
D I P L O M A R B E I T

Applied Augmented Reality in Education

Ausgeführt im Schuljahr 2034/24 von:

Recherche zu Varianten von Knapsack-Algorithmen und Umsetzung des Knapsack-Problems als AR-Anwendungsszenario inkl. Dokumentation || Erstellen/Auswerten eines Feedbackfragebogens zur Lernunterstützung

Moritz SKREPEK 5CHIF

Design und Umsetzung der 3D-Objekte zur AR-Abbildung || Analyse der Steuerungsmöglichkeiten (Menüführung, Gesten, ...) und Erstellen der Benutzeroberfläche für die AR-Applikation mit Fokus auf UX

Dustin LAMPEL 5CHIF

Erfassen realer Objekte und kontextgerechte Überlagerung der Realität mit AR-Device || Tagging v. realen Elementen mittels QR-Codes für Tracking || Unit-Tests für d. implementierten Knapsack-Algorithmus

Seref HAYLAZ 5CHIF

Evaluierung/Auswahl Laufzeit-/Entwicklungsumgebung für Umsetzung der Applikation und Integration mit AR-Device inkl. Recherche || Konzeption/Umsetzung des Anwendungsszenarios im Bereich Netzwerktechnik

Jonas SCHODITSCH 5CHIF

Betreuer / Betreuerin:

Mag. BEd. Reis Markus

Wiener Neustadt, am 22. Februar 2024

Abgabevermerk:

Übernommen von:

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche erkenntlich gemacht habe.

Wiener Neustadt, am 22. Februar 2024

Verfasser / Verfasserinnen:

Moritz SKREPEK

Dustin LAMPEL

Seref HAYLAZ

Jonas SCHODITSCH

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|-----|
| Eidesstattliche Erklärung | i |
| Vorwort | vi |
| Diplomarbeit Dokumentation | vii |
| Diploma Thesis Documentation | ix |
| Kurzfassung | xi |
| Abstract | xii |
| 1 Einleitung | 1 |
| 1.1 Ausgangslage | 1 |
| 1.2 Auslöser | 1 |
| 1.3 Aufgabenstellung | 1 |
| 1.4 Team | 2 |
| 1.4.1 Aufteilung | 2 |
| 2 Grundlagen | 3 |
| 2.1 Vorgehensmodelle | 3 |
| 2.1.1 Scrum | 3 |
| 2.1.1.1 Die drei Rollen in Scrum | 3 |
| 2.1.1.2 Scrum Meetings | 4 |
| 2.1.2 Begründung der Auswahl | 5 |
| 2.2 Projektmanagement-Tools | 6 |
| 2.2.1 GitHub | 6 |
| 2.2.2 Jira | 6 |
| 2.3 Konzeption von Fragebögen | 7 |
| 2.3.1 Planung der Fragebogenkonstruktion | 7 |
| 2.3.2 Formulierung der Fragen | 9 |
| 2.3.3 Arten von Fragen | 9 |
| 2.3.4 Struktur und Gliederung von Fragebögen | 10 |
| 2.3.5 Mögliche Verfälschung des Resultats | 11 |
| 2.3.6 Auswertung von Fragebögen | 11 |
| 2.3.6.1 Auswertung des erstellten Fragebogens | 11 |
| 3 Produktspezifikationen | 16 |
| 3.1 Anforderungen und Spezifikationen | 16 |
| 3.1.1 Use Cases | 16 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 3.2 | Design | 16 |
| 3.2.1 | Abläufe | 16 |
| 3.3 | Eingesetzte Technologien | 16 |
| 3.3.1 | Kriterien | 16 |
| 3.3.2 | Game Engine | 16 |
| 3.3.2.1 | Unity | 17 |
| 3.3.2.2 | Unreal Engine | 17 |
| 3.3.2.3 | Game Engine Auswahl und Wechsel im Projektverlauf | 17 |
| 3.3.3 | Unity foundation packages | 18 |
| 3.3.3.1 | MRTK3 | 19 |
| 3.3.3.2 | Microsoft OpenXR Plugin | 19 |
| 3.3.3.3 | Integrationsprozess der Plugins | 20 |
| 3.3.4 | Modellierungsprogramm | 20 |
| 3.3.4.1 | Wie funktioniert Blender im Allgemeinen? | 20 |
| 4 | Feinkonzept und Realisierung | 22 |
| 4.1 | Entwicklungsumgebungen | 22 |
| 4.1.1 | Visual Studio 2022 | 22 |
| 4.1.2 | Unity | 22 |
| 4.1.2.1 | Multidisziplinäre Unterstützung und Integration | 22 |
| 4.1.2.2 | Szenengestaltung und Asset-Management | 22 |
| 4.1.2.3 | Programmierung und Skripterstellung | 23 |
| 4.1.2.4 | Unterstützung für Augmented Reality (AR) und Virtual Reality (VR) | 23 |
| 4.1.2.5 | Erweiterte Debugging- und Profiling-Werkzeuge | 23 |
| 4.1.2.6 | Aufbau einer Unity-Applikation | 23 |
| 4.1.2.7 | Lebenszyklusmethoden in Unity | 23 |
| 4.1.2.8 | Unity Szenen | 24 |
| 4.1.2.9 | Unity Manager | 24 |
| 4.1.2.10 | Unity GameObjects und Komponente | 25 |
| 4.1.2.11 | Unity Canvas | 26 |
| 4.1.2.12 | Unity Job System | 26 |
| 4.1.2.13 | Photocapture Klasse | 27 |
| 4.1.2.14 | Unity Prefabs | 27 |
| 4.1.3 | Deployment der Anwendung | 28 |
| 4.1.3.1 | Voraussetzungen für das Deployment | 28 |
| 4.1.3.2 | Deployment-Prozess | 28 |
| 4.1.3.3 | Erstmaliges Deployment | 30 |
| 4.2 | Objektdesign mit Blender | 30 |
| 4.2.1 | Optimierung für Augmented Reality | 30 |
| 4.2.1.1 | Polygonreduktion | 30 |
| 4.2.1.2 | Texturenoptimierung | 31 |
| 4.2.2 | Export- und Integrationsprozess | 31 |
| 4.2.2.1 | Dateiformat | 31 |
| 4.2.2.2 | Koordinatensysteme | 32 |
| 4.2.3 | Add-Ons und Plugins | 32 |
| 4.2.3.1 | Looptools: Optimierung von Topologie und Oberflächen | 32 |
| 4.2.3.2 | Images as Planes: Effiziente Integration von Texturen | 33 |
| 4.2.4 | Modi | 33 |

| | | |
|---------|---|----|
| 4.2.4.1 | Object-Modus | 33 |
| 4.2.4.2 | Edit-Modus | 34 |
| 4.2.4.3 | Texture-Paint-Modus | 34 |
| 4.2.5 | Hierarchie | 34 |
| 4.2.6 | Modifier | 34 |
| 4.2.7 | Modellierung von Gegenständen für das Projekt | 35 |
| 4.2.7.1 | Taschenrechner | 35 |
| 4.2.7.2 | Restlichen Modelle | 40 |
| 4.3 | Hauptmenü | 41 |
| 4.3.1 | Erstentwurf | 42 |
| 4.3.1.1 | Probleme beim Erstentwurf | 43 |
| 4.3.2 | Finalversion des Menüs | 44 |
| 4.3.2.1 | Finalversion Menü - Hauptmenü | 44 |
| 4.3.2.2 | Finalversion Menü - Anwendungsszenario | 46 |
| 4.3.2.3 | Setzen des Menüs | 46 |
| 4.3.3 | Laden der Level | 47 |
| 4.3.4 | UI/UX | 48 |
| 4.4 | Ping Scenario | 49 |
| 4.4.1 | Aufbau von Ping Scenario | 49 |
| 4.4.2 | Kabel erkennung | 50 |
| 4.4.2.1 | Foto der umgebung schießen | 50 |
| 4.4.2.2 | Foto verarbeitung | 50 |
| 4.4.2.3 | Kabel finden | 51 |
| 4.4.2.4 | Entfernung messen | 52 |
| 4.4.2.5 | Bewegung des Paketes | 52 |
| 4.4.3 | Starten und verwenden der Webseite | 52 |
| 4.4.4 | Frontend der Webseite | 52 |
| 4.4.4.1 | Designprozess | 53 |
| 4.4.4.2 | Verwendete Programmiersprachen | 54 |
| 4.4.4.3 | Funktionen der Webseite | 55 |
| 4.4.5 | Backend der Webseite | 56 |
| 4.4.5.1 | Protokoll zur Datenübertragung | 56 |
| 4.4.5.2 | Bearbeitung von Anfragen | 57 |
| 4.4.6 | Object Tracking | 58 |
| 4.4.7 | Kurvenberechnung | 58 |
| 4.5 | Knapsack Problem Szenario | 58 |
| 4.5.1 | Knapsack-Problem Szenario Hirarchie | 58 |
| 4.5.2 | Nutzung von QR-Codes | 60 |
| 4.5.2.1 | Struktur und Inhalt eines QR-Codes | 60 |
| 4.5.2.2 | QR-Code-Tracking | 61 |
| 4.5.2.3 | Interaktion mit QR-Codes | 64 |
| 4.5.2.4 | Bestimmen der Position QR-Codes | 65 |
| 4.5.2.5 | Visualisierung von QR-Codes | 65 |
| 4.5.2.6 | Zugriff auf QR-Codes bereitstellen | 65 |
| 4.5.3 | Platzieren des Inventars | 65 |
| 4.5.3.1 | Das inventoryPlacementController Game Objekt | 66 |
| 4.5.3.2 | User Gaze in AR-Anwendungen | 67 |
| 4.5.3.3 | InventoryPlacementController Klasse | 67 |
| 4.5.3.4 | Verwendung des Usergazes | 68 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 4.5.3.5 | Frame Aktualisierung | 69 |
| 4.5.3.6 | Platzieren des Inventar Objekts | 70 |
| 4.5.3.7 | Sicht des Benutzers nach Abschluss des Skripts | 71 |
| 4.5.4 | Inventory Controller Game Objekt | 72 |
| 4.5.4.1 | InventoryController Klassenvariablen | 73 |
| 4.5.4.2 | Start des InventoryControllers | 73 |
| 4.5.4.3 | Bounds des Inventars aktualisieren | 74 |
| 4.5.4.4 | Bounds des Inventars ermitteln | 74 |
| 4.5.4.5 | Inventory Bounds erweitern | 75 |
| 4.5.4.6 | ID Grid Initialisierung | 76 |
| 4.5.4.7 | Update-Funktion | 76 |
| 4.5.4.8 | Neue oder entfernte Items erkennen | 77 |
| 4.5.5 | EventManager | 83 |
| 4.5.6 | Das Knapsack Problem | 85 |
| 4.5.6.1 | Knapsack-Algorithmus | 85 |
| 4.5.6.2 | Problemstellung | 85 |
| 4.5.6.3 | Variationen des Knapsack-Problems | 85 |
| 4.5.6.4 | Typen des Knapsack-Problems | 87 |
| 4.5.6.5 | Ansätze zur Lösung des Knapsack-Problems | 88 |
| 4.5.6.6 | Anwendungen des Knapsack-Problems | 91 |
| 4.5.6.7 | Auswahl des Implementierungsansatzes | 92 |
| 4.5.6.8 | Das KnapsackSolver Game Objekt | 92 |
| 4.5.6.9 | KnapsackSolver Klassenvariablen | 93 |
| 4.5.6.10 | Start des KnapsackSolvers | 94 |
| 4.5.6.11 | Knapsack-Algorithmus Implementierung | 96 |
| 4.5.6.12 | Berechnung des eigenen Inventars | 98 |
| 4.5.6.13 | InfoMesh aktualisieren | 99 |
| 4.5.7 | Anzeigen der perfekten Lösung | 99 |
| 4.5.7.1 | Auslöser des Skripts | 101 |
| 4.5.7.2 | PerfectSolutionVisualizer Klassenvariablen | 102 |
| 4.5.7.3 | Start des PerfectSolutionVisualizer | 103 |
| 4.5.7.4 | Perfekte Lösung platzieren | 103 |
| 4.5.7.5 | Prefab füllen | 104 |
| 4.6 | Performance und Qualitätssicherung | 105 |
| 4.6.1 | Unit-Tests | 105 |
| 4.6.2 | Unity Test Framework | 106 |
| 4.6.3 | Performance-Messung | 106 |
| 5 | Zusammenfassung und Abschluss | 109 |
| 5.1 | Ergebnis | 109 |
| 5.2 | Abnahme | 109 |
| 5.3 | Zukunft | 109 |
| A | Mockups | 110 |
| A.1 | UI/UX | 110 |
| A.2 | Hauptmenu Level Design | 110 |
| A.3 | Ping-Paket Level Design | 110 |
| A.4 | Knapsack-Level Design | 110 |
| B | Literatur | 111 |

Vorwort

Die vorliegende Diplomarbeit wurde im Zuge der Reife- und Diplomsprüfung im Schuljahr 2023 / 24 an der Höheren Technischen Bundeslehr- und Versuchsanstalt Wiener Neustadt verfasst. Die Grundlegende zu dem arbeiten mit der Microsoft HoloLens2 lieferte uns unser Betreuer Mag. BEd. Markus Reis. Das Ergebniss dieser Diplomarbeit ist eine augmented reality Applikation für die Verwendung am Tag der offenen Tür.

Besonderer Dank gebührt unserem Betreuer Mag. Markus Reis für sein unerschöpfliches Engagement und seine kompetente Unterstützung. Weiteres möchten wir uns bei unserem Abteilungsvorstand Mag. Nadja Trauner sowie unserem Jahrgangsvorstand MSc. Wolfgang Schermann bedanken, die uns die gesamte Zeit an dieser Schule unterstützt haben.

Diplomarbeit Dokumentation

| | |
|---------------------------|---|
| Namen der Verfasser/innen | Skrepek Moritz Haylaz Seref Lampel Dustin Schoditsch Jonas |
| Jahrgang Schuljahr | 5CHIF 2023 / 24 |
| Thema der Diplomarbeit | Applied Augmented Reality in Education |
| Kooperationspartner | Land Niederösterreich, Abteilung Wissenschaft und Forschung |

| | |
|------------------|---|
| Aufgabenstellung | Darstellung von zwei ausgewählten IT-Grundprinzipien mittels der Microsoft HoloLens2. |
|------------------|---|

| | |
|--------------|--|
| Realisierung | Implementiert wurde eine Augmented Reality Applikation für die Mircosoft HoloLens2. Um ein gutes Zusammenspiel zwischen Realität und Augmented Reality zu garantieren wurde Raumerkennung verwendet. Um mit den echten Objekten zu interagieren werden QR-Codes verwendet. |
|--------------|--|

| | |
|------------|---|
| Ergebnisse | Planung, Design, Entwicklung und Test einer funktionsfähigen AugmentedReality-Applikation auf Basis des AR-Devices HoloLens2 von Microsoft, die es ermöglicht ausgewählte technische Themenstellungen im Bereich Informatik (Visualisierung eines Pings, Veranschaulichung Knapsack-Problem) für den Einsatz im Unterricht sowie beim Tag der offenen Tür visuell, interaktiv und spielerisch darzustellen. |
|------------|---|

| | |
|--|---|
| Typische Grafik, Foto etc. (mit Erläuterung) | Das vorliegende Bild stellt das Logo der AR-Applikation dar.  Applied Augmented Reality IN EDUCATION |
|--|---|

| | |
|---|--|
| Teilnahme an Wettbewerben, Auszeichnungen | |
|---|--|

| | |
|---|--|
| Möglichkeiten der Einsichtnahme in die Arbeit | HTBLuVA Wiener Neustadt Dr.-Eckener-Gasse 2 A 2700 Wiener Neustadt |
|---|--|

| | | |
|--|--------------------------------|---|
| Approbation (Datum, Unterschrift) | Prüfer Mag. Markus Reis | Abteilungsvorstand AV Mag. Nadja Trauner |
|--|--------------------------------|---|

Diploma Thesis Documentation

| | |
|-----------------------|---|
| Authors | Skrepek Moritz Haylaz Seref Lampel Dustin Schoditsch Jonas |
| Form | 5CHIF |
| Academic Year | 2023 / 24 |
| Topic | Applied Augmented Reality in Education |
| Co-operation partners | Land Niederösterreich, Abteilung Wissenschaft und Forschung |

| | |
|---------------------|---|
| Assignment of tasks | Representation of two selected basic IT principles using the Microsoft HoloLens2. |
|---------------------|---|

| | |
|-------------|--|
| Realization | An augmented reality application for the Microsoft HoloLens2 was implemented. In order to guarantee a good interaction between reality and augmented reality, spatial recognition was used. QR codes are used to interact with the real objects. |
|-------------|--|

| | |
|---------|---|
| Results | Planning, design, development and testing of a functional augmented reality application based on the AR device HoloLens2 from Microsoft, which enables selected technical topics in the field of computer science (visualization of a ping, illustration of the Backpack problem) for use in lessons and on the day of open door visually, interactively and playfully. |
|---------|---|

Illustrative graph, photo
(incl. explanation)

This image represents the logo of the AR application.



Applied Augmented Reality

IN EDUCATION

Participation in
competitions,
Awards

Accessibility of diploma
thesis

HTBLuVA Wiener Neustadt
Dr.-Eckener-Gasse 2
A 2700 Wiener Neustadt

Approval

(Date, Sign)

Examiner

Mag. Markus Reis

Head of Department

AV Mag. Nadja Trauner

Kurzfassung

Diese Abschlussarbeit widmet sich der Entwicklung einer Lernapplikation für die HTL Wiener Neustadt unter Verwendung der Unity-Plattform. Die Umsetzung erfolgte in Form einer augmented reality (AR) Applikation, speziell für die Microsoft HoloLens 2.

Die Applikation besteht aus drei verschiedenen Levels. Darunter, dass Hauptmenu, das Ping-Level und das Knapsack-Problem-level, welche in Unity implementiert wurden.

Die Applikation ermöglicht es den Schülern, während des Tages der offenen Tür zwei wesentliche Grundprinzipien der Informatik mithilfe von Augmented Reality auf spielerische und interessante Weise zu erkunden. Dies bietet den Schülern die Möglichkeit zu erfahren, ob sie ein Interesse an solchen Themen haben. Der Einsatz von Unity als Entwicklungsplattform ermöglichte eine umfassende und wissenschaftlich fundierte Umsetzung dieses Projekts.

Abstract

This diploma thesis focuses on the development of an educational application for HTL Wiener Neustadt using the Unity platform. The implementation took the form of an augmented reality (AR) application specifically designed for the Microsoft HoloLens 2.

The application comprises three distinct levels, namely the main menu, the Ping Level, and the Knapsack-Problem Level, all implemented using Unity.

During the open house event, the application enables students to explore two fundamental principles of computer science in a playful and engaging manner through augmented reality. This provides students with the opportunity to discover whether they have an interest in such topics. The utilization of Unity as the development platform facilitated a comprehensive and scientifically grounded realization of this project.

Kapitel 1

Einleitung

1.1 Ausgangslage

Um dem IT-Fachkräftemangel entgegenzuwirken, ist es entscheidend, die Ausbildung im MINT-Bereich attraktiver zu gestalten. Diese Diplomarbeit zielt darauf ab, einen wichtigen Beitrag zu diesem Ziel zu leisten, unterstützt durch das Förderprogramm *Wissenschaft trifft Schule* des Landes Niederösterreich. Dabei sollen exemplarische Anwendungen im Bereich Augmented Reality für die Vermittlung von Informatik-Lehrinhalten evaluiert und umgesetzt werden.

1.2 Auslöser

Die Besucher des *Tag der offenen Tür* erhalten durch diese Applikation eine Vorführung der neuesten Technologien, was dazu beiträgt, dass sie erkennen, dass die Schule einen sehr hohen Technologiestandard aufweist. Dies führt zu einer signifikanten Steigerung der Nachfrage bei zukünftigen Bewerbungen für die Abteilung Informatiktechnik. Darüber hinaus stärkt dies den Ruf der Schule nach außen und präsentiert sie als attraktiven Ausbildungsort für zukünftige Mitarbeiter vieler Unternehmen.

1.3 Aufgabenstellung

Die Aufgabenstellung besteht darin, zwei Unity-Szenarien zu erstellen, die jeweils ein Grundprinzip der Informationstechnologie veranschaulichen. Im ersten Szenario wird das Grundprinzip des *Pingen* zwischen zwei PCs dargestellt. Mithilfe der HoloLens 2 wird ein 3D-modelliertes Paket auf einem Kabel visualisiert, das zwei reale PCs miteinander verbunden. Um das Senden und Empfangen eines Ping-Pakets zu simulieren, wird eine einfache Website mit einem entsprechenden Backend und der Verwendung einer RESTful API erstellt, um Nachrichten zwischen den PCs zu senden und zu empfangen. Dies verdeutlicht dem Benutzer den eigentlich unsichtbaren *Ping* zwischen zwei verbundenen Geräten.

Im zweiten Szenario wird das in der IT bekannte und vielseitig verwendete Optimierungsproblem des *Knapsack Problems* dargestellt. Mithilfe von Augmented Reality wird ein Inventar auf einer Oberfläche platziert, die die verfügbare Fläche für die Platzierung der Gegenstände repräsentiert. Die Gegenstände im Inventar sind typische, im Alltag verwendete Gegenstände wie Laptop, Maus, Tastatur usw. Jeder dieser Gegenstände kann mithilfe eines QR-Codes visualisiert werden, um ein 3D-Modell des Gegenstands und die zugehörigen Werte wie Gewicht und Wert für die Lösung des Knapsack-Problems anzuzeigen.

Die Aufgabe des Benutzers besteht darin, das Inventar bestmöglich mit den verfügbaren Gegenständen zu füllen, um den Gesamtwert des Inventars zu maximieren. Zusätzlich zur Lösung des Problems kann der Benutzer durch einen Knopfdruck eine der berechneten optimalen Lösungen aktivieren und sichtbar machen.

1.4 Team

Das Diplomarbeitsteam besteht aus:

- Moritz SKREPEK
- Seref HAYLAZ
- Dustin LAMPEL
- Jonas SCHODITSCH

1.4.1 Aufteilung

Die Rolle des Projektsleiters der Diplomarbeit nahm Moritz SKREPEK ein, da dieser die Grundlegende Idee für die Darstellung zweier IT-Grundprinzipien mittels der Microsoft HoloLens2 hatte.

Die entwickelte Applikation lässt sich in das Hauptmenü, Pinkt-Szenario und Knapsack-Problem-Szenario eingliedern. Die Implementierung des Hauptmenüs und ebenfalls für das gesamte UI/UX übernahm Dustin LAMPEL unter Verwendung der UX-Tools-Plugins für Mixed Reality. Die Umsetzung des Pink-Paket-Szenarios übernahm SCHODITSCH Jonas mittels Objekt-Tracking und Picture-Taking. Für die Implementierung des Knapsack-Problem-Szenarios waren Moritz SKREPEK und Seref HAYLAZ mittels Verwendung von Plane-detection, QR-Code Tagging und Tracking, Knapsack Algorithmus, 3D Unity Game Objekte und Unittests zuständig.

Kapitel 2

Grundlagen

In diesem Kapitel wird das Vorgehensmodell erläutert sowie alle Tools, die für die erfolgreiche Abwicklung des Projekts benötigt werden. Außerdem wird die Konzeption der Fragebögen behandelt.

2.1 Vorgehensmodelle

Vor der Implementierung des Projekts wurden verschiedene methodische Ansätze untersucht. Das Projektteam entschied sich schnell für ein agiles Vorgehensmodell, um die Dynamik der Planung und Durchführung des Projekts zu optimieren. Zu Beginn des Projekts wurde Scrum als bevorzugtes Modell ausgewählt. Im folgenden Abschnitt wird eine detaillierte Erläuterung des Vorgehensmodells präsentiert, gefolgt von einer Begründung für unsere Wahl.

→ SKREPEK

2.1.1 Scrum

Scrum ist ein agiles Projektmanagement-Framework, dass sich auf die effiziente Entwicklung von Produkten und Software konzentriert. Es legt besonderen Wert auf Zusammenarbeit, Anpassungsfähigkeit und die kontinuierliche Bereitstellung funktionsfähiger Inkремente innerhalb kurzer Entwicklungszyklen, die als Sprints bezeichnet werden.¹

Die zuvor skizzierte Definition bietet einen prägnanten Einblick in das agile Vorgehensmodell Scrum. Die herausragenden Merkmale dieses Modells umfassen:

- Definition von drei zentralen Rollen, die im Folgenden näher erläutert werden.
- Verwaltung des Product Backlogs, der sämtliche Anforderungen enthält.
- Iterative und zeitlich definierte Entwicklung von Produkten.
- Förderung der autonomen Arbeitsweise des Teams.
- Gewährleistung der Gleichberechtigung aller Teammitglieder.

2.1.1.1 Die drei Rollen in Scrum

Product Owner

Der Product Owner ist verantwortlich für die Pflege des Product Backlogs und vertritt dabei die fachliche Auftraggeberseite sowie sämtliche Stakeholder. Eine zentrale Aufgabe ist die Priorisierung der Elemente im Product Backlog, um den geschäftlichen Wert

¹Scrum Alliance **WHAT-IS-SCRUM**

des Produkts zu maximieren und die Möglichkeit für frühe Veröffentlichungen essenzieller Funktionalitäten zu schaffen. Der Product Owner nimmt nach Möglichkeit an den täglichen Scrum-Meetings teil, um Einblicke zu gewinnen. Er steht dem Team für Rückfragen zur Verfügung, um einen reibungslosen Informationsaustausch zu gewährleisten.²

Scrum Master

Der Scrum Master spielt eine zentrale Rolle im Scrum-Prozess und ist für dessen korrekte Umsetzung verantwortlich. Er fungiert als Vermittler und Unterstützer, um einen maximalen Nutzen zu erzielen und kontinuierliche Optimierung sicherzustellen. Ein zentrales Anliegen ist die Beseitigung von Hindernissen, um ein reibungsloses Voranschreiten des Teams zu gewährleisten. Der Scrum Master sorgt für einen effizienten Informationsfluss zwischen dem Product Owner und dem Team, moderiert Scrum-Meetings und behält die Aktualität der Scrum-Artefakte wie Product Backlog, Sprint Backlog und Burndown Charts im Blick. Darüber hinaus obliegt es seiner Verantwortung, das Team vor unberechtigten Eingriffen während des Sprints zu schützen.³

Team

Das Team besteht idealerweise aus sieben Mitgliedern und setzt sich interdisziplinär aus Entwicklern, Architekten, Testern und technischen Redakteuren zusammen. Es agiert selbstorganisiert und übernimmt die Verantwortung als eigener Manager. Es hat die Befugnis, autonom über die Aufteilung von Anforderungen in Aufgaben zu entscheiden und diese auf die einzelnen Mitglieder zu verteilen. Dadurch entsteht der Sprint Backlog aus dem aktuellen Teil des Product Backlogs.⁴

2.1.1.2 Scrum Meetings

Alle Anforderungen an das Produkt werden in sogenannten *User Stories* gesammelt, die vorrangig vom Product Owner im Product Backlog erstellt werden. Während eines Sprints werden die User Stories abgearbeitet. Die Projektentwicklung nach Scrum besteht aus fünf zentralen Elementen:

Sprint Planning Meeting

Im Sprint Planning Meeting wird das Ziel des folgenden Sprints definiert. Dabei werden die Anforderungen im Product Backlog, die in diesem Sprint umgesetzt werden sollen, in einzelne Aufgaben zerlegt und anschließend im Sprint Backlog gesammelt.⁵

Sprint

Ein Sprint ist eine Entwicklungsphase, in der eine voll funktionsfähige und potenziell veröffentlichte Software entsteht. Die Dauer eines Sprints beträgt typischerweise zwischen 1 und 4 Wochen.⁶

²Scrum-Rolle **Product Owner**

³Scrum-Rolle **Scrum Master**

⁴Scrum-Rolle **Team**

⁵Scrum Meetings **Sprint planning meeting**

⁶Scrum Meetings **Sprint**

Daily Scrum

Der Daily Scrum ist ein kurzes tägliches Teammeeting im Scrum-Framework. Es dient dazu, den Fortschritt des Teams zu synchronisieren und potenzielle Hindernisse frühzeitig zu identifizieren. Während dieses Meetings informieren die Teammitglieder die anderen über den Abschluss ihrer Aufgaben seit dem letzten Treffen, diskutieren, woran sie bis zum nächsten Treffen arbeiten werden, und geben Einblicke in eventuelle aktuelle Probleme oder Herausforderungen. Dieses regelmäßige Treffen stellt sicher, dass alle Teammitglieder stets auf dem aktuellen Stand sind. Es fördert eine effektive Zusammenarbeit und ermöglicht eine zeitnahe Lösung aufkommender Probleme.⁷

Sprint Review

Während des Meetings präsentiert das Entwicklungsteam den Stakeholdern die im Sprint abgeschlossenen Arbeitsergebnisse, wie zum Beispiel fertige Produktinkremente. Zu den Stakeholdern gehören typischerweise Produktbesitzer, Kunden, Führungskräfte und andere relevante Interessengruppen.⁸

Sprint Retrospektive

Die Sprint Retrospektive ermöglicht es dem Scrum-Team, bestehend aus dem Entwicklungsteam, dem Scrum Master und dem Product Owner, gemeinsam den abgeschlossenen Sprint zu reflektieren und Möglichkeiten zur kontinuierlichen Verbesserung zu identifizieren.⁹

Durch die Elemente des agilen Ansatzes, insbesondere die iterative Natur von Scrum, kann ein optimaler Projektablauf gewährleistet werden. Die kontinuierliche Zusammenarbeit mit dem Kunden ermöglicht es, Anforderungen und Erwartungen während des gesamten Entwicklungsprozesses anzupassen und zu verfeinern. Dies führt zu höherer Kundenzufriedenheit und einem Produkt, das besser den tatsächlichen Bedürfnissen entspricht.

Darüber hinaus bietet regelmäßige Kommunikation und Transparenz innerhalb des Teams und mit den Stakeholdern die Möglichkeit, Missverständnisse und Probleme frühzeitig zu erkennen und anzugehen. So kann das Team schnell auf Veränderungen reagieren und den Kurs des Projekts entsprechend anpassen. Dadurch können potenzielle Risiken minimiert und die Effizienz sowie die Qualität der Arbeit verbessert werden.

2.1.2 Begründung der Auswahl

Die Applikation *Applied Augmented Reality in Education* besteht aus drei verschiedenen Szenarien. Das Team, bestehend aus vier Schülern, übernahm jeweils einen Teilbereich oder arbeitete gemeinsam an einem dieser Szenarien. Dabei erhielten sie Unterstützung von einem Lehrer, der stets für Fragen zur Verfügung stand und häufig beratend tätig war.

Als Vorgehensmodell wählte das Team das agile Modell Scrum. Die Scrum-Richtlinien konnten leicht eingehalten werden, da sich das Team täglich in der Schule traf und auch außerhalb der Schule privat in Kontakt stand. Diese regelmäßige Kommunikation ermöglichte es dem Team, Änderungen, Probleme und andere Angelegenheiten leicht zu kommunizieren und zu besprechen.

