 3D - Käfers

3D-Objekt

Textur



Abb. 25: Lenkrad

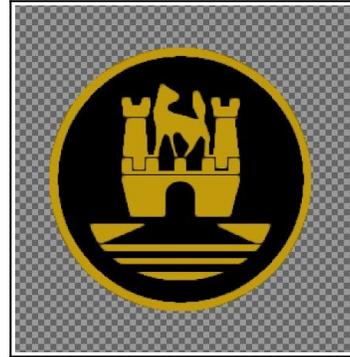


Abb. 26: Marken Emblem
(Textur)



Abb. 27: Tachometer

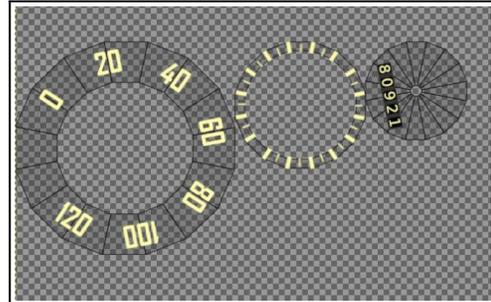


Abb. 28: Tacho (Textur)



Abb. 30: Radio

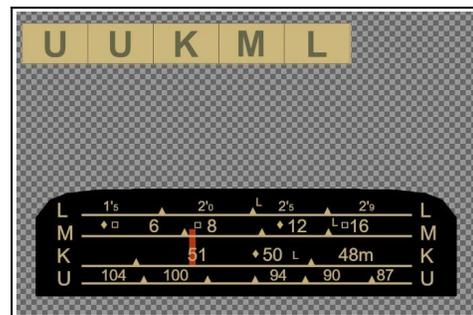


Abb. 29: Radio (Textur)

Für eine bessere Übersicht wurden die erstellten Modelle in die folgenden Gruppen eingeteilt:

- Windows
- Accessories out
- Accessories in
- Accessories mini
- Chairs
- Bodengruppe
- Autoparts
- Motor

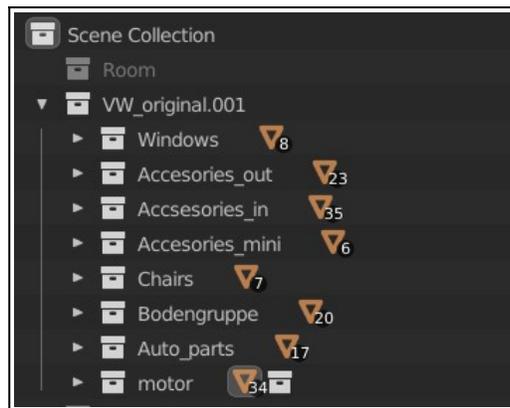


Abb. 31: 3D - Objekte Gruppen

Vor der Exportierung des 3D-Objekts wurden vier Schritte ausgeführt:

- Vergleich mit Bildern
- Überprüfung von Normalen
- Festlegung des Pivotpunkt
- Zuweisung der Farben

5.2.1 Vergleich mit Bildern

Anhand von Bildern der Webseiten kaeferwerkstatt-regensburg.de [12] und werk34.de [14] wurde das 3D-Auto auf Unstimmigkeiten überprüft. Die Größe einiger Teile wurde angepasst, weitere Eigenschaften wurden hinzugefügt und fehlende Komponenten wurden modelliert. Nach der Überprüfung aller Autoteile wurde jedes Objekt seiner Funktion gemäß benannt.



Abb. 32: 3D - Käfer

5.2.2 Überprüfung von Normalen

Der nächste Schritt war es, die Richtung der Normalen zu korrigieren. Hierfür wurden die Standardansicht für die Ausrichtung und das Backface-Culling aktiviert. Dadurch war deutlich zu erkennen, welche Flächen umgedreht werden sollten.

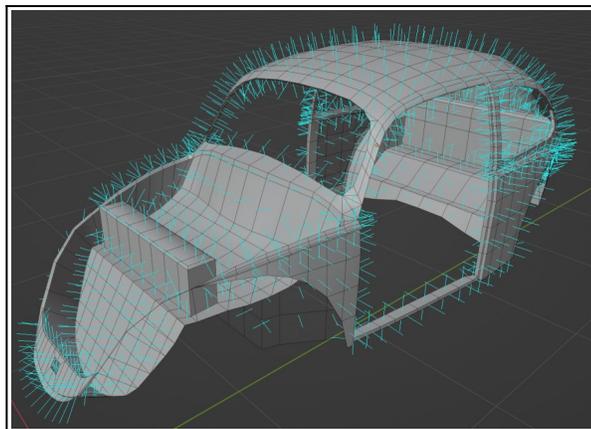


Abb. 33: Standardansicht von Normalen

5.2.3 Festlegung des Pivotpunkts

Für Objekte wie die Türen, das Lenkrad und die Räder wurden die Pivotpunkt neu festgelegt. Dadurch war es möglich, folgende Interaktionen in Unity zu erstellen: Öffnen der Türen und das Lenken.

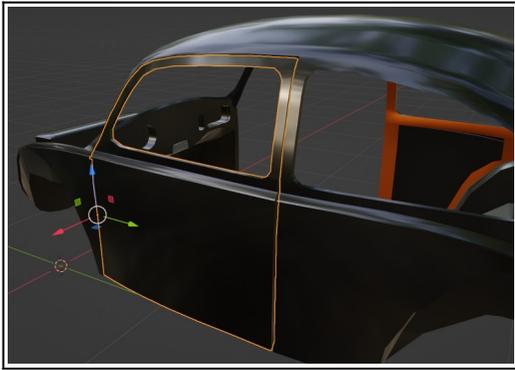


Abb. 35: Pivotpunkt der linken Tür

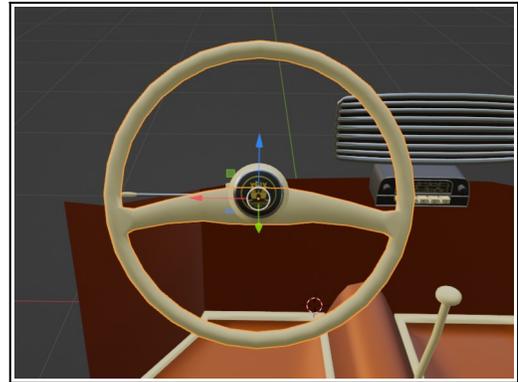


Abb. 34: Pivotpunkt des Lenkrads

5.2.4 Zuweisung der Farben

Der letzte Schritt war es, den Objekten temporäre Farben zuzuweisen, um darauffolgend unterschiedliche Texturen verwenden zu können.

Anschließend wurde die Größe des 3D-Autos an jene eines realen VW Käfers angepasst.

Der Raum, die Tische, die Strecke und die Bilderrahmen wurden auf die gleiche Weise modelliert und exportiert.

Folgende Blender-Modifiers wurden für die Erstellung der 3D-Objekte verwendet:

- Der *Mirror-Modifier* erlaubt es, ein Objekt entlang seiner lokalen x-, y- und/oder z-Achse über den Objektsprung zu spiegeln [23].
- Mit dem *Array-Modifier* werden Kopien des Basisobjekts erstellt, die jeweils auf eine beliebige Art in Bezug zur vorhergehenden Kopie versetzt sind [23].
- Der *Solidify-Modifier* wird verwendet, um der Oberfläche eines beliebigen Objekts Tiefe und Dicke hinzuzufügen [23].

5.2.5 Liste der modellierten Autoteile

Nr.	Name
1	Ansaugrohr
2	Armaturenbletzgitter (Lautsprecher)
3	Armlehne
4	Aschenbecher (vorne und hinten)
5	Außenspiegel
6	Ausstellfensterverriegelung (links und rechts)
7	Ausstellfensterscheibe (links und rechts)
8	Benzinleitung
9	Benzinpumpe
10	Bremsankerplatten (hinten)
11	Bremsankerplatten (vorne)
12	Endröhre
13	Endschalldämpfer
14	Fahrgestell
15	Fensterdichtung (links, rechts, hinten und vorne)
16	Fensterkurbel (links und rechts)
17	Gebläsekasten
18	Getriebe
19	Halteschlaufe (links und rechts)
20	Handbremshebel
21	Handschuhfachdeckel
22	Heckscheibe
23	Hupenziergitter
24	Innenspiegel
25	Kabelhalter
26	Karosserie
27	Kofferraumgriff

Nr.	Name
28	Kofferraumhaube
29	Kotflügel (hinten)
30	Kotflügel (vorne)
31	Lagerbock (links und rechts)
32	Lagerflansch
33	Lenkgetriebe
34	Lenkrad
35	Lenkungsdämpfer
36	Lichtmaschine
37	Lichtmaschinenhalter
38	Markenemblem
39	Motorabdeckbleche
40	Motorgehäuse
41	Motorhaube
42	Motorhaubengriff
43	Öleinfüller
44	Pedalsatz
45	Pendelachse
46	Räder
47	Radio
48	Regler
49	Riemenscheibe (klein und groß)
50	Rückleuchten
51	Schalthebel
52	Scheibenwischer (links und rechts)
53	Scheinwerfer
54	Schräglenkachse
55	Seitenscheibe (links und rechts)

Nr.	Name
56	Sitze
57	Sonnenblende
58	Spurstange (links und rechts)
59	Stoßdämpfer
60	Stoßstange (hinten und vorne)
61	Tachometer
62	Tankdeckel
63	Teppichsatz (Kofferraum und Motor)
64	Teppichsätze (Innen)
65	Trittbrett
66	Tür (links und rechts)
67	Türgriff (links und rechts)
68	Türöffner (links und rechts)
69	Türscheibe (links und rechts)
70	Türverkleidungssätze (links und rechts)
71	Unterdruckdose
72	Unterdruckdosenkabel
73	Vergaser
74	Vorderachse
75	Windschutzscheibe
76	Zündkabel
77	Zündspule
78	Zündverteiler

Im folgenden werden die modellierten Autoteile mit deren zugewiesenen Nummern dargestellt.

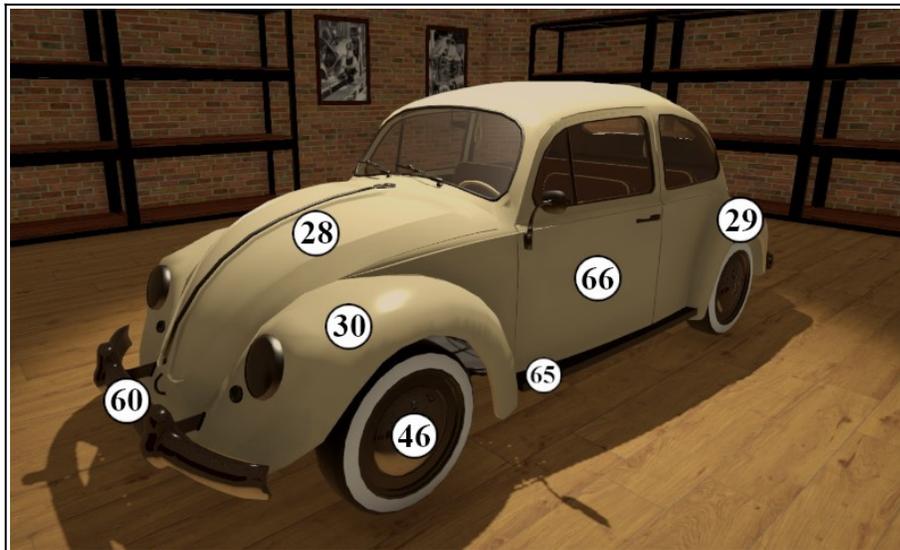


Abb. 36: Außenteile Teil 1



Abb. 37: Außenteile Teil 2



Abb. 38: Außenteile Teil 3

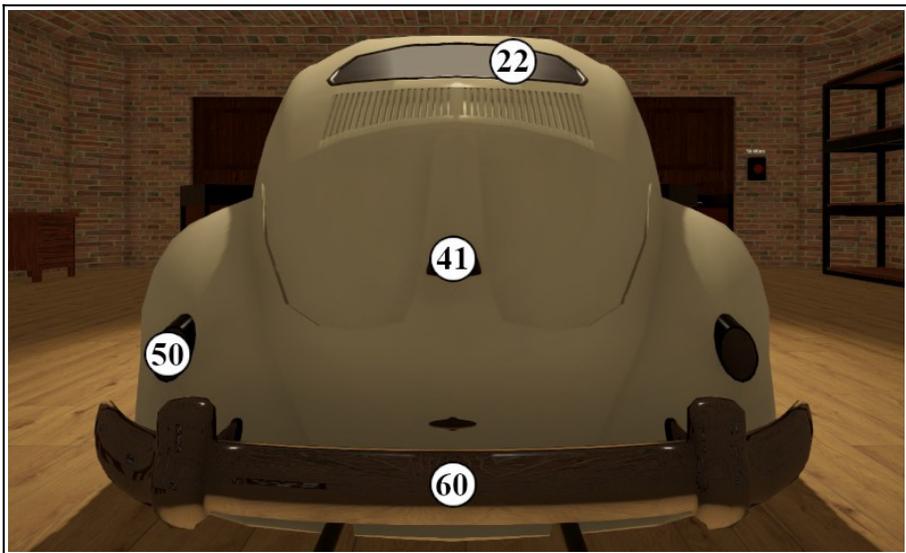


Abb. 39: Außenteile Teil 4

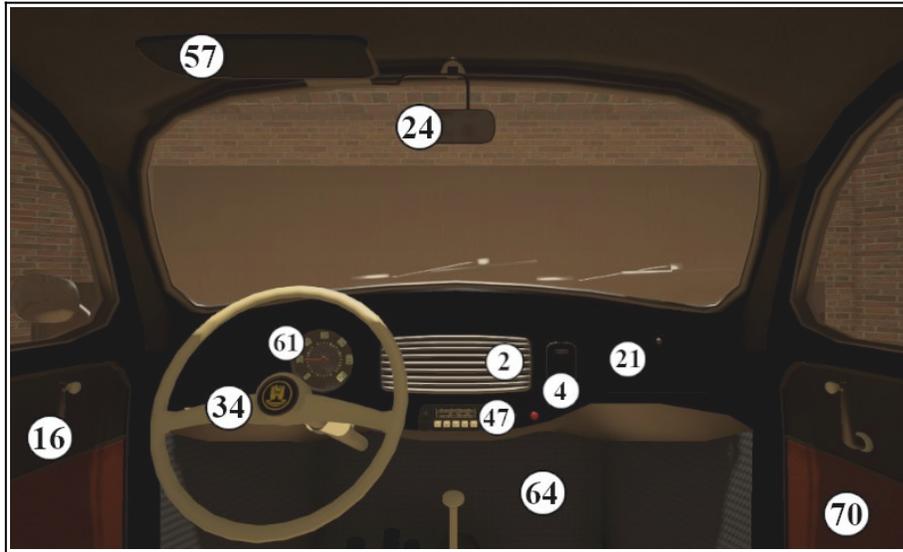


Abb. 40: Innenausstattung Teil 1



Abb. 41: Innenausstattung Teil 2

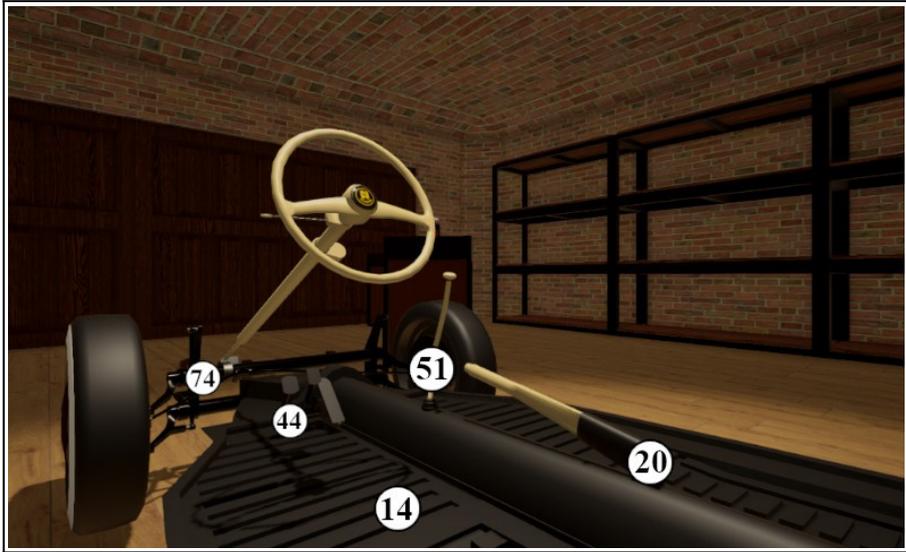


Abb. 42: Bodengruppe Teil 1

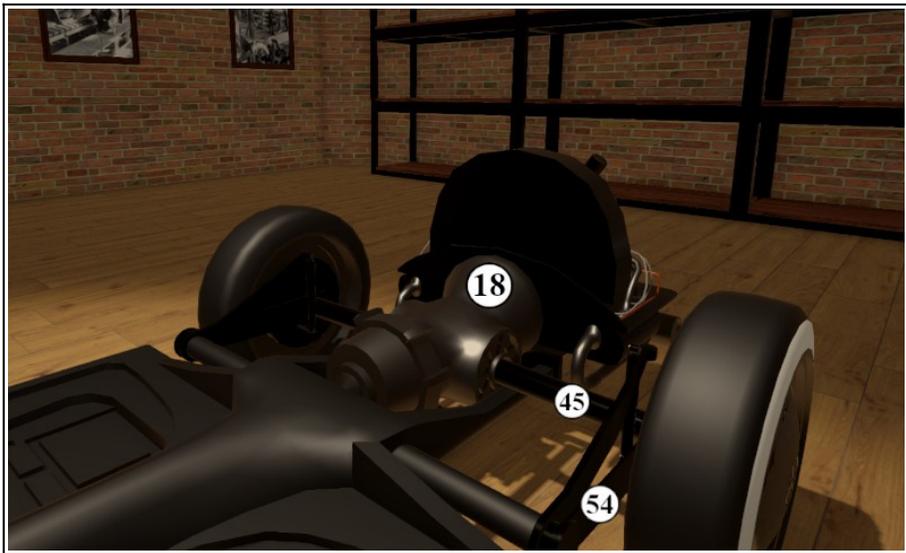


Abb. 43: Bodengruppe Teil 2

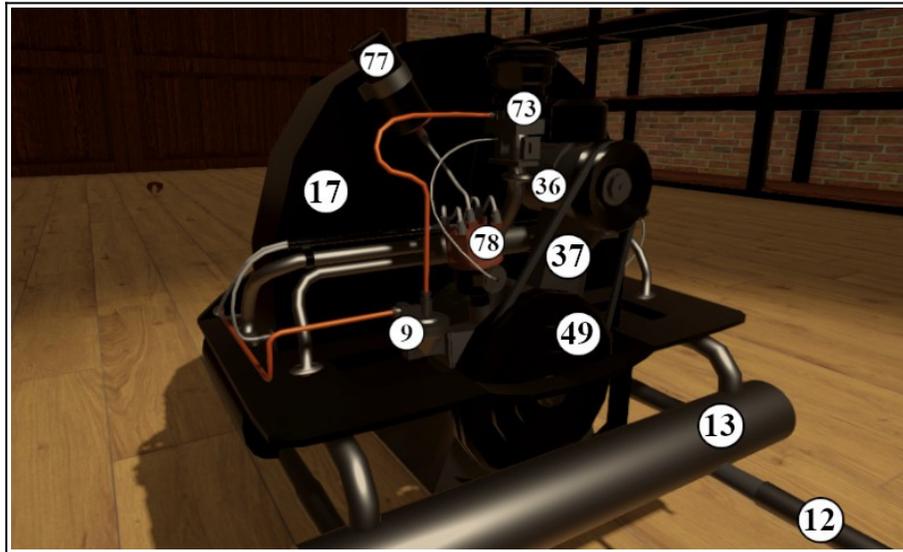


Abb. 44: Motor

5.3 Entwicklung der VR-Umgebung

Für die Entwicklung der VR-Umgebung wurde in Miro eine Mindmap erstellt, um die Struktur der Umgebung zu planen.

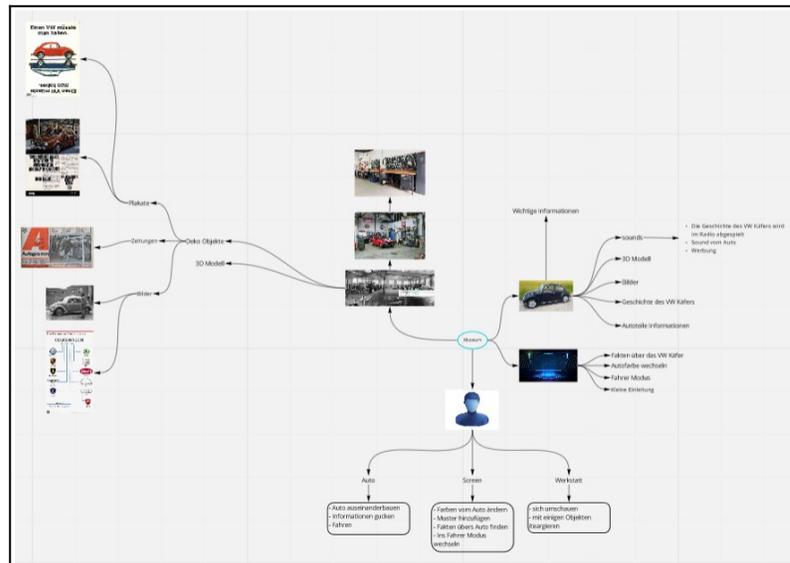


Abb. 45: In Miro erstellte Mind Map

5.3.1 Erste Überlegungen

Eine erste Idee war die Integration einer Funktion, mit der der VW Käfer virtuell auseinandergelöst werden kann. Mit dieser hätte der Benutzer die Möglichkeit gehabt, sich die Teile des Autos einzeln anzusehen. Aus Zeitgründen wurde diese Funktion vereinfacht und in eine neue Variante umgewandelt. Hierfür wurde das Auto in die drei Bereiche Karosserie, Bodengruppe und Motor aufgeteilt. Somit kann sich der Benutzer für einen dieser Teile entscheiden und die Informationen hierzu anschauen.