⁷Scrum Meetings Daily Scrum

⁸Scrum Meetings Sprint Review

⁹Scrum Meetings Sprint Retroperspektiv

Am Ende jedes Sprints wurden die erreichten Ergebnisse mit dem Betreuer besprochen und Neuerungen vorgestellt. Im Rahmen der Sprintreviews wurden Feedback zu den Ergebnissen gesammelt und neue Ansichten sowie Denkweisen vom Betreuer eingebracht und integriert.

Die Sprint Retrospektive ermöglichte den Schülern, einen größeren Mehrwert aus der Projektentwicklung zu ziehen, da sie neben der Anwendung des Scrum-Prozesses auch ihre Fähigkeiten in den einzelnen Bereichen verbessern konnten. Hierbei diskutierten und reflektierten sie positive und negative Aspekte.

2.2 Projektmanagement-Tools

Um einen positiven Verlauf des Projekts zu ermöglichen, benötigt man die unterstützenden Tools beim Projektmanagement sowie die Verwaltung von Dateien. → SKREPEK

2.2.1 GitHub

Als Repository für die Source Code Dateien wurde GitHub in Verbindung mit seiner Webanwendung verwendet. Bei Projektbeginn galt es, die Entscheidung zu treffen, welche Technologie und welcher Anbieter für das Versionskontrollsysteem am besten geeignet waren. Andere namhafte Anbieter solcher Verwaltungssysteme sind:

- GitLab
- SourceForge
- BitBucket

Die Wahl von GitHub war durch mehrere Aspekte begründet. Zum einen stellt GitHub eine kostenfreie Lösung dar, die es ermöglicht, ein privates Projekt mit mehreren Mitgliedern ohne Kosten anzulegen. Im Gegensatz dazu bieten einige Plattformen lediglich eine begrenzte Anzahl von Mitgliedschaften in kostenfreien Projekten an. Die Registrierung erforderte lediglich einen Account.

Darüber hinaus zeichnet sich GitHub durch eine benutzerfreundliche Oberfläche, eine breite Unterstützung für verschiedene Programmiersprachen und eine aktive Entwicklergemeinschaft aus. Dies erleichtert die Zusammenarbeit und den Informationsaustausch im Projektteam.

2.2.2 Jira

Jira wurde als Verwaltungstool für die Vorgänge im Projekt in Verbindung mit seiner Webanwendung verwendet. Auch hier stand zu Projektbeginn die Frage im Raum, welche Technologie und welcher Anbieter für das Aufgabenmanagement am besten geeignet waren. Neben Jira existieren noch weitere namhafte Anbieter solcher Tools darunter sind:

- VivifyScrum
- KanBan

Die Entscheidung für Jira basierte auf mehreren Überlegungen. Zum einen bietet Jira eine kostenfreie Lösung, die es ermöglicht, ein SCRUM Board mit mehreren Mitgliedern kostenfrei anzulegen. Ein weiterer entscheidender Faktor war die direkte Verbindung zu dem GitHub-Repository und die Möglichkeit, neue Branches und Commits direkt in Jira zu erstellen.

Darüber hinaus bietet Jira eine umfassende Funktionalität für das Projektmanagement, einschließlich der Verfolgung von Aufgaben, der Planung von Sprints und der Erstellung

von Berichten. Diese Features ermöglichen es dem Projektteam, den Fortschritt genau zu überwachen und eventuelle Herausforderungen frühzeitig zu identifizieren und anzugehen.

2.3 Konzeption von Fragebögen

Bei jeder Umfrage werden Informationen von Personen oder Personengruppen zu der allgemeinen Umsetzung und dem Verständnis der Applikation gesammelt. Diese werden im Anschluss ausgewertet und interpretiert. Wichtig ist hier den Zweck jeder Umfrage genau zu definieren. Durch präzise und detaillierte Zielsetzungen ist es später dann möglich, den Erfolg der Umfrage zu garantieren.

→
SKREPEK

2.3.1 Planung der Fragebogenkonstruktion

Die sorgfältige Konzeption und Gestaltung eines Fragebogens sind grundlegende Schritte, die bei der Planung einer Erhebung unternommen werden. Durch eine sorgfältige Planung wird sichergestellt, dass relevante Daten erhoben werden und die spätere Auswertung erleichtert wird. Aus diesem Grund müssen bereits im Vorfeld verschiedene Entscheidungen getroffen und Definitionen festgelegt werden:

1. Inhalt

Die Auswahl der Inhalte ist für die Qualität der erhobenen Daten entscheidend. Es sollte erwogen werden, bestehende Fragebögen zu verwenden und gegebenenfalls an die spezifischen Anforderungen der Erhebung anzupassen. Um Missverständnisse zu vermeiden, sollten die Fragen klar und prägnant formuliert sein. Die Verwendung validierter Fragebögen kann bei der Gewährleistung der Vergleichbarkeit mit anderen Studien hilfreich sein.

2. Umfang

Ein wichtiger Faktor, der je nach Forschungsziel abgewogen werden muss, ist die Länge des Fragebogens. Das Ziel sollte ein ausgewogenes Verhältnis zwischen der Tiefe der Informationen und der Aufrechterhaltung der Teilnahme der Teilnehmer sein. Ein zu umfangreicher Fragebogen kann dazu führen, dass die Befragten ermüden und die Qualität der Antworten beeinträchtigt wird.

3. Ablauf und zeitlicher Rahmen

Die Entscheidung bezüglich des Ablaufs und des Zeitrahmens der Befragung beeinflusst die Art der Datensammlung. Die Wahl zwischen einer postalischen und einer elektronischen Befragung wirkt sich auf die Antwortzeit und die Effizienz der Datenerhebung aus. Bei elektronischen Erhebungen liegen die Ergebnisse oft schneller vor, während bei postalischen Erhebungen längere Antwortzeiten möglich sind.

4. Zielgruppe

Die Definition der Zielgruppe spielt eine wichtige Rolle für die Repräsentativität der Ergebnisse. Die Entscheidung für eine Vollerhebung oder eine Stichprobe ist eine Frage der zur Verfügung stehenden Ressourcen und der spezifischen Forschungsziele. Eine Vollerhebung kann eine umfangreiche Datenbasis liefern, während eine Stichprobenerhebung insbesondere bei großen Zielgruppen effizienter sein kann.

5. Fragetypen und Antwortskalen

Die Qualität der erhobenen Daten wird durch die Wahl der Art der Fragen und die Wahl der Antwortskalen beeinflusst. Geschlossene Fragen mit vorgegebenen Antwortmöglichkeiten erleichtern die quantitative Analyse, während offene Fragen die Möglichkeit bieten, qualitative Einsichten zu gewinnen. Die Wahl der Antwortskala-

len, unabhängig davon, ob es sich um Likert-Skalen oder numerische Bewertungen handelt, sollte auf die spezifischen Forschungsziele abgestimmt sein.

6. Ethik und Datenschutz

Es ist von entscheidender Bedeutung, ethische Aspekte zu berücksichtigen, wie die Anonymität der Teilnehmer zu wahren und sensible Informationen zu schützen. Der Fragebogen sollte so konzipiert sein, dass die Integrität der Teilnehmer geschützt wird und keine unangebrachten persönlichen Informationen gesammelt werden.

7. Pilotstudie

Es empfiehlt sich, vor der endgültigen Implementierung des Erhebungsbogens eine Pilotstudie durchzuführen. Im Rahmen dieser Testphase können mögliche Probleme, Unklarheiten oder Missverständnisse bei der Formulierung der Fragen erkannt und behoben werden. Das Feedback der Testteilnehmer trägt dazu bei, den Fragebogen noch weiter zu optimieren.

Grundsätzlich werden die *quantitative* und die *qualitative Forschung* unterschieden, wobei Fragebögen zur *quantitativen Forschung* aufgrund der besseren Vergleichbarkeit leichter zu interpretieren sind.

Bei der Quantifizierung schließt man von der Stichprobe auf die Grundgesamtheit N, wie in Abbildung 2.1 gezeigt. Es ist wichtig, dass die ausgewählte Stichprobe repräsentativ ist. Das bedeutet, dass die Personen, die an der Stichprobe teilnehmen, die gleichen Voraussetzungen haben wie die Personen, die tatsächlich in der Grundgesamtheit vorkommen. Es handelt sich hierbei um numerische Daten, die erhoben werden und für die eine Auswertung vorgenommen wird. Von Bedeutung ist in diesem Zusammenhang das Verhältnis zwischen der untersuchten Stichprobe und der Grundgesamtheit (Population). In diesem Zusammenhang ist das Verhältnis zwischen der untersuchten Auswahl und der Population von Bedeutung. Alle Merkmale der Personen in der Auswahl müssen mit den Merkmalen der Personen in der Population übereinstimmen, zum Beispiel Alter und Geschlecht.¹⁰

Abbildung 2.1: Zusammenhang zwischen der *Grundgesamtheit* und *Stichprobe*

Die qualitative Forschung ist eine Methode zur Auswertung von Daten, die ausschließlich über Sprache (verbal) übermittelt werden. Diese Methode eignet sich vor allem zur näheren Beschreibung und Analyse von subjektiven Wahrnehmungen, persönlichen Einstellungen, Motiven und Meinungen der Befragten.¹¹

Am sinnvollsten ist eine Kombination von *qualitativen und quantitativen Ergebnissen*. Nach einer quantitativen Befragung sollte eine stichprobenartige qualitative Befragung durchgeführt werden, um die Ergebnisse besser interpretieren zu können. Dies wird anhand eines Fallbeispiels veranschaulicht.

Unabhängig davon, ob es sich um qualitative oder quantitative Forschung handelt, sind die drei *Gütekriterien Objektivität, Zuverlässigkeit und Validität* zu erfüllen.

Sie dienen, den Forschungsprozess zu steuern und zu kontrollieren. Die Validität ist ein Maß für die Brauchbarkeit der Methode und bezieht sich auf die tatsächliche Fähigkeit zur Messung des gewünschten Wertes. Das Ergebnis ist umso zuverlässiger, je klarer die Fragen formuliert sind. Entscheidend für die Validität der Analyse ist die Objektivität der Messung. Dabei ist sowohl die Durchführungsobjektivität des Befragers als auch die Auswertungs- und Interpretationsobjektivität des Analytikers zu beachten.¹²

¹⁰Vgl. Mayer, **Interview und schriftliche Befragung**, S. 57 ff.

¹¹Vgl. Mayer, **Interview und schriftliche Befragung**, S. 36

¹²Vgl. Mayer, **Interview und schriftliche Befragung**, S. 54 ff., S. 88.

Die drei Gütekriterien stehen in einem wechselseitigen Zusammenhang. Nur, wenn die Objektivität gegeben ist, kann die Reliabilität gewährleistet werden. Ist die Reliabilität gering, kann die Validität nur mit einer gewissen Unsicherheit vorhergesagt werden.¹³

2.3.2 Formulierung der Fragen

Um eine erfolgreiche Umfrage effizient durchführen zu können, ist eine sorgfältige Vorbereitung erforderlich. Die Erkenntnis, dass Umfragen nur bestimmte Aspekte eines Themenbereichs abdecken können, ist von entscheidender Bedeutung. Aus diesem Grund ist eine sorgfältige und präzise Definition dieser Aspekte erforderlich. Besonderes Augenmerk ist darauf zu richten, dass die Fragen klar formuliert sind.

Die zentrale Priorität bei der Formulierung der Fragen ist die Verständlichkeit und Eindeutigkeit. Die folgenden Formulierungsrichtlinien sollten unbedingt beachtet werden:

- Verwendung von einfachem Vokabular ohne Verwendung von Fachausdrücken, Fremdwörtern oder Ausdrücken aus anderen Sprachen.
- Die Fragen prägnant formulieren.
- Belastende Begriffe wie *Ehrlichkeit* werden vermieden.
- Hypothetische Formulierungen sollten ausgeschlossen werden.
- Fokussierung auf ein bestimmtes Thema für jede einzelne Frage.
- Vermeidung von Überforderung durch die Bereitstellung einer angemessenen Menge an Informationen pro Frage.
- Doppelte Verneinungen sind zu vermeiden.¹⁴

Die genannten Kriterien sind besonders wichtig bei schriftlichen Befragungen. Um sicherzustellen, dass die Ergebnisse nicht verfälscht werden, darf der Interviewer keine zusätzlichen Fragen stellen oder die bereits gestellten Fragen ändern.

Direkte Fragen sind geeignet, um Fakten und Wünsche zu ermitteln, während formulierte Aussagen oder Feststellungen eher dazu dienen, die Bewertung durch die Befragten in Erfahrung zu bringen. Diese Techniken werden hauptsächlich zur Erfassung von Einstellungen, Wahrnehmungen und Meinungen eingesetzt.

2.3.3 Arten von Fragen

In Abhängigkeit von den Anforderungen der jeweiligen Evaluation können sowohl offene als auch geschlossene Fragen gestellt werden.

Bei offenen Fragen handelt es sich um Fragen, bei denen keine Antwortmöglichkeiten vorgegeben werden. Im Anschluss an die Frage sollte ausreichend Platz für die Beantwortung der Frage gelassen werden. Dieser Fragetyp sollte in den folgenden Fällen verwendet werden:

- Wenn die Anzahl der Antwortmöglichkeiten unbekannt ist.
- Wenn die Formulierung der Antwort des Auskunftspflichtigen für die Auswertung von Bedeutung ist.
- Wenn das Ziel der Erhebung darin besteht, die Unwissenheit und das Fehlen einer Meinung zu ermitteln.

¹³Vgl. Bühner, **Einführung in die Test- und Fragebogenkonstruktion**, S. 33 f.

¹⁴Vgl. Mayer, **Interview und schriftliche Befragung**, S. 89.

Im Gegensatz zu offenen Fragen gibt es bei geschlossenen Fragen vordefinierte Antwortmöglichkeiten. Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer wählen ihre Antworten aus einer vorgegebenen Liste aus oder entscheiden sich zwischen den vorgegebenen Optionen. Es gibt verschiedene Szenarien, in denen der Einsatz von geschlossenen Fragen sinnvoll ist:

- Wenn die Anzahl der möglichen Antwortalternativen begrenzt und bekannt ist.
- Bei Umfragen, die quantitative Daten für eine statistische Auswertung erfordern.
- Wenn die Standardisierung der Antworten wichtig ist, um eine konsistente Analyse zu ermöglichen.¹⁵

In Bezug auf die geschlossenen Fragen ist es noch wichtig anzumerken, dass es im Wesentlichen drei Möglichkeiten für die Benennung oder Kennzeichnung gibt:

1. Numerische Benennung

Die numerische Benennung ist ein klassisches Notationssystem mit semantischer Bedeutung. Jede Note oder Zahl ist eindeutig einer sprachlichen Formulierung zugeordnet. Der Abstand zwischen den einzelnen Noten ist dabei gleich groß.

2. Kennzeichnung durch Formen

Eine Möglichkeit, geschlossene Fragen zu kennzeichnen, besteht darin, bestimmte Formen wie Kreise, Kästchen oder grafische Skalen (Symbole) zu verwenden.

3. Sprachliche Benennung

Die Benennung von geschlossenen Fragen erfolgt durch klare sprachliche Ausdrücke oder Texte, welche die verschiedenen Antwortoptionen definieren.¹⁶

2.3.4 Struktur und Gliederung von Fragebögen

Die Struktur und Gliederung eines Fragebogens spielen eine entscheidende Rolle bei der Erhebung von Daten. Ein gut durchdachter Aufbau gewährleistet nicht nur eine klare und präzise Erfassung der benötigten Informationen, sondern erleichtert auch die Analyse der Ergebnisse. Bei der Gestaltung eines Fragebogens sollten mehrere wichtige *Schlüsselemente* berücksichtigt werden.

Fragearten sind ein zentraler Aspekt der Strukturierung von Fragebögen. *Geschlossene Fragen* mit vorgegebenen Antwortmöglichkeiten ermöglichen eine effiziente *Quantifizierung*, während *offene Fragen* vertiefende qualitative Einblicke liefern können. Die geschickte Kombination beider Typen ermöglicht eine umfassende Datenerhebung.

Die *Reihenfolge* der Fragen sollte einer sinnvollen *Sequenz* und *Logik* folgen. Der Fragebogen sollte mit allgemeinen und weniger sensiblen Fragen beginnen, um das Vertrauen der Teilnehmer zu gewinnen. Danach sollten spezifischere und möglicherweise persönlichere Fragen gestellt werden.

Klarheit ist entscheidend. Klare Anweisungen, eine gut lesbare Schrift und genügend Leerraum tragen dazu bei, Missverständnisse zu vermeiden. Sie ermutigen die Teilnehmer, präzise Antworten zu geben.

Vor dem endgültigen Einsatz des Fragebogens empfiehlt sich die Erprobung des Fragebogens im Rahmen von *Pilotstudien*. Dadurch können mögliche Probleme in Bezug auf *Verständlichkeit*, *Länge* und *Schwierigkeitsgrad* der Fragen identifiziert werden, bevor der Fragebogen an die Zielgruppe verteilt wird.

Die Beachtung dieser Grundsätze bei der Strukturierung und Gliederung von Fragebögen trägt dazu bei, zuverlässige und aussagekräftige Daten für die Analyse zu gewinnen.

¹⁵Vgl. Scholl, **Die Befragung**, S. 157.

¹⁶Vgl. Scholl, **Die Befragung**, S. 164 ff.

2.3.5 Mögliche Verfälschung des Resultats

Die Zuverlässigkeit von Umfrageergebnissen kann durch verschiedene Arten der Verfälschung beeinträchtigt werden. Zwei häufige Verfälschungsarten sind:

- **Simulation:** Teilnehmer neigen dazu, ihre Antworten absichtlich zu verfälschen, um ein bestimmtes Bild von sich selbst zu vermitteln. Dies kann dazu führen, dass die gegebenen Antworten nicht mit den tatsächlichen Meinungen oder Verhaltensweisen übereinstimmen und somit zu einer Verfälschung der Daten führen.
- **Dissimulation:** Es handelt sich hierbei um die bewusste Verzerrung von Informationen durch Teilnehmer mit dem Ziel, bestimmte Aspekte zu verschleiern oder zu verheimlichen. Diese Verzerrung kann dazu führen, dass die gewonnenen Daten nicht der Realität entsprechen und somit die Verlässlichkeit der Ergebnisse der Erhebung in Frage gestellt wird.¹⁷

Eine Vielzahl von Faktoren kann Verfälschungen auslösen. Gesellschaftliche Normen üben oft Druck auf den Einzelnen aus, sich selbst in einem positiven Licht darzustellen, was zu einem Verhalten führen kann, das eine Simulation darstellt. Auf der anderen Seite kann die Furcht vor sozialen Konsequenzen oder persönlichen Nachteilen dazu führen, dass Individuen Aspekte ihrer selbst zurückhalten oder verbergen.¹⁸

Ein umfassendes Verständnis der Ursachen von Simulation und Dissimulation ist entscheidend für die Entwicklung wirksamer Strategien, mit denen diese Verfälschungen in der Umfrageforschung minimiert werden können.

2.3.6 Auswertung von Fragebögen

Die Hauptintention einer Fragebogenerhebung besteht darin, eine homogene Vergleichbarkeit der individuellen Antworten der Befragten zu gewährleisten. Dies ermöglicht eine fundierte statistische Auswertung. Eine unabdingbare Voraussetzung, um aus den erhobenen Fragebogendaten inhaltlich sinnvolle Aussagen ableiten zu können, ist die Umrechnung der qualitativen Antworten in quantitative Werte. Diese Umrechnung erfolgt insbesondere bei computergestützten Verfahren automatisch.

Offene Fragen erfordern eine inhaltliche Auswertung, die in der Regel in Form einer Häufigkeitsanalyse erfolgt, bei der ähnliche Antworten zu Kategorien zusammengefasst werden. Auf diese Weise ist es möglich, die Anzahl der Befragten zu ermitteln, die eine vergleichbare Aussage getroffen haben.

Die Auswertung geschlossener Fragen ist im Allgemeinen mit geringerem Aufwand verbunden, da die Antwortmöglichkeiten bereits vorgegeben sind und jede einzelne Antwort zu einer dieser vorgegebenen Möglichkeiten passen muss.

Für eine angemessene grafische Darstellung der analysierten Daten sind Kreis-, Balken- und Säulendiagramme besonders geeignet. Während Balken- und Säulendiagramme die absoluten Häufigkeiten der Antworten visualisieren und damit Unterschiede in der Anzahl der Antworten deutlich machen, eignen sich Kreisdiagramme besonders, um relative Häufigkeiten, ausgedrückt in Prozent, darzustellen.

2.3.6.1 Auswertung des erstellten Fragebogens

Um die Ergebnisse detailliert zu präsentieren, wird in diesem Abschnitt ein realer Fragebogen verwendet, der während des *Tags der offenen Tür* eingesetzt wurde. Die Fragen werden

¹⁷Vgl. Bühner, **Einfuehrung in die TEst und Fragebogenkonstruktion**, S. 56.

¹⁸Vgl. Bühner, **Einfuehrung in die TEst und Fragebogenkonstruktion**, S. 59.

zunächst aufgeführt, gefolgt von einer Analyse der Ergebnisse. Für diese Analyse wird das Tool *Excel* verwendet, um die *qualitativen* Antworten in *quantitative* Werte umzurechnen.

Diese Vorgehensweise ermöglicht es, die gesammelten Daten konkret zu veranschaulichen und deren Bedeutung für das Entwicklerteam besser verständlich zu machen.

Während des Tages der offenen Tür im Schuljahr 2023/2024 (25 Personen) und in einer Abschlussklasse (14 Personen) einer Schule mit Matura wurde eine Umfrage durchgeführt, um die Nutzermeinungen zur aktuellen Anwendung zu erfassen. Das Ziel dieser Umfrage bestand darin zu ermitteln, ob die zugrunde liegenden Konzepte verstanden wurden und ob potenzielle Verbesserungsmöglichkeiten vorliegen.

Anschließend wurden sieben Personen (Stichprobe) der Abschlussklasse befragt, um potenzielle Verbesserungsvorschläge zu ermitteln. Das Ziel dieser Umfragen bestand darin, Personen zu befragen, die bereits über grundlegendes IT-Wissen verfügen und dadurch besser beurteilen können, welche Aspekte verbessert werden können.

Der durchgeführte Fragebogen bestand aus fünf geschlossenen Fragen, wobei bei zwei Fragen die Möglichkeit bestand, mehrere Antworten auszuwählen. Die Entscheidung, ausschließlich geschlossene Fragen zu verwenden, wurde getroffen, um das Feedback für das Projektteam leichter interpretierbar zu machen und um die Umsetzung von Verbesserungen im Nachhinein zu erleichtern. Zusätzlich basierte diese Entscheidung darauf, dass das Projektteam am besten einschätzen konnte, welche Bereiche tatsächlich Verbesserungsbedarf aufwiesen und ob diese Verbesserungen umsetzbar waren. Die Fragen samt Antwortmöglichkeiten und die zugehörige Auswertung sind wie folgt:

- **1. Frage:** Wie leicht war es für Sie, dass Prinzip des *Pingens* zwischen zwei PCs in der Applikation zu verstehen?

Antwortmöglichkeiten:

Sehr schwer(5), Schwer(4), Mittel(3), Leicht(2), Sehr leicht(1)

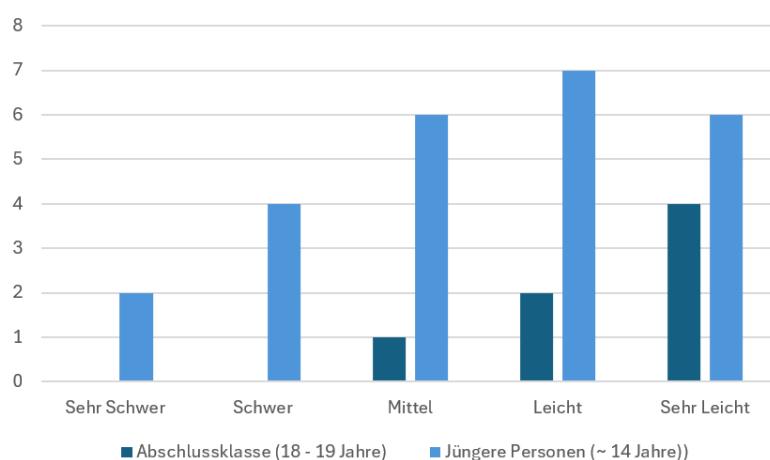


Abbildung 2.2: Auswertung Frage 1

- **2. Frage:** Konnten Sie das Knapsack-Problem in der Applikation problemlos nachvollziehen?

Antwortmöglichkeiten:

Nein nicht wirklich(3), Ja mit einigen Schwierigkeiten(2), Ja problemlos(1)

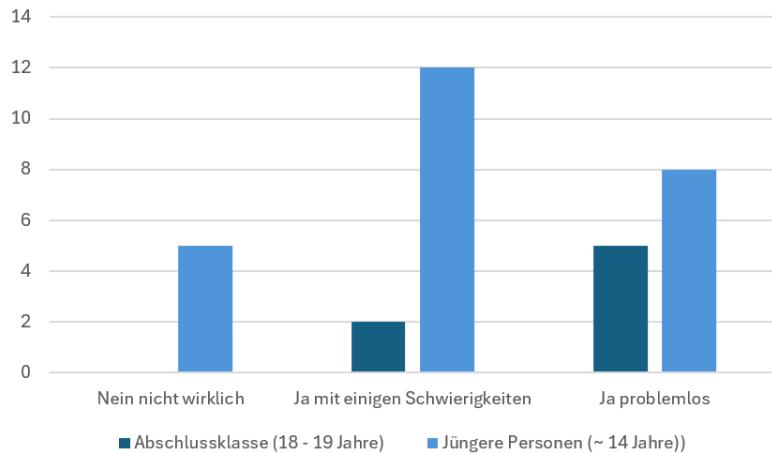


Abbildung 2.3: Auswertung Frage 2

- **3. Frage:** Wie sehr hat die AR-Technologie Ihnen dabei geholfen die Informatik Prinzipien zu verstehen?

Antwortmöglichkeiten:

Sehr wenig(5), Wenig(4), Neutral(3), Gut(2), Sehr gut(1)

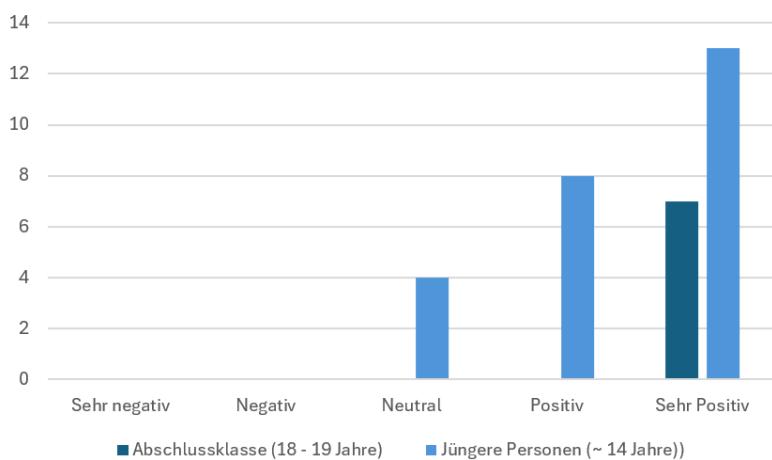


Abbildung 2.4: Auswertung Frage 3

- **4. Frage:** Welche der folgenden Aspekte haben Ihnen am meisten gefallen? (Mehr als eine Auswahl möglich)

Antwortmöglichkeiten:

Lernfördernd, Benutzerfreundlichkeit, Kreativität, Innovativ, Interaktiv

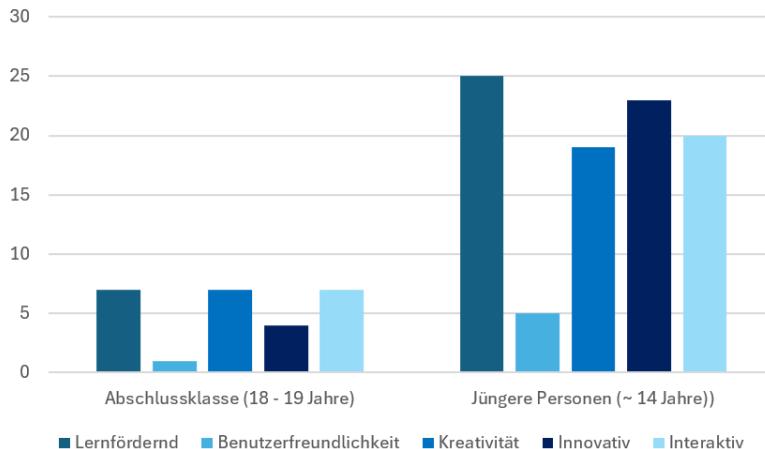


Abbildung 2.5: Auswertung Frage 4

- **5. Frage:** Welche der folgenden Aspekte sind noch verbessерungswürdig? (Mehr als eine Auswahl möglich)

Antwortmöglichkeiten:

Tips / Anweisungen, Leistungsfähigkeit, Inhalt, Stabilität, Übersichtlichkeit

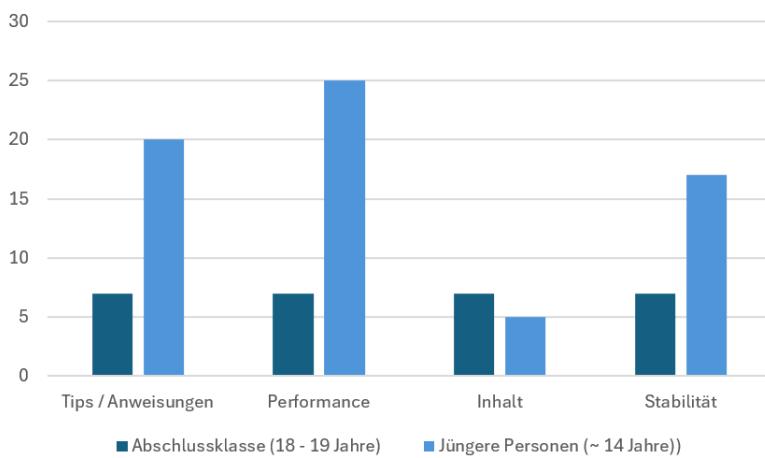


Abbildung 2.6: Auswertung Frage 5

Anhand der Auswertungen des Fragebogens wird deutlich, dass die Antworten der befragten Personen am Tag der offenen Tür und von den Personen der Abschlussklasse stark voneinander abweichen. Dies wird besonders bei den letzten beiden Fragen, die sich auf Aspekte, die dem Benutzer gefallen, und Verbesserungsmöglichkeiten beziehen, deutlich. Hier ist nämlich klar zu erkennen, dass die Personen der Abschlussklasse signifikant mehr Angaben gemacht haben. Dies lässt sich darauf zurückführen, dass sie über deutlich mehr Erfahrung im Bereich der Entwicklung von Applikationen verfügen und generell ein vertieftes Verständnis der Informatik besitzen. Ein erfreuliches Ergebnis ist jedoch, dass ein Großteil sowohl der am Tag der offenen Tür befragten als auch der in der Abschlussklasse befragten Personen die vermittelten Prinzipien der Informatik gut verstanden haben und auch, dass der Einsatz von AR-Technologie dabei geholfen hat diese zu verdeutlichen.

Zu erwähnen ist, dass bei der Auswertung insbesondere bei der vorletzten Frage festgestellt wurde, dass die Applikation als nicht benutzerfreundlich bewertet wurde. Dieses Ergebnis war jedoch erwartet, da zum Zeitpunkt der Befragung das Projekt noch in einem sehr frühen Entwicklungsstadium war und daher einige essenzielle Funktionen und Erweiterungen wie Anweisungen und Tipps, Performance und Inhalt fehlten.

Darüber hinaus hat diese Befragung und Auswertung wichtige Ergebnisse geliefert, die dazu beigetragen haben, viele Aspekte der Applikation maßgeblich zu erweitern und zu verbessern.

Kapitel 3

Produktspezifikationen

Dieses Kapitel behandelt die Planung und Spezifikation des Projekts. Weiteres wird die verwendete Technologieauswahl begründet und mit Alternativlösungen verglichen.

3.1 Anforderungen und Spezifikationen

Hier kommt noch was über Anforderungen und Spezifikationen

3.1.1 Use Cases

Hier kommt noch was über Use Cases

3.2 Design

Hier kommt noch was über das Design

3.2.1 Abläufe

Hier werden die Abläufe der drei Szenarien modelliert und eingefügt

Abbildung 3.1: Ablaufdiagramm des Knapsack-Problem Levels

3.3 Eingesetzte Technologien

3.3.1 Kriterien

Bei der Auswahl der eingesetzten Technologien war es von besonderer Bedeutung, dass diese möglichst zuverlässig und bereits etabliert sind. Die ausgewählten Technologien sollten eine hohe Ausfallsicherheit gewährleisten, einfach zu bedienen sein und vor allem eine performante Nutzung der Applikation sicherstellen.

3.3.2 Game Engine

Um einen reibungslosen Verlauf des Projekts zu gewährleisten, ist die sorgfältige Auswahl der richtigen Game Engine von entscheidender Bedeutung. Die Game Engine fungiert als fundamentale Plattform für die Entwicklung und Erstellung von Videospielen, indem sie eine umfassende Palette von Werkzeugen, Bibliotheken und Funktionen bereitstellt, die

→
SKREPEK

Entwicklern helfen, Spiele zu konzipieren, zu gestalten und zu optimieren. In diesem Abschnitt werden zwei potenzielle Game Engines, die für das Projekt in Betracht gezogen wurden, eingehend untersucht und anschließend die Gründe für die getroffene Auswahl erläutert.

3.3.2.1 Unity

Unity ist eine Game Engine, die von Entwicklern weltweit für die Erstellung von 2D- und 3D-Spielen genutzt wird. Sie unterstützt verschiedene Plattformen wie PC, Konsolen, Mobilgeräte und AR/VR-Geräte. Unity bietet Entwicklern eine umfangreiche Sammlung von Werkzeugen und Ressourcen, um Spiele schnell zu prototypen und zu entwickeln.

Ein herausragendes Merkmal von Unity ist der Asset Store. Hier können Entwickler Assets wie 3D-Modelle, Texturen, Sounds und Plugins kaufen oder verkaufen. Dadurch können sie ihre Projekte mit hochwertigen Inhalten erweitern und verbessern, ohne alles von Grund auf neu erstellen zu müssen. Unity bietet außerdem eine starke Community-Unterstützung mit Foren, Tutorials und Schulungen, was besonders für neue Entwickler hilfreich ist.

Die Programmierung in Unity erfolgt hauptsächlich durch die Verwendung von C# als Skriptsprache. Diese ist sowohl für erfahrene Entwickler als auch für Anfänger zugänglich. Unity ist aufgrund der Kombination von benutzerfreundlichen Werkzeugen, einer großen Community und einer breiten Plattformunterstützung eine beliebte Wahl für Indie-Entwickler sowie für große Studios.

3.3.2.2 Unreal Engine

Die Unreal Engine ist eine leistungsstarke Game Engine, die für ihre hochwertigen Grafiken und fortgeschrittenen Funktionen bekannt ist. Sie wird häufig für die Entwicklung von AAA-Titeln sowie für hochwertige VR-Erfahrungen verwendet. Die Engine bietet branchenführende Grafikfunktionen wie fortschrittliche Beleuchtung, Partikelsysteme, Physiksimulationen und Echtzeit-Rendering.

Eine bemerkenswerte Funktion der Unreal Engine ist das Blueprints-System. Es ermöglicht Entwicklern, Spiele und interaktive Inhalte ohne herkömmlichen Programmiercode zu erstellen. Dadurch wird die Engine besonders zugänglich für Künstler und Designer, die möglicherweise keine tiefen Programmierkenntnisse haben.

Die Unreal Engine bietet eine umfangreiche Sammlung von vorgefertigten Assets und Werkzeugen sowie einen integrierten Marketplace, auf dem Entwickler zusätzliche Inhalte erwerben können. Sie unterstützt eine Vielzahl von Plattformen, darunter PC, Konsolen, Mobilgeräte und VR-Headsets.

Insgesamt ist die Unreal Engine eine leistungsstarke Wahl für Entwickler, die hochwertige Grafiken und fortschrittliche Funktionen in ihren Spielen und Anwendungen benötigen. Sie wird häufig von größeren Studios genutzt, die Zugang zu hochwertigen Tools und Support benötigen.

3.3.2.3 Game Engine Auswahl und Wechsel im Projektverlauf

Bei Projektbeginn wurde nach umfassender Recherche und Evaluierung verschiedener Optionen entschieden, die Unreal Engine als primäre Entwicklungsumgebung für dieses Projekt zu verwenden. Diese Entscheidung wurde aufgrund mehrerer überzeugender Faktoren getroffen, darunter insbesondere das beliebte Blueprint-Scripting-System, das die Entwicklung von interaktiven Inhalten erleichtert und auch für Personen ohne umfangreiche

Programmierkenntnisse zugänglich macht. Zusätzlich zu diesem herausragenden Merkmal wurden weitere Aspekte berücksichtigt, die die Unreal Engine zu einer attraktiven Wahl machten, wie beispielsweise ihre leistungsstarken Grafikfunktionen, die branchenweit anerkannt sind, sowie ihre Unterstützung für die Entwicklung hochwertiger VR-Erfahrungen und AAA-Titel.

Herausforderungen im ersten Monat des Entwicklungsprozesses

Trotz der zu Beginn getroffenen Entscheidung für die Unreal Engine traten im Verlauf des ersten Monats des Entwicklungsprozesses bestimmte Herausforderungen auf. Diese Herausforderungen können als unerwartete Schwierigkeiten betrachtet werden, die während der Umsetzung des Projekts auftraten und möglicherweise die ursprüngliche Entscheidung beeinflussen könnten. Im Einzelnen wurden folgende Herausforderungen identifiziert:

1. **Mangelhafte Dokumentation für AR-Entwicklung in der Unreal Engine:** Die unzureichende Dokumentation für die Entwicklung von Augmented Reality (AR)-Anwendungen in der Unreal Engine erwies sich als erhebliche Hürde. Fehlende detaillierte Anleitungen und Referenzen für AR-spezifische Funktionen behinderten die effiziente Integration von AR-Elementen.
2. **Begrenzte Verfügbarkeit von AR-spezifischen Online-Tutorials:** Ein Mangel an Online-Tutorials, die sich speziell mit der Entwicklung von AR-Anwendungen in der Unreal Engine befassten, führte zu einer beträchtlichen Lernkurve für das Entwicklerteam und verzögerte den Implementierungsprozess von AR-spezifischen Features.
3. **Komplexität der AR-Entwicklung in der Unreal Engine:** Die Unreal Engine erwies sich als anspruchsvoller in Bezug auf die Umsetzung von AR-spezifischen Funktionen. Die Notwendigkeit, komplexe Skripte zu erstellen und vielfältige Einstellungen anzupassen, führte zu einem erhöhten Zeitaufwand für die Umsetzung von AR-Elementen.
4. **Mangelhafte Integration von AR-spezifischen Werkzeugen:** Schwächen in der Integration von AR-spezifischen Entwicklungswerkzeugen in der Unreal Engine erschwerten eine nahtlose Interaktion mit AR-Plattformen und die optimale Nutzung ihrer Funktionen.
5. **Eingeschränkte Community-Unterstützung für AR-Entwicklung:** Im Vergleich zu Unity war die Community-Unterstützung für die AR-Entwicklung in der Unreal Engine begrenzt. Die Verfügbarkeit von Ratschlägen und Lösungen für spezifische AR-Herausforderungen war eingeschränkt, was die Eigenständigkeit bei der Lösung von Problemen beeinträchtigte.

Diese Herausforderungen bildeten die Grundlage für die strategische Entscheidung des Projektteams, von der Unreal Engine zu Unity zu wechseln. Der Wechsel ermöglichte eine effizientere und zielführende Entwicklung der AR-Applikation, gestützt durch Unity's umfassende Unterstützung, detaillierte Dokumentation und breite Community-Ressourcen.

3.3.3 Unity foundation packages

Um Augmented Reality (AR)-Applikationen in Unity erfolgreich zu entwickeln, sind bestimmte *Foundation Packages* erforderlich. Diese Pakete müssen in Unity importiert werden, um grundlegende Funktionalitäten bereitzustellen, die für die erfolgreiche Umsetzung einer AR-Applikation notwendig sind. Im Folgenden werden die beiden wesentlichen Pakete näher erläutert, die für die Funktionalität einer solchen Applikation unerlässlich sind.

→
SKREPEK

3.3.3.1 MRTK3

Das Mixed Reality Toolkit 3 (MRTK3) ist ein leistungsstarkes Open-Source-Entwicklungstoolkit, das von Microsoft entwickelt und gepflegt wird. Es ist speziell darauf ausgerichtet, die Entwicklung von Mixed-Reality-Anwendungen zu erleichtern, indem es eine umfassende Sammlung von Komponenten, Skripten und Assets bereitstellt. MRTK3 bietet Entwicklern eine Vielzahl von Funktionen und Werkzeugen, die speziell für die Erstellung von Anwendungen für Augmented Reality (AR), Virtual Reality (VR) und Mixed Reality (MR) optimiert sind.

Das Toolkit umfasst eine breite Palette von Funktionen, darunter Interaktionselemente wie Hand- und Gestenerfassung, räumliches Mapping, Physiksimulationen für Objekte in der realen Welt, Benutzerschnittstellen-Design-Werkzeuge und vieles mehr. MRTK3 ist plattformübergreifend und unterstützt verschiedene AR-/VR-Headsets sowie andere Mixed-Reality-Geräte.

Die Bedeutung von MRTK3 für die Entwicklung von AR-Applikationen liegt in seiner Fähigkeit, Entwicklern eine solide Grundlage und eine Vielzahl von vordefinierten Komponenten und Tools zu bieten, die den Entwicklungsprozess beschleunigen und vereinfachen. Durch die Verwendung von MRTK3 können Entwickler komplexe AR-Anwendungen schneller prototypisieren und implementieren, da sie auf eine umfangreiche Bibliothek von Funktionen zugreifen können, die speziell für AR-Szenarien optimiert sind. Dies erhöht die Effizienz der Entwicklung und ermöglicht es den Entwicklern, sich auf die Gestaltung und Umsetzung innovativer AR-Erfahrungen zu konzentrieren, ohne sich um die Grundlagen der AR-Entwicklung kümmern zu müssen.¹

3.3.3.2 Microsoft OpenXR Plugin

Das Microsoft OpenXR Plugin stellt eine bedeutende Komponente im Kontext der Entwicklung von Augmented Reality (AR)-Applikationen innerhalb der Unity-Entwicklungsumgebung dar. Entwickelt und bereitgestellt von Microsoft, ermöglicht dieses Plugin die nahtlose Integration des OpenXR-Standards in Unity. OpenXR, initiiert durch die Khronos Group, fungiert als branchenweiter Standard zur Vereinheitlichung der XR-Anwendungsentwicklung, wobei XR für Extended Reality steht und sowohl Augmented Reality (AR), Virtual Reality (VR) als auch Mixed Reality (MR) umfasst.

Das Microsoft OpenXR Plugin erleichtert Entwicklern die Arbeit innerhalb von Unity, indem es eine reibungslose Integration des OpenXR-Standards ermöglicht. Hierdurch erhalten Entwickler Zugang zu einer breiten Palette von Funktionen und Möglichkeiten, die durch den OpenXR-Standard standardisiert sind, inklusive plattformübergreifender Kompatibilität sowie optimierter Leistung für XR-Anwendungen.

Die Relevanz des Microsoft OpenXR Plugins für die AR-Entwicklung liegt in seiner Fähigkeit, eine konsistente Entwicklungsumgebung für XR-Anwendungen innerhalb von Unity zu schaffen. Durch die Nutzung dieses Plugins können AR-Entwickler die Vorteile des OpenXR-Standards voll ausschöpfen, einschließlich verbesserte Kompatibilität, Leistung und Zukunftssicherheit ihrer Anwendungen.

Zusätzlich erlaubt das Plugin den Entwicklern den Zugriff auf spezifische Funktionen und Optimierungen, die von Microsoft speziell für die AR-Entwicklung entwickelt wurden. Dies beinhaltet beispielsweise Features zur Verbesserung der AR-Umgebungserkennung, Handhabung von Eingaben sowie Optimierung der Grafikleistung für AR-Anwendungen.²

¹Microsoft Dokumentation **Mixed Reality Toolkit 3**

²Khronos Group **OpenXR Plugin**

3.3.3.3 Integrationsprozess der Plugins

Zur Integration der genannten Plugins, nämlich des *Mixed Reality Toolkit 3* und des *OpenXR Plugin*, in den Unity Editor wird das externe Tool namens *Mixed Reality Feature Tool* von Microsoft verwendet. Dieses Tool fungiert als umfassende Sammlung von Plugins und Erweiterungen im Bereich der Augmented und Virtual Reality Entwicklung für Unity. Neben den erwähnten Plugins umfasst es weitere wichtige Erweiterungen, darunter:

- Azure Mixed Reality Services
- Experimental
- Mixed Reality Toolkit
- MRTK3 (Mixed Reality Toolkit 3)
- Plattform Support
- Spatial Audio
- World Locking Tools
- Weitere Funktionen (Other features)

Um die Integration durchzuführen, müssen innerhalb des *Plattform Support* Bereichs des *Mixed Reality Feature Tools* sowohl das *Mixed Reality OpenXR Plugin* als auch das gesamte MRTK3-Paket ausgewählt werden. Nach der Auswahl dieser Pakete ist es erforderlich, sie zu validieren und anschließend in das Unity-Projekt zu importieren.

Dieser Prozess gewährleistet eine erfolgreiche Integration der benötigten Plugins und Erweiterungen, die für die Entwicklung von Augmented Reality-Anwendungen in Unity von entscheidender Bedeutung sind.

3.3.4 Modellierungsprogramm

Die Erstellung der 3D-Modelle für die beiden Level erfordert ein Rendering-Programm. Die Entscheidung für das Rendering-Programm Blender wurde bereits zu Beginn des Projekts getroffen.

→ LAM-
PEL

Diese Wahl basiert auf folgenden Gründen:

- **Kostenfrei und Open Source**

Blender ist kostenfrei und quelloffen, was bedeutet, dass es ohne Lizenzkosten genutzt werden kann. Dies ist besonders attraktiv bei der Entwicklung von AR-Anwendungen mit begrenztem Budget.

- **Echtzeit-Rendering**

Blender verfügt über einen Echtzeit-Renderer namens Eevee, der schnelle Vorschauen und Renderings ermöglicht. Dies ist hilfreich, um AR-Inhalte in Echtzeit anzuzeigen und zu überprüfen.

- **Integration mit AR-Frameworks**

Obwohl Blender keine direkte Unterstützung für AR-Funktionen bietet, können die erstellten 3D-Modelle und Animationen in AR-Entwicklungsumgebungen wie Unity oder Unreal Engine importiert werden, um dort AR-spezifische Funktionalitäten hinzuzufügen.

3.3.4.1 Wie funktioniert Blender im Allgemeinen?

Die nachfolgende Beschreibung hebt die Schlüsselaspekte und die Funktionalität von Blender für unseren speziellen Anwendungsbereich hervor.

- **Benutzeroberfläche und Interaktion**

Die Benutzeroberfläche von Blender ist komplex gestaltet, aber hoch anpassbar. Sie enthält 3D-Modelle, Ansichten, Fenster und Panels. Benutzer interagieren mit Objekten und Werkzeugen über Maus- und Tastaturbefehle, wobei erfahrene Nutzer Hotkeys oder Shortcuts verwenden können, um effizienter zu arbeiten.

- **3D-Modellierung**

Blender ermöglicht die Erstellung von 3D-Modellen durch die Verwendung von Primitiven wie Würfeln, Kugeln, Flächen und Kurven. Diese können dann bearbeitet und modifiziert werden, um komplexe Formen zu erstellen. Modellierungswerkzeuge umfassen Extrusion, Verschiebung, Skalierung und Rotation.

- **Materialien und Texturen**

Zur Erzeugung realistischer Oberflächen können Materialien erstellt und Texturen auf Objekte angewendet werden. Blender erlaubt die Feinanpassung von Materialeigenschaften wie Diffusreflexion, Glanz, Transparenz und Emission.

- **Gemeinschaft und Ressourcen**

Blender verfügt über eine engagierte Benutzergemeinschaft, die umfassende Dokumentation, Tutorials und Foren bereitstellt. Diese Ressourcen erleichtern die Einarbeitung und die Lösung von Problemen.

Blender wird in beiden Anwendungsszenarien dieses Projekts genutzt. Die Hauptnutzung liegt im zweiten Szenario. Hier dient die Anwendung zur digitalen Modellierung wichtiger täglicher Gegenstände von Schülern. Das übergeordnete Ziel besteht darin, am Ende eine umfangreiche Sammlung von Objekten zu erstellen, um den Benutzern eine vielfältige Auswahl an digitalen Ressourcen zu bieten.

Kapitel 4

Feinkonzept und Realisierung

4.1 Entwicklungsumgebungen

4.1.1 Visual Studio 2022

Visual Studio 2022 ist eine integrierte Entwicklungsumgebung (IDE) von Microsoft, die speziell für die Entwicklung von Softwareanwendungen, Webanwendungen und Desktop-Anwendungen konzipiert ist. Es handelt sich um eine umfangreiche Entwicklungsumgebung, die von Entwicklern weltweit für eine breite Palette von Anwendungsfällen eingesetzt wird.

4.1.2 Unity

Der Unity-Editor, entwickelt von Unity Technologies, fungiert als umfassende integrierte Entwicklungsumgebung (IDE) und zentrale Arbeitsumgebung für die Konzeption und Umsetzung von 2D-, 3D-, Augmented Reality (AR) und Virtual Reality (VR) Anwendungen und Spielen. Als Kernelement der Unity-Plattform spielt der Editor eine entscheidende Rolle in der Entwicklung von Projekten, die auf Unity-Technologien basieren.

Die Funktionalität des Unity-Editors erstreckt sich über verschiedene Aspekte der Softwareentwicklung, angefangen bei der visuellen Gestaltung von Szenen und Spielwelten bis hin zur Implementierung komplexer Logik und Interaktionen. Die folgenden Abschnitte vertiefen die Schlüsselmerkmale und Funktionen des Unity-Editors, die ihn zu einem essenziellen Werkzeug für Entwickler machen.

4.1.2.1 Multidisziplinäre Unterstützung und Integration

Der Unity-Editor zeichnet sich durch seine multidisziplinäre Unterstützung aus, die Entwicklern ermöglicht, kollaborativ an Projekten zu arbeiten. Künstler, Entwickler und Designer können innerhalb derselben Umgebung zusammenarbeiten, wodurch ein nahtloser Austausch von Assets, Szenen und Ressourcen ermöglicht wird. Die Integration von Grafik-, Physik- und Audio-Engines erleichtert die Schaffung immersiver und ansprechender digitaler Umgebungen.

4.1.2.2 Szenengestaltung und Asset-Management

Ein zentrales Merkmal des Unity-Editors ist die intuitive Szenengestaltung, die es Entwicklern ermöglicht, 2D- und 3D-Szenen durch Drag-and-Drop-Operationen zu erstellen und anzupassen. Das Asset-Management ermöglicht eine effiziente Organisation von Ressourcen

wie Modelle, Texturen und Audio-Dateien. Hierbei kommt dem Editor eine Schlüsselrolle in der Strukturierung und Verwaltung umfangreicher Projekte zu.

4.1.2.3 Programmierung und Skripterstellung

Der Unity-Editor integriert leistungsstarke Programmierfunktionen, die Entwicklern erlauben, Skripte im C-Sharp oder JavaScript zu verfassen. Die Implementierung von Logik, Interaktionen und Funktionalitäten erfolgt durch die Integration von Skripten in Game-Objects und Szenen. Die Echtzeitansicht von Codeänderungen unterstützt einen iterativen Entwicklungsprozess.

4.1.2.4 Unterstützung für Augmented Reality (AR) und Virtual Reality (VR)

Der Unity-Editor ist essenziell für die Entwicklung von AR- und VR-Anwendungen. Durch die Integration von AR Foundation und XR Interaction Toolkit bietet der Editor leistungsstarke Werkzeuge zur Erstellung immersiver Erlebnisse. Die Möglichkeit, Szenen in Echtzeit in AR- und VR-Geräten zu überprüfen, unterstützt Entwickler bei der Feinabstimmung und Optimierung ihrer Projekte.

4.1.2.5 Erweiterte Debugging- und Profiling-Werkzeuge

Der Unity-Editor stellt umfassende Debugging- und Profiling-Werkzeuge zur Verfügung, um die Leistung und Funktionalität von Anwendungen zu optimieren. Durch Echtzeit-Inspektion, Fehlerverfolgung und Ressourcenüberwachung unterstützt der Editor Entwickler bei der Identifizierung und Behebung von Problemen, um eine reibungslose Ausführung der Anwendungen sicherzustellen.

4.1.2.6 Aufbau einer Unity-Applikation

Die Struktur einer Unity-Applikation ist entscheidend für eine effektive Entwicklung und Organisation von 3D-Anwendungen und Spielen. Eine typische Unity-Anwendung besteht aus verschiedenen Schlüsselementen, darunter Szenen, GameObjects, Komponenten, Skripte und Assets. Diese werden koordiniert durch die Hauptkomponente der Anwendung, die sogenannte "GameManager" oder "MainScene". In diesem Abschnitt werden die grundlegenden Bausteine einer Unity-Anwendung sowie bewährte Praktiken für die Strukturierung und Verwaltung dieser Elemente beleuchtet.

4.1.2.7 Lebenszyklusmethoden in Unity

Die Entwicklung von Augmented Reality (AR)-Applikationen in Unity erfordert ein tiefgreifendes Verständnis der Lebenszyklusmethoden, die in MonoBehaviour-Klassen implementiert werden können. Diese Methoden regeln den Fluss der Programmlogik und ermöglichen Entwicklern, spezifische Aktionen zu bestimmten Zeitpunkten im Lebenszyklus einer Anwendung auszuführen.

- **Awake():** Die `Awake()`-Methode wird aufgerufen, wenn das Skript erstellt wird. Dies geschieht vor anderen Initialisierungsmethoden wie `Start()`. Sie eignet sich für die Durchführung von Initialisierungen, bei denen auf andere Skriptkomponenten oder Ressourcen zugegriffen werden soll. Der Hauptzweck besteht darin, die Ressourcen für das Skript vorzubereiten.
- **Start():** Die `Start()`-Methode wird vor dem ersten Frame aufgerufen und bietet die Möglichkeit, Initialisierungsaufgaben durchzuführen. Im Gegensatz zu `Awake()`

garantiert `Start()` die vollständige Initialisierung aller GameObjects in der Szene. Entwickler nutzen diese Methode oft für Konfigurationen und Vorbereitungen, die spezifisch für die Startphase der Anwendung sind.

- **Update():** Die `Update()`-Methode ist von entscheidender Bedeutung, da sie in jedem Frame aufgerufen wird. Hier kann kontinuierliche Logik ausgeführt werden, wie etwa die Aktualisierung von Animationen, die Verarbeitung von Benutzereingaben oder die Anpassung von Positionen basierend auf der Zeit. Es ist wichtig zu beachten, dass `Update()` häufig aufgerufen wird und daher effizient implementiert werden sollte.
- **LateUpdate():** Ähnlich wie `Update()`, wird aber nachdem alle `Update()`-Methoden aufgerufen wurden. Dies ist besonders nützlich, wenn Anpassungen oder Berechnungen vorgenommen werden müssen, nachdem andere GameObjects und Skripte bereits ihre `Update()`-Logik abgeschlossen haben. Beispielsweise eignet sich `LateUpdate()` gut für Kamera-Anpassungen, bei denen die Position anderer GameObjects bereits aktualisiert wurde.
- **OnEnable() und OnDisable():** Die `OnEnable()`-Methode wird aufgerufen, wenn ein Skript aktiviert wird, während `OnDisable()` aufgerufen wird, wenn es deaktiviert wird. Diese Methoden bieten die Möglichkeit, spezifische Aktionen auszuführen, wenn ein Skript seine Ausführung aufnimmt oder beendet. Entwickler können diese nutzen, um Ressourcen zu laden oder freizugeben, Abonnements auf Ereignisse einzurichten oder abzubrechen, oder um andere vorbereitende oder aufräumende Maßnahmen durchzuführen.

4.1.2.8 Unity Szenen

Unity-Szenen bilden das grundlegende Gerüst für die Gestaltung von Inhalten in der Unity-Entwicklungsumgebung. Sie stellen Assets dar, die alle oder einen Teil eines Spiels oder einer Anwendung enthalten. Szenen bieten eine strukturierte Möglichkeit, verschiedene Elemente wie *Umgebungen*, *Charaktere*, *Hindernisse*, *Dekorationen* und *Benutzeroberflächen* zu organisieren und miteinander zu verknüpfen.

Ein wichtiger Aspekt von Unity-Szenen ist ihre Flexibilität. In einem Projekt können beliebig viele Szenen erstellt werden, um die Organisation und Entwicklung des Spiels zu erleichtern. Durch das modulare Konzept von Szenen können Entwickler einzelne Teile des Spiels separat bearbeiten und optimieren, was die Zusammenarbeit im Team und die Wartung des Projekts vereinfacht.

Unity-Szenen dienen nicht nur der Darstellung von Inhalten, sondern auch der Steuerung des Spielablaufs. Durch die gezielte Aktivierung und Deaktivierung von Szenen können verschiedene Abschnitte des Spiels geladen und entladen werden, was die Leistung und Ressourcennutzung optimiert.

Insgesamt bieten Unity-Szenen eine leistungsstarke und flexible Möglichkeit, Spiele und Anwendungen zu strukturieren, zu organisieren und zu verwalten. Sie bilden das Grundgerüst für die Entwicklung von Inhalten in Unity und ermöglichen es Entwicklern, ihre Visionen zu verwirklichen und ansprechende Spielerlebnisse zu schaffen.¹

4.1.2.9 Unity Manager

Die präzise und immersive Umsetzung von Augmented-Reality-(AR-)Applikationen erfordert den Einsatz spezialisierter Manager, die grundlegende Funktionen bereitstellen, die für die erfolgreiche Umsetzung verschiedener Szenarien unerlässlich sind. In dieser Appli-

¹Unity Dokumentation **Scenes**

kation werden zwei Manager aus der breiten Palette von Unity bereitgestellten Managern verwendet. Diese sind die folgenden:

- **ARPlaneManager²:** Der ARPlaneManager ist ein bedeutender Bestandteil von Unity's Augmented Reality (AR)-Entwicklungsumgebung. Als Teil des Unity-eigenen *Mixed Reality Toolkit*³ bietet der ARPlaneManager essenzielle Funktionen zur nahtlosen Integration von AR-Elementen in die reale Umgebung. Seine Hauptaufgaben umfassen die automatische Erkennung von *horizontalen* und *vertikalen* Flächen in der Umgebung des Benutzers, was die *präzise Platzierung* virtueller Objekte auf diesen Flächen ermöglicht. Diese Flächen können verschiedene Strukturen wie *Böden*, *Tische* oder andere *flache Oberflächen* umfassen. Nach der Erkennung *überwacht* der ARPlaneManager *kontinuierlich* die Bewegungen der Flächen in Echtzeit, was essenziell ist, um die *Stabilität* virtueller Inhalte auf den realen Flächen zu gewährleisten. Erkannte Flächen können durch *Texturmarkierungen* visuell hervorgehoben werden, um dem Benutzer die Grenzen dieser Flächen deutlicher zu zeigen und die Integration von virtuellen Objekten zu verbessern. Zudem erleichtert der ARPlaneManager das Platzieren virtueller 3D-Objekte in der realen Welt, indem er eine Referenz für die Position und Ausrichtung der erkannten Flächen bereitstellt.
- **ARRaycastManager³:** Der ARRaycastManager in Unity ist eine wichtige Komponente für die Entwicklung von Augmented Reality (AR)-Anwendungen. Er ermöglicht es, *Raycasts* von einem *festgelegten Ursprungspunkt* aus durchzuführen, um *Kollisionen* oder *Treffer* mit Objekten in der AR-Umgebung zu erkennen. Diese Funktionalität ist entscheidend für die genaue Platzierung virtueller 3D-Objekte in der realen Welt, basierend auf den Interaktionen des Benutzers. Der ARRaycastManager bietet somit eine grundlegende Funktionalität zur nahtlosen Integration von virtuellen Elementen in die physische Umgebung.

Die erfolgreiche Umsetzung der funktionalen Anforderungen in den spezifischen Augmented-Reality-(AR)-Anwendungsszenarien des *Knapsack Problems* sowie des *Pings* hängt maßgeblich von der Integration und Anwendung der zwei genannten Manager, für die Schaffung einer qualitativ *hochwertigen*, *präzisen* und *immersiven* Benutzererfahrung.

Im Kontext des *Knapsack Problem* Anwendungsszenarios spielt der ARPlaneManager eine zentrale Rolle. Durch die Markierung von horizontalen Flächen in der Benutzerumgebung garantiert dieser eine präzise Platzierung des virtuellen Inventar-Objekts und gewährleistet dadurch eine stabile Integration in die reale Umgebung.

Im Kontext des Anwendungsszenarios des *Ping* spielen beide Manager eine wichtige Rolle. Der ARPlaneManager erkennt die ARPlanes in der Umgebung und der ARRaycast-Manager erkennt anhand eines Rays, auf welchem ARPlane das reale Kabel, über das das Ping-Paket visualisiert wird, liegt.

Insgesamt sind diese Manager wichtige Ressourcen, da sie die technische Umsetzbarkeit und Effektivität von AR-Anwendungen maßgeblich beeinflussen. Durch ihre integrierte Anwendung wird eine nahtlose Verschmelzung von virtuellen und physischen Elementen realisiert, was eine immersive und präzise AR-Benutzererfahrung sowohl in dem Knapsack-Problem als auch auf dem Ping Anwendungsszenarios gewährleistet.