Eine weitere Idee war die Bedienung aller Funktionen über einen 3-D-Monitor, z. B. um die Autofarbe zu wechseln, Informationen über das Auto anzuzeigen oder in den Fahrermodus zu wechseln. Um dem Benutzer eine bessere Interaktion zu bieten, wurde dies in drei Funktionen aufgeteilt:

- die Daten werden auf einem alten Röhrenfernseher angezeigt,
- das Wechseln der Autofarbe ist über auf einem Stehtisch platzierte Knöpfe möglich und
- die Autoteilinformationen können mit auf einem Stehtisch platzierten Knöpfen ein- oder ausgeblendet werden.

Anfangs war geplant, auf den Regalen in der Werkstatt Werkzeuge oder Autoteile zu platzieren, damit der Anwender auch mit diesen interagieren kann. Aus Performancegründen wurde jedoch darauf verzichtet.

Es bestand die Überlegung, während der Fahrt über das Radio Anekdoten von VW-Käfer-Besitzern oder die Geschichte des Autos abzuspielen. Nach Tests mit einigen Probanden wurde jedoch festgestellt, dass sie sich verstärkt auf das Fahren konzentrierten. Aus diesem Grund wurde diese Funktion nicht implementiert.

5.3.2 3D Modelle

Der VW Käfer wurde in der Mitte der VR-Umgebung platziert, damit der Benutzer sich um das Auto herumbewegen und mit ihm interagieren kann.

Alte Bilder wurden an den Wänden platziert, um dem Anwender einen Blick in die Vergangenheit des VW Käfers zu gewähren. Zudem sollte dargestellt werden, wie dieses Auto vor der Automatisierung gebaut wurde.

An eine Pinnwand wurden alte Bilder, Artikel, Plakate und Werbung angebracht. Die Regale waren als Ablage für Autoteile und Werkzeuge vorgesehen, worauf aus

Performancegründen jedoch verzichtet wurde.

Anstelle der Röhrenfernseher waren anfangs LED-Bildschirme oder Computer vorgesehen. Diese wurden jedoch ersetzt, um den Stil der 1950er bzw. 1960er Jahre des Exponats beizubehalten.

Auf Tischen bzw. Stehtischen wurden die Röhrenfernseher und die Knöpfe platziert.



Abb. 46: Alte Bilder, Pinnwand, Röhrenfernseher, Tische

5.3.3 Texturen

Es wurden acht Texturen mit einer Creative-Commons-Zero - Lizenz verwendet. Diese wurden für folgende Objekte genutzt:

- die Wände,
- den Boden,
- die Tische,
- die Tür,
- die Teppichsätze,
- die Fahrstrecke,
- die Regale sowie
- die Bildrahmen.

5.3.4 Materialien

Alle weitere virtuellen Materialien wurden in Unity erzeugt. Dafür wurden primär folgende Eigenschaften verändert: Base-Map, Metallic Map und Smoothness. Für Objekte wie die Fenster wurden der Surface-Type auf ‚Transparent‘ und das Render-Face auf ‚Both‘ eingestellt.

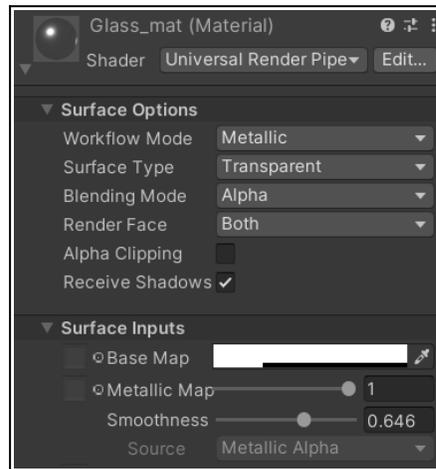


Abb. 47: Material Component

5.3.5 Reflection-Probes

Für dieses Projekt wurden zwei Reflection-Probes erzeugt: eines für den Raum und eines für die Strecke. Dadurch wirken das Auto und dessen Komponenten realer.

5.3.6 Interaktionen

Zentral für das Exponat war es, dass der Benutzer mit dem Auto interagieren kann. Er sollte z. B. die Türen, die Kofferraumhaube, die Motorhaube oder Schubladen des Pkws öffnen können. Hierfür wurden den Objekten Hinge-Joints hinzugefügt, um deren Drehbewegung zu begrenzen.

Für die Änderung der Lackierung des Autos werden Knöpfe verwendet. Jeder Knopf steht für eine eigene Farbe, sodass sich der Benutzer eine aussuchen und das Auto per Knopfdruck mit dieser lackieren lassen kann.



Abb. 48: Knöpfe für die Änderung der Autofarbe

Für die Erstellung der Knöpfe wurde das Video „Unity VR Game Basics – PART 10 – Buttons“ [24] verwendet.

Eine weitere Funktionalität des VR-Exponats ist die Anzeige der Informationen zu den Autoteilen. Hierfür wurden zunächst Textfelder an ausgewählten Elementen des Autos platziert. Damit der Anwender den Text erkennen kann, wurde ein blaues Hintergrundbild ergänzt. Da vor der Exportierung alle Autoteile korrekt benannt wurden, war es nicht nötig, erneut hierzu zu recherchieren.

Der Benutzer kann per Knopfdruck entscheiden, welche Teile inkl. der zugehörigen Informationen angezeigt werden sollen. Hierfür stehen die drei Optionen Karosserie, Bodengruppe und Motor zur Auswahl. Ein weiterer Knopf hat die Funktion, das vollständige Auto ein- und alle Textfelder auszublenden.



Abb. 49: Knöpfe für das Einblenden von Informationen

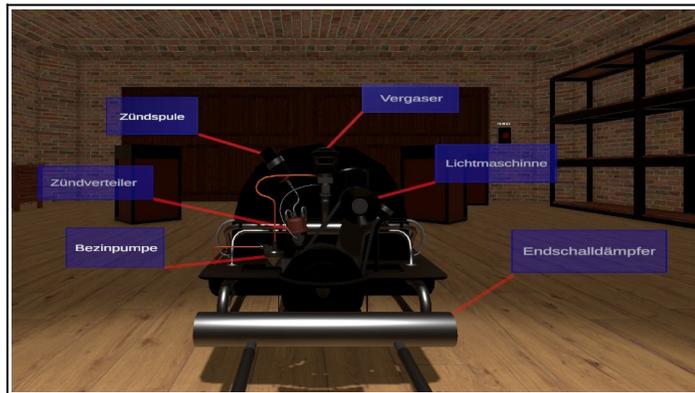


Abb. 50: Eingblendete Informationen des Motors

Die Röhrenfernseher werden für die Darstellung der Informationen genutzt und wurden dafür auf den Tischen platziert. Mithilfe eines ‚Zurück‘- und eines ‚Nächste‘-Knopfs kann der Anwender sich die Informationen einzeln anschauen.



Abb. 51: Röhrenfernseher für das Anzeigen der Fakten

Die letzte Funktionalität des VR-Exponats ist die Fahrsimulation. Hierfür wurde ein weiterer Stehtisch mit einem Knopf erstellt. Vor Beginn der Fahrt wird der Benutzer angefordert, die Tür der Werkstatt zu öffnen.



Abb. 52: Knöpfe für das Fahren und das Öffnen der Werkstatttür

Bei der Implementierung der Fahrsimulation traten zwei Probleme auf. Nachdem der Benutzer den Knopf drückte, wurde er teilweise nicht an der gewollten Stelle platziert. So kam es vor, dass sich der Anwender außerhalb des Autos oder in dessen Innerem, jedoch nicht hinter dem Lenkrad befand. Um dies zu lösen, wurde eine weitere Szene in Unity erstellt.

Diese besteht aus einem Boden, einem Textfeld und einem Knopf an der Hand des Benutzers. Auf dem Textfeld ist die Anweisung zu lesen, dass der Anwender die VR-Brille abnehmen und zu seiner Startposition zurückkehren soll, an der sich ein Stuhl für die Fahrsimulation befindet. Sollte der Anwender bereits alle Anweisungen befolgt haben, kann er den Knopf an seiner linken Hand drücken und mit der nächsten Szene fortfahren.

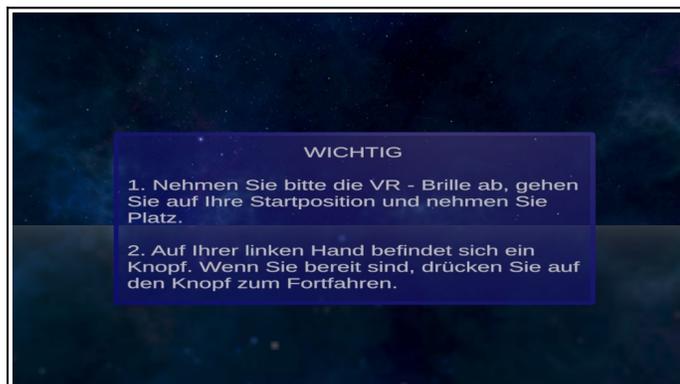


Abb. 53: Anweisungen für die Zwischenszene

Anschließend werden eine kurze Anleitung und ein Knopf für den Beginn der Fahrt eingeblendet. Wenn der Benutzer bereit ist, kann er den Vorgang per Knopfdruck starten. Hierbei ergab sich das Problem, dass sich das Lenkrad vom Auto trennte und in der Luft stand, während die Simulation weiterlief. Um dies zu lösen, wurde eine unsichtbare Kopie des Lenkrads erstellt, die alle Bewegungen auf das ursprüngliche Lenkrad überträgt. Für die Interaktion mit dem Lenkrad wurde eine rote Kugel erstellt. Erst wenn der Benutzer diese in die Hand nimmt, kann er lenken. Um die Immersion zu erhöhen, wurden Sounds für das Starten und das Fahren des Autos hinzugefügt.



Abb. 54: Anleitung für das Fahren

Als Skybox wurde ein Himmel verwendet, damit der Benutzer sich entspannt und sich ausschließlich auf das Fahren konzentriert.

Wenn der Benutzer das Ende der Strecke erreicht, wird das Auto angehalten und nach 20 Sekunden wird wieder die Werkstatt angezeigt.

5.3.7 Skripten

Class AnimatedHandOnInput:

Wurde für die Animation der Händen verwendet. Hier wird auf den *Trigger* und *Grip* Knöpfe des Controllers zugegriffen und deren float-Werte mit der Methode *ReadValue<float>()* gelesen (Zeile 10 und 13). Anschließend wird den float-Wert des Animators *handAnimator* mit den gelesenen Werten neu gesetzt (Zeile 11 und 14). Bei dem Wert *1.0f* wird die Animation der jeweiligen Hände aktiviert.

```
1 public class AnimateHandOnInput : MonoBehaviour
2 {
3     public InputActionProperty pinchAnimationAction;
4     public InputActionProperty gripAnimationAction;
5     public Animator handAnimator;
6
7     // Update is called once per frame
8     void Update()
9     {
10        float triggerValue = pinchAnimationAction.action.ReadValue<float>();
11        handAnimator.SetFloat("Trigger", triggerValue);
12
13        float gripValue = gripAnimationAction.action.ReadValue<float>();
14        handAnimator.SetFloat("Grip", gripValue);
15    }
16 }
```

Class CarDrive:

Das folgende Script wurde für das fahren erstellt. Zuerst wird auf die Komponente *Transform* des Autos zugegriffen und mit der Methode *Translate()* entlang seiner Z-Achse bewegt, für die Geschwindigkeitskontrolle wurde die Variable *moveSpeed* erstellt (Zeile 33).

Für das Lenken wird in der Variable *z* der *localEulerAngles.z*-Wert des Lenkrads gespeichert, diese wird für das Rotieren des Autos verwendet. Da das Pivotpunkt des Lenkrads in die entgegengesetzte Richtung zeigt, muss den Wert von *z* in einen negativen geändert werden, um das Auto nach links zu rotieren. Um nach rechts zu lenken, wurde 360 von der Wert von *z* subtrahiert und anschließend in einen negativen Wert geändert (da man nur Werte von 0 bis 360 bekommt, wurde diese Subtraktion durchgeführt, um negative Werte zu bekommen) (Zeile 34 bis 43).

```

1 public class CarDrive : MonoBehaviour
2 {
3     public float moveSpeed = 10f;
4     public bool isActive = false;
5     private GameObject carInSound;
6     private GameObject carOutSound;
7     public GameObject lenkrad;
8
9     void Start()
10    {
11        carInSound = GameObject.Find("Beetle_In");
12        carOutSound = GameObject.Find("Beetle_drive");
13        carOutSound.SetActive(false);
14    }
15    // Update is called once per frame
16    void Update()
17    {
18        if (isActive)
19        {
20            carInSound.SetActive(false);
21            carOutSound.SetActive(true);
22            Drive();
23        }
24        else
25        {
26            carInSound.SetActive(true);
27            carOutSound.SetActive(false);
28        }
29    }
30
31    private void Drive()
32    {
33        transform.Translate(Vector3.forward * moveSpeed * Time.deltaTime);
34        float z = lenkrad.transform.localEulerAngles.z;
35        Debug.Log(z);
36        if (z > 0 && z <= 35)
37        {
38            transform.Rotate(Vector3.up, -z * Time.deltaTime);
39        }
40        else if (z >= 325 && z < 360)
41        {
42            transform.Rotate(Vector3.up, -(z - 360) * Time.deltaTime);
43        }
44    }
45 }
46

```

Class EndDrive:

Dieses Script wurde geschrieben, um das Auto anzuhalten, den Abschiedstext einzublenden und zum Zurückkehren. Wenn das Auto mit dem platzierten Objekt kollidiert, wird den Wert von *cardrive.isActive* auf *false* gesetzt, um das Auto zu stoppen. Mit der Methode *endTxt.SetActive(true)* wird das Abschiedstext eingeblendet und das zugehörige Audio mit *endAudio.Play()* abgespielt. Anschließend wird nach der Ausführung von *StartCoroutine(WaitForDeadTime())* die Werkstatt-Szene geladen (Zeile 8 bis 17).

```
1 public class EndDrive : MonoBehaviour
2 {
3     public GameObject endTxt;
4     private bool isEnd = false;
5     public CarDrive carDrive;
6     public AudioSource endAudio;
7
8     private void OnTriggerEnter(Collider other)
9     {
10         if (other.gameObject.name == "Car_driveable")
11         {
12             carDrive.isActive = false;
13             endTxt.SetActive(true);
14             endAudio.Play();
15             StartCoroutine(WaitForDeadTime());
16         }
17     }
18
19     private void Update()
20     {
21         if (isEnd)
22         {
23             SceneManager.LoadScene(SceneManager.GetActiveScene().buildIndex -
24 );
25             isEnd = false;
26         }
27     }
28     IEnumerator WaitForDeadTime()
29     {
30         yield return new WaitForSeconds(20f);
31         isEnd = true;
32     }
33 }
```

Class LenkradController:

Wurde verwendet, um die Rotation des ausgeblendeten Lenkrads auf dem sichtbare Lenkrad zu übertragen.

```
1 public class LenkradController : MonoBehaviour
2 {
3     public GameObject lenkradCollider;
4
5     void Update()
6     {
7         transform.localEulerAngles = new Vector3(transform.localEulerAngles.x,
8           transform.localEulerAngles.y, lenkradCollider.transform.localEulerAngles.z);
9     }
10 }
```

Class PlaySound:

Das folgende Script wurde erstellt für das Abspielen der Soundeffekte der Türen, Kofferraum- und Motorhaube. Hierfür wird es auf den Winkel der Autoteile zugriffen und mit einer erstellten Winkelgrenze verglichen. Bei der linken Tür zum Beispiel, wenn ihr Winkel größer als der Winkelgrenze ist, wird der Sound für das Aufmachen abgespielt und wenn er kleiner ist, wird der Sound für das Schließen abgespielt (Zeile 17 bis 29). Die Variable *isOpen* wird verwendet, um festzulegen, ob die Türen auf oder zu sind (Zeile 6).

```
1 public class PlaySound : MonoBehaviour
2 {
3     public float limitAngle;
4     public AudioSource open_sound;
5     public AudioSource close_sound;
6     public bool isOpen = false;
7     // Update is called once per frame
8
9
10    void Update()
11    {
12        OpenDoorLeft();
13        OpenDoorRight();
14        OpenBackDoor();
15        OpenFrontDoor();
16    }
```

```

17 void OpenDoorLeft()
18 {
19     if (CompareTag("Door_L") && transform.eulerAngles.y >= limitAngle && isOpen == false)
20     {
21         open_sound.Play();
22         isOpen = true;
23     }
24     else if (CompareTag("Door_L") && transform.eulerAngles.y < limitAngle &&
                transform.eulerAngles.y > 180 && isOpen == true)
25     {
26         close_sound.Play();
27         isOpen = false;
28     }
29 }
30
31 void OpenDoorRight()
32 {
33     if (CompareTag("Door_R") && transform.eulerAngles.y <= limitAngle && isOpen == false)
34     {
35         open_sound.Play();
36         isOpen = true;
37     }
38     else if (CompareTag("Door_R") && transform.eulerAngles.y > limitAngle &&
                transform.eulerAngles.y < 180 && isOpen == true)
39     {
40         close_sound.Play();
41         isOpen = false;
42     }
43 }
44
45 void OpenBackDoor()
46 {
47     if (CompareTag("Door_B") && transform.eulerAngles.x <= limitAngle && isOpen == false)
48     {
49         open_sound.Play();
50         isOpen = true;
51     }
52     else if (CompareTag("Door_B") && transform.eulerAngles.x > limitAngle &&
                transform.eulerAngles.x < 311f && isOpen == true)
53     {
54         close_sound.Play();
55         isOpen = false;
56     }
57 }
58
59 void OpenFrontDoor()
60 {
61     if (CompareTag("Door_F") && transform.eulerAngles.x < limitAngle &&
                transform.eulerAngles.x > 290 && isOpen == false)
62     {
63         open_sound.Play();
64         isOpen = true;
65     }
66     else if (CompareTag("Door_F") && transform.eulerAngles.x > limitAngle &&
                transform.eulerAngles.x > 0 && isOpen == true)
67     {
68         close_sound.Play();
69         isOpen = false;
70     }
71 }
72 }

```

Class ReturnPosition:

Wurde verwendet, um einem Fehler zu beheben. Das Problem war, dass die Türen, Motor- und Kofferraumhaube nicht wieder geschlossen werden konnten, nachdem die Türen des Autos aufgemacht wurden und danach die zugehörige Informationen eingeblendet wurden. Um diesen Fehler zu beheben, wurden die Autoteile auf ihre Startpositionen zurückgesetzt (Zeile 26 bis 36).

```
1 public class ReturnPosition : MonoBehaviour
2 {
3     private GameObject doorLeftRotation;
4     private GameObject doorRightRotation;
5     private GameObject doorFrontRotation;
6     private GameObject doorBackRotation;
7
8     private Vector3 left;
9     private Vector3 right;
10    private Vector3 front;
11    private Vector3 back;
12    // Start is called before the first frame update
13    void Start()
14    {
15        doorLeftRotation = GameObject.Find("Tuer_left_G");
16        doorRightRotation = GameObject.Find("Tuer_right_G");
17        doorFrontRotation = GameObject.Find("Kofferraumhaube_G");
18        doorBackRotation = GameObject.Find("Motorhaube_G");
19
20        left = doorLeftRotation.transform.localEulerAngles;
21        right = doorRightRotation.transform.localEulerAngles;
22        front = doorFrontRotation.transform.localEulerAngles;
23        back = doorBackRotation.transform.localEulerAngles;
24    }
25
26    public void ResetPosition()
27    {
28        doorLeftRotation.transform.localEulerAngles = left;
29        doorRightRotation.transform.localEulerAngles = right;
30        doorFrontRotation.transform.localEulerAngles = front;
31        doorBackRotation.transform.localEulerAngles = back;
32        doorLeftRotation.GetComponent<PlaySound>().isOpen = false;
33        doorRightRotation.GetComponent<PlaySound>().isOpen = false;
34        doorFrontRotation.GetComponent<PlaySound>().isOpen = false;
35        doorBackRotation.GetComponent<PlaySound>().isOpen = false;
36    }
37
38 }
```

Class ScreenButton:

Dieses Script wurde für das Navigieren durch die Fakten geschrieben. Mit den Methoden *Next()* und *Back()* wird das aktuelle Textfeld ausgeblendet und den nächsten oder vorherigen eingeblendet (Zeile 35 bis 62). *GetTxtIndex()* gibt den Index des aktuellen eingeblendeten Textfeld zurück (Zeile 64 bis 75).

```
1  public class ScreenButton : MonoBehaviour
2  {
3
4      public float deadTime = 1.0f;
5      private bool deadTimeActive = false;
6      public UnityEvent onPressed, onReleased;
7
8      public GameObject[] texte;
9      private int indexNext = 1;
10     private int indexBack;
11
12     private void OnTriggerEnter(Collider other)
13     {
14         if (other.tag == "Button" && !deadTimeActive)
15         {
16             onPressed?.Invoke();
17         }
18     }
19
20     private void OnTriggerExit(Collider other)
21     {
22         if (other.tag == "Button" && !deadTimeActive)
23         {
24             onReleased?.Invoke();
25             StartCoroutine(WaitForDeadTime());
26         }
27     }
28
29     IEnumerator WaitForDeadTime()
30     {
31         deadTimeActive = true;
32         yield return new WaitForSeconds(deadTime);
33         deadTimeActive = false;
34     }
```

```

35 public void NextTxt()
36 {
37     if (indexNext != GetTxtIndex() + 1)
38     {
39         indexNext = GetTxtIndex();
40         texte[indexNext - 1].SetActive(false);
41         texte[indexNext].SetActive(true);
42         indexNext++;
43     }
44
45     if (texte.Length >= 1 && indexNext < texte.Length)
46     {
47         texte[indexNext - 1].SetActive(false);
48         texte[indexNext].SetActive(true);
49         indexNext++;
50     }
51 }
52
53
54 public void BackTxt()
55 {
56     indexBack = GetTxtIndex();
57     if (indexBack >= 2)
58     {
59         texte[indexBack].SetActive(false);
60         texte[indexBack - 1].SetActive(true);
61     }
62 }
63
64 private int GetTxtIndex()
65 {
66     for (int i = 0; i < texte.Length; i++)
67     {
68         if (texte[i].activeInHierarchy == true)
69         {
70             return i;
71         }
72     }
73     return 0;
74 }
75 }
76 }

```

Class TransportOnPress:

Wurde erstellt, um den Benutzer die Möglichkeit zu geben, das Teleportieren zu aktivieren und sich mit beiden Händen in der VR-Umgebung teleportieren zu können.

```
1 public class TransportOnPress : MonoBehaviour
2 {
3     public InputActionProperty pinchInput;
4     private XRRayInteractor ray;
5     private LineRenderer line;
6     private XRInteractorLineVisual visual;
7
8     // Start is called before the first frame update
9     void Start()
10    {
11        ray = GetComponent<XRRayInteractor>();
12        line = GetComponent<LineRenderer>();
13        visual = GetComponent<XRInteractorLineVisual>();
14    }
15
16    // Update is called once per frame
17    void Update()
18    {
19        if (pinchInput.action.IsPressed())
20        {
21            ray.enabled = true;
22            line.enabled = true;
23            visual.enabled = true;
24        }
25        else
26        {
27            ray.enabled = false;
28            line.enabled = false;
29            visual.enabled = false;
30        }
31    }
32 }
```

Class VrButton:

Dieses Script wurde für die Funktionen der Knöpfe verwendet:

[Zeile 61] *ChangeColor()*: hier wird auf das Material des Knopfes zugegriffen und das Material des Autos mit diesem ersetzt.

[Zeile 67] *TakeCarPart()*: diese Methode aktiviert den ausgewählten Autoteil und dessen Informationen, alle andere Teile werden ausgeblendet.

[Zeile 83] *ShowCar()*: bei dieser Methode werden alle Autoteile eingeblendet und alle eingeblendete Textfeldern ausgeblendet.

[Zeile 95] *SwitchScene()*: hier wird zuerst überprüft, ob die Werkstatttür geöffnet wurde. Wenn *ProofDoor()* den Wert *true* zurückgibt, wird die nächste Szene geladen, bei *false* wird der Anwender aufgefordert, die Tür zu öffnen.

[Zeile 124] *StartDrive()*: diese Methode aktiviert das Fahren, blendet die Anleitung aus und deaktiviert alle nicht benötigten *Colliders* der Händen.

```
1 public class VrButton : MonoBehaviour
2 {
3     public float deadTime = 1.0f;
4     private bool deadTimeActive = false;
5     public UnityEvent onPressed, onReleased;
6
7     public Material carMat;
8     private GameObject[] carParts;
9     public GameObject currentPart;
10    public GameObject[] infoBoxes;
11    private GameObject doors;
12    private GameObject driveInfo;
13    public CarDrive carDrive;
14    private GameObject anleitung;
15
16    private GameObject[] handColliders;
17
18    private GameObject k, m, b;
```

```

19 void Start()
20 {
21     carParts = new GameObject[3];
22     k = GameObject.Find("Karrosserie_G");
23     m = GameObject.Find("Motor");
24     b = GameObject.Find("Bodengruppe");
25     doors = GameObject.Find("Doors");
26     driveInfo = GameObject.Find("Drive_info");
27
28     anleitung = GameObject.Find("Anleitung");
29     handColliders = GameObject.FindGameObjectsWithTag("Delete");
30
31     carParts[0] = k;
32     carParts[1] = m;
33     carParts[2] = b;
34 }
35
36
37 private void OnTriggerEnter(Collider other)
38 {
39     if (other.tag == "Button" && !deadTimeActive)
40     {
41         onPressed?.Invoke();
42     }
43 }
44
45 private void OnTriggerExit(Collider other)
46 {
47     if (other.tag == "Button" && !deadTimeActive)
48     {
49         onReleased?.Invoke();
50         StartCoroutine(WaitForDeadTime());
51     }
52 }
53
54 IEnumerator WaitForDeadTime()
55 {
56     deadTimeActive = true;
57     yield return new WaitForSeconds(deadTime);
58     deadTimeActive = false;
59 }
60
61 public void ChangeColor()
62 {
63     Color m = GetComponent<MeshRenderer>().material.color;
64     carMat.color = m;
65 }
66
67 public void TakeCarPart()
68 {
69     for (int i = 0; i < carParts.Length; i++)
70     {
71         if (carParts[i].name == currentPart.name)
72         {
73             carParts[i].SetActive(true);
74             infoBoxes[i].SetActive(true);
75         }
76         else
77         {
78             carParts[i].SetActive(false);
79             infoBoxes[i].SetActive(false);
80         }
81     }
82 }

```

```

83 public void ShowCar()
84 {
85     for (int i = 0; i < carParts.Length; i++)
86     {
87         if (!carParts[i].activeInHierarchy)
88         {
89             carParts[i].SetActive(true);
90         }
91         infoBoxes[i].SetActive(false);
92     }
93 }
94
95 public void SwitchScene()
96 {
97
98     if (ProofDoor())
99     {
100         SceneManager.LoadScene(SceneManager.GetActiveScene().buildIndex + 1);
101     }
102     else
103     {
104         driveInfo.GetComponent<TMPro.TextMeshPro>().text = "Öffnen Sie bitte zuerst
105         die Tür";
106     }
107
108 public void SwitchToDriveScene()
109 {
110     SceneManager.LoadScene(SceneManager.GetActiveScene().buildIndex + 1);
111 }
112 public bool ProofDoor()
113 {
114     if (doors.transform.localEulerAngles.x != 90)
115     {
116         return false;
117     }
118     else
119     {
120         return true;
121     }
122 }
123
124 public void StartDrive()
125 {
126     if (!carDrive.isActive)
127     {
128         carDrive.isActive = true;
129         anleitung.SetActive(false);
130         for (int i = 0; i < handColliders.Length; i++)
131         {
132             handColliders[i].SetActive(false);
133         }
134     }
135 }
136 }

```

5.3.8 Sounds

Für das Projekt wurden sechs Sounds erstellt:

- Vor der Fahrt wird ein Audioausschnitt aus dem Video „Fall Drive in a 1966 VW Beetle“ [22] verwendet. Mit FL Studio wurde zunächst der Audioschnitt geloopt, später wurde ein Halleffekt hinzugefügt und mit dem Plug-In S1 Stereo Imager wurde das Stereobild des Audios vergrößert.
- Während der Fahrt wird ebenfalls ein Ausschnitt des zuvor erwähnten Videos [22] abgespielt, der demselben Bearbeitungsprozess unterzogen wurde. In diesem Fall wurde die Geschwindigkeit des Autos an die Audiodatei angepasst.
- Für die Stimmaufnahmen Intro, Outro sowie Anweisung 1 und Anweisung 2 wurde das Audibearbeitungsprogramm Audacity verwendet. Hier wurde ebenfalls Halleffekt hinzugefügt und das Stereobild des Audios wurde vergrößert.

5.3.9 Verwendete Software

Unity

Für die Entwicklung des VR-Exponats wurde die Entwicklungsumgebung Unity 2021.3.15f1 verwendet. Folgende Packages kamen für dieses Projekt zum Einsatz:

- **XR Interaction Toolkit 2.0.4** für die individuelle Ergänzung von AR- und VR-Erfahrungen um Interaktivität, ohne alles von Grund auf programmieren zu müssen [25].
- **XR Plugin Management 4.3.1** für die Verwaltung der XR-Plugins [26].
- **MockHMD XR Plugin 1.3.1-preview.1** zur Erstellung von VR-Anwendungen ohne Nutzung von VR-Brillen [27] sowie
- **Oculus XR Plugin 3.2.2** zur Anzeige- und Eingabeunterstützung für Oculus-Geräte [28].

Die Skripte wurden in Visual Studio 2017 geschrieben und zum Testen wurde die VR-Brille Oculus Quest 2 verwendet.

Blender

Für die Erstellung der 3D-Objekte wurde Blender 3.3.1 genutzt. Darin wurden alle Objekte modelliert: der VW Käfer, die Tische, die Regale, die Bilderrahmen, der Raum, die Fahrstrecke, die Wände sowie die Bildschirme.

GIMP

Das Bildbearbeitungsprogramm GIMP wurde für das Texturieren des Radios, des Tachometers und des Lenkrads benutzt.

Audacity

Das Audibearbeitungsprogramm Audacity wurde für die Stimmaufnahmen verwendet.

FL Studio 20

Der Klang des Motors und des Fahrens sowie die Stimmaufnahmen wurden in FL Studio bearbeitet und exportiert.

6 Evaluation

6.1 Aufbau des Experiments

Die Nutzerstudie wurde im Eingangsbereich des Mehrzweckhochhauses der Universität Bremen durchgeführt. Zur Vorbereitung wurde ein Teil des Bodens ausgewählt, an der jeder Teilnehmer starten und die Fahrsimulation stattfinden sollte. Auf einen Tisch wurde ein Computer gestellt, an dem der Fragebogen beantwortet werden sollte.

Für die Bewertung der Bedienbarkeit und der Funktionalität des Programms wurden zehn Fragen gestellt. Sieben davon beruhten auf einer fünfstufigen Likert-Skala.