4.1.2.10 Unity GameObjects und Komponente

Die Konzeption und Verwaltung von GameObjects stellt einen essenziellen Bestandteil der Entwicklungsumgebung von Unity dar. Ein *GameObject* repräsentiert in dieser Umgebung

²Unity Dokumentation **PlaneManager**

³Unity Dokumentation **RaycastManager**

jede *Entität* innerhalb eines *digitalen Szenarios*, sei es ein *Charakter*, eine *Umgebungskomponente* oder ein *Effekt*. Diese grundlegenden Objekte agieren als *Behälter für Komponenten*, welche die *Funktionalität* und das *Verhalten* definieren.

Im Kontext von Unity bilden GameObjects die grundlegenden Bausteine einer Szene. Sie sind abstrakte Entitäten, die allein nicht aktiv handeln können, sondern erst durch das *Hinzufügen* von *Komponenten* zu funktionalen Einheiten werden. Die Zuweisung von *Eigenschaften* und *Verhalten* erfolgt durch das Anbringen spezifischer Komponenten an ein GameObject. Beispielsweise kann einem GameObject, das das Konzept einer Lichtquelle repräsentiert, eine *Lichtkomponente* zugewiesen werden.

Komponenten in Unity dienen dazu, die Eigenschaften und das Verhalten von GameObjects zu definieren. Sie können beispielsweise einer Lichtquelle die Fähigkeit verleihen, Licht zu emittieren, oder einem Charakter die Möglichkeit geben, sich zu bewegen und mit seiner Umgebung zu interagieren. Die Flexibilität von Unity zeigt sich in der Vielfalt der verfügbaren Komponenten, die sowohl vordefiniert als auch maßgeschneidert sein können. Entwickler können mithilfe der Unity Scripting API eigene Komponenten erstellen, um spezifische Verhaltensweisen zu implementieren und die Funktionalität ihrer GameObjects zu erweitern.

Insgesamt bilden GameObjects und deren Komponenten das Rückgrat der Entwicklung von Spielen und interaktiven Anwendungen in Unity. Ihr Verständnis und ihre effektive Verwaltung sind entscheidend für die erfolgreiche Umsetzung digitaler Szenarien und tragen maßgeblich zur Entwicklung innovativer und ansprechender Spielerlebnisse bei.⁴.

4.1.2.11 Unity Canvas

Ein Canvas stellt die Zone dar, in der alle Benutzeroberflächen (kurz UI) enthalten sind.)*Schoditsch*
Die Hierarchie eines UI besteht somit aus GameObject > UI > Image. Das Canvas wird als Rechteck dargestellt, was es erleichtert, die genaue Position des Objekts zu bestimmen. Ein Canvas verfügt auch über verschiedene Rendermodi:

- **Screen Space-Overlay:** Dieser Modus ermöglicht es UI-Elementen, über der Szene auf dem Bildschirm gerendert zu werden. Das bedeutet, dass das UI-Element unabhängig von dem, was in der Szene passiert, über der Szene gerendert wird.
- **Screen Space-Camera:** Dieser Modus funktioniert ähnlich wie *Screen Space-Overlay*, mit dem Unterschied, dass das UI-Element vor der zugewiesenen Kamera platziert wird.
- **World Space:** Dieser Rendermodus wird in diesem Projekt am häufigsten verwendet. In diesem Modus kann der Canvas im Gegensatz zu den anderen Modi verschoben werden, genau wie alle anderen Objekte in der Szene.⁵

4.1.2.12 Unity Job System

Das Job System von Unity bietet eine effiziente Möglichkeit zur Implementierung von Multithreading in Anwendungen, wodurch die Anwendung in der Lage ist, alle verfügbaren CPU-Kerne optimal zu nutzen. Im Gegensatz zu einem sequentiellen Durchlauf des)*Schoditsch*

⁴Unity Dokumentation **GameObjects**

⁵Unity **Canvas**

Codes durch einen einzigen Thread, dem sogenannten Hauptthread, ermöglicht das Job System die parallele Verarbeitung von Codeabschnitten durch separate Arbeits-Threads. Durch die Nutzung mehrerer Arbeits-Threads können Aufgaben effizienter verteilt und gleichzeitig bearbeitet werden. Dies trägt wesentlich zur Verbesserung der Effizienz und der Gesamtdauer der Ausführung des Programms bei. Eine wichtige Eigenschaft des Job Systems besteht darin, sicherzustellen, dass nur so viele Threads verwendet werden, wie von den verfügbaren CPU-Kernen unterstützt werden.

Work stealing

Ein weiteres wichtiges Konzept, das im Job System implementiert ist, ist das sogenannte "Work Stealing". Dabei handelt es sich um eine Planungsstrategie für Threads, bei der ein Thread, der seine aktuellen Aufgaben abgeschlossen hat, zusätzliche Aufgaben von anderen Arbeits-Threads übernimmt und sie in seine eigene Warteschlange einfügt. Dies ermöglicht eine dynamische und effiziente Verteilung von Aufgaben zwischen den Threads und trägt dazu bei, die Last gleichmäßig auf alle verfügbaren Ressourcen zu verteilen.

Sicherheits System

Um das Schreiben von Multithread-Code zu erleichtern, verfügt das Job-System über ein Sicherheitssystem, das sicherstellt, dass potenzielle Wettkampfbedingungen (Rennen um den Zugriff auf Ressourcen) vermieden werden und somit Fehler vermieden werden können. Um sicherzustellen, dass keine Wettkampfbedingungen auftreten können, erhält jeder Thread eine isolierte Kopie der Daten, die er verarbeiten kann.⁶

4.1.2.13 Photocapture Klasse

Die *PhotoCapture* Klasse benutzt die *PhotoCapture* API, um ein Foto mit der Kamera des Gerätes zu machen. Damit dies möglich ist, muss man Unity die Erlaubnis für die *Webcam* und das *Microphone* geben. Dies kann unter *Edit* ⇒ *Project Settings* ⇒ *Player* ⇒ *Settings for Universal Windows Platform* Rightarrow *Publishing Settings* ⇒ *Capabilities* gemacht werden.

(→
Schoditsch)

Die wichtigsten Funktionen von *PhotoCapture* sind:

1. **PhotoCapture.CreateAsync()**: Erstellt Asynchron eine Instanz eines PhotoCapture Objekts welches benutzt werden kann um ein Photo zu schießen.
2. **PhotoCapture.StartPhotoModeAsync(CameraParameter)**: Dafür werden die Parameter der Kamera benötigt,
3. die zur *CameraParameter*-Klasse instanziert werden.
4. **PhotoCapture.TakePhotoAsync()**: Macht das Foto
5. **PhotoCaptureFrame.UploadImageDataToTexture**: Kopiert das unverarbeitete Foto in die globale variable
6. targetTexture. targetTexture ist ein Texture2D Klasse welches für texturen in C# Programme benutzt wird.
7. **PhotoCaptureObject.StopPhotoModeAsync()**: Beendet die instanz des Photocapture und ruft dannach die
8. funktion in der Klammer auf.

4.1.2.14 Unity Prefabs

Unity bietet eine äußerst praktische Funktion zur Erstellung und Wiederverwendung von Game-Objekten, Prefabs. Prefabs sind vorgefertigte Bausteine, die als Vorlagen dienen.

⁶Unity Job System

Sie ermöglichen es, einmal erstellte Objekte als standardisierte Vorlagen zu speichern und dann beliebig oft in verschiedenen Szenen oder Projekten zu verwenden.

Diese Vorlagen bieten eine Reihe von Vorteilen. Einerseits ermöglichen Prefabs eine effiziente und konsistente Gestaltung von Spielen, indem sie die Wiederverwendung von Designelementen erleichtern. Stellen Sie sich vor, Sie haben eine komplexe Szene mit verschiedenen Objekten erstellt, darunter Charaktere, Umgebungen und Effekte. Anstatt jedes Mal von Grund auf neu zu beginnen, können Sie diese Elemente als Prefabs speichern und sie dann einfach in neuen Szenen wiederverwenden. Durch die Verwendung von Prefabs können Sie nicht nur Zeit sparen, sondern auch sicherstellen, dass Ihr Spiel eine konsistente Designästhetik aufweist.

Außerdem ermöglichen Prefabs eine einfache Aktualisierung und Iteration von Game-Objekten. Wenn Sie beispielsweise Änderungen an einem bestimmten Objekt vornehmen müssen, können Sie einfach das entsprechende Prefab bearbeiten. Diese Änderungen werden automatisch auf alle Instanzen dieses Prefabs angewendet, die in Ihrer Szene verwendet werden. Prefabs sind ein unverzichtbares Werkzeug für die effektive Spieleentwicklung in Unity, da

sie den Prozess der Aktualisierung und Feinabstimmung von Spielen wesentlich effizienter machen. Durch ihre Verwendung können Entwickler Zeit sparen, die Konsistenz ihres Spiels gewährleisten und den Prozess der Aktualisierung und Iteration von Game-Objekten optimieren.

4.1.3 Deployment der Anwendung

Die Entwicklung unserer Anwendung findet auf unseren Laptops statt. Allerdings ist es auf diesen Geräten nur begrenzt möglich, die AR-Funktionalitäten zu testen. Um die Anwendung vollständig auf einem AR-fähigen Gerät zu überprüfen, muss sie auf dieses Gerät geladen werden. In diesem Abschnitt wird der genaue Prozess beschrieben, wann und wie die Anwendung auf ein AR-fähiges Gerät deployt wird.

→
HAYLAZ

4.1.3.1 Voraussetzungen für das Deployment

Damit die Bereitstellung der Anwendung auf einem AR-fähigen Gerät erfolgreich ist, müssen bestimmte Voraussetzungen erfüllt sein:

- **Kompiliertes Unity-Projekt:** Im Rahmen des Build-Prozesses werden alle erforderlichen Dateien und Ressourcen der Anwendung zu einem ausführbaren Unity-Paket kompiliert.
- **Netzwerkverbindung:** Es ist erforderlich, dass sowohl das AR-fähige Gerät als auch der Computer, auf dem der Build durchgeführt wurde, sich im selben Netzwerk befinden. Nur so kann das Unity-Paket über das Netzwerk auf das AR-fähige Gerät übertragen werden.
- **Authentifizierung:** Die AR-Brille muss authentifiziert werden, damit sie dem Computer die Berechtigung erteilt, das Unity-Paket auf die Brille zu übertragen. Diese Authentifizierung gewährleistet, dass nur autorisierte Geräte Zugriff auf die Brille haben und die Übertragung sicher erfolgt.

4.1.3.2 Deployment-Prozess

TODO: Ein UML-Ablaufdiagramm zum Build-Prozess wird hier eingefügt.

Der erste Schritt ist die Kompilierung des Unity-Projekts, die auf dem Computer durchgeführt wird, auf dem sich das Unity-Projekt befindet. Um in Unity zu den Build-

Einstellungen zu gelangen, kann der Tastenkürzel *Strg + Umschalt + B* verwendet werden. In den Build-Einstellungen wird die Zielplattform ausgewählt, auf die die Anwendung bereitgestellt werden soll. In unserem Fall ist dies die *Universal Windows Platform (UWP)*. Weitere Build-Einstellungen können Sie aus der 4.1 Grafik entnehmen. Besonders wichtig sind die Einstellungen für die *Architektur* und die *Build-Konfiguration*.

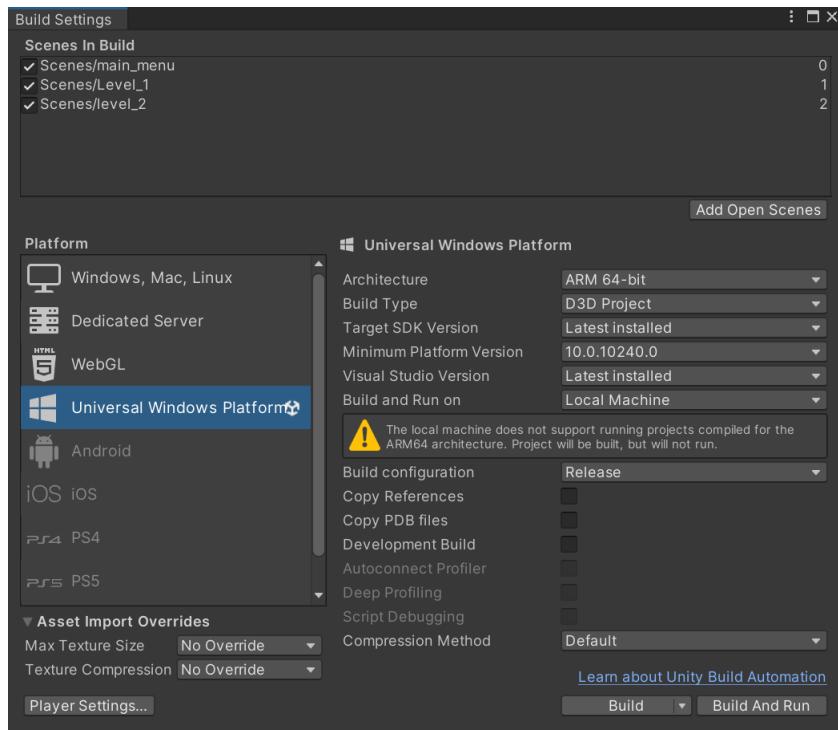


Abbildung 4.1: Build-Einstellungen in Unity

Nach einem erfolgreichen Build erhalten Sie einen Ordner mit den benötigten Dateien für das Deployment. Der nächste Schritt erfolgt in der Visual Studio Solution, in unserem Fall *AARIE.sln*. Nach dem Öffnen der Datei müssen die Konfiguration auf *Release* und die Plattform auf *ARM64* eingestellt werden. Nachdem die Konfigurationen vorgenommen wurden, muss die *Machine Name* auf die lokale IPv4-Adresse der HoloLens gesetzt werden. Dies erfolgt in den *Projekteigenschaften* unter Debugging. Die IP-Adresse der HoloLens kann auf der Brille in den *Einstellungen* unter *Netzwerk* gefunden werden.

Außerdem muss der *Authentication Mode* auf *Universal (Unencrypted Protocol)* gesetzt werden, um sicherzustellen, dass die Kommunikation zwischen dem Computer und der HoloLens reibungslos erfolgt.

Nachdem alle Einstellungen vorgenommen wurden, kann die Anwendung auf die HoloLens deployt werden. Dazu muss die Solution mit *Start without Debugging* gestartet werden. Nach einem längeren Ladevorgang wird die Anwendung auf der HoloLens geladen und gestartet.

Falls die Anwendung beendet wird, kann sie auf der HoloLens unter *Start → Alle Apps → AARIE* erneut gestartet werden. Falls Änderungen an der Anwendung auf den Computern vorgenommen wurden, muss der gesamte Prozess erneut durchgeführt werden. Die Anwendung wird nicht automatisch aktualisiert!

4.1.3.3 Erstmaliges Deployment

Beim erstmaligen Deployment auf die HoloLens kann es zu Problemen kommen, die durch die Authentifizierung der HoloLens verursacht werden. In diesem Fall muss der neue Computer sich auf der HoloLens erneut authentifizieren. Dazu werden Sie nach dem Starten des Deployments aufgefordert. Auf dem Computer wird ein Authentifizierungscode angezeigt, der auf der HoloLens unter *Einstellungen → Update Sicherheit → Für Entwickler → Koppeln* eingegeben wird. Nachdem die Authentifizierung erfolgreich abgeschlossen wurde, kann das Deployment erneut gestartet werden.

4.2 Objektdesign mit Blender

Das Entwerfen von 3D-Objekten mit Blender erfordert ein Verständnis der Struktur und Funktionalität dieser leistungsstarken Software. Im Folgenden wird erläutert, wie Blender aufgebaut ist, auf welche Aspekte bei der Gestaltung der Objekte geachtet wurde und welche Add-ons und Plug-ins verwendet wurden, um den Designprozess zu optimieren.

→ LAM-
PEL

4.2.1 Optimierung für Augmented Reality

Der Entwurf von 3D-Objekten mit Blender erfordert ein systematisches Vorgehen, insbesondere im Zusammenhang mit der Optimierung für Augmented Reality (AR). Im Folgenden werden spezifische Aspekte dieses Prozesses beleuchtet, darunter die Polygonreduktion und die Texturoptimierung.

4.2.1.1 Polygonreduktion

Die Polygonreduktion ist eine Technik, die darauf abzielt, die Anzahl der Polygone in einem 3D-Modell zu reduzieren, um die Belastung der Hardware zu verringern, insbesondere bei Echtzeitanwendungen wie Computerspielen oder Simulationen. Eine effiziente Polygonreduktion ermöglicht eine bessere Leistung und eine schnellere Darstellung der Modelle auf verschiedenen Plattformen.

In der Computergrafik steht die Anzahl der Polygone eines Modells in direktem Zusammenhang mit dem benötigten Speicherplatz und der Rechenleistung. Je mehr Polygone ein Modell hat, desto mehr Daten müssen verarbeitet und gerendert werden, was zu höheren Anforderungen an die Hardware führt. Durch eine Reduzierung der Polygone können diese Ressourcen effizienter genutzt werden, ohne dass die visuelle Qualität des Modells wesentlich beeinträchtigt wird.

Werkzeuge wie der Decimate Modifier in Blender bieten Möglichkeiten, die Anzahl der Polygone automatisch zu reduzieren und gleichzeitig visuelle Artefakte zu minimieren. Dennoch ist es ratsam, bereits während des Modellierungsprozesses darauf zu achten, keine unnötigen zusätzlichen Unterteilungen zu erzeugen, um eine optimale Ausgangsbasis für die Polygonreduktion zu schaffen.

Die Polygonreduktion ist ein wichtiger Bestandteil der 3D-Modellierung und -Optimierung, da sie dazu beiträgt, die Leistung von Anwendungen zu verbessern und die Benutzererfahrung zu optimieren. Durch eine sorgfältige Anwendung dieser Technik können qualitativ hochwertige 3D-Modelle erstellt werden, die sowohl ästhetisch ansprechend als auch effizient zu verarbeiten sind.

4.2.1.2 Texturenoptimierung

Die Optimierung von Texturen ist ein wesentlicher Bestandteil der Gestaltung von 3D-Modellen für Augmented Reality (AR)-Anwendungen, da sie einen direkten Einfluss auf die Benutzererfahrung haben. Bei der Auswahl geeigneter Texturen muss der Auflösung besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden, insbesondere im Hinblick auf die begrenzte Leistungsfähigkeit von AR-Geräten wie der Hololens 2.

Während des Texturierungsprozesses wurde die Hololens 2 mehrfach in die Texturen integriert, um mögliche Leistungseinbußen zu identifizieren. Wurden Beeinträchtigungen festgestellt, wurden entsprechende Anpassungen an den Texturen vorgenommen. Dies beinhaltete entweder die Suche nach alternativen Texturen oder die Komprimierung der vorhandenen Texturen, um eine geringere Auflösung zu erreichen. In einigen Fällen wurde auch der Reflexionsgrad angepasst, insbesondere wenn das Modell poliertes Metall oder ähnliches enthielt, um die Leistung der AR-Anwendung zu optimieren.

Die Texturoptimierung ist ein iterativer Prozess, der eine ausgewogene Berücksichtigung der visuellen Qualität und der Leistungsfähigkeit der AR-Plattform erfordert. Durch die gezielte Optimierung von Texturen können AR-Anwendungen erstellt werden, die eine ansprechende visuelle Darstellung bieten und gleichzeitig ein flüssiges und immersives Benutzererlebnis gewährleisten.

4.2.2 Export- und Integrationsprozess

In diesem Abschnitt wird der Export- und Integrationsprozess für 3D-Modelle beschrieben, beginnend mit der Auswahl des geeigneten Dateiformats und der Berücksichtigung verschiedener Koordinatensysteme.

Der Export- und Integrationsprozess ist ein entscheidender Schritt bei der Übertragung von 3D-Modellen aus der Konstruktions- oder Modellierungssoftware in eine Zielumgebung, sei es eine Spiele-Engine, eine Virtual-Reality-Plattform oder eine AR-Anwendung. Dieser Prozess umfasst mehrere Schritte, um sicherzustellen, dass das Modell korrekt dargestellt und funktional in die Zielumgebung integriert wird.

4.2.2.1 Dateiformat

Als Dateiformat für den Export von 3D-Modellen in diesem Projekt wurde das von Autodesk entwickelte Filmbox-Format (FBX) gewählt. FBX wurde aufgrund seiner weit verbreiteten Unterstützung und seiner Fähigkeit, umfassende Informationen über geometrische Formen, Materialien, Animationen und andere Szenendaten zu speichern, ausgewählt.

FBX ist ein proprietäres Format, das speziell für den Austausch von 3D-Inhalten zwischen verschiedenen Anwendungen entwickelt wurde. Es bietet eine hierarchische Struktur, die es ermöglicht, komplexe Szenen zu organisieren und zu übertragen. Diese Struktur umfasst Knoten, die verschiedene Elemente der 3D-Szene repräsentieren, wie Geometrie, Materialien, Animationen, Kameras und Lichtquellen.⁷

Durch die Verwendung von FBX können 3D-Modelle nahtlos zwischen verschiedenen Softwareanwendungen und Plattformen ausgetauscht werden, was die Zusammenarbeit und Integration in Projekten wie diesem, das Unity als Engine verwendet, erleichtert. Die Wahl des FBX-Formats bietet somit eine solide Grundlage für einen effizienten Workflow und eine erfolgreiche Umsetzung des Projekts.

⁷ Autodesk **FBX**. Getting started

4.2.2.2 Koordinatensysteme

Die Berücksichtigung und korrekte Handhabung von Koordinatensystemen während des Modellierungsprozesses ist ein entscheidender Aspekt für die nahtlose Integration von 3D-Modellen in verschiedene Anwendungen. In diesem Projekt wurden spezifische Maßnahmen ergriffen, um potenzielle Probleme im Zusammenhang mit Koordinatensystemen zu minimieren.

Während der Modellierung wurden alle Objekte im Koordinatenursprung platziert, um sicherzustellen, dass beim Export der Modelle nach Unity keine Komplikationen hinsichtlich Platzierung und Ausrichtung auftreten. Diese Vorgehensweise trägt dazu bei, mögliche Diskrepanzen zwischen den Koordinatensystemen der Modellierungssoftware und der Zielplattform zu vermeiden, was den Integrationsprozess vereinfacht und beschleunigt.

Darüber hinaus wurden alle Modelle in der gleichen Ausrichtung modelliert, um zusätzliche Anpassungen in Unity zu vermeiden. Diese konsistente Orientierung stellt sicher, dass alle Modelle bereits in einer standardisierten Orientierung vorliegen, was die Notwendigkeit weiterer manueller Eingriffe minimiert und einen reibungsloseren Arbeitsablauf gewährleistet.

Für den Fall, dass Modelle dennoch mit einer falschen Rotation exportiert wurden, wurden entsprechende Korrekturen direkt im Unity Inspector vorgenommen. Diese Nachjustierung ermöglicht es, eventuelle Fehler in der Ausrichtung der Modelle schnell und effizient zu beheben, ohne den Modellierungsprozess zu unterbrechen oder zusätzlichen Aufwand zu verursachen.

Insgesamt zeigt die Berücksichtigung von Koordinatensystemen während des gesamten Workflows einen proaktiven Ansatz bei der Modellierung und Integration von 3D-Objekten. Die Umsetzung dieser Maßnahmen wird die Konsistenz und Effizienz des Projekts verbessern und gleichzeitig mögliche Komplikationen im Zusammenhang mit Koordinatensystemen effektiv vermeiden.

4.2.3 Add-Ons und Plugins

Während der Modellierungsphase wurden einige Add-ons und Plug-ins verwendet, um die Erfahrung zu verbessern und die Modellierung effizienter zu gestalten. Im folgenden Abschnitt werden die wichtigsten Add-ons und Plug-ins erläutert.

4.2.3.1 Looptools: Optimierung von Topologie und Oberflächen

Das Add-on Looptools für Blender stellt eine wichtige Ergänzung für die Flächenmodellierung und Topologieoptimierung dar. Insbesondere bei der Umwandlung von rechteckigen oder quadratischen Flächen in kreisförmige Flächen erweist sich dieses Werkzeug als äußerst nützlich.

Als Hauptwerkzeug wurde das so genannte *Circle*-Werkzeug verwendet, das speziell zur Lösung des oben genannten Problems entwickelt wurde. Mit dem Circle-Werkzeug können rechteckige Flächen unter Berücksichtigung der Topologie und der Anzahl der Polygone nahtlos in kreisförmige Flächen umgewandelt werden.

Das Circle-Werkzeug bietet verschiedene Einstellungsmöglichkeiten, um die extrahierte Figur optimal für den jeweiligen Zweck zu konfigurieren. Die wichtigsten Konfigurationspunkte sind

- **Best Fit:** Dieses Werkzeug berechnet einen Kreis mit Hilfe einer nichtlinearen Methode der kleinsten Quadrate. Dadurch wird sichergestellt, dass der berechnete Kreis

optimal zu den ausgewählten Eckpunkten passt.⁸

- **Fit Inside:** Mit dieser Option wird der Kreis so berechnet, dass kein Eckpunkt vom Kreismittelpunkt entfernt wird. Dies ist besonders nützlich, wenn die Topologie des umgebenden Mesh erhalten bleiben soll.

Zusätzlich ermöglicht das Circle-Werkzeug die Anpassung weiterer Konfigurationsparameter wie Radius und Regularität, um die extrahierte Figur feiner abzustimmen und besser an individuelle Anforderungen anzupassen.

Insgesamt trägt das Looptools Add-On dazu bei, den Modellierungsprozess effizienter zu gestalten und die Qualität der resultierenden Modelle zu verbessern, indem es eine Reihe präziser und flexibler Werkzeuge für die Topologie- und Flächenoptimierung bereitstellt.

4.2.3.2 Images as Planes: Effiziente Integration von Texturen

Das Addon Images as Planes spielt eine entscheidende Rolle in der Modellierungspraxis, insbesondere im Bereich der realistischen Modellierung.

Das Hauptanwendungsgebiet dieses Add-ons liegt in der Möglichkeit, Vorschaubilder für die Modellierung hinter Objekten zu platzieren, um eine realistischere und präzisere Modellierung zu ermöglichen. Diese Funktion bietet die Möglichkeit, reale Bilder als Referenz in Blender-Szenen zu integrieren und als Hintergrund für die Modellierung zu verwenden. Durch die direkte Integration von Bildern in die Arbeitsumgebung können feine Details und Proportionen besser beurteilt und reproduziert werden, was zu einer verbesserten Qualität der Modelle führt.

Die Verwendung von *Images as Planes* trägt somit wesentlich zur Erhöhung der Genauigkeit und Realitätsnähe der Modellierung bei, indem sie eine effiziente Möglichkeit bietet, reale Referenzen in den Modellierungsprozess zu integrieren. Diese Funktion ist besonders nützlich bei der Modellierung von Objekten, die auf realen Vorbildern basieren, da sie es dem Modellierer ermöglicht, direkt aus Bildern heraus zu arbeiten und so einen höheren Detaillierungsgrad zu erreichen.

Insgesamt ist das Addon Images as Planes ein unverzichtbares Werkzeug für die realistische Modellierung in Blender, das die Effizienz und Qualität des Modellierungsprozesses erheblich verbessert. Durch die nahtlose Integration von Bildern als Hintergrundreferenzen können Designer ihrer Kreativität freien Lauf lassen und präzise Modelle mit realistischen Details erstellen.

4.2.4 Modi

In Blender stehen verschiedene Modi zur Verfügung, mit denen unterschiedliche Aspekte eines Objekts bearbeitet und manipuliert werden können. Diese verschiedenen Modi in Blender bieten eine umfassende Palette an Werkzeugen und Funktionen, mit denen die Benutzer ihre 3D-Modelle auf vielfältige Weise bearbeiten und verfeinern können.⁹

4.2.4.1 Object-Modus

Der Object-Modus ist der Standardmodus in Blender und steht für alle Arten von Objekten zur Verfügung. In diesem Modus können grundlegende Transformationen wie Positionierung, Rotation und Skalierung sowie Duplizierung und andere Objekteigenschaften bearbeitet werden.

⁸Blender **LoopTools**

⁹Blender **Modi**

4.2.4.2 Edit-Modus

Der Edit-Modus ist ein spezialisierter Modus zum Bearbeiten der Form eines Objekts. Hier können mithilfe verschiedener Werkzeuge und Kontrollpunkte einzelne Vertices, Kanten und Flächen des Objekts bearbeitet werden. Dies ermöglicht detaillierte Manipulationen und Anpassungen an der Geometrie des Objekts, was insbesondere für die Modellierung von entscheidender Bedeutung ist.¹⁰

4.2.4.3 Texture-Paint-Modus

Der Texture-Paint-Modus ist ein spezieller Modus, der es ermöglicht, Texturen direkt auf das Mesh eines Objekts zu malen. Dieser Modus ist ausschließlich auf das Bearbeiten von Meshes beschränkt und bietet eine intuitive Möglichkeit, Texturen im 3D-Viewport zu zeichnen und zu bearbeiten. Durch die direkte Malerei auf dem Objekt können komplexe Texturen und Oberflächeneffekte einfach erstellt und angepasst werden.¹¹

4.2.5 Hierarchie

In der 3D-Modellierung bezieht sich Hierarchie auf die strukturierte Organisation von Objekten innerhalb einer Szene oder eines Modells. Diese Hierarchie wird oft durch eine Baumstruktur dargestellt, in der übergeordnete Objekte untergeordnete Objekte enthalten können. Die Hierarchie spielt eine entscheidende Rolle bei der Verwaltung und Manipulation von Objekten sowie bei der Definition von Beziehungen zwischen ihnen.

- **Eltern-Kind-Beziehungen:** Übergeordnete Objekte werden oft als Eltern bezeichnet und enthalten untergeordnete Objekte, die als Kinder bezeichnet werden. Diese Beziehung ermöglicht es, Transformationen wie Verschieben, Drehen und Skalieren auf das übergeordnete Objekt anzuwenden, welche dann auf seine untergeordneten Objekte übertragen werden. Diese Technik ist besonders nützlich für komplexe Strukturen wie Roboterglieder oder hierarchische Modelle.
- **Gruppierung:** Objekte können hierarchisch gruppiert werden, um sie logisch zu organisieren und ihre Handhabung zu erleichtern. Durch die Gruppierung ist es möglich, mehrere Objekte gleichzeitig auszuwählen, zu verschieben oder zu bearbeiten, ohne jedes einzelne Objekt separat manipulieren zu müssen.

Die Hierarchie ist ein grundlegendes Konzept in der 3D-Modellierung. Sie ermöglicht eine effiziente Organisation und Manipulation von Objekten. Durch die kluge Nutzung von Hierarchien können komplexe Modelle erstellt und verwaltet werden. Dies führt zu einer effizienteren Arbeitsweise und einer verbesserten Qualität der Ergebnisse.