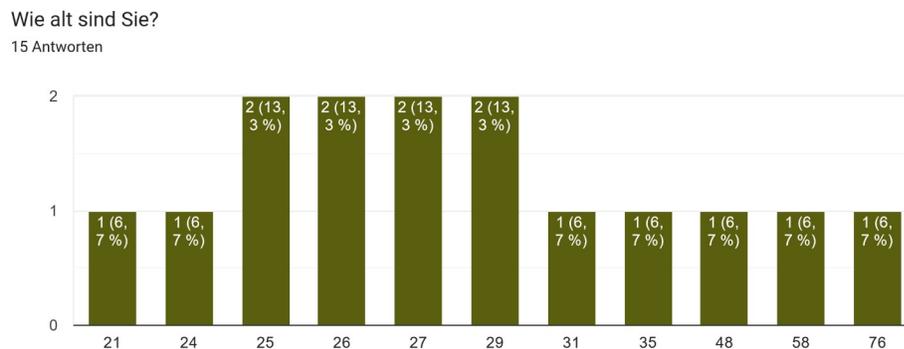
Vor der Studie erhielten die Teilnehmer eine Einweisung dazu, welche Knöpfe sie zum Greifen und Bewegen drücken konnten. Zu jeder Zeit war jemand verfügbar, um Fragen der Probanden zu beantworten und sicherzustellen, dass sie nicht gegen Gegenstände prallten oder stolperten.

Insgesamt nahmen 15 Personen an der Studie teil.

6.2 Studienergebnisse

6.2.1 Alter der Teilnehmer

Die folgende Grafik zeigt die Verteilung der Altersangaben der Teilnehmer. Es ist zu erkennen, dass die Probanden unterschiedlichen Altersgruppen angehören.

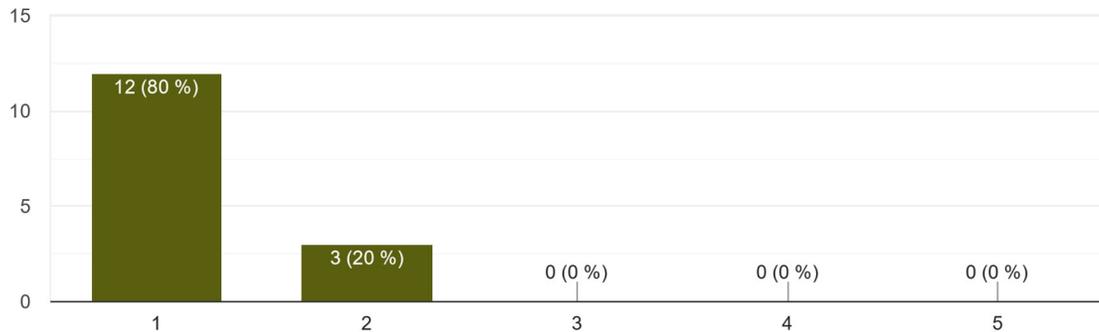


6.2.2 Anzahl der bisherigen Verwendung eines VR - Exponats

Das Diagramm zeigt, dass die meisten Teilnehmer keine Erfahrung mit VR-Exponaten hatten.

Wie oft haben Sie ein VR - Exponat besucht?

15 Antworten



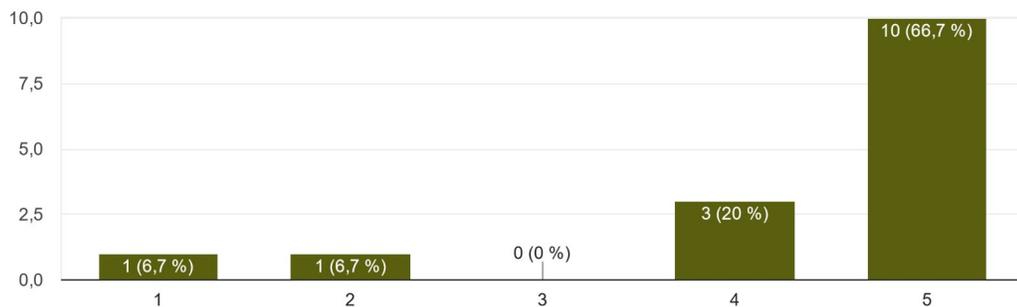
Noch nie / Sehr oft - Skala

6.2.3 Bisherige Sichtungen eines VW Käfers

Wie die Grafik zeigt, hatte die Mehrheit der Probanden bereits einen VW Käfer gesehen, z. B. in der Werbung, im Fernsehen, in Filmen oder auf der Straße. Lediglich zwei Personen gaben an, das Auto noch nie gesehen zu haben.

Wie oft haben Sie den VW - Käfer gesehen?

15 Antworten



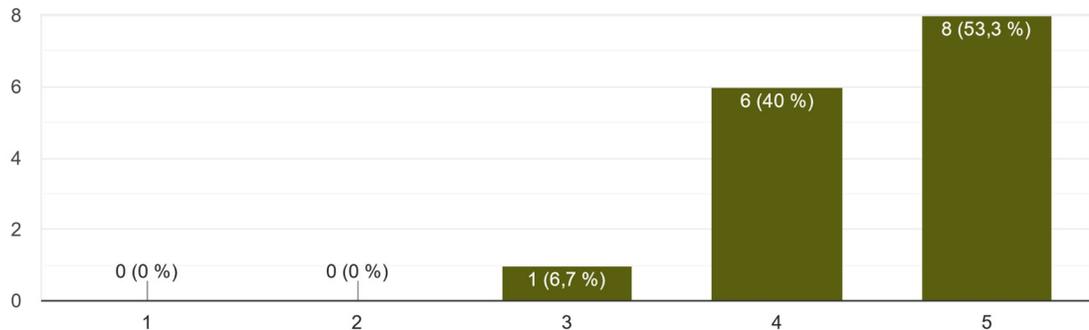
Noch nie / Sehr oft - Skala

6.2.4 Bedienbarkeit des VR-Exponats

Die folgende Grafik zeigt, dass 93,3 % der Teilnehmer mit der Bedienung des VR-Exponats zurechtkamen. Lediglich eine Person hatte Schwierigkeiten mit der Bedienung.

Ich bin mit dem VR - Exponat gut zurecht gekommen

15 Antworten



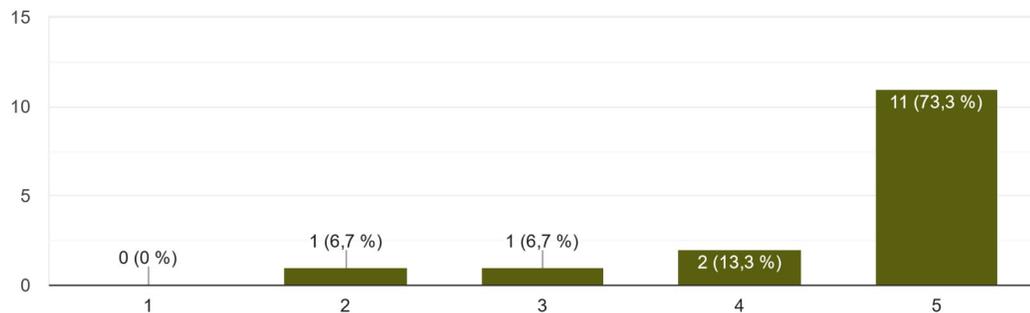
Stimme nicht zu / Stimme zu - Skala

6.2.5 Umfang des Tests

Im nachfolgenden Diagramm ist zu sehen, dass 73,3 % der Probanden alle Features des Exponats ausprobiert haben. Demgegenüber haben 26,7 % der Probanden einige Funktionen übersehen.

Ich habe alle Features des VR - Exponats ausprobiert

15 Antworten



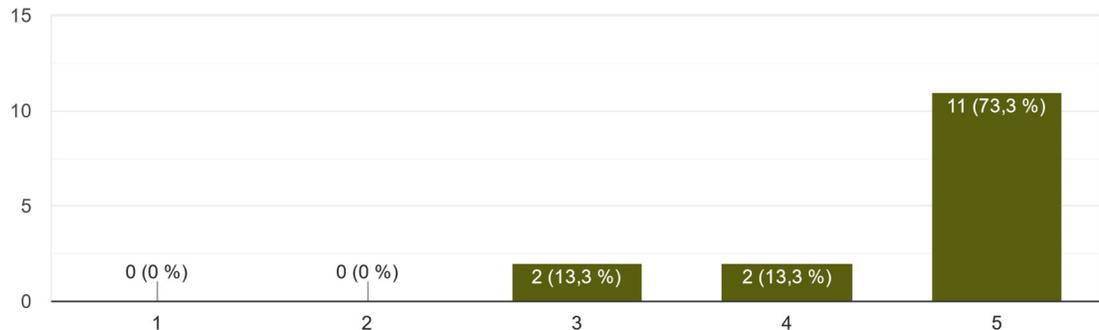
Stimme nicht zu / Stimme zu - Skala

6.2.6 Verständnis der Features des VR-Exponats

Wie die folgende Grafik zeigt, wurden alle Features des VR-Exponats von 73,3 % der Teilnehmer verstanden. Die verbleibenden 26,6 % hatten jedoch Schwierigkeiten, einige Funktionen nachzuvollziehen.

Ich habe alle Features des VR - Exponats verstanden

15 Antworten



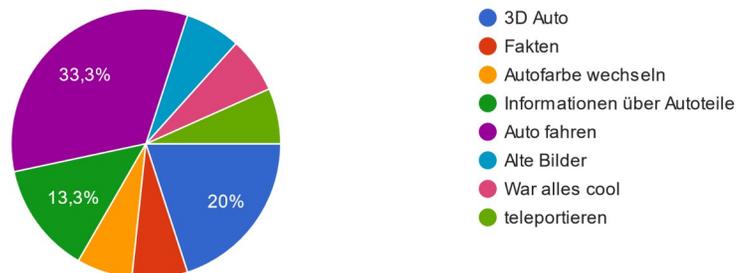
Stimme nicht zu / Stimme zu - Skala

6.2.7 Lieblingsfeature der Probanden

Das folgende Diagramm zeigt, dass das Autofahren (33,3 %) das Lieblingsfeature der Probanden war, gefolgt von der 3D-Darstellung des Autos (20 %) und den Informationen zu den Autoteilen (13,3 %).

Dieses Feature hat mir am besten gefallen

15 Antworten



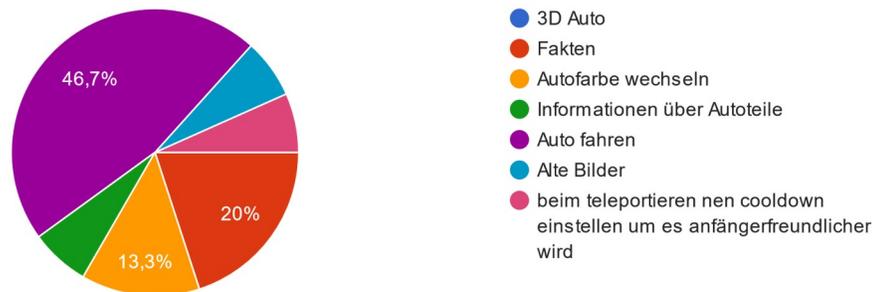
Liebingsfeatures der Probanden

6.2.8 Features mit Verbesserungspotenzial

Aus der folgenden Grafik ist abzulesen, dass das Lieblingsfeature der Probanden auch häufig als eine der Funktionen ausgewählt wurde, die verbessert werden könnten (46,7 %). Weitere 20 % wählten die ‚Fakten‘ aus, während sich 13,3 % für ‚die Autofarbe wechseln‘ entschieden.

Dieses Feature könnte noch verbessert werden

15 Antworten



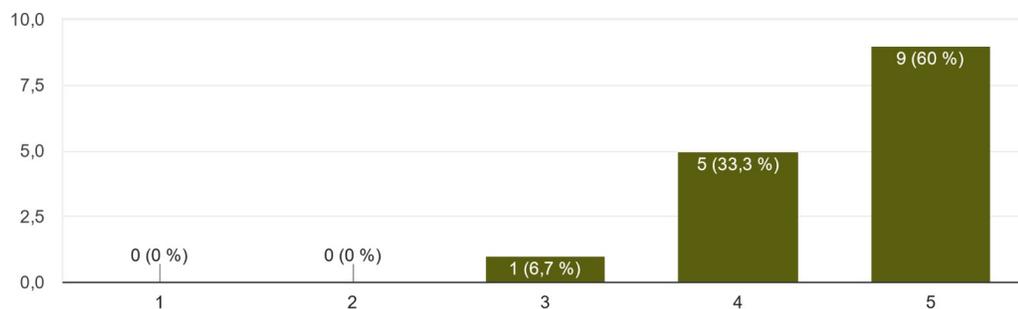
Features mit Verbesserungspotenzial

6.2.9 Beurteilung der Immersion

Das Diagramm zeigt, dass mehr als die Hälfte (93,3 %) der Probanden das Gefühl hatten, sich vor dem Auto zu befinden. Lediglich eine Person stimmt der Aussage ‚Ich hatte das Gefühl, mich tatsächlich vor dem Auto zu befinden‘ nicht vollständig zu.

Ich hatte das Gefühl, mich tatsächlich vor dem Auto zu befinden

15 Antworten



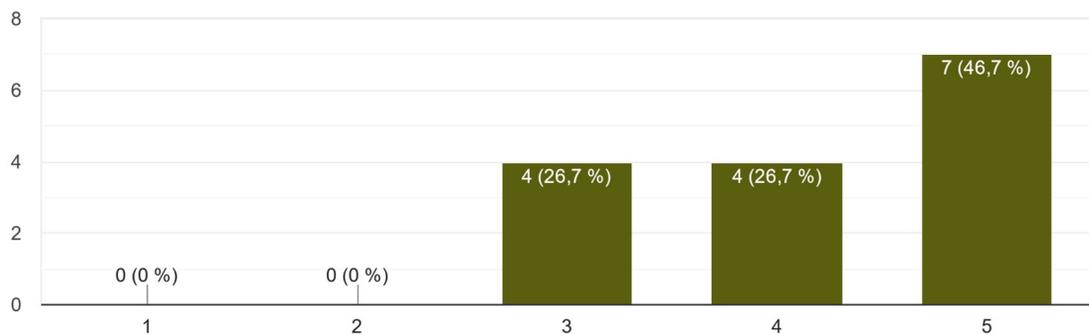
Stimme nicht zu / Stimme zu - Skala

6.2.10 Wunsch nach der Betrachtung des realen Modells

Die Grafik zeigt, dass 46,7 % der Teilnehmer gern einen echten VW Käfer sehen würden. Dagegen stimmten 53,4 % dieser Aussage nicht vollständig zu. Ein Grund dafür könnte sein, dass einige Teilnehmer das Auto bereits kannten und häufig im Alltag gesehen hatten.

Ich würde gern das Auto in echt sehen

15 Antworten



Stimme nicht zu / Stimme zu - Skala

6.2.11 Beeindruckendste Information

Die nachfolgende Tabelle enthält alle Antworten der Teilnehmer auf die Frage: Welche Information haben Sie im Kopf behalten?.

„Die Information, wann der Käfer ca. gebaut wurde.“
„Dass vor 1960 schon eine Million Käfer verkauft wurden und dass der Motor vom Käfer hinten ist und er vorne einen Ersatzreifen hat.“
„Weiß ich nicht mehr, war zu geflasht.“
„Produktionsgeschichte und Namensgebung“
-
„Der Domino-Inhaber hat seine Anteile verkauft.“
„Ich möchte fahren lernen.“
„Farbwechsel“

„Ich habe leider keine Information aus den Texten behalten.“
„Der VW Golf wurde inzwischen öfter produziert als der Käfer.“
„I don't want a car, I want a Volkswagen.“
„Die Autoteile und Bilder“
„Der Name kommt aus dem Englischen.“
„Das Auto bedeutete/hieß früher ‚Käfer‘ (Beetle).“
„Der Name ‚Beetle‘ (Käfer) ist in den USA entstanden.“

6.3 Auswertung

Aus den Ergebnissen der Nutzerstudie lässt sich schließen, dass in einigen Bereichen des VR-Exponats Verbesserungsmöglichkeiten bestehen. Die Darstellung der Informationen könnte optimiert werden, um mehr Aufmerksamkeit der Anwender zu gewinnen. Weitere Autoteile könnten interaktiv umgestaltet werden, um dem Benutzer einen größeren Handlungsspielraum zu gewähren. Für die Fahrsimulation könnte ein Gaming-Lenkrad verwendet werden, um die Immersion zu erhöhen.

Es wurde festgestellt, dass alle Teilnehmer versuchten, mit allen Objekten zu interagieren. Manche wollten auch die Schublade der Tische öffnen oder nach den Motorkomponenten greifen. Die Knöpfe der Informationsbildschirme wurden gelegentlich übersehen, eventuell aufgrund der Größe der Probanden oder der Höhe des Tisches.

Die Probanden nahmen sich mehrheitlich die Zeit, alle zur Verfügung gestellten Informationen zu lesen. Zudem konnten alle Teilnehmer die Knöpfe intuitiv bedienen. Die meistbesuchten Teile des Exponats waren der Stehtisch für das Wechseln der Autofarbe, jener mit den Autoteilinformationen und der 3D-Modell des VW Käfers. Die Probanden testeten alle Farben und alle Autoteile wurden ein- und ausgeblendet. Hier wurde jedoch beobachtet, dass manche Teilnehmer die Informationen nicht lasen oder lediglich aus der Ferne betrachteten. Dies könnte daran liegen, dass manche Textfelder je nach Standort des Teilnehmers unsichtbar wirkten.

Der VW Käfer wurde als real empfunden. Einige Probanden bemühten sich, nicht durch das Auto zu gehen, oder sie hatten Angst davor, über die Stoßstange zu stolpern. Die Seitentüren, die Kofferraumhaube und die Motorhaube wurden von

allen Teilnehmern geöffnet und diese Interaktionen wurden als positiv bewertet.

In der Zwischenszene ergab sich während der Tests teilweise Verwirrung. Anstatt den Knopf an der linken simulierten Hand zu drücken, versuchten die Teilnehmer, Knöpfe am Oculus-Controller zu drücken. Ein Grund dafür könnte sein, dass sich die Teilnehmer auf den Text konzentrierten und dabei die 3D-Modellhände übersahen.

In der Fahrsimulation wurde der Startknopf gelegentlich aus Versehen gedrückt, jedoch versuchten alle Teilnehmer, ein zweites Mal zu fahren. Erst bei diesem zweiten Durchgang konnte das Lenkrad fehlerfrei bedient werden. Die Fahrt mit dem VW Käfer war eines der Lieblingsfeatures der Probanden, das sie überrascht und ihnen Spaß bereitet hat. Manche Probanden mit Führerschein versuchten während der Fahrt intuitiv, andere Komponenten zu benutzen.

7 Ausblick

Die Ergebnisse haben gezeigt, dass die Probanden bei der Verwendung des VR-Exponats das Gefühl hatten, sich tatsächlich vor dem VW Käfer zu befinden. Die Teilnehmer berichteten mehrfach, dass die Immersion durch die Soundeffekte erhöht war. Alle Teilnehmer zeigten entsprechend dem Ziel des Projekts ein hohes Interesse an diesem Auto, seiner Geschichte und seinem Aufbau. Es wurde zudem gezeigt, dass den Testpersonen die Bedienung des VR-Exponats durch die verwendeten Knöpfe leichtfiel. Bezüglich der Fahrsimulation wichen die Meinungen voneinander ab. Manche Probanden hatten keine Schwierigkeiten mit der Lenkung, während andere es bevorzugen würden, wenn die Winkelbewegung des Lenkrads nicht eingeschränkt wäre. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass einige Teilnehmer im Alltag regelmäßig Auto fahren. Informationen zu den Autoteilen oder Details aus der Geschichte des VW Käfers blieben nicht allen Teilnehmern im Gedächtnis. Stattdessen waren sie meist drauf konzentriert, alle Features des VR-Exponats zu testen. Durch eine Änderung der Darstellung der Informationen könnte das Interesse der Anwender stärker geweckt werden.

In zukünftigen Arbeiten könnte z. B. ein Gaming-Lenkrad verwendet werden, um ein besseres Immersionserlebnis zu erzielen. Zudem könnte die Performance des Programms durch eine weitere Reduzierung der Polygonanzahl verbessert werden. Um mehr Aufmerksamkeit der Benutzer zu gewinnen, könnten alte VW-Käfer-Videos hinzugefügt werden. Dadurch könnten sie einen detaillierteren Einblick in die Vergangenheit des Autos erhalten.

8 Fazit

Durch die Arbeit an diesem Projekt konnte ich vielfältige neue Kenntnisse gewinnen. Mein bereits vorhandenes Wissen zu Blender und Unity wurde erweitert und ich lernte die Geschichte des VW Käfers vertieft kennen. Mir ist zudem bewusst geworden, dass Unity zahlreiche Features besitzt, die ich noch nicht verwendet habe. Durch die Nutzerstudie wurde zudem erkennbar, dass zahlreiche Personen bereits von VR gehört, diese Technologie jedoch noch nicht getestet haben. Die Mehrheit der Probanden war vom VR-Exponat fasziniert und wollte zusätzliche Informationen darüber erfahren. Häufig wurden Fragen nach der Entwicklung des Projekts, den verwendeten Programmen, der Funktionsweise der Brille, ihrem Modell und ihren weiteren Verwendungsmöglichkeiten gestellt. Ich möchte weiter in diesem Bereich der VR arbeiten und Spiele, weitere Exponate oder Simulationen entwickeln. Ich bin der Meinung, dass diese Technologie zukünftig verstärkt im täglichen Leben verwendet werden wird, sowohl für die Arbeit als auch im privaten Bereich.