4.2.6 Modifier

Modifier sind Werkzeuge oder Operationen, die auf Objekte in der 3D-Modellierung angewendet werden, um ihr Aussehen oder Verhalten zu verändern, ohne die zugrunde liegende Geometrie dauerhaft zu ändern. Sie ermöglichen es den Modellierenden, komplexe Effekte zu erzielen, ohne manuell jeden einzelnen Aspekt des Modells zu bearbeiten. Modifier sind ein wichtiger Bestandteil vieler 3D-Modellierungssoftware und bieten eine Vielzahl von Funktionen zur Verbesserung des Modellierungsprozesses. Die Verwendung von Modifern bringt mehrere Vorteile mit sich:

¹⁰Blender Vertices

¹¹Blender Mesh

- **Non-destructive Bearbeitung:** Modifier werden auf das Modell angewendet, ohne die ursprüngliche Geometrie zu verändern. Dies ermöglicht es, Änderungen vorzunehmen und bei Bedarf zum ursprünglichen Zustand zurückzukehren.
- **Effizienzsteigerung:** Durch die Verwendung von Modifizieren können komplexe Effekte und Veränderungen mit weniger manuellem Aufwand erreicht werden. Dies führt zu einem effizienteren Modellierungsprozess und spart Zeit und Ressourcen.
- **Experimentierfreude:** Da Modifier nicht-destruktiv sind, können sie leicht hinzugefügt, angepasst oder entfernt werden. Dies ermutigt dazu, verschiedene Optionen auszuprobieren und kreativ zu experimentieren, ohne Angst vor irreversiblen Änderungen haben zu müssen.

Beispiele für Modifier sind Subdivision Surface, Mirror, Bevel, Array und Boolean. Jeder Modifier hat spezifische Anwendungsfälle und ermöglicht es den Modellierenden, eine Vielzahl von Effekten zu erzielen, von der Glättung von Kanten bis zur Erstellung von komplexen Wiederholungsmustern.

Modifier sind ein wichtiger Bestandteil der 3D-Modellierung. Sie bieten eine flexible und leistungsstarke Möglichkeit, Objekte zu bearbeiten und zu verbessern, ohne die Integrität des Modells zu beeinträchtigen. Die Verwendung von Modifizieren kann den Modellierungsprozess rationalisieren und die Kreativität der Modellierenden fördern.

4.2.7 Modellierung von Gegenständen für das Projekt

Dieser Abschnitt beschreibt die für das Projekt in Blender modellierten Gegenstände sowie die dabei aufgetretenen Herausforderungen.

Zu Beginn des Projekts musste eine wichtige Entscheidung getroffen werden, nämlich wie viele Objekte modelliert werden sollten. Es war wichtig, eine ausgewogene Anzahl zu wählen, die das Spiel nicht überladen, aber dennoch eine Herausforderung für die Spieler darstellt. Nach eingehenden Recherchen und internen Abstimmungen wurde sich auf 11 Gegenstände geeinigt. Diese sollten alltägliche Gegenstände eines Schülers der HTBLuVA darstellen und den Spielern einen Einblick in den Schulalltag bieten.

4.2.7.1 Taschenrechner

Um den Modellierungsprozess am Beispiel des Taschenrechners zu veranschaulichen, werden spezifische Schritte und Überlegungen während des Prozesses erläutert. Der Prozess begann mit der Idee, den Taschenrechner als Teil des Projekts zu integrieren. Anschließend wurde der Modellierungsumfang und die Art des Taschenrechners festgelegt. Dabei diente das Casio FX-991 ESPLUS Modell als Referenz für das zu erstellende Modell.

Ausgangslage

Im Modellierungsprogramm Blender war das Standardprojekt als Ausgangslage zu sehen. Es wurde bereits geringfügig angepasst. Die Standardkamera und Lichtquelle, die für das Rendering innerhalb von Blender verwendet werden, wurden entfernt, da sie für das finale Projekt in Unity nicht benötigt werden und unnötige Komplikationen verursachen könnten. Je nach Anforderung des Modells wird eine geeignete Grundform wie beispielsweise ein Würfel, eine Fläche oder ein Zylinder erstellt, um darauf aufbauend mit der eigentlichen Modellierung zu beginnen.

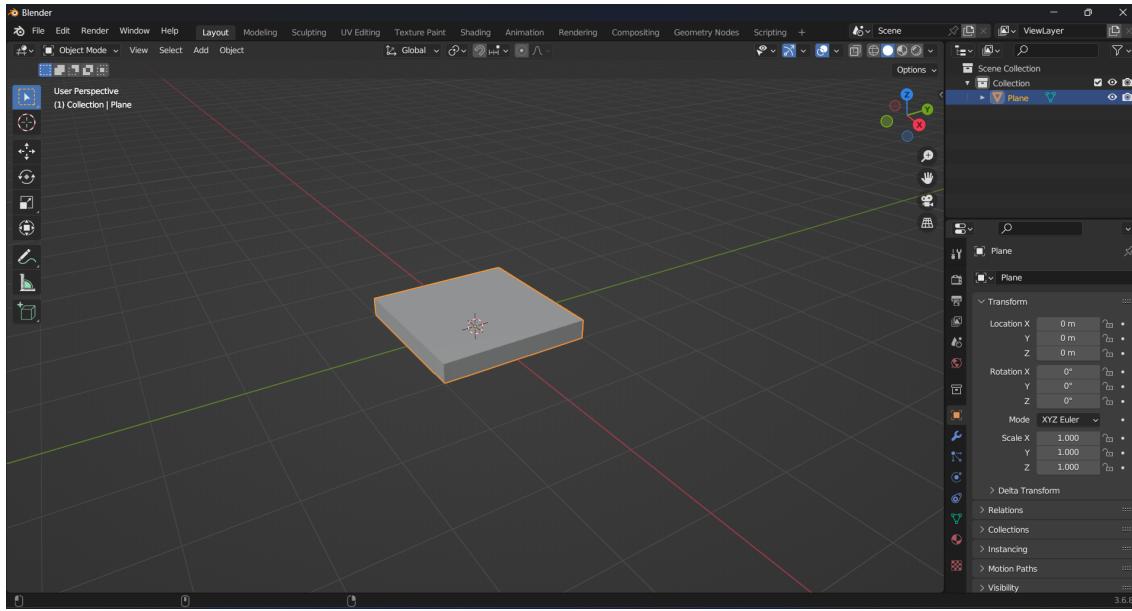


Abbildung 4.2: Ausgangslage innerhalb von Blender

Durch diesen Prozess der Initiierung wurde die Grundlage für die folgenden Schritte der Modellierung gelegt, die in weiteren Abschnitten detaillierter beschrieben werden.

Erste Schritte nach der Erstellung

Nach Auswahl eines geeigneten Referenzbildes für das Taschenrechnermodell wurde dieses mithilfe des Add-Ons *Images as Planes* in Blender eingefügt. Das Bild dient als Leitfaden für die Modellierung und wurde unterhalb des bereits vorhandenen Objekts platziert. Um eventuelle Unregelmäßigkeiten im Design zu vermeiden, wurde der Mirror Modifier aufgrund der symmetrischen Form des Taschenrechners angewendet. Durch diese Maßnahme werden alle Modellierungsaktionen, die auf einer Seite durchgeführt werden, automatisch auf die andere Seite gespiegelt. Dadurch wird die Effizienz des Modellierungsprozesses erhöht.

Im Anschluss begann die Modellierung durch Extrudieren eines Eckpunkts der Fläche, um grob der Form des Referenzbildes zu folgen.



Abbildung 4.3: Taschenrechner mit Buttons in Blender

Nach Abschluss dieser groben Modellierungsschritte entstand das Grundgerüst des Taschenrechnermodells, wie in Abbildung 4.3 dargestellt. Die verschiedenen Eckpunkte (Vertices) werden im Edit-Modus von Blender als schwarze Punkte dargestellt. Durch den Mirror Modifier wird die Bearbeitung auf der linken Seite des Modells automatisch auf die rechte Seite gespiegelt, was eine symmetrische Form gewährleistet. Um dem Modell mehr Tiefe zu verleihen, wurde Extrudieren verwendet, um aus der ebenen Fläche eine dreidimensionale Struktur zu formen.

Extrahieren als Modellierungswerkzeug

Extrahieren ist ein Werkzeug im Edit-Modus von Blender. Es dient dazu, ausgewählte Punkte zu duplizieren und zu verschieben, während die ursprünglichen Punkte der Bearbeitungslinie erhalten bleiben. Für die Verwendung des Extrahieren-Werkzeugs ist ein Verständnis der grundlegenden Konzepte des Edit-Modus in Blender sowie eine präzise Auswahl der zu extrahierenden Punkte erforderlich, um die gewünschten Modifikationen am Modell vorzunehmen. Während des Modellierungsprozesses ist es von entscheidender Bedeutung, unbeabsichtigte Extraktionen zu vermeiden, da diese dazu führen können, dass duplizierte Vertices über bereits vorhandenen liegen. Dies kann nicht nur die weitere Bearbeitung des Modells beeinträchtigen, sondern auch zu einer unnötigen Zunahme der Anzahl der Vertices führen.¹²

Weiterführung beim Taschenrechnermodell

Als nächster Schritt steht die Modellierung der Knöpfe und anderer Funktionen des Taschenrechners an, um das Modell weiter zu verfeinern und seinem realen Gegenstück näherzukommen. Dazu wird der *Array*-Modifier verwendet, da dieser es ermöglicht, ein Button-

¹²Blender Extrahieren

Modell zu entwerfen und dieses dann zu vervielfältigen. Dadurch wird die Modellierungszeit enorm reduziert und die gleichmäßige Platzierung der Buttons verbessert.

Einschub Array-Modifier

Der Array-Modifier in Blender ermöglicht die Erstellung einer Reihe von Kopien eines Basisobjekts. Jede Kopie wird dabei auf eine vordefinierte Weise von der vorherigen Kopie versetzt. Der Modifier bietet eine Vielzahl von Optionen zur Anpassung der Positionierung und Ausrichtung der Kopien. Die grundlegenden Funktionen des Array-Modifiers umfassen die Möglichkeit, Vertices in benachbarten Kopien zusammenzuführen, insbesondere wenn sie nahe beieinander liegen. Dadurch können nahtlose und konsistente Verbindungen zwischen den einzelnen Kopien hergestellt werden. Eine wichtige Option des Array-Modifiers ist der sogenannte *Fit Type*, der angibt, wie das Objekt dupliziert werden soll. Dies kann entlang einer Kurve, mit einer passenden Länge oder einer festgelegten Anzahl von Kopien erfolgen. Darüber hinaus kann eine relative oder feste Verschiebung entlang der x-, y- oder z-Achse definiert werden, um die Positionierung der Kopien weiter anzupassen.

Weiterführung beim Taschenrechnermodell

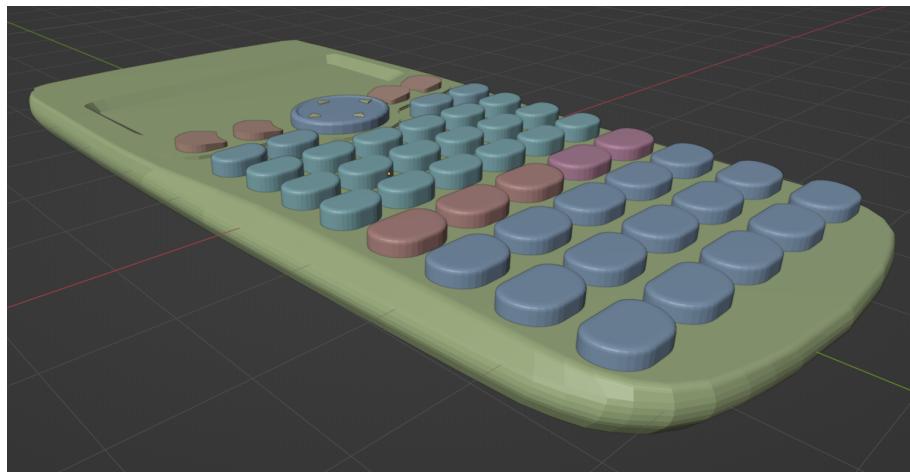


Abbildung 4.4: Taschenrechner mit Buttons in Blender

Abbildung 4.4 zeigt das Taschenrechnermodell in Blender mit den neu modellierten Buttons. Die dargestellten Farben dienen lediglich als visuelle Hilfestellung im Blender-Editor und stellen keine inhärenten Eigenschaften des Modells dar. Jedes neu erstellte Objekt wird automatisch mit einer zufälligen Farbe versehen, um eine einfachere Unterscheidung innerhalb der Szene zu ermöglichen.

Einige der Buttons im Modell wurden mithilfe des Array-Modifiers vervielfältigt. Dies gilt insbesondere für Buttons, die im Referenzbild die gleiche Größe, Funktion und Farbe aufweisen. Durch diese Technik ist es möglich, wiederkehrende Elemente effizient zu modellieren, indem eine einzelne Vorlage kopiert und entsprechend der gewünschten Anordnung angepasst wird.

Der aktuelle Stand des Modells lässt darauf schließen, dass die Modellierung größtenteils abgeschlossen ist. Der nächste Schritt besteht darin, dem Modell Farben oder Texturen hinzuzufügen, um ein realistischeres Aussehen zu erzielen. Dies kann durch Anwendung von Materialien und Texturen im Renderprozess erreicht werden, um dem Modell visuelle Tiefe und Detailtreue zu verleihen.

Die Fortführung des Modellierungsprozesses umfasst somit die Umsetzung der texturierten Oberfläche sowie mögliche Feinanpassungen, um das Modell weiter zu verbessern und an die Referenzvorlage anzupassen.

Hierarchie des fertiggestellten Modells

In Blender wird die Hierarchie eines Modells als Baumstruktur dargestellt. Dabei ermöglichen verschiedene Unterteilungen und Kategorien eine übersichtliche Organisation. Die Struktur wird in Abbildung 4.5 veranschaulicht. Das weiße Box-Symbol steht für eine Collection (Ordner).

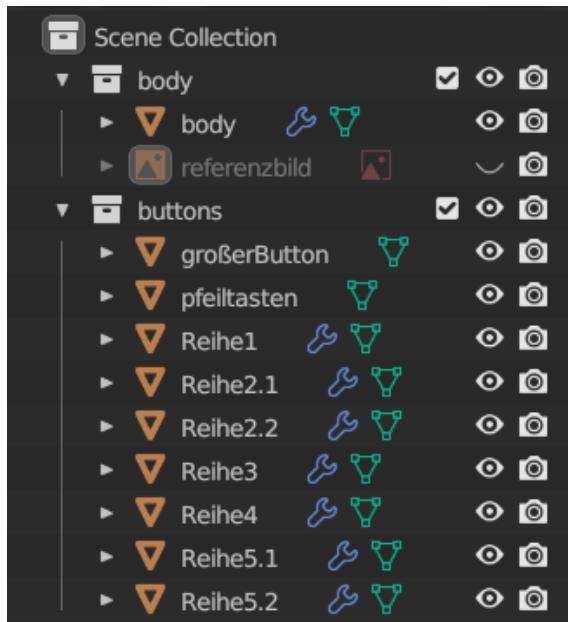


Abbildung 4.5: Hierarchie des fertigen Taschenrechnermodells

- Die **Scene Collection** ist die oberste Ebene, die das gesamte Modell enthält.
- Die **Body Collection** enthält das Hauptmodell des Taschenrechners, also die grundlegende Form.
- Die **Buttons Collection** umfasst alle Buttons, die auf dem Taschenrechner abgebildet sind.
- Die untergeordnete Struktur mit den orangefarbenen Dreiecken repräsentiert die eigentlichen Objekte innerhalb der jeweiligen Collections.
- Das **Referenzbild** ist ein importiertes Bild, an dem sich während des Modellierens orientiert wurde.

In Abbildung 4.5 ist zu erkennen, dass ein Objekt ausgegraut ist. Dies bedeutet in dem Fall, dass das Objekt ausgeblendet wurde, da das Hauptmodell bereits fertiggestellt wurde und das Referenzbild nicht mehr benötigt wird. Das Referenzbild kann jedoch bei Bedarf aktiviert werden, beispielsweise zu Hilfe- oder Veranschaulichungszwecken.

Die hierarchische Darstellung der Elemente erleichtert die Organisation und Bearbeitung des Modells. Eine klare Strukturierung der verschiedenen Komponenten ermöglicht eine effiziente Arbeitsweise und hilft, den Überblick über die einzelnen Teile zu behalten.

Textur und Farbe des Taschenrechnermodells

Für die Texturierung und Farbgebung des Modells wurde sich eng an dem Referenzbild orientiert. Das *Eye-Dropper*-Werkzeug in Blender ermöglichte es, Farben gezielt aus dem Referenzbild auszuwählen und auf das entsprechende Modell anzuwenden. Durch Klicken auf einen bestimmten Bereich des Referenzbildes wurde die Farbe erfasst und dann auf den entsprechenden Bereich des Modells übertragen.

Dieser Prozess wurde für jedes Element des Modells durchgeführt, um eine genaue Anpassung an die Farben und Texturen des Referenzbildes zu erreichen. Die Verwendung des Eye-Dropper-Werkzeugs ermöglichte eine präzise und konsistente Umsetzung der Farbgebung und trug dazu bei, dass das Modell möglichst authentisch und realitätsnah aussieht.

4.2.7.2 Restlichen Modelle

Ping-Paket-Modell

Das Ping-Paket-Modell wurde speziell für didaktische Zwecke auf Level 1 konzipiert, um Spielern das grundlegende Konzept eines Daten-Pings zu veranschaulichen. Es dient dazu, die Übertragung von Daten zwischen zwei Endpunkten, beispielsweise Laptops, zu visualisieren. Das Modell besteht im Wesentlichen aus einem simplen Quader, ergänzt durch Details wie Paketklebeband, um eine realistische Darstellung zu erreichen. Bei der Texturierung wurde ein Amazon-Paket als Referenz verwendet.

Laptop-Modell

Der Laptop stellt einen unverzichtbaren Gegenstand auf Level 2 dar und ist ein essenzielles Werkzeug für Schüler ab der 3. Klasse. Bei der Modellierung wurden zusätzliche Details wie USB-Ports und der Laptopständer berücksichtigt. Um den Aufwand zu minimieren, wurde der Laptop im geschlossenen Zustand modelliert, wodurch die Komplexität von Tastatur und Bildschirm vermieden wurde. Die Referenz für das Modell lieferte ein reales Laptop-Exemplar eines Projektmitglieds.

Router-Modell

Die Modellierung des Routers war eine iterative Aufgabe, die mehrere Versionen erforderte, um ein realistisches und ansprechendes Modell zu erzielen. Das finale Modell repräsentiert einen Gaming-Router mit vielen Anschlüssen und Bedienelementen. Aufgrund der Vielzahl an Details war die Modellierung sehr anspruchsvoll und zeitaufwendig.

Maus-Modell

Die Modellierung der Maus war eine Standardaufgabe, bei der der Mirror Modifier effektiv eingesetzt wurde, um die symmetrische Natur des Objekts zu betonen. Eine einfache Büromaus diente als Referenz für das Modell.

Block-Modell

Der Block ist ein wichtiger Gegenstand im schulischen Umfeld bis zur 3. Klasse, wenn noch keine Laptops verwendet werden. Während der Designphase ermöglichte der Array Modifier eine einfache Gestaltung der spiralförmigen Halterung der Blätter.

Stift-Modell

Der Stift wurde einfach modelliert und erhielt eine unkomplizierte Texturierung mit einfachen Farben. Ein Buntstift diente als Referenz für das Modell.

Kopfhörer-Modell

Die Modellierung der Kopfhörer erforderte aufgrund ihrer geschwungenen Form und der texturierten Oberfläche besondere Aufmerksamkeit. Das Modell durchlief zwei Phasen: zunächst eine Annäherung an das Referenzbild eines Gaming-Kopfhörers und dann eine Verfeinerung, einschließlich einer aufwendigen Lederstrukturtextur.

Dose-Modell

Die Modellierung der Energydose begann mit einem einfachen Zylinder, der dann anhand eines Referenzbildes geformt wurde. Besonderes Augenmerk wurde auf die Textur gelegt, wobei ein Redbull-Label als Referenz diente.

USB-Stick-Modell

Der USB-Stick wurde mit einer integrierten Halterung für zusätzliche Komplexität modelliert. Die Texturierung betonte einen metallischen Effekt, insbesondere für die Halterung und das vordere Teil des USB-Sticks.

Verteiler-Modell

Der Stromverteiler wurde mit fünf Steckplätzen und einem Ein/Aus-Schalter modelliert, wobei der Fokus auf einfacher Funktionalität lag. Die Texturierung orientierte sich an einfachen weißen Steckerleisten.

Handy-Modell

Das Handymodell orientierte sich an modernen iPhones von Apple und erforderte aufgrund seiner zahlreichen Details wie Kameras, Tasten und Mikrofoneinlässe eine sorgfältige Modellierung und Texturierung, um einen realistischen Eindruck zu erzeugen.

4.3 Hauptmenü

Im folgenden Abschnitt werden die Entwicklungsphasen beim Entwerfen des Menüs erläutert. So wie die dabei aufgetretenen Probleme und abschließend auch auf was beim User interface UI unter bei der Benutzererfahrung UX geachtet wurde. Die iterative Entwicklung des Menüs durchlief mehrere Phasen, beginnend mit der Konzeption und Planung der Benutzeroberfläche bis hin zur finalen Umsetzung. Dieser Prozess umfasste die Entscheidungen zum Design des Layouts, des Farbschemas und der Interaktionselemente. Während der Entwicklung wurden regelmäßig Überprüfungen und Anpassungen vorgenommen, um sicherzustellen, dass das Menü den gestellten Anforderungen entspricht und eine optimale Benutzererfahrung bietet. Dabei wurden auch Rückmeldungen und Tests von Nutzern in die Iterationsschleife einbezogen, um mögliche Verbesserungspotenziale zu identifizieren und zu berücksichtigen. Schließlich wurde das Menü in seiner finalen Version implementiert. Dabei wurde besonderes Augenmerk auf Funktionalität, Benutzerfreundlichkeit und Ästhetik gelegt. Durch diesen iterativen Entwicklungsprozess wurde sichergestellt, dass das

Menü den Anforderungen entspricht und einen positiven Beitrag zur Gesamterfahrung des Spiels leistet.

4.3.1 Erstentwurf

Ursprünglich war geplant, das UI/UX-System mit einem sogenannten **Nahmenü** zu realisieren. Dieses folgt dem Nutzer in seiner Nähe und besteht in unserem Fall, aus drei primären Schaltflächen sowie einem Pin-Button. Das Nahmenü ist etwa auf Hüfthöhe des Benutzers positioniert und zeichnet sich durch eine vereinfachte Struktur aus, die eine intuitive Bedienung gewährleistet. Die Gestaltung des Menüs hat zum Ziel, Verwirrung zu vermeiden und dem Nutzer ohne umfassende Vorabinformationen klar zu machen, wie er es verwenden kann.

Nahmenü

Innerhalb von Unity bezeichnet der Begriff Nahmenü eine vordefinierte Konstruktion, die mit bestimmten Skripten ausgestattet ist, um sicherzustellen, dass das Menü dem Benutzer in alle Richtungen folgt. Es werden von Unity bereitgestellte Skripte verwendet, die es ermöglichen, das Menü dynamisch an die Position des Nutzers anzupassen.

Im Erstentwurf wurde das gesamte Menü ausschließlich innerhalb der Unity-Umgebung konstruiert. Dabei wurden sämtliche vorhandenen Schaltflächen und Funktionen aus den nativen Ressourcen von Unity zusammengesetzt. Dieser Ansatz führte zu einer konsistenten visuellen Gestaltung des Menüs. Allerdings waren die Möglichkeiten zur kreativen Gestaltung und Anpassung im Rahmen unseres individuellen Projekts stark begrenzt. Durch die ausschließliche Verwendung der internen Ressourcen von Unity wurden gewisse Einschränkungen hinsichtlich der Flexibilität und Individualisierungsmöglichkeiten des Menüs in Kauf genommen.

Obwohl diese Herangehensweise zu einem homogenen Erscheinungsbild des Menüs führte, war es wichtig, eine Balance zwischen visueller Einheitlichkeit und der Notwendigkeit individueller Anpassungsmöglichkeiten zu finden. Diese Herausforderung verdeutlicht die Bedeutung einer flexiblen und erweiterbaren Architektur für die Benutzeroberfläche, um den Anforderungen und Zielen des Projekts gerecht zu werden.



Abbildung 4.6: Darstellung des Erstentwurfes im Unity Editor

Die Abbildung 4.6 zeigt den ersten Entwurf des Menüs, das eine wichtige Schnittstelle für den Nutzer darstellt, um zwischen verschiedenen Szenarien zu navigieren. Die Struktur des Menüs bleibt unabhängig vom jeweiligen Spiellevel konstant, was zur Simplifizierung und Klarheit beiträgt. Die primären Schaltflächen auf der linken Seite dienen der Initiation des Ladevorgangs für die verschiedenen Spielszenarien. Hervorzuheben ist der Pin-Button

in Kombination mit dem darunterliegenden weißen Balken. Diese beiden Funktionen gemeinsam ermöglichen es dem Benutzer, das Menü an gewünschten Positionen zu verankern und bietet somit Flexibilität bei der Positionierung entsprechend individueller Präferenzen. Ein solcher Einsatz ist von Vorteil, wenn externe Objekte die Nutzbarkeit des Menüs beeinträchtigen könnten, wie zum Beispiel im Szenario des Platznehmens an einem Tisch, wo das Menü ungünstigerweise mit dem Tisch kollidieren könnte und somit die Nutzererfahrung beeinträchtigt werden würde.

4.3.1.1 Probleme beim Erstentwurf

Problem 1 - Fehlende Dokumentation

Das Hauptziel bei dem Konzept des Ersten Menüs, bestand darin, ein benutzerfreundliches Menü zu gestalten, das alle erforderlichen Funktionen enthält und dennoch übersichtlich ist. Nach mehreren Iterationen und Tests mit Testpersonen, die nicht mit dem Projekt vertraut waren, stellte sich heraus, dass der ursprüngliche Entwurf erhebliche Mängel bei der Dokumentation und Erklärung der verschiedenen Anwendungsszenarien und ihrer jeweiligen Aufgaben aufweist. Es wurde bemängelt, dass Benutzer lediglich zwischen den einzelnen Leveln wechseln können, ohne klare Informationen darüber zu erhalten, worum es in den einzelnen Leveln geht und welche Aufgaben diese beinhalten.

Diese Feststellung verdeutlicht eine wesentliche Lücke in der Benutzerführung und -information innerhalb des Menüsysteams. Die unzureichende Dokumentation der Level und ihrer Ziele führt zu einer fehlenden Orientierung für die Benutzer und kann sich negativ auf ihre Erfahrung auswirken. Das Menü sollte nicht nur als Navigationswerkzeug dienen, sondern auch als Informationsquelle, die dem Benutzer eine klare Vorstellung über den Spielverlauf und die zu erreichenden Ziele vermittelt.

Die Identifizierung dieses Problems betont die Wichtigkeit einer umfassenden Benutzerforschung und -evaluation während des Designprozesses. Dadurch wird sichergestellt, dass das entwickelte Benutzeroberflächensystem den Bedürfnissen und Erwartungen der Zielgruppe entspricht. Eine zielgerichtete Überarbeitung des Menüs ist erforderlich, um die fehlende Dokumentation der Anwendungsszenarien und ihrer Aufgaben zu adressieren und somit die Benutzererfahrung zu verbessern.

Bei Testdurchführungen ohne Entwickler aus dem Projektteam kam es wiederholt zu Unklarheiten bei den Benutzern, insbesondere während des ersten Durchlaufs, bezüglich der zugewiesenen Aufgaben. Während der Nutzung der HoloLens-Anwendung gab es vermehrt Anfragen seitens der Benutzer an das Projektteam aufgrund von Unklarheiten. Dies lässt vermuten, dass die Anwesenheit von Entwicklern im Projektteam einen signifikanten Einfluss auf die Benutzererfahrung und Effektivität der HoloLens-Anwendung hat.

Problem 2 - Falsche Wahl des Menütyps

Während des Testprozesses stellte sich heraus, dass das Navigationsmenü oft eine Behinderung darstellte, insbesondere für Entwickler, die Funktionen wiederholt testeten und Anwendungsszenarien neu luden. Das ständige Verschieben des Menüs zur Seite erwies sich als zeitraubend und störte den Arbeitsfluss erheblich. Die ursprüngliche Intention, das Navigationsmenü zur Erleichterung der Interaktion zwischen Benutzer und Spielumgebung einzuführen, erwies sich somit als kontraproduktiv.

Es ist wichtig, die Auswirkungen von Benutzeroberflächenelementen auf den Entwicklungsprozess zu berücksichtigen, um ein reibungsloses Testen und Experimentieren zu gewährleisten. Eine effiziente und produktive Arbeitsweise des Entwicklerteams hängt davon

ab. Die Notwendigkeit einer kontinuierlichen Evaluation und Optimierung von UI/UX-Komponenten während des gesamten Entwicklungszyklus wird durch dieses Problem verdeutlicht.

Dieses Problem verdeutlicht, dass der Erstentwurf und die ursprüngliche Konzeption hauptsächlich auf die Innovation und Neuheit des Menüdesigns abzielten, anstatt den Fokus auf die funktionale Nützlichkeit zu legen. Der einfache und kompakte Menütyp erwies sich als unzureichend, um eine umfassende und übersichtliche Dokumentation der Anwendungsszenarien zu integrieren. Folglich war eine Migration zu einem alternativen Menüansatz erforderlich. Diese Beobachtung verdeutlicht die Bedeutung einer ausgewogenen Gestaltung von Benutzeroberflächen in Mixed-Reality-Systemen. Es ist wichtig, dass nicht nur ästhetische Innovationen verfolgt werden, sondern auch die tatsächliche Benutzererfahrung und -effizienz in Betracht gezogen wird. Die Reflexion über diesen Prozess bietet Einsichten in die iterative Entwicklung von Benutzerschnittstellen und die Anpassung an die Anforderungen und Rückmeldungen der Benutzer.

4.3.2 Finalversion des Menüs

Die endgültige Version des Menüs wurde entwickelt, um die Mängel des ursprünglichen Entwurfs anzugehen und idealerweise vollständig zu beheben. Dieses neue Konzept wurde durch eine umfassende Analyse populärer AR/VR-Spiele geleitet, um die Gründe für die verbesserte Benutzererfahrung in diesen Kontexten zu untersuchen. Dabei wurden spezifische Merkmale und Designentscheidungen identifiziert, die einen signifikanten Einfluss auf die Zufriedenheit der Anwender haben.

Basierend auf vorangegangenen Recherchen wurde entschieden, das neue Menü in zwei klar definierte Bereiche zu unterteilen. Dies gewährleistet eine deutliche Unterscheidung des Hauptmenüs sowie eine klare Orientierung bezüglich der Navigation. Insbesondere innerhalb der Anwendungsszenarien wurde ein minimalistisches und unaufdringliches Menü implementiert, um den Fokus der Benutzer uneingeschränkt auf die auszuführenden Tätigkeiten zu lenken. Diese Designstrategie hat zum Ziel, die kognitive Belastung der Benutzer zu reduzieren und eine nahtlose Integration der Menüfunktionalitäten in den jeweiligen Nutzungskontext zu ermöglichen.

Das Ergebnis ist ein ansprechendes und benutzerorientiertes Menükonzept, das die Gesamterfahrung des Spiels verbessert und den Erwartungen der Zielgruppe gerecht wird.

4.3.2.1 Finalversion Menü - Hauptmenü

Auf dieser Grundlage wurde das Design des Menüsystems vollständig überarbeitet, wobei der erste Schritt schonmal die vollständige Entfernung der Idee des Nahmenüs beinhaltet.

Anstelle des Nahmenüs wurden vorgefertigte Objekte in das Hauptmenü integriert, welche zuvor mit Blender modelliert wurden. Die Entscheidung, vorgefertigte Objekte aus Blender zu importieren, bietet eine breite Palette an Gestaltungsmöglichkeiten und ermöglicht es, das Menü visuell ansprechend und einladend zu gestalten. Außerdem trägt die Integration dieser Objekte dazu bei, das Menü intuitiver und zugänglicher zu machen, indem sie dem Benutzer klare Anhaltspunkte und Handlungsmöglichkeiten bieten.

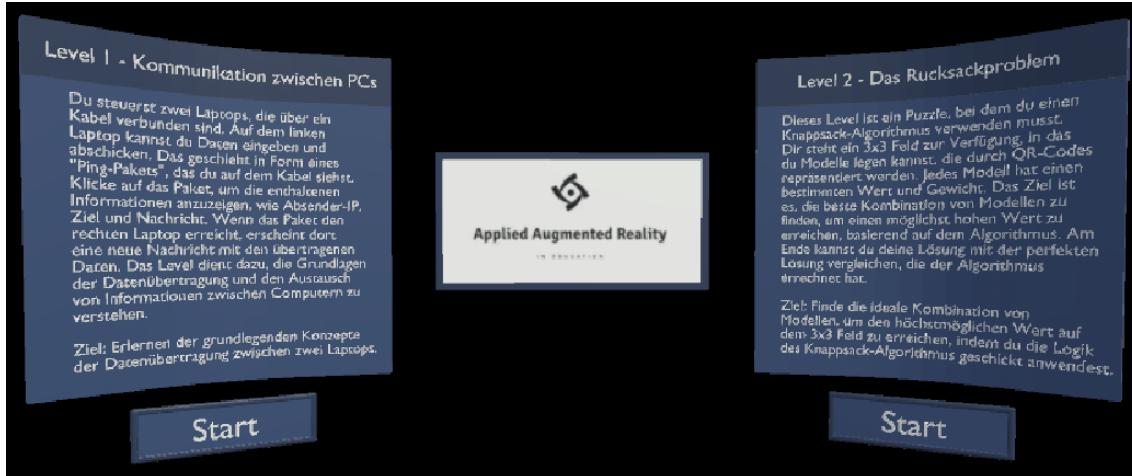


Abbildung 4.7: Darstellung des Finalen Menüs im Unity Editor

Die in der Abbildung 4.7 dargestellten Objekte bestehen aus zwei separaten Tafeln, die durch unser Diplomarbeitslogo voneinander getrennt sind. Jede Tafel enthält den Titel des Anwendungsszenarios sowie einen vorgefertigten Startbutton. In Unity wurde ein unsichtbarer, aber dennoch klickbarer Button mit exakt denselben Dimensionen wie das Modell des Startbuttons an der entsprechenden Stelle platziert. Das Skript *SceneChange.cs*, welches für die Szenenwechsel-Funktionalität verantwortlich ist, ist diesem Button angehängt.

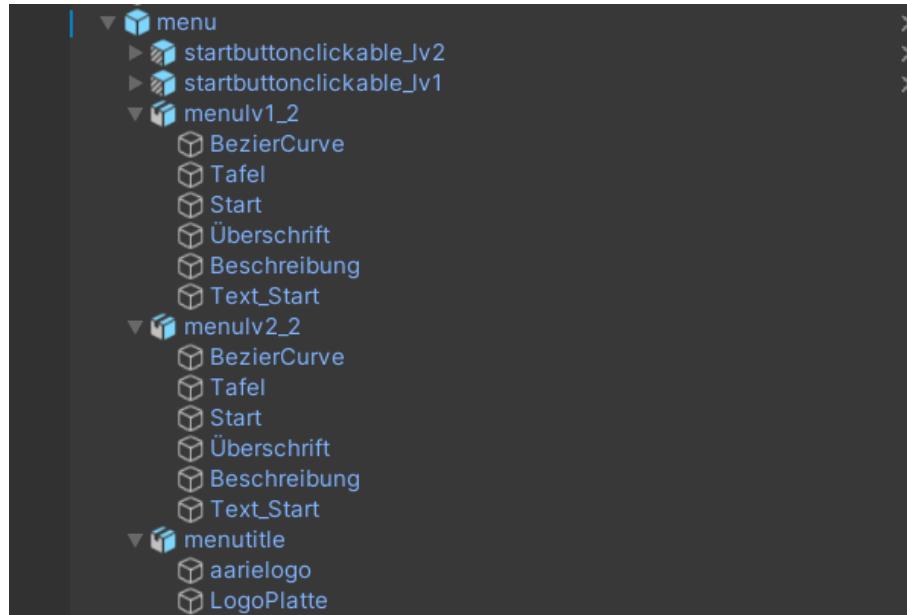


Abbildung 4.8: Darstellung der Hierarchie des finalen Menüs im Unity Editor

In der Abbildung 4.8 ist die Hierarchie des Hauptmenüs im Unity Editor zu sehen. Dem Prefab **menu** sind dabei 5 einzelne Objekte zugewiesen. Die Prefabs **startbuttonclickable_lv1/2** sind die in Unity erstellen unsichtbaren Button die dafür zuständig sind den vormodellierten Buttons eine Funktion zu geben. Darunter zu sehen sind die 3 verschiedenen Assets welche aus blender importiert wurden. Diese bestehen jeweils aus den verschiedenen Einzelteilen, welche in Unity als Gameobjects dargestellt werden. Die **BezierCurve** ist eine spezielle Art von Kurve welche in Blender für die leichte Wölbung der

Tafeln genutzt wurde.

4.3.2.2 Finalversion Menü - Anwendungsszenario

Im Gegensatz zum Erstentwurf, der ein einheitliches Menü für alle Anwendungsszenarien vorsah, weist diese Version eine Differenzierung auf. Die Entscheidung, das Menü innerhalb der einzelnen Szenarien anzupassen, wurde getroffen, um die volle Aufmerksamkeit des Benutzers auf das jeweilige Level und die darin ausgeführten Aktivitäten zu lenken. Aus diesem Grund wurde ebenfalls das Nahmenü aus den Szenarien entfernt und durch ein simples Handmenü ersetzt.



Abbildung 4.9: Darstellung des Finalen Menüs im Anwendungsszenario im Unity Editor

Wie in der Abbildung 4.9 gezeigt, besteht dieses Menü ausschließlich aus einem Zurück-Knopf, der den Benutzer zum Hauptmenü zurückführt. Das Handmenü wurde so konzipiert, dass es nur dann sichtbar ist, wenn der Benutzer es benötigt oder aktivieren möchte. Der Zurückknopf wird erst sichtbar, wenn der Benutzer seine linke Hand umdreht und auf die Handfläche schaut.

Diese Funktionalität hat zum Ziel, die Benutzerinteraktion intuitiver und kontextbezogener zu gestalten. Hierfür wird Bewegungserkennung und Blickrichtungserkennung genutzt, um das Handmenü nur dann einzublenden, wenn der Benutzer aktiv nach einem Navigationsmittel sucht. Dadurch wird visuelle Ablenkung minimiert und die Benutzererfahrung optimiert, indem nur relevante Informationen und Interaktionselemente präsentiert werden, wenn sie benötigt werden.

4.3.2.3 Setzen des Menüs

Bei dem Erstentwurf gab es keine Probleme beim Wechseln zwischen den Szenen beziehungsweise dem Laden in das Hauptmenü, jedoch muss man in der neuen Version darauf achten das Menü richtig zu setzen. Dafür muss man die Modelle im richtigen moment und an der richtigen Stelle in der richtige Szene selbstständig instanzieren, deshalb wurde extra für diesen Fall das *MenuSpawn.cs* Skript geschrieben.

```

1 using System.Collections;
2 using System.Collections.Generic;
3 using UnityEngine;
```

```

4
5 public class SpawnPrefab : MonoBehaviour
6 {
7     public GameObject menu;
8
9     void Start()
10    {
11         SpawnPrefabMenu();
12    }
13
14     void SpawnPrefabMenu()
15    {
16         Vector3 cameraPosition = Camera.main.transform.position;
17         Vector3 spawnPosition = new Vector3(cameraPosition.x, cameraPosition.y,
18         cameraPosition.z + 1f);
19         Instantiate(menu, spawnPosition, Quaternion.identity);
20         menu.SetActive(true);
21    }
21 }
```

Listing 4.1: Menüinstanzierung bei Neuladen.

Beim Start der Anwendung wird die Methode *SpawnPrefabMenu()* ausgeführt. Diese Methode ist für die Positionierung des Menüs verantwortlich. Die im Codeabschnitt 4.1 ersichtlichen Positionsvektoren sind einerseits dafür zuständig, die aktuelle Kameraposition zu ermitteln, aber auch eine neue Spawnposition zu setzen, die um 1 auf der z-Achse versetzt ist, so dass das Menü vor dem Benutzer erscheint. Der *Instantiate* ist dafür verantwortlich, dass das Menü an der jeweiligen Spawnposition gesetzt wird. Anschließend wird das zuvor versteckte Menü mit *menu.SetActive(true)* aktiviert, so dass der Benutzer es sehen und mit ihm interagieren kann.

4.3.3 Laden der Level

Um den Buttons eine Funktion zuzuweisen, wird ein Skript benötigt, das aktiviert wird, sobald ein Button gedrückt wird. Im vorliegenden Fall ist das Skript *SceneChange.cs* für den Wechsel zwischen den verschiedenen Anwendungsszenarien verantwortlich. Wenn einer der Buttons im Hauptmenü gedrückt wird, wird dieses Skript ausgeführt. Die Spielszene wird im Unity Inspector festgelegt. Der Code greift auf die Variable zu, die den Namen der Szene enthält, wie sie zuvor im Inspector benannt wurde.

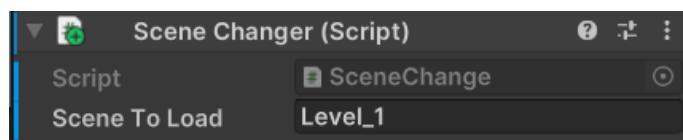


Abbildung 4.10: Darstellung der SceneToLoad Variable, anhand des Level1 Buttons.

Für den linken Button im Hauptmenü ist beispielsweise die Spielszene *Level1* vorgesehen, während für den rechten Button die Szene *Level2* zugewiesen ist. Durch diese Konfiguration im Inspector wird die Flexibilität gewährleistet, Szenen dynamisch anzupassen, ohne dass Änderungen am eigentlichen Skript vorgenommen werden müssen. Dies ermöglicht eine effiziente Verwaltung und Anpassung der Spielinhalte während des Entwicklungsprozesses.

```

1 using UnityEngine;
2 using UnityEngine.SceneManagement;
```

```

3
4 public class SceneChanger : MonoBehaviour
5 {
6     public string sceneToLoad;
7
8     public void ChangeScene()
9     {
10         if(SceneManager.GetActiveScene().name != sceneToLoad)
11         {
12             PlayerPrefs.DeleteAll();
13             SceneManager.LoadScene(sceneToLoad, LoadSceneMode.Single);
14         }
15     }
16 }
```

Listing 4.2: Auf Knopfdruck Szene wechseln.

Das vorliegende Skript hat eine vergleichsweise einfache Struktur. Die Variable **public string sceneToLoad** dient als Empfänger für den Namen der zu ladenden Szene, welcher im Unity-Inspector individuell für jede Szene festgelegt werden kann. Um den Szenenwechsel zu initiieren, wird die Methode **ChangeScene()** aufgerufen. Zunächst wird in dieser Methode geprüft, ob die aktive Szene, die durch **SceneManager.GetActiveScene()** ermittelt wird, mit der zu ladenden Szene übereinstimmt. Falls dies nicht der Fall ist, werden alle gespeicherten PlayerPrefabs mittels **PlayerPrefs.DeleteAll()** gelöscht. Dieser Schritt ist von entscheidender Bedeutung, um potenzielle Komplikationen im Zusammenhang mit dem HoloLens-Cache während des Szenenwechsels zu vermeiden.

Nachdem die Prefabs bereinigt wurden, wird die definierte Szene mit der Methode **SceneManager.LoadScene()** geladen. Dabei wird die Ladeoption **LoadSceneMode.Single** verwendet, um sicherzustellen, dass nur die angegebene Szene aktiv geladen wird und keine anderen Szenen im Hintergrund verbleiben. Diese präzise Steuerung des Ladevorgangs zielt darauf ab, die Performance und Stabilität der Anwendung auf der HoloLens-Plattform zu optimieren und potenzielle Konflikte zwischen Szeneninhalten zu vermeiden.

4.3.4 UI/UX

Die Gestaltung der Benutzeroberfläche und die damit verbundene Benutzererfahrung sind wesentliche Aspekte bei der Konzeption und Entwicklung von Software. Eine bewährte Strategie besteht darin, sich an populären und gleichgerichteten Anwendungen zu orientieren, insbesondere im Bereich der Augmented- oder Virtual Reality. Es wird darauf geachtet, komplexe und verwirrende Menüstrukturen zu vermeiden und eine konsistente Farbpalette über die gesamte Benutzeroberfläche hinweg zu verwenden.

Diese Herangehensweise basiert auf der Erkenntnis, dass erfolgreiche Anwendungen in ähnlichen Domänen oft bewährte Designprinzipien und Interaktionsmuster aufweisen, die sich positiv auf die Benutzerakzeptanz und -zufriedenheit auswirken können. Durch die Anpassung an gängige Standards und Trends in der Branche kann das Risiko von Benutzerirritationen und -ablehnungen minimiert werden. Gleichzeitig wird eine vertraute und angenehme Benutzererfahrung gefördert.

Es ist wichtig zu betonen, dass eine solche Inspiration von bestehenden Anwendungen nicht als direkte Kopie verstanden werden sollte, sondern vielmehr als Quelle für Anregungen und bewährte Praktiken, die in einem eigenständigen und angepassten Kontext implementiert werden können. Auf diese Weise kann die Effektivität und Attraktivität der Benutzeroberfläche optimiert werden, um die Bedürfnisse und Erwartungen der Zielgruppe bestmöglich zu erfüllen.

4.4 Ping Scenario

In diesem Szenario wird das IT-Grundprinzip des Ping illustriert. Zwei PCs sind in einer realen Umgebung durch ein rotes Kabel miteinander verbunden, wobei auf jedem PC die selbe Website geöffnet ist. Der Benutzer trägt eine HoloLens 2 und erhält die Aufforderung, das rote Kabel zu betrachten. Nach einem Countdown wird ein Foto der Umgebung aufgenommen und anschließend verarbeitet. Dabei werden Raycasts eingesetzt, um die exakte Position des roten Kabels in der physischen Welt zu bestimmen. Sobald die Position des Kabels erkannt wurde, kann der Benutzer über die Website auf den beiden PCs eine Nachricht senden. Diese Nachricht wird dann in Form eines Pakets für den Hololens 2 benutzen visualisier. Der Benutzer hat außerdem die Möglichkeit, auf das Paket zu drücken, um die Informationen wie Absender und Nachricht einzusehen.

(→)*Schoditsch*

4.4.1 Aufbau von Ping Scenario

In diesen Abschnitt wird beschrieben wie die Unity Scene aufgebaut ist und was die Aufgabe der einzelnen GameObjects ist.

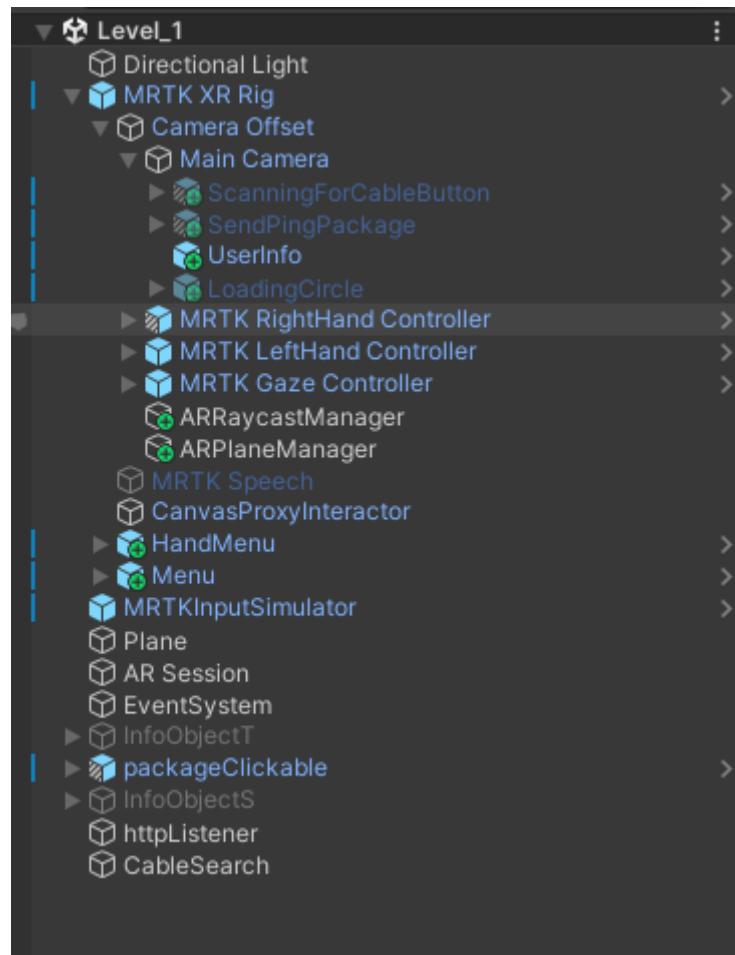


Abbildung 4.11: Hierarchie des Ping Levels im Unity Editor.

- **Level-1:** Die Scene in der alle Unity-Objekte enthalten sind.
- **UserInfo:** Gameobject welches den Hololens Benutzer einen Countdown angibt und von welchem aus daraufhin alle anderen Scripte ausgeführt werden.

- **LoadingCircle:** Während ladezeiten wird dieses Gameobject angezeigt um den Benutzer zu informieren das dass Programm berechnungen ausführt. Das Objekt beinhaltet ein Canvas wo das User Interface enthalten ist.
- **Plane:** Ist ein Script GameObject welches den code ausführt. Kann auch zum debug genutzt werden da es die erkannten roten Pixel visuell darstellt
- **InfoObjectS:** Beinhaltet den Simpelen Text welcher angezeigt wird sobald ShowInformation betätigt wird.
- **InfoObjectT:** Gleich wie InfoObjectS nur mit den technischen informationen eines Ping-Pakets.
- **S-MessageTextTechnicalInfo:** Gleich wie S-MessageTextSimple nur mit den technischen informationen eines Ping-Pakets.

4.4.2 Kabel erkennung

4.4.2.1 Foto der umgebung schießen

Zu Beginn der Szene wird der Benutzer aufgefordert, auf das rote Kabel zu schauen. Anschließend wird ein Countdown gestartet, während dessen ein Foto mit Hilfe der PhotoCapture-Klasse aufgenommen wird.

4.4.2.2 Foto verarbeitung

Nachdem ein Foto aufgenommen wurde, erfolgt die Datenverarbeitung mittels einer Texture2D-Klasse innerhalb des Unity-Job-Systems in paralleler Ausführung. Jeder Thread des Systems ist dafür zuständig, eine festgelegte Anzahl von Pixeln im Bild zu überprüfen, um festzustellen, ob diese die Eigenschaft Rot aufweisen. Die Ergebnisse dieser Überprüfung werden in einem zweidimensionalen Boolean-Array gespeichert, wobei die x- und y-Koordinaten jeweils einer Dimension zugeordnet sind. Jeder Pixel im Array wird entsprechend seines Farbzustands mit dem booleschen Wert *true* gekennzeichnet, falls er rot ist, andernfalls wird ihm der Wert *false* zugewiesen. Dieser Prozess wird durch das Job-System ausgeführt, wobei jeder einzelne Job die anliegende Operationen durchführt:

```

1  struct PixelJob : IJobParallelFor
2  {
3      public NativeArray<Color> pixels;
4      public NativeArray<Vector2> redPixelPositions;
5      public int textureWidth;
6      public int batchSize;
7
8      public void Execute(int batchIndex)
9      {
10         int startPixelIndex = batchIndex * batchSize;
11         int endPixelIndex = Mathf.Min((batchIndex + 1)
12             * batchSize, pixels.Length);
13
14         for (int pixelIndex = startPixelIndex;
15             pixelIndex < endPixelIndex; pixelIndex++)
16         {
17             int x = pixelIndex % textureWidth;
18             int y = pixelIndex / textureWidth;
19
20             if (pixels[pixelIndex].r > 0.7f &&
21                 pixels[pixelIndex].g < 0.5f && pixels[pixelIndex].b < 0.5f)
22             {
23                 pixels[pixelIndex] = Color.red;

```

```

24             redPixelPositions[pixelIndex] = new Vector2Int(x, y);
25         }
26     else
27     {
28         pixels[pixelIndex] = Color.black;
29     }
30 }
31 }
32 }
```

Listing 4.3: Rote pixel suche

- **NativeArray:** bietet verbesserte Leistung da sie direkt auf native Speicherbereiche zugreifen können, was besonders wichtig ist, wenn große Datenmengen verarbeitet werden müssen und die Ausführung parallelisiert werden soll.
- **startPixelIndex:** nachdem jeder Arbeiter Thread seine eigenen batches besitzt muss der Index für diese berechnet werden.

4.4.2.3 Kabel finden

Da das Programm nur die Positionen der roten Pixel identifiziert und es unsicher ist, ob sie zu einem Kabel gehören, wird eine Methode angewendet, um die längste zusammenhängende Reihe von roten Pixeln zu ermitteln. Es kann auch dazu kommen das rote Pixel nicht erkannt werden welche zum Roten Kabel gehören. Aus diesem Grund wird ein Toleranzbereich festgelegt. Es wird geschaut ob in einen bestimmten Bereich ein rote Pixel existieren von welchen aus dann weiter geschaut wird. Dadurch wird eine präzisere Erkennung und Zuordnung von relevanten roten Pixeln im Kontext des zu identifizierenden Kabels ermöglicht. Die methodische Vorgehensweise zur Berechnung gestaltet sich wie folgt:

```

1 ist<Vector2> SearchForRedPixels(int startX, int startY)
2 {
3     List<Vector2> currentLine = new List<Vector2>();
4     bool hasFound = false;
5     int foundX = startX, foundY = startY;
6     int heightY = redPixels.GetLength(1);
7     int widthX = redPixels.GetLength(0);
8
9     do
10    {
11        hasFound = false;
12        redPixels[foundX, foundY] = false;
13        currentLine.Add(new Vector2(foundX, foundY));
14
15        for (int i = 1; i < 25 && foundX + i < widthX; i++)
16        {
17
18            if (redPixels[foundX + i, foundY])
19            {
20                foundX = foundX + i;
21                hasFound = true;
22            }
23        }
24
25        for (int i = 1; i < 10 && !hasFound && foundY - i > 0; i++)
26        {
27            hasFound = redPixels[foundX, foundY - i];
28
29            if (hasFound)
```

```

30         {
31             foundY = foundY - i;
32         }
33     }
34
35     for (int i = 1; i < 10 && !hasFound && foundY + i < heightY; i++)
36     {
37         hasFound = redPixels[foundX, foundY + i];
38
39         if (hasFound)
40         {
41             foundY = foundY + i;
42         }
43     }
44 } while (hasFound);
45 return currentLine;
46 }
```

Listing 4.4: Kabel suche

Wenn wir das Koordinatensystem von einem Standpunkt aus betrachten, an dem die positive x-Achse nach rechts zeigt, die negative x-Achse nach links zeigt, die positive y-Achse nach oben zeigt und die negative y-Achse nach unten zeigt, dann kann man sagen, dass der Code nach oben, rechts und unten schaut.

4.4.2.4 Entfernung messen

Da man noch die z-Achse, also die Tiefe, zu ermitteln, um das visuelle Paket angemessen zu platzieren, werden im späteren Verlauf RayCasts verwendet. Aufgrund der Ressourcenintensität, die mit dem Versenden eines Raycasts für jede Position verbunden wäre, um die z-Achse für jede Koordinate zu erhalten, wird eine Optimierung angestrebt. Zur Verbesserung der Effizienz werden die wichtigsten Positionen berechnet. Diese wichtigen Punkte sind der anfangspunkt des Kabels (am ersten PC), der mittelpunkt des Kabels, das endpunkt des Kabels (am zweiten PC), sowie 10 andere punkte welche auf den Kabel verteilt sind.

Definition eines Rays

Ein Ray ist ein abstraktes Konzept in der Computergrafik und Physiksimulation, das einen unendlich langen, geraden Strahl repräsentiert. Dieser Strahl wird durch einen Ausgangspunkt definiert, der üblicherweise als *Ursprung* bezeichnet wird. Im Kontext von dreidimensionalen Szenen und Visualisierungen entspricht der Ursprung oft der Position einer *virtuellen Kamera* oder eines *Blickpunkts*.

Der Ray erstreckt sich dann in eine bestimmte Richtung, die durch Vektoren definiert wird. Diese Richtung kann durch verschiedene Methoden festgelegt werden, abhängig von der Anwendung, in der der Ray verwendet wird. Im Falle der Bildschirmkoordinaten kann die Richtung beispielsweise durch Blick des Benutzers bestimmt werden.

In der Praxis wird der Ray häufig dazu verwendet, um *Kollisionen mit Objekten in einer Szene zu erkennen* oder *um Lichtstrahlen für die Beleuchtungsberechnung zu simulieren*. Durch das Schießen eines Rays in eine Szene und das Überprüfen auf *Kollisionen* mit den vorhandenen Objekten kann festgestellt werden, ob der Ray ein Objekt trifft und wenn ja, an welcher *Stelle* und unter welchem *Winkel*.

4.4.2.5 Bewegung des Paketes

Nach der Bestimmung der kritischen Positionen mittels Raycast hat der Benutzer die Möglichkeit, über die Website eine Nachricht zu übermitteln. Die Übermittlung dieser Nachricht löst ein entsprechendes Ereignis aus, das zur Initialisierung und zum absenden des Datenpakets führt.

4.4.3 Starten und verwenden der Webseite

TODO

→
HAYLAZ

4.4.4 Frontend der Webseite

In diesem Abschnitt wird die Struktur und Entwicklung des Frontends der Webseite erläutert. Besonderes Augenmerk wird auf die zugrundeliegenden Entscheidungen bezüglich der Programmiersprachen sowie des Designprozesses gelegt.

→
LAM-
PEL

Nach mehreren Entwicklungszyklen im ersten Anwendungsszenario wurde entschieden, eine Webseite in das Projekt zu integrieren. Die Funktionalität der Webseite sollte nahtlos in das Szenario integriert werden. Hierzu können Nachrichten und Absender direkt auf der Webseite eingetragen werden, um sie anschließend in die HoloLens-Applikation zu übertragen.

4.4.4.1 Designprozess

Beim Entwurf einer Webseite ist es essentiell, vor der eigentlichen Umsetzung die Farbpalette und das generelle Aussehen der Seite zu konzipieren. Da der Fokus auf der Anwendung auf der HoloLens liegt, wurde bewusst darauf geachtet, der Webseite nicht zu viel Aufmerksamkeit zu schenken. Sie sollte lediglich die grundlegenden Funktionen erfüllen, ohne dabei komplex zu sein. Aus diesem Grund ist die Webseite simpel gestaltet und verfügt über wenige Eingabefelder und wenig Text.

Webseitenprototyp

Der Prototyp der Webseite, wie in Abbildung 4.12 dargestellt, gibt einen Überblick über das Frontend-Design. Das Zahnrad links oben öffnet ein Fenster, in dem die IP-Adresse der HoloLens eingegeben werden kann, um Nachrichten korrekt zu versenden. Auf der Hauptseite gibt es Eingabefelder für Benutzername und Nachricht. Der zeitlich sortierte Nachrichtenverlauf wird am rechten Rand angezeigt.

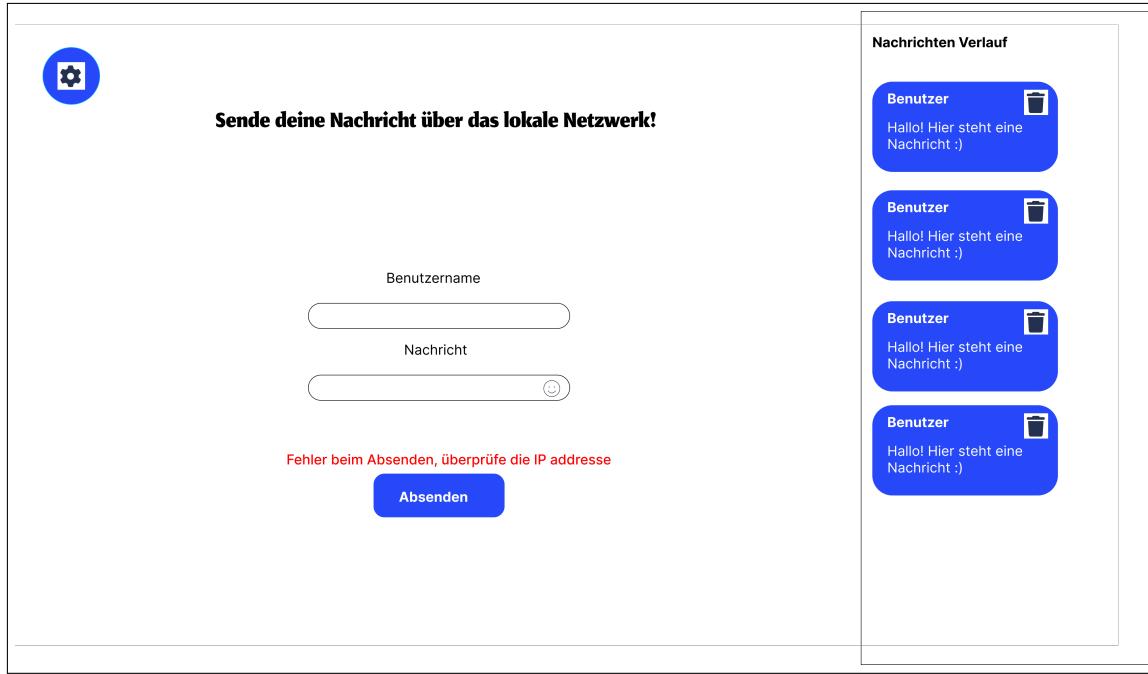


Abbildung 4.12: Prototypische Darstellung der Webseitenansicht aus Benutzersicht

Ausprogrammierte Webseite

Die endgültige Version der Webseite, wie in Abbildung 4.13 gezeigt, enthält alle gewünschten Funktionen. Die Farbpalette orientiert sich stark am Hauptmenü und den Standardfarben der HoloLens. Es werden verschiedene Blautöne verwendet, um eine konsistente und benutzerfreundliche Benutzererfahrung zu gewährleisten.