Ich bin zufrieden mit den Ergebnissen dieses Projekts, auch in dem Bewusstsein, dass einige seiner Features weiter verbessert werden können.

9 Anhang

9.1 Texturen

Poly Haven:

https://polyhaven.com/de/a/laminate_floor_03

https://polyhaven.com/a/brick_4

https://polyhaven.com/a/wood_table_001

https://polyhaven.com/a/dark_wood

https://polyhaven.com/a/asphalt_01

https://polyhaven.com/a/leather_red_02

https://polyhaven.com/a/leather_white

Free PBR:

<https://freepbr.com/materials/dashboard-1/>

9.2 Sounds

Zapsplat:

<https://www.zapsplat.com/music/android-servo-robot-motor-movement-1/>

<https://www.zapsplat.com/music/cyberpunk-electronic-equipment-beep-glitch-2/>

<https://www.zapsplat.com/music/electronic-device-equipment-digital-beep-tone-1/>

<https://www.zapsplat.com/music/electronic-device-equipment-digital-beep-tone-2/>

<https://www.zapsplat.com/music/car-boot-trunk-door-close/>

<https://www.zapsplat.com/music/car-door-open-exterior-6/>

<https://www.zapsplat.com/music/car-2017-toyota-corolla-boot-trunk-open-electric-unlock-exterior-1/>

<https://www.zapsplat.com/music/car-door-boot-shut-1/>

9.3 Bilder

Pinterest:

<https://www.pinterest.de/pin/867998528159550402/>

<https://www.pinterest.de/pin/867998528159550383/>

<https://www.pinterest.de/pin/867998528159550407/>

<https://www.pinterest.de/pin/867998528159550485/>

<https://www.pinterest.de/pin/867998528159550393/>

<https://www.pinterest.de/pin/867998528159550536/>

<https://www.pinterest.de/pin/867998528159550405/>

<https://www.pinterest.de/pin/867998528159621808/>

<https://www.pinterest.de/pin/867998528159550354/>

<https://www.pinterest.de/pin/867998528159550381/>

<https://www.pinterest.de/pin/867998528159621805/>

<https://www.pinterest.de/pin/867998528159550424/>

<https://www.pinterest.de/pin/867998528159550558/>

9.4 Fakten

<https://www.kaeferblog.com/die-geschichte-vom-vw-kaefer-wissenswert-fakten>

<https://www.iwroteyouasong.org/articles/transportation/20-facts-about-the-vw-beetle.html>

https://www.deutsche-handwerks-zeitung.de/auto-vw-kaefer-150610/?gclid=CjwKCAiArY2fBhB9EiwAWqHK6pqS1Qu0uV_vU2_GOFKcj9fgtPb_NJXeMFgHoFiOI1fRFXE4G21AHhoCyE4QAvD_BwE

9.5 3D-Hände

<https://github.com/Fist-Full-of-Shrimp/Unity-VR-Basics-2022/tree/main/Assets/Oculus%20Hands>

Literaturverzeichnis

- 1: Heiko Zwirner, Mit 70 Jahren immer noch fahrttüchtig, 2016, <https://www.welt.de/motor/article153913432/Mit-70-Jahren-immer-noch-fahrtuechtig.html>
- 2: NDR, Vom Alliierten-Auftrag zum meistgebauten Auto der Welt, 2022, <https://www.ndr.de/geschichte/chronologie/VW-Kaefer-Vom-Alliierten-Auftrag-zum-meistgebauten-Auto-der-Welt,vwkaefer100.html>
- 3: Fernando Sousa, José Nunes, Carlos Santos, João Magalhães, Joaquim Moreira, Mário Vairinhos , MusA: a Gamified Virtual Reality Museum, 2021, https://www.researchgate.net/publication/361025580_MusA_a_Gamified_Virtual_Reality_Museum
- 4: Iznora Aini Zolkifly, Lim Kok Cheng, Zasriati Azla Sabot, Virtual Reality Musical Museum, 2008, <https://www.researchgate.net/publication/269203350>
- 5: Thomas Theis, Was ist Unity?, 2023, <https://www.it-treff.de/it-lexikon/unity-entwicklungsumgebung>
- 6: Unity Technologies, Skripting in Unity für erfahrene Programmierer , 2023, <https://unity.com/de/how-to/programming-unity>
- 7: Unity Technolgies, Universal Render Pipeline (URP), 2023, <https://unity.com/srp/universal-render-pipeline>
- 8: Unity Technologies, Unity Documentation, 2021, <https://docs.unity3d.com/Manual/Components.html>
- 9: Unity Technologies, Unity Documentation, 2021, <https://docs.unity3d.com/Manual/class-Rigidbody.html>
- 10: Unity Technologies, Unity Documentation, 2021, <https://docs.unity3d.com/Manual/class-HingeJoint.html>
- 11: Dubs & Babes, Volkswagens & Babes, 2023, <https://www.pinterest.de/pin/867998528160287369/>
- 12: Käferwerkstatt Regensburg, VW Käfer Ovali Baujahr 1955, 2023, <https://kaeferwerkstatt-regensburg.de/product/vw-kaefer-ovali-baujahr-1955/>
- 13: Volkswagenwerk GmbH, Original Lacke, , <http://www.vw-kaeferclub.com/technik/farbenlehre/originalfarben.html>
- 14: Werk 34, Käfer, 2023, <https://www.werk34.de/de/luftgekuehlt/kaefer/>
- 15: Aircolled Project, Floorpan replacement and painting the chassis - Rusty '62 VW Beetle - Part 6, 2020, <https://youtu.be/KC59cjjqxA>
- 16: CT, FULL BUILD 1965 VW Beetle Chassis | Complete Restoration, 2022, <https://youtu.be/LTInbAwmhrg>

- 17: Trockeneisstrahlen Dusic, Käfer Getriebe, 2019,
https://youtu.be/n_p_zeVVwj4
- 18: Chris Vallone, Classic VW BuGs Full 36hp Original Beetle Engine Rebuild full 55min Restoration Video, 2020, <https://youtu.be/7ArxCQ8jLk8%20>
- 19: CarRanger, VW Käfer (1952) - VOLKSHELD der Nachkriegszeit!, 2020,
<https://youtu.be/Pe7xRitaol>
- 20: classics.report, VW Käfer 1956 - "Ovalscheibe, Ovali" - Beschreibung und Ausfahrt, 2019, <https://youtu.be/gBjdDvW0RQE>
- 21: Andreas A., VW Beetle Käfer Ovali 30HP (1955), 2014,
<https://youtu.be/IWhd1Y0MQjl>
- 22: LONG_DRIVES, Fall Drive in a 1966 VW Beetle, 2021,
<https://youtu.be/ym6ESkgOe7s>
- 23: Blender , Blender 3.4 Manual, 2023,
<https://docs.blender.org/manual/en/latest/modeling/modifiers/generate/mirror.html?highlight=mirror>
- 24: Fist Full of Shrimp, Unity VR Game Basics - PART 10 - Buttons, 2022,
https://youtu.be/_pApJDIFxV4
- 25: Unity Technologies, XR Interaction Toolkit, 2022,
<https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.xr.interaction.toolkit@2.0/manual/index.html>
- 26: Unity Technologies, XR Plugin Management, 2023,
<https://docs.unity3d.com/Manual/com.unity.xr.management.html>
- 27: Unity Technologies, About the Mock HMD XR Plugin, 2020,
<https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.xr.mock-hmd@1.0/manual/index.html>
- 28: Unity Technologies, About the Oculus XR Plugin, 2023,
<https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.xr.oculus@1.13/manual/index.html>

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Werkstatt.....	12
Abb. 2: Fahrweg.....	12
Abb. 3: Skizze.....	13
Abb. 4: Innenraum.....	14
Abb. 5: Motor.....	14
Abb. 6: Kofferraum.....	14
Abb. 7: Handbuch.....	14
Abb. 8: VW – Käfer Teile.....	15
Abb. 9: Fahrgestell (YouTube).....	15
Abb. 10: Bodengruppe (YouTube).....	16
Abb. 11: Getriebe (YouTube).....	16
Abb. 12: Motor (YouTube).....	17
Abb. 13: Autofahrt (YouTube).....	17
Abb. 14: Modellierung der Karosserie Teil 1.....	18
Abb. 15: Modellierung der Karosserie Teil 2.....	18
Abb. 16: Modellierung der Karosserie Teil 3.....	18
Abb. 17: Modellierung der Karosserie Teil 4.....	18
Abb. 18: Modellierung der Bodengruppe Teil 1.....	19
Abb. 19: Modellierung der Bodengruppe Teil 2.....	19
Abb. 20: Modellierung der Getriebe Teil 1.....	19
Abb. 21: Modellierung der Getriebe Teil 2.....	19
Abb. 22: Modellierung des Motors Teil 2.....	20
Abb. 23: Modellierung des Motors Teil 1.....	20
Abb. 24: Innenraum des 3D - Käfers.....	20
Abb. 25: Lenkrad.....	21
Abb. 26: Marken Emblem (Textur).....	21
Abb. 27: Tachometer.....	21
Abb. 28: Tacho (Textur).....	21
Abb. 29: Radio (Textur).....	21
Abb. 30: Radio.....	21
Abb. 31: 3D - Objekte Gruppen.....	22
Abb. 32: 3D - Käfer.....	23
Abb. 33: Standartansicht von Normals.....	23
Abb. 34: Pivotpunkt des Lenkrads.....	24
Abb. 35: Pivotpunkt der linken Tür.....	24

Abb. 36: Außenteile Teil 1.....	28
Abb. 37: Außenteile Teil 2.....	28
Abb. 38: Außenteile Teil 3.....	29
Abb. 39: Außenteile Teil 4.....	29
Abb. 40: Innenausstattung Teil 1.....	30
Abb. 41: Innenausstattung Teil 2.....	30
Abb. 42: Bodengruppe Teil 1.....	31
Abb. 43: Bodengruppe Teil 2.....	31
Abb. 44: Motor.....	32
Abb. 45: In Miro erstellte Mind Map.....	32
Abb. 46: Alte Bilder, Pinnwand, Röhrenfernseher, Tische.....	34
Abb. 47: Material Component.....	35
Abb. 48: Knöpfe für die Änderung der Autofarbe.....	36
Abb. 49: Knöpfe für das Einblenden von Informationen.....	36
Abb. 50: Eingblendete Informationen des Motors.....	36
Abb. 51: Röhrenfernseher für das Anzeigen der Fakten.....	37
Abb. 52: Knöpfe für das Fahren und das Öffnen der Werkstatttür.....	37
Abb. 53: Anweisungen für die Zwischenszene.....	38
Abb. 54: Anleitung für das Fahren.....	39