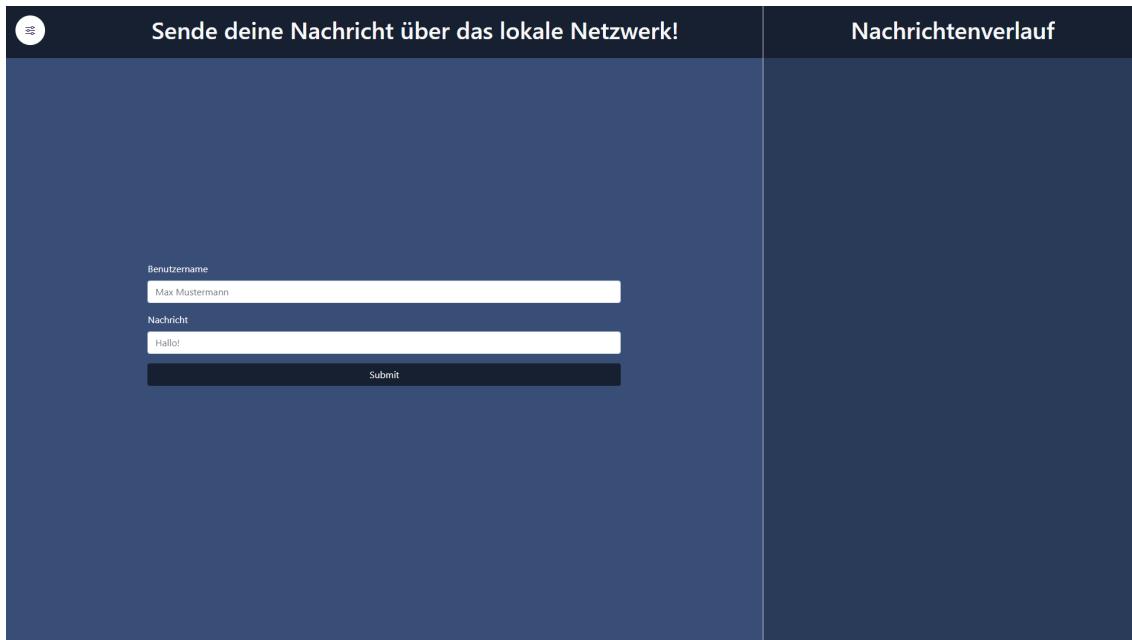


Abbildung 4.13: Darstellung der fertigen Webseitenansicht aus Benutzersicht

Die Umsetzung des Designs hat zum Ziel, Verwirrungen zu vermeiden und eine nahtlose

Integration der Webseite in das Gesamtsystem zu gewährleisten.

4.4.4.2 Verwendete Programmiersprachen

Für die Entwicklung der Webseite wurden hauptsächlich die Programmiersprachen HTML, CSS und JavaScript verwendet. Zur Verbesserung des Designs und der Benutzererfahrung wurde außerdem das Framework Bootstrap eingesetzt.

HTML (Hypertext Markup Language)

HTML ist die grundlegende Struktursprache des World Wide Web. Es ermöglicht die Erstellung von Webseiten durch die Definition von Strukturelementen wie Überschriften, Absätzen, Listen und Links. HTML verwendet Tags, um den Browsern mitzuteilen, wie die Inhalte einer Webseite strukturiert und präsentiert werden sollen.¹³

CSS (Cascading Style Sheets)

CSS ist eine Stylesheet-Sprache, die verwendet wird, um das Aussehen und die Formatierung von HTML-Dokumenten zu steuern. Es ermöglicht die Definition von Farben, Schriftarten, Layouts und anderen visuellen Eigenschaften einer Webseite.¹⁴

CSS funktioniert durch das Zuweisen von Regeln und Stilen zu HTML-Elementen. Diese Regeln können in einer externen CSS-Datei definiert oder direkt im HTML-Dokument eingebettet werden.

JavaScript

JavaScript ist eine dynamische Programmiersprache, die hauptsächlich für die clientseitige Entwicklung von Webanwendungen verwendet wird. Sie ermöglicht die Interaktion mit dem Benutzer, das Ändern von Inhalten in Echtzeit und die Steuerung des Verhaltens einer Webseite.¹⁵

JavaScript verbessert die Funktionalität einer Webseite, indem es auf Benutzerinteraktionen reagiert, Formulare validiert, Animationen erstellt und vieles mehr.

Integration von Bootstrap

Bootstrap ist ein Open-Source-Framework für die Frontend-Entwicklung von Webseiten und Webanwendungen. Es bietet vorgefertigte HTML- und CSS-Vorlagen für Typografie, Formulare, Buttons, Navigation und andere UI-Komponenten.¹⁶

Bootstrap erleichtert die Erstellung responsiver und ästhetisch ansprechender Webseiten, indem es eine Reihe von vorgefertigten Designelementen und Layoutoptionen bereitstellt.

Die Integration von Bootstrap in eine HTML-Datei erfolgt durch das Einbinden der Bootstrap-Bibliotheksdateien in den <head>-Bereich des HTML-Dokuments. Dies kann entweder über ein CDN (Content Delivery Network) oder durch das Herunterladen und Einbinden der lokalen Bootstrap-Dateien erfolgen.¹⁷

Anschließend können Bootstrap-Komponenten und -Klassen innerhalb der HTML-Datei verwendet werden, um das Design und die Funktionalität der Webseite zu verbessern.

¹³ Mozilla Developer Network [HTML](#)

¹⁴ Mozilla Developer Network [CSS](#)

¹⁵ Mozilla Developer Network [Javascript](#)

¹⁶ Bootstrap Dokumentation [Bootstrap](#)

¹⁷ Bootstrap Dokumentation [CDN-Links](#)

4.4.4.3 Funktionen der Webseite

Die Eingabefelder des Frontends brauchen Javascript Funktionen, um die gewünschten Tätigkeiten durchzuführen und so zu funktionieren wie eigentlich geplant.

```

1 function isNumberKey(evt) {
2     var charCode = (evt.which) ? evt.which : evt.keyCode;
3     if (charCode != 46 && charCode > 31 && (charCode < 48 || charCode > 57)) {
4         return false;
5     }
6     return true;
7 }
```

Listing 4.5: Javascript | Überprüfung, ob die Eingabe eine Zahl oder ". ist

Die Funktion überprüft, ob die gedrückte Taste eine Zahlentaste ist. Sie wird auf der Webseite zur Überprüfung der Eingabe von der IP-Adresse genutzt, um sicherzustellen, dass nur Zahlen eingegeben werden können.

Die Funktion nimmt ein Event-Objekt als Parameter entgegen, das Informationen über das Tastaturereignis enthält. Der charCode wird aus dem Event-Objekt extrahiert, der den Unicode-Wert der gedrückten Taste darstellt. Die Funktion überprüft, ob die gedrückte Taste eine Zahl ist (der Unicode-Wert liegt im Bereich von 48 bis 57) oder der Punkt ist (der Unicode-Wert ist 46). Falls die gedrückte Taste im Bereich von 48 bis 57 liegt oder der Punkt ist, gibt die Funktion true zurück, was bedeutet, dass die Eingabe akzeptiert wird. Andernfalls gibt die Funktion false zurück, was bedeutet, dass die Eingabe nicht akzeptiert wird.

```

1 async function validateAndSendMessage() {
2     var username = document.getElementById("username").value.trim();
3     var message = document.getElementById("message").value.trim();
4
5     if (username !== '' && message !== '') {
6         const messageSent = await sendMessage(username, message);
7
8         if (!messageSent) {
9             alert("Message could not be sent.");
10        }
11    } else {
12        alert("Please fill in both fields!");
13    }
14 }
```

Listing 4.6: Javascript | Validierung und Senden der Message

Die Funktion validiert die Eingaben in den Feldern für Benutzername und Nachricht und sendet die Nachricht nur ab, wenn beide Felder ausgefüllt sind.

Zunächst ruft die Funktion die Werte der Formularfelder für Benutzername und Nachricht ab und entfernt führende und abschließende Leerzeichen mit der trim()-Methode. Anschließend überprüft sie, ob sowohl der Benutzername als auch die Nachricht nicht leer sind. Wenn beide Felder nicht leer sind, wird die Funktion sendMessage(username, message) aufgerufen, um die Nachricht zu senden. Wenn die Nachricht erfolgreich gesendet wurde, wird nichts weiter unternommen. Andernfalls wird eine Warnmeldung angezeigt, dass die Nachricht nicht gesendet werden konnte. Sollte eines der Felder leer sein, wird dem Benutzer eine Warnmeldung angezeigt, die ihn darauf hinweist, beide Felder auszufüllen.

4.4.5 Backend der Webseite

Im vorherigen Abschnitt ?? wurde der Designprozess der Webseite beschrieben. Nun folgt eine Erweiterung dieses Themas mit einer Beschreibung der Funktionalitäten und ihrer Umsetzung.

→

HAYLAZ

Die Webseite fungiert als Schnittstelle für die Kommunikation zwischen den beiden Laptops, die für das Szenario benötigt werden. Diese Kommunikation erfolgt über die Hololens, die gewissermaßen als "Mittelsmann" fungiert und die Datenübertragung ermöglicht.

4.4.5.1 Protokoll zur Datenübertragung

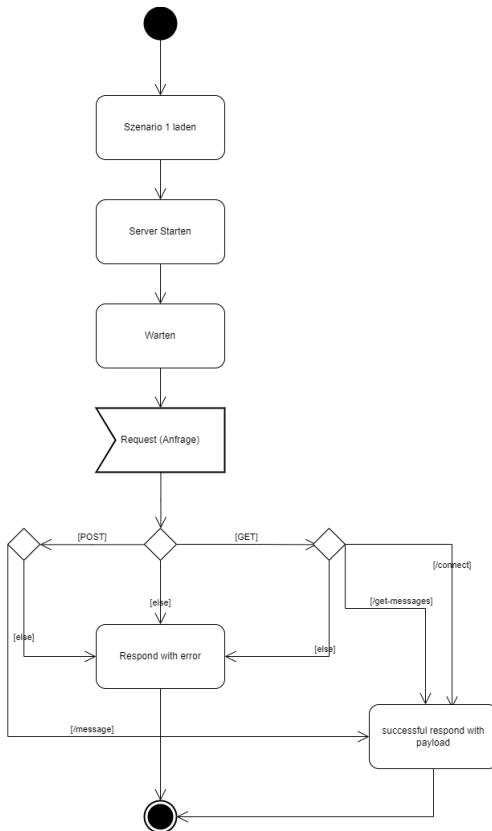


Abbildung 4.14: Ablaufdiagramm des Servers

In Abbildung 4.14 ist der Ablauf aller möglichen Szenarien dargestellt, wie eine solche Datenübertragung zustande kommen kann. Im Folgenden werden die einzelnen Schritte und ihre Funktionen beschrieben:

- **Start des Servers:** Auf der Hololens befindet sich ein Game-Objekt namens *httpListener* mit einem Skript namens *RequestManager.cs*. Beim Laden des ersten Szenarios wird ein HTTP-Listener in einem eigenen Thread gestartet. Erst wenn dieser läuft, kann auf Anfragen der Webseite reagiert werden.
- **Verbindungsaufbau:** Bevor ein Nachrichtenpaket gesendet werden kann, muss die IP-Adresse der Hololens registriert werden. Um zu testen, ob die richtige IP-Adresse eingegeben wurde oder der Server läuft, wird ein `http get request` an den Endpoint `connect` gesendet.
- **Empfangen von Nachrichten:** Auf der Hololens wird eine Liste aktueller Nachrichten geführt. Die Webseite ruft alle fünf Sekunden mit einem `http get request` an

den Endpoint *get-messages* diese Liste von Nachrichten ab.

- **Versenden von Nachrichten:** Um eine Nachricht von einem Laptop auf den anderen zu senden, muss ein *http post request* an den Endpoint *message* mit dem Benutzernamen und der Nachricht als Payload gesendet werden.

Das Senden von Requests mag kompliziert erscheinen, aber wie im Abschnitt ?? zu sehen ist, wird dies alles mithilfe einer benutzerfreundlichen UI erreicht.

Es ist festzuhalten, dass die beiden Laptops niemals direkt miteinander kommunizieren, sondern alle Nachrichten über den Server, die Hololens, laufen.

4.4.5.2 Bearbeitung von Anfragen

Die Bearbeitung von Anfragen erfolgt im Skript *RequestManager.cs*. Der Listener wird in einem eigenen Thread gestartet, da das Warten auf Nachrichten den Thread, auf dem der Listener läuft, blockiert. Nach dem Erhalt einer Anfrage wird ein neues *HttpListenerContext*-Objekt erstellt, und die Verarbeitung der Anfrage erfolgt in dem Thread, der diesen Kontext bearbeitet. Wenn eine HTTP-Anfrage empfangen wird, ist der erste Schritt, zu überprüfen, um welche Art von Anfrage es sich handelt. Ein POST und ein GET werden unterschiedlich verarbeitet. Bei Verwendung einer anderen HTTP-Methode wird ein *Method Not Allowed* Fehler zurückgesendet. Bei der Wahl des Endpunkts passiert dasselbe; jede nicht unterstützte Anfrage auf einen Endpunkt wird mit einem *Not Found* Fehler beantwortet.

Es werden in unserem Fall nur drei Endpunkte unterstützt:

- **Testen der Verbindung auf /connect**
- **Empfangen von Nachrichten auf /get-messages**
- **Senden einer Nachricht auf /message**

Um erfolgreich eine Anfrage an den Server zu senden, muss sie an die folgende Adresse gehen: `http://IP-Adresse der Hololens:Port/Endpoint`. Die IP-Adresse der Hololens wird manuell auf der Webseite eingegeben. Der Listener läuft standardmäßig auf dem Port 9090.

Die erlaubten Endpunkte sind wie oben aufgeführt fallbasiert gelistet.

4.4.6 Object Tracking

Durch Verwendung von bereitgestellten Technologien der HoloLens2 werden die zwei PCs → SCHO-DITSCH und das Kabel getracked.

4.4.7 Kurvenberechnung

Durch Berechnung der Kurve wird das Kabel als Kurve gespeichert und dadurch wird es ermöglicht, dass das 3D-Ping-Paket über diese Kurve von einem PC zum anderen läuft.

4.5 Knapsack Problem Szenario

Im zweiten Anwendungsszenario dieser Applikation liegt der Fokus auf dem bekannten Problem des Knapsack-Problems. Ziel dieses Szenarios ist es, dieses Informatikproblem mithilfe von Augmented Reality (AR) visuell und spielerisch darzustellen. Das Knapsack-Problem ist ein klassisches Problem der Informatik, das nicht nur an der Höheren Technischen Lehranstalt (HTL) vermittelt wird, sondern auch von Schülern eigenständig programmiert → SKREPEK

werden soll. Dieser Ansatz dient dazu, den Anwendern einen Einblick in die Informatik zu geben und möglicherweise Interessen für den Bereich zu wecken.

Das Unity-Anwendungsszenario für die HoloLens 2 bietet insgesamt eine interaktive und visuelle Erfahrung, bei der der Benutzer nicht nur das Knapsack-Problem verstehen, sondern auch praktisch anwenden kann. Die Integration von AR ermöglicht es dem Benutzer, das Problem in einer realen Umgebung zu erleben und die Optimierungsmöglichkeiten direkt zu visualisieren und zu manipulieren. Diese immersive Herangehensweise kann dazu beitragen, das Verständnis des Knapsack-Problems zu vertiefen und das Interesse an der Informatik zu fördern.

In diesem Abschnitt werden alle *GameObjects*, *Komponenten*, *Scripts* und *Klassen* genauer erklärt, die in der Unity-Szene des Knapsack-Problems verwendet werden, um dieses zu realisieren.

4.5.1 Knapsack-Problem Szenario Hirarchie

Für einen sicheren und funktionalen Ablauf ist der Aufbau beziehungsweise die Hirarchie der Unity Szene von großer Bedeutung. In diesem Abschnitt wird anhand der Abbildung 4.15 verdeutlich wie die Unity Szene für die Implementierung des zweiten Anwendungsszenarios für das Knapsack-Problem aufgebaut ist und es wird zusätzlich kurz darauf eingegangen für was welches Objekt steht und welche Aufgabe dieses trägt.



SKREPEK

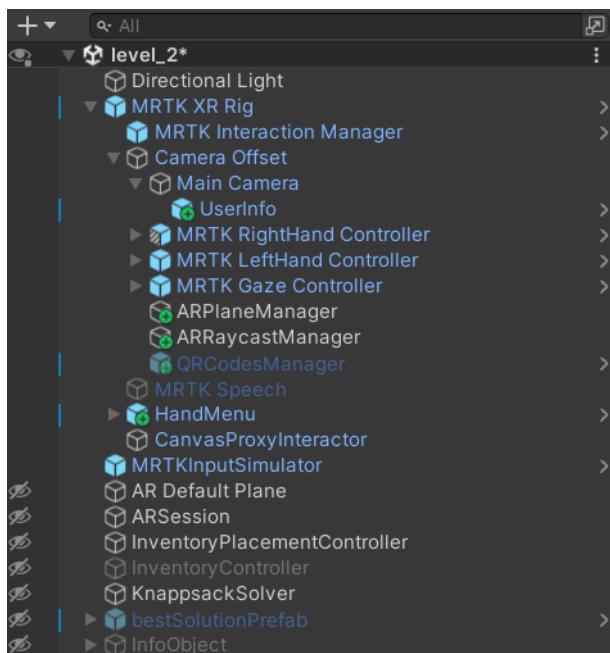


Abbildung 4.15: Knapsack-Problem Szenario Hirarchie im Unity Editor.

In dieser Abbildung ist die Hirarchie un der Inhalts des Knapsack-Problem Szenarios zu sehen. Anhand desen ist zu erkennen, dass diese Unity Szene aus vielen wichtigen Komponenten besteht, die alle zusammenspielen, m das gewünschte Ergebnis zu erzielen. Darunter sind folgende Objekte:

- **level-2:** Ist die Unity Szene selbst, in der alle Game-Objekte enthalten sind.
- **MRTK XR Rig:** Grundbaustein für das Entwickeln einer XR-Applikation. Enthält wichtig Komponenten wie Controller für das tracken der Hände, für den User Gaze,

etc.

- **UserInfo:** Text Objekt, dass in der *main camera* liegt, damit dieses ständig im Sichtfeld des Benutzers liegt.
- **Managers:** Die drei Manager *ARPlaneManager*, *ARRaycastManager* und *QRCodeManager* sind wichtiger Bestandteil um ARPlanes zu scannen, Raycasting durchzuführen und QRCodes zu erkennen.
- **HandMenu:** Knopf um in das Hauptmenu-Szenario zurück zu gelangen.
- **AR Default Plane:** Ist das Grund-Objekt für das markieren von erkannten AR-Planes.
- **ARSession:** Ist die Hauptkomponente, die die AR-Funktionalitäten steuert und koordiniert.
- **InventoryPlacementController:** Game Objekt, welches das platzieren des Inventar-Objekts handhabt.
- **InventoryController:** Game Objekt, welches das erkennen von neuen Objekten innerhalb des Inventar-Objekts handhabt.
- **KnapsackSolver:** Game Objekt, welches den Knapsack Algorithmus implementiert und das eigene Inventar berechnet.
- **bestSolutionPrefab:** Prefab, welches die perfekte Lösung wiederspiegelt.
- **InfoObject:** Dient der visualisierung von berechneten Werten und Fehlermeldungen.

In der Abbildung ist ausßredem zu sehen, dass ein Paar Game Objekte ausgegraut und nicht ausgegraut sind und, dass neben ein paar Game Objekten ein durchgestrichenes Auge zu sehen ist. Wenn ein Game Objekt im Unity Editor ausgegraut ist bedeutet das, dass dieses GameObjekt und somit alle angehängten Scripts von diesem Game Objekt deaktiviert sind. Das bedeutet, dass dieses Game Objekt samt allen Scripts zu Szenenbeginn nicht aufgerufen und somit auch nicht ausgeführt werden. Nicht ausgegraute Game Objekte wiederum sind daher genau das Gegenteil. Das beudetet, dass das Game Objekt selbst samt allen angehängten Scripts alle aktiviert sind und somit zu Szenenbeginn aufgerufen und ausgeführt werden.

Wenn neben einem Game Objekt das durchgestrichene Auge zu sehen ist bedeutet das nur, dass dieses Game Objekt im Unity Editor nicht zu sehen ist. Andererseits, wenn kein Zeichen neben dem Game Objekt zu sehen ist, ist dieses Objekt im Unity Editor sichtbar. Dies dient dazu, dass falls in der Unity Szene viele Game Objekte vorhanden sind, dass man diejenige ausblendet die nicht im Editor sichtbar sein müssen wie zum Beispiel Tesh Meshes oder Lables.

4.5.2 Nutzung von QR-Codes

Im vorherigen Abschnitt wurde bereits erwähnt, dass QR-Codes in diesem Level verwendet werden, um verschiedene Elemente zu repräsentieren. Diese QR-Codes spielen eine entscheidende Rolle, indem sie dazu dienen, vielfältige Informationen zu den einzelnen Objekten zu speichern und sie anschließend in einer virtuellen Umgebung abzubilden. Im folgenden Abschnitt möchten wir näher darauf eingehen, wie genau diese QR-Codes generiert werden und welchen Zweck sie innerhalb der Augmented Reality (AR)-Applikation erfüllen. Dabei wird insbesondere betrachtet, wie die Generierung der Codes erfolgt und auf welche Weise sie innerhalb der Anwendung zur Interaktion mit den realen Objekten verwendet werden.



HAYLAZ

4.5.2.1 Struktur und Inhalt eines QR-Codes

Die Informationen, die in einem QR-Code gespeichert werden können, sind begrenzt. In unserem Anwendungsfall wird lediglich eine einzelne Zahl im Bereich von 1 bis 11 abgespeichert. Diese Zahlen repräsentieren die 11 verschiedenen Modelle, die wir unterscheiden möchten. Da nur eine Zahl gespeichert wird, genügt ein QR-Code der Größe 21x21 Module (Version 1). Die geringe Anzahl von Modulen ermöglicht eine schnellere Erkennung, auch über größere Distanzen.

TODO: Testen und Grafik erstellen um zu zeigen das es eine Rolle spielt welche version wir verwenden + wie groß die sind

Die zugehörigen Zahlen erhalten in der Software, genauer gesagt in der Klasse *QRItem.cs*, einen Kontext. Der folgende Codeausschnitt zeigt dies:

```

1 public class QRItem
2 {
3     public struct QRData
4     {
5         public int id;
6         public string name;
7         public Vector3 position;
8         public int weight;
9         public int value;
10    }
11
12    public QRData qrData;
13
14    public Dictionary<int, QRData> items = new Dictionary<int, QRData>()
15    {
16        {1, new QRData { id = 1, name = "Laptop", weight = 70, value = 100 }},
17        {2, new QRData { id = 2, name = "Router", weight = 25, value = 50 }},
18        {3, new QRData { id = 3, name = "Maus", weight = 20, value = 30 }},
19        // ...
20        {11, new QRData { id = 11, name = "Handy", weight = 30, value = 100 }}
21    };
22
23    public QRItem(int id)
24    {
25        items.TryGetValue(id, out qrData);
26    }
27 }
```

In dieser Klasse wird ein Dictionary verwendet, das den Zahlen die folgenden Informationen zuordnet:

- **Item Id:** Die numerische Kennung im QR-Code.
- **Item Name:** Die Bezeichnung des Items, das dieser QR-Code repräsentiert.
- **Item Position:** Die Position des Items in der virtuellen Umgebung.
- **Item Weight:** Das Gewicht des Items.
- **Item Value:** Der Wert des Items.

Diese Informationen spielen eine wesentliche Rolle in der weiteren Berechnung des Knapsack-Algorithmus.

4.5.2.2 QR-Code-Tracking

Das Tracking der QR-Codes erfolgt mithilfe des *QRCodeManager.cs* Skripts. Dieses Klasse ist ein Singleton, das die Erkennung und Verfolgung der QR-Codes steuert.

Nach der Erkennung eines QR-Codes erfolgen eine Reihe von Schritten, um diese Informationen zu speichern, verarbeiten und zuletzt darzustellen. Hier eine kurze Übersicht:

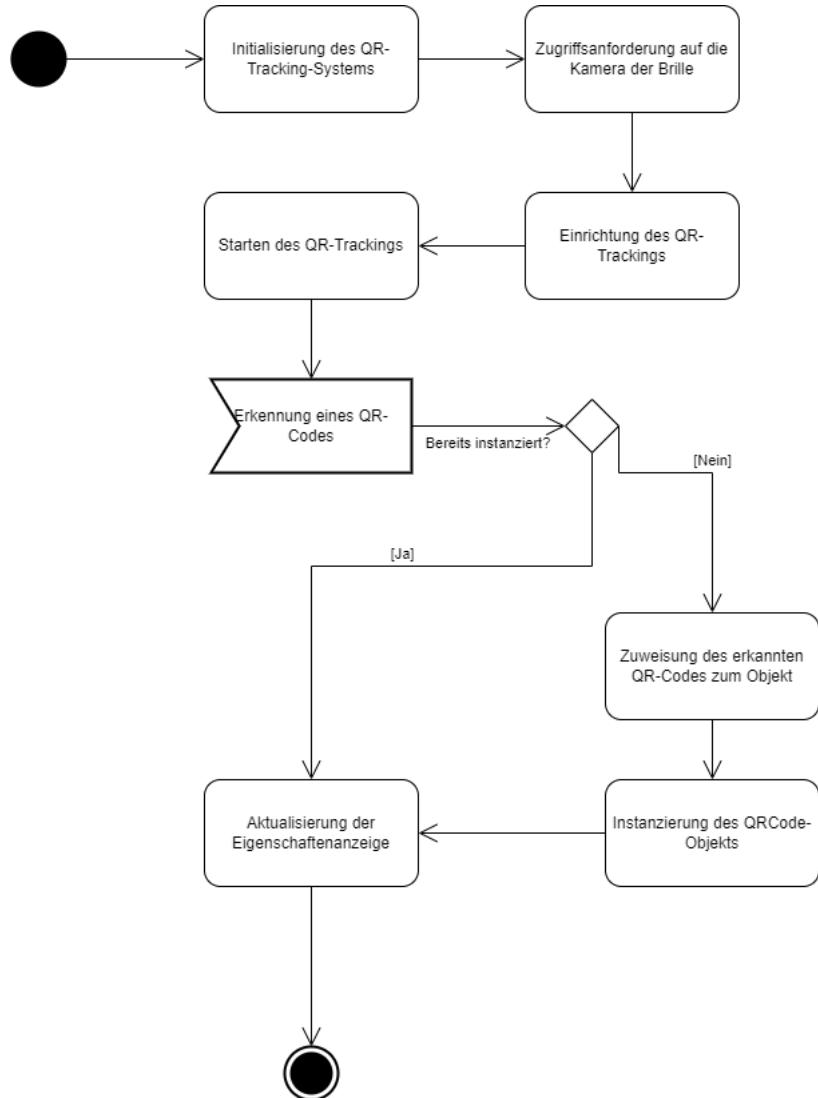


Abbildung 4.16: Ablaufdiagramm des QR-Code-Trackings.

- **Initialisierung des QR-Tracking-Systems:** Zur Aktivierung des QR-Tracking-Systems werden die erforderlichen Ressourcen und Komponenten gestartet, um die Erkennung von QR-Codes zu ermöglichen. Dabei werden Tracking-Algorithmen gestartet, die für die Lokalisierung und Identifizierung von QR-Codes in der Umgebung benötigt werden. Diese Initialisierung erfolgt zu Beginn der Anwendungsaktivität.
- **Zugriffsanforderung auf die Kamera der Brille:** TODO: Hier ein Bild von "Camera access needed" einfügen. Für das QR-Tracking wird der Zugriff auf die Kamera der Augmented-Reality-Brille benötigt. Eine Zugriffsanfrage wird gestellt, um die notwendigen Berechtigungen zu erhalten. Dieser Schritt ist entscheidend, um visuelle Daten von der Kamera zu erhalten und QR-Codes in der physischen Umgebung zu erkennen.
- **Einrichtung des QR-Trackings:** Die Einrichtung des QR-Trackings umfasst die Konfiguration von Parametern und Einstellungen, die für die korrekte Funktion des

Tracking-Systems erforderlich sind. Dazu gehören Kalibrierungsschritte, die Anpassung an die Umgebung und die Festlegung von Erkennungsbereichen. Eine ordnungsgemäße Einrichtung gewährleistet eine zuverlässige und präzise Erkennung von QR-Codes.

- **Starten des QR-Trackings:** Das System sucht aktiv nach QR-Codes in der Umgebung, um sie zu erkennen. Die Kamera erfasst kontinuierlich visuelle Daten, welche von den Tracking-Algorithmen analysiert werden, um QR-Codes zu identifizieren. Das Starten des Trackings markiert den Beginn des fortlaufenden Erkennungsprozesses.
- **Erkennung eines QR-Codes (Event):** Sobald die Kamera einen QR-Code erfasst, wird dieser erkannt. Das Ereignis signalisiert, dass ein QR-Code erkannt wurde und gibt Informationen über den erkannten QR-Code, wie seine Daten und Position, weiter.
- **Zuweisung des erkannten QR-Codes zum Objekt:** Nach der Erkennung wird überprüft, ob der erkannte QR-Code bereits in der Anwendung registriert ist. Falls dies der Fall ist, wird der erkannte QR-Code einem entsprechenden Objekt in der virtuellen Umgebung zugeordnet.
- **Instanzierung des QRCode-Objekts:** Nach dem Scannen eines QR-Codes wird ein QR-Code-Prefab erzeugt und in der Szene platziert.

Dieses Objekt dient als Repräsentation des gescannten QR-Codes und wird als QR-Objekt bezeichnet. Es enthält visuelle Darstellungen, Interaktionsmöglichkeiten und weitere relevante Informationen über den zugehörigen QR-Code. Die Instanziierung ermöglicht eine nahtlose Integration des gescannten QR-Codes in die virtuelle Umgebung. Weitere Informationen zur Visualisierung von QR-Codes finden Sie in Abschnitt ??.

- **Aktualisierung der Eigenschaftenanzeige:** Die Aktualisierung der Eigenschaftsanzeige dient dazu, visuelle und informative Darstellungen des erkannten QR-Codes zu aktualisieren. Hierbei werden die Position, Größe, visuelle Darstellung und zugehörige Informationen des QR-Codes aktualisiert. Durch die Aktualisierung wird sichergestellt, dass die Benutzer stets die neuesten Informationen über das durch den QR-Code repräsentierte Objekt erhalten.

4.5.2.3 Interaktion mit QR-Codes



Abbildung 4.17: Bauklötzte mit QR-Codes

TODO: neues besseres Bild einfügen

Durch die Verwendung der HoloLens können wir dem Benutzer eine visuelle Darstellung einer virtuellen Welt bieten. Um eine Verbindung zwischen der realen und der virtuellen Welt herzustellen, nutzen wir QR-Codes. Diese dienen als Repräsentationen der realen Objekte, die wir in der virtuellen Welt darstellen möchten.

Wie in 4.17 zu sehen ist, sind die Bauklötzte mit QR-Codes versehen. Diese Bauklötzte repräsentieren die Gegenstände, die der Benutzer in sein Inventar aufnehmen kann. Wenn der Benutzer einen Bauklotz aufhebt und ihn der HoloLens nähert, wird der QR-Code gescannt. Dadurch werden Informationen wie das zugehörige 3D-Modell, der Wert, das Gewicht und der Name des Gegenstands angezeigt. Auf diese Weise können wir eine nahtlose Verbindung zwischen der realen und der virtuellen Welt herstellen und dem Benutzer eine interaktive Erfahrung bieten.

Dem Benutzer wird die Möglichkeit geboten, die Bauklötzte physisch zu berühren, aufzuheben und zu fühlen. Diese sensorische Erfahrung trägt dazu bei, die Immersion des Benutzers zu verbessern und ihm ein besseres Verständnis der virtuellen Welt zu ermöglichen.

4.5.2.4 Bestimmen der Position QR-Codes

TODO: Auch die events add remove und update erklären vom qrWatcher

4.5.2.5 Visualisierung von QR-Codes

TODO: Bild von einem QR Prefab einfügen Nachdem die genaue Platzierung der QR-Codes bestimmt wurde, steht die Aufgabe an, ihre Visualisierung in der virtuellen Welt umzusetzen.

Hierfür wird die Funktionalität von Unity Prefabs genutzt. Diese ermöglichen die Erstellung visueller Repräsentationen der QR-Codes und ihre nahtlose Integration in die virtuelle Umgebung. Weitere Informationen zu Prefabs und ihrer Funktionsweise finden Sie im Abschnitt ??.

Innerhalb jedes Prefabs sind alle relevanten Informationen enthalten, die für die korrekte Darstellung des QR-Codes erforderlich sind. Dazu gehören nicht nur das 3D-Modell des QR-Codes, sondern auch zugehörige Daten wie Name, Wert und Gewicht. Diese Daten sind entscheidend für die Interaktionen innerhalb der virtuellen Umgebung.

Um die Funktionalität des QR-Codes in der virtuellen Welt zu gewährleisten, wird dem Prefab das Skript *QRCode.cs* zugewiesen. Dieses Skript steuert die visuelle Darstellung des QR-Codes sowie sämtliche Interaktionen, die damit verbunden sind. Durch die Zuweisung dieses Skripts wird sichergestellt, dass die QR-Codes nicht nur korrekt angezeigt, sondern auch innerhalb der virtuellen Umgebung interaktiv sind.

TODO: Bild von einem gescannten QRCode einfügen

4.5.2.6 Zugriff auf QR-Codes bereitstellen

Wie bereits im Abschnitt ?? erwähnt, benötigen andere Teile der Anwendung Zugriff auf die aktuell erkannten QR-Codes in der Szene, um entsprechend darauf reagieren zu können. Die Bereitstellung dieser Option war eine Herausforderung. Um keine Performance-Einbußen auf der Hololens zu verursachen, läuft der Prozess des QR-Code-Trackings auf mehreren Threads. Die aktuell erkannten QR-Codes werden in einem SortedDictionary gespeichert, welches von anderen Teilen der Anwendung abgefragt werden kann. Da auf dieses Objekt von mehreren Threads zugegriffen wird, muss es mit einem *lock* geschützt werden, um Inkonsistenzen zu vermeiden. Hierbei handelt es sich um eine Sperre, die verhindert, dass mehrere Threads gleichzeitig auf das gleiche Objekt zugreifen. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass die Daten nicht inkonsistent werden und dass die Anwendung stabil und zuverlässig bleibt. Jedoch da wir Threads Zugriff verweigern müssen, um die Daten zu schützen, kann es zu einer Verzögerung kommen, bis die Daten verfügbar sind. Jedoch ist dieser Nachteil in unserem Anwendungsfall nicht von großer Bedeutung da wir selten zur gleichen Zeit auf die Daten zugreifen und dadurch die Verzögerung nicht bemerkbar ist.

4.5.3 Platzieren des Inventars

Um eine präzise Interaktion zwischen der realen und augmentierten Realität zu gewährleisten, ist der Zugriff auf die Kamera erforderlich, um die physische Umgebung präzise zu erfassen. Durch die Analyse der erfassten Umweltdaten können relevante Ebenen identifiziert werden, die entscheidend sind, um eine akkurate Platzierung des Inventar-Objekts zu gewährleisten.

In diesem Abschnitt wird auf das *inventoryPlacementController* Unity Game Objekt mit der zugehörigen Komponenten *InventoryPlacementController.cs* Skript behandelt. Dieses Skript implementiert die **InventoryPlacementController** Klasse welche sämtliche

→
SKREPEK

Funktion zu Berechnung der Position und Platzierung des Inventar Objekts umfasst.

4.5.3.1 Das inventoryPlacementController Game Objekt

Das inventoryPlacementController Game Objekt in folgender Abbildung 4.18 ist der Grundbaustein für das Anwendungsszenario des Knapsack-Problems. Es ist dafür zuständig, anhand des Blicks des Benutzers das Invenar Objekt dementsprechend richtig zu platzieren und zu visualisieren. Das Game Objekt hat eine angehängte Komponente *inventoryPlacementController.cs* welche das Skript für die Implementierung dieser Logik wiederspiegelt und die **InventoryPlacementController** Klasse implementiert.

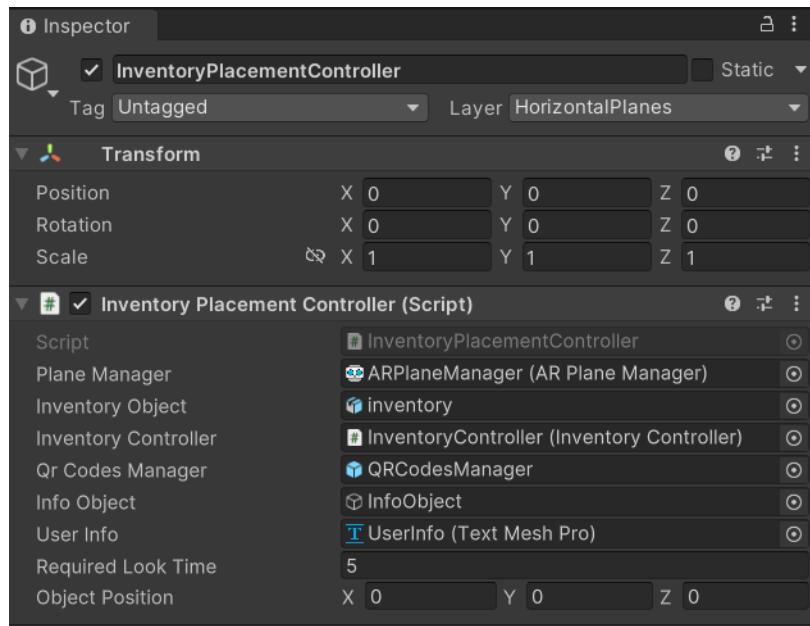


Abbildung 4.18: inventoryPlacementController Objekt im Editor

Diese Abbildung veranschaulicht das Game Objekt im Unity Inspektor. Wie hier veranschaulicht wird, bietet diese Komponente einige Dinge, die direkt in Unity angegeben und übergeben werden können. Darunter wichtig sind vor allem die Variablen der Klasse selbst, die Objekte aus dem Unity Editor benötigen, um dementsprechend funktionieren zu können. Diese Variablen umfassen:

- **Plane Manager:** Hierbei handelt es sich um eine Zuweisung zum Game Objekt des *ARPlanesManagers* aus der Szene Level 2.
- **Inventory Object:** Diese Referenz ist mit dem 3D-Modell des Inventars aus dem Prefab-Ordner verknüpft.
- **Inventory Controller:** Diese Variable ist mit dem Skript des *InventoryControllers* verbunden.
- **QR Codes Manager:** Hierbei handelt es sich um einen Verweis auf das Game Objekt des *QRCodeManagers* aus der Szene Level 2.
- **Info Object:** Diese Referenz ist mit dem Game Objekt *infoObject* aus der Szene Level 2 verbunden.
- **User Info:** Referenz auf das TextMesh in der *Main Camera*, dass zur Anzeige von Anweisungen und Tipps dient.

- **Required Look Time:** Diese Variable gibt die vorgeschriebene Zeitdauer an, für die der Benutzer auf ein Plane blicken muss, damit das Inventar platziert wird.

4.5.3.2 User Gaze in AR-Anwendungen

Die Verwendung des Benutzerblicks bildet die Grundlage für das Anwendungsszenario des Knapsack-Problems. Gaze bezieht sich auf die Richtung und Position, in die eine Person ihren Blick richtet, und ermöglicht die Analyse der Aufmerksamkeit des Benutzers in der realen Welt. Diese Information wird genutzt, um festzustellen, wohin der Benutzer schaut, und damit die Platzierung des Inventar Objekts in der virtuellen Umgebung zu bestimmen. Darüber hinaus eröffnet die Verwendung des Gazes eine Vielzahl weiterer Möglichkeiten.

1. **Interaktionen basierend auf dem Blick:** Durch die Verfolgung des Benutzer-gazes können Interaktionen in der AR-Umgebung ausgelöst werden. Beispielsweise kann der Benutzer durch simples Anschauen eines virtuellen Objekts darauf klicken, um weitere Informationen anzuzeigen oder eine Aktion auszulösen. Diese Art der Interaktion ermöglicht eine intuitive Bedienung ohne physische Eingabegeräte.
2. **Blickgesteuerte Navigation:** Die HoloLens 2 ermöglicht auch eine blickgesteuerte Navigation in der AR-Umgebung. Indem der Benutzer bestimmte Punkte oder Objekte anschaut, kann er beispielsweise in der Umgebung navigieren oder Menüs öffnen, ohne physische Gesten ausführen zu müssen.
3. **Verbesserte Immersion:** Die Integration des Gaze in AR-Anwendungen mit der HoloLens 2 trägt zur Immersion des Benutzers bei, indem sie die Interaktion mit der virtuellen Umgebung natürlicher und nahtloser gestaltet. Durch die genaue Erfassung des Benutzergazes und die Echtzeitreaktion auf virtuelle Objekte entsteht ein Gefühl von Präsenz und Realismus.

4.5.3.3 InventoryPlacementController Klasse

Die **InventoryPlacementController** Klasse ist ein zentraler Bestandteil der AR-Anwendung, die für das Knapsack-Problem Szenario entwickelt wurde. Diese Klasse ist verantwortlich für die Platzierung des Inventar Objekts basierend auf dem Benutzergaze in der virtuellen Umgebung. Sie ermöglicht die Interaktion mit AR-Planes und steuert den Prozess der Platzierung von dem Inventar Objekt auf einem ausgewählten *ARPlane*. Die Klasse enthält Funktionen zur Erfassung des Benutzergazes, zur Auswahl geeigneter Ebenen für die Platzierung und zur Ausführung der Platzierungslogik. Durch die Integration dieser Klasse wird eine nahtlose und intuitive Benutzererfahrung für die AR-Anwendung gewährleistet. Die Klasse sieht wie folgt aus:

```

1 public class InventoryPlacementController : MonoBehaviour
2 {
3     public ARPlaneManager planeManager;
4     public GameObject inventoryObject;
5     public InventoryController inventoryController;
6     public GameObject qrCodesManager;
7     public GameObject infoObject;
8     public TextMeshPro userInfo;
9     public float requiredLookTime = 5.0f;
10    public Vector3 objectPosition;
11
12    private ARPlane selectedDeskPlane;
13    private float lookStartTime = -1f;
14    private bool objectPlaced = false;
15    private float heightOffset = 0.001f;

```

```

16     private bool canStartScript = false;
17
18     private Ienumerator DelayedStart(){...}
19
20     void Start(){...}
21
22     void Update(){...}
23
24     private bool IsPointerOverPlane(){...}
25
26     private ARPlane GetCurrentPlaneUnderGaze(){...}
27
28     private void PlaceObjectOnDesk(ARPlane deskPlane){...}
29
30 }
```

Listing 4.7: InventoryPlacementController Klasse

Im Folgenden werden die drei wichtigen Funktionen **Update()**, **IsPointerOverPlane()** und **PlaceObjectOnDesk()** näher erläutert, um ein tieferes Verständnis für die zugrunde liegende Logik zu vermitteln.

4.5.3.4 Verwendung des Usergazes

In dieser Klasse wird der Blick des Benutzers in zwei separaten Funktionen verwendet, um das *ARPlane* zu identifizieren, auf das der Benutzer gerade schaut. Beide Funktionen basieren auf derselben grundlegenden Logik, unterscheiden sich jedoch darin, dass die Funktion **IsPointerOverPlane()** einen booleschen Wert zurückgibt, der angibt, ob sich der Benutzergaze über einem *ARPlane* befindet, während die Funktion **GetCurrentPlaneUnderGaze()** das tatsächliche identifizierte *ARPlane* zurückgibt. Um die zugrunde liegende Logik des Benutzergazes zu verdeutlichen, wird anschließend die Funktionsweise der **IsPointerOverPlane()** Funktion erläutert.

```

1 private bool IsPointerOverPlane()
2 {
3     Ray ray = Camera.main.ScreenPointToRay(Input.mousePosition);
4     RaycastHit hit;
5     if (Physics.Raycast(ray, out hit))
6     {
7         ARPlane plane = hit.collider.GetComponent<ARPlane>();
8         return (plane != null);
9     }
10    return false;
11 }
```

Listing 4.8: Funktion um Usergaze zu verwenden

Die Funktion verwendet eine Raycast-Abfrage, um festzustellen, ob sich der Benutzergaze über einem *ARPlane* befindet.

In dieser Funktion wird zuerst ein Ray erstellt, der vom Hauptkamerapunkt ausgeht und durch den aktuellen Mauszeiger verläuft (der die Position des Benutzergazes repräsentiert). Dieser Ray wird verwendet, um festzustellen, ob er mit einem Objekt in der Szene kollidiert.

Wenn der Ray auf ein Objekt trifft (dargestellt durch die Variable *hit*), wird überprüft, ob es sich bei diesem Objekt um ein *ARPlane* handelt. Dies wird durch den Aufruf von *hit.collider.GetComponent<ARPlane>()* überprüft. Wenn das Objekt ein *ARPlane* ist, wird die Funktion *GetComponent<ARPlane>()* nicht null zurückgeben, was bedeutet, dass sich der Benutzergaze über einem *ARPlane* befindet, und die Funktion gibt true zurück.

Wenn der Ray auf kein *ARPlane* trifft oder überhaupt kein Objekt getroffen wird, wird false zurückgegeben, was bedeutet, dass sich der Benutzergaze nicht über einem *ARPlane* befindet.

4.5.3.5 Frame Aktualisierung

Während der Ausführung dieses Skripts kann der Benutzer seinen Blick auf ein anderes *ARPlane* lenken, weshalb es wichtig ist, kontinuierlich zu überprüfen, ob das Inventarobjekt bereits platziert wurde. Diese Überprüfung wird durch die **Update()** Funktion durchgeführt, die in jedem Frame aufgerufen wird, was bedeutet, dass sie mit einer Frequenz von 60 Mal pro Sekunde ausgeführt wird. Die **Update()** Funktion ist von zentraler Bedeutung für dieses Skript, da sie die Platzierung des Inventarobjekts anhand des Benutzergazes überwacht und aktualisiert. Um die Funktionsweise dieser Funktion genauer zu erläutern, wird im Folgenden näher darauf eingegangen.

```

1 void Update()
2 {
3     if (!objectPlaced && canStartScript)
4     {
5         if (IsPointerOverPlane())
6         {
7             ARPlane currentPlane = GetCurrentPlaneUnderGaze();
8
9             if (currentPlane != null)
10            {
11                if (selectedDeskPlane == null || selectedDeskPlane != currentPlane)
12                {
13                    selectedDeskPlane = currentPlane;
14                    lookStartTime = Time.time;
15                }
16                float timeLookedAtPlane = Time.time - lookStartTime;
17                userInfo.text = ((int)requiredLookTime - (int)timeLookedAtPlane).
18                ToString();
19                if (timeLookedAtPlane >= requiredLookTime)
20                {
21                    PlaceObjectOnDesk(selectedDeskPlane);
22                    objectPlaced = true;
23                    userInfo.text = "";
24                }
25            }
26        }
27        else
28        {
29            selectedDeskPlane = null;
30            userInfo.text = "Schauen Sie auf einen Tisch";
31        }
32    }
33    else
34    {
35        selectedDeskPlane = null;
36        userInfo.text = "Schauen Sie auf einen Tisch";
37    }
}

```

Listing 4.9: Funktion um Usergaze zu verwenden

Die Funktionsweise der **Update()** Funktion lässt sich in mehrere Schritte gliedern:

1. Überprüfung, ob das Inventar Objekt noch nicht platziert wurde und das

Skript gestartet werden kann: Zunächst wird in der **Update()** Funktion überprüft, ob das Inventar Objekt bereits platziert wurde (*objectPlaced*), und ob das Skript gestartet werden kann (*canStartScript*). Dies stellt sicher, dass die Platzierung nur dann durchgeführt wird, wenn beide Bedingungen erfüllt sind.

2. **Bestimmung des Benutzergaze über einem ARPlane:** Anschließend wird geprüft, ob sich der Benutzergaze über einem ARPlane befindet. Dies wird durch den Aufruf der Funktion **IsPointerOverPlane()** erreicht, die feststellt, ob sich der Benutzergaze über einem ARPlane befindet.
3. **Identifikation des aktuellen ARPlane:** Wenn bestätigt wird, dass sich der Benutzergaze über einem ARPlane befindet, wird der aktuelle ARPlane identifiziert. Dies erfolgt durch den Aufruf der Funktion **GetCurrentPlaneUnderGaze()**, die den ARPlane bestimmt, auf den der Benutzergaze gerichtet ist.
4. **Aktualisierung des ausgewählten ARPlane und Startzeit des Blicks:** Nachdem der ARPlane identifiziert wurde, wird überprüft, ob es sich um einen anderen ARPlane handelt als den, auf den der Benutzergaze zuletzt gerichtet war. Falls ja, wird die Variable *selectedDeskPlane* aktualisiert und die Startzeit des Blicks auf den neuen ARPlane gespeichert.
5. **Messung der Blickdauer auf den aktuellen ARPlane:** Es wird die Dauer gemessen, für die der Benutzer auf den aktuellen ARPlane schaut. Dies erfolgt durch die Berechnung der Zeitdifferenz seit dem Start des Blicks auf den ARPlane.
6. **Überprüfung, ob die erforderliche Blickdauer erreicht wurde:** Es wird überprüft, ob die gemessene Zeit die erforderliche Zeit überschreitet, die der Benutzer auf den ARPlane schauen muss, um das Inventarobjekt zu platzieren.
7. **Platzierung des Inventarobjekts:** Wenn die erforderliche Blickdauer erreicht wurde, wird die Funktion **PlaceObjectOnDesk()** aufgerufen, um das Inventarobjekt auf dem ausgewählten ARPlane zu platzieren.
8. **Aktualisierung des Platzierungsstatus und der Benutzeroberfläche:** Nach erfolgreicher Platzierung des Objekts wird die Variable *objectPlaced* auf *true* gesetzt, um anzusehen, dass das Objekt platziert wurde. Außerdem wird die Benutzeroberfläche entsprechend aktualisiert, um den Benutzer über den erfolgreichen Platzierungsvorgang zu informieren.
9. **Benachrichtigung bei fehlendem ARPlane:** Wenn der Benutzergaze sich nicht über einem ARPlane befindet oder kein ARPlane erkannt wird, wird die Benutzeroberfläche entsprechend aktualisiert, um den Benutzer darüber zu informieren, dass er auf einen ARPlane schauen muss, um das Inventarobjekt erfolgreich zu platzieren.

4.5.3.6 Platzieren des Inventar Objekts

Das Platzieren des Inventarobjekts markiert das Ende des *InventoryPlacementController* Skripts. Die Funktion **PlaceObjectOnDesk()** übernimmt die Aufgabe, das Inventarobjekt zu platzieren und weitere Gameobjekte sowie Skripts zu aktivieren oder zu deaktivieren, um einen reibungslosen Fortlauf der Anwendung zu gewährleisten. Im folgenden Code-Ausschnitt wird die Implementierung der **PlaceObjectOnDesk()** Funktion dargestellt:

```

1 private void PlaceObjectOnDesk(ARPlane deskPlane)
2 {
3     qrCodesManager.SetActive(true);
4     objectPosition = deskPlane.center + Vector3.up * heightOffset;
5     Quaternion objectRotation = Quaternion.Euler(-90f, 0f, 0f);

```

```

6     GameObject instantiatedObject = Instantiate(inventoryObject, objectPosition,
7         objectRotation);
8     instantiatedObject.transform.localScale = new Vector3(20f, 20f, 20f);
9     Vector3 infoObjectPosition = objectPosition - Vector3.forward * 4.415f + Vector3.
10    right * 0.4f;
11    infoObject.transform.position = infoObjectPosition;
12    infoObject.SetActive(true);
13    inventoryController.SetInventoryObject(instantiatedObject);
14    inventoryController.gameObject.SetActive(true);
15    gameObject.SetActive(false);
16 }
```

Listing 4.10: Funktion zum Platzieren des Inventarobjekts

Im Wesentlichen kann diese Funktion in mehrere einzelne Schritte unterteilt werden, die den Platzierungsvorgang des Inventarobjekts steuern:

1. **Aktivierung des QRCodeManagers:** Zunächst wird der QRCodeManager aktiviert, um sicherzustellen, dass QR-Codes nach Abschluss dieses Skripts gescannt werden können.
2. **Berechnung der Position und Anpassung der Skalierung:** Als nächstes wird die Position des zu platzierenden Objekts anhand der Mitte des übergebenen *AR-Plane* berechnet. Die Rotation wird auf eine standardmäßige Ausrichtung eingestellt, und das Objekt wird instanziert, um es für den Benutzer sichtbar zu machen. Abschließend wird die Skalierung des Objekts auf einen festgelegten Wert gesetzt, um die Größe des Inventarobjekts zu steuern.
3. **Platzierung des Informationsobjekts:** Die Position des Informationsobjekts wird berechnet, damit es neben dem Inventar Objekt platziert wird. Anschließend wird das Informationsobjekt aktiviert, um es sichtbar zu machen und dem Benutzer zusätzliche Informationen zu liefern.
4. **Übergabe des Inventar Objekts an den Inventory Controller:** Die Instanz des Inventarobjekts wird dem Inventory Controller übergeben, um sicherzustellen, dass dieser mit der richtigen Instanz des Objekts arbeitet und die Interaktion ordnungsgemäß durchgeführt werden kann.
5. **Aktivierung des Inventory Controllers:** Nach Abschluss der Platzierungsvorgänge wird das Inventory Controller Skript aktiviert, um die Interaktion mit dem Inventar zu ermöglichen.
6. **Deaktivierung des Inventory Placement Controllers:** Abschließend wird das InventoryPlacementController Gameobjekt selbst deaktiviert, da seine Aufgabe erfüllt ist und das Inventarobjekt erfolgreich platziert wurde.

Diese Schritte führen den Platzierungsvorgang des Inventarobjekts durch und stellen sicher, dass die Anwendung ordnungsgemäß funktioniert und dem Benutzer eine nahtlose und intuitive Benutzererfahrung bietet.

4.5.3.7 Sicht des Benutzers nach Abschluss des Skripts

Nach Abschluss des Skripts zur Platzierung des Inventarobjekts hat der Benutzer eine klare Sicht auf die virtuelle Umgebung. Das platzierte Objekt wird nun auf der Oberfläche angezeigt, auf die der Benutzer seinen Blick gerichtet hat, wodurch eine nahtlose Integration von virtuellen und physischen Elementen entsteht.

Die Platzierung des Inventar Objekts ermöglicht es dem Benutzer, eine immersive Erfahrung zu erleben, bei der virtuelle und reale Elemente nahtlos miteinander verschmelzen.

Diese Integration schafft eine reichhaltige und interaktive Augmented-Reality-Umgebung, die es dem Benutzer ermöglicht, mit den virtuellen Objekten in seiner physischen Umgebung zu interagieren.

Ein visuelles Beispiel dieser Erfahrung ist in Abbildung 4.19 dargestellt, die die Sicht des Benutzers nach der Platzierung des Inventar Objekts veranschaulicht.

Abbildung 4.19: Sicht des Benutzers nach Platzierung des Inventars

4.5.4 Inventory Controller Game Objekt

Das *Inventory Controller* Game Objekt nimmt eine essenzielle Rolle bei der Überwachung und Verwaltung des Inventars in der Augmented Reality (AR)-Anwendung ein. Durch das angehängte Skript *InventoryController.cs* wird die **InventoryController**-Klasse implementiert. Diese Klasse ist dafür zuständig, neue Gegenstände im Inventar zu erkennen, den verfügbaren Platz zu überprüfen, die Zellenposition anhand der QR-Code-Koordinaten zu berechnen und die Positionen dieser Gegenstände in einem *2D Array* zu speichern.

→ SKREPEK

Der Zugriff auf die Begrenzungen (*Bounds*) des Inventar-Modells ermöglicht eine kontinuierliche Überwachung, ob der Benutzer ein neues Element in das Inventar gelegt hat. Dieser Ansatz gewährleistet eine präzise Kontrolle über die Platzierung von Gegenständen im Inventar.

Das Skript *InventoryController.cs* interagiert aktiv mit den AR-Elementen, insbesondere den QR-Codes, um den Platzbedarf der Gegenstände zu überwachen und ihre Positionen im Inventar festzulegen. Zusätzlich kommuniziert der *InventoryController* auch mit dem Game Objekt *KnapsackSolver*, indem er das gespeicherte *2D Array* weitergibt, um entsprechende Berechnungen durchführen zu können.

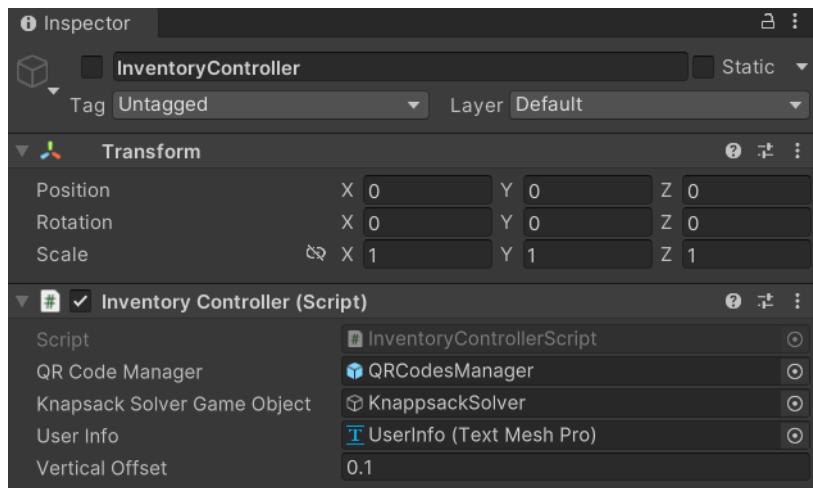


Abbildung 4.20: InventoryController Objekt im Editor

Abbildung 4.20 zeigt das *InventoryController*-Objekt im Unity Editor. Hier können verschiedene Einstellungen vorgenommen werden, darunter die Ebene, in der dieses Objekt liegt, die Koordinaten im Unity Editor und die angehängte Komponente *InventoryController.cs*. Zudem sind vordefinierte Werte für bestimmte Variablen sichtbar. Diese Variablen umfassen:

- **QRCodesManager:** Referenz auf das *QRCodesManager*-Game-Objekt aus der Level 2 Szene.

- **Knapsack Solver Game Objekt:** Referenz auf das *KnapsackAlgo*-Game-Objekt aus der Level 2 Szene.
- **User Info:** Referenz auf das TextMesh in der *Main Camera*, dass zur Anzeige von Anweisungen und Tipps dient.
- **Vertical Offset:** Float-Wert, um den die Begrenzungen (*Bounds*) des Inventory-Objekts auf der X-Achse erweitert werden.

4.5.4.1 InventoryController Klassenvariablen

```

1 public GameObject QRCodeManager;
2 public GameObject knapsackSolverGameObject;
3 public TextMeshPro userInfo;

4
5 private SortedDictionary<System.Guid, GameObject> activeQRObjects;
6
7 private GameObject inventoryObject;
8 public float verticalOffset = 0.1f;
9 private Bounds inventoryBounds;
10 private int numRows = 3;
11 private int numColumns = 3;
12 private int[,] idGrid;
13 private KnapsackSolver knapsackSolver;
14 private int cap;
15 private int currWeight = 0;
16 private HashSet<int> processedItems;

```

Listing 4.11: Klassenvariablen der InventoryController Klasse

Die gezeigten Klassenvariablen im Codeabschnitt 4.11 sind Teil der *InventoryController* Klasse. Öffentliche (*public*) Variablen repräsentieren Objekte und Werte, die im Unity Editor festgelegt und übergeben werden oder von anderen Klassen für die Funktionalität benötigt werden. Dies ermöglicht einen direkten Zugriff auf diese Objekte in der eigenen oder einer anderen Klasse. Die Float-Variablen *verticalOffset* spielt hier eine wichtige Rolle für die Erweiterung der Begrenzungen (*Bounds*) des Inventar-Modells und das TextMesh-Pro *userInfo* für das anzeigen von Anweisung und Tips für den Benutzer.

Die privaten (*private*) Variablen dienen der lokalen Speicherung von Werten, die von keiner anderen Klasse benötigt werden.

4.5.4.2 Start des InventoryControllers

Die **Start()** Funktion spielt eine Schlüsselrolle beim Initialisieren der erforderlichen Objekte und Skripte für den erfolgreichen Start des *InventoryControllers*. Diese Funktion wird zu Beginn des *InventoryControllers* aufgerufen und ist verantwortlich für die Deklaration und Einrichtung der notwendigen Komponenten. Entsprechender Code dieser Funktion:

```

1 void Start()
2 {
3     userInfo.text = "Platzieren Sie nun Gegenstände im Inventar";
4     activeQRObjects = QRCodeManager.GetComponent<QRCodesVisualizer>().
5         qrCodesObjectsList;
5     knapsackSolver = knapsackSolverGameObject.GetComponent<KnapsackSolver>();
6     cap = knapsackSolver.capacity;
7     processedItems = new HashSet<int>();
8     UpdateInventoryBounds();
9     InitializeIDGrid();
10 }

```

Listing 4.12: Start Funktion des InventoryControllers

Die Objekte, die in dieser Funktion initialisiert werden, umfassen *activeQRObjects*, die für das Erkennen neuer Objekte im Inventar entscheidend sind. Zur Weitergabe des aktualisierten Inventars im späteren Verlauf des *InventoryController* wird das *KnapsackSolver*-Objekt benötigt. Zu Beginn dieser Funktion wird der Inhalt von dem *userInfo* TextMesh auf einen neuen Inhalt geändert um dem Benutzer einen Tip / eine Anweisung zu geben was, zu tun ist. Des Weiteren werden die Kapazität (*cap*) des *KnapsackSolver*-Objekts gespeichert und ein *processedItems-HashSet* erstellt, um zu verfolgen, welche Objekte im Inventar bereits verarbeitet wurden. Am Ende der **Start()** Funktion werden die beiden Funktionen **UpdateInventoryBounds()** und **InitializeGrid()** aufgerufen.

Es ist wichtig zu betonen, dass diese Funktion unmittelbar auf den vorherigen Codeabschnitt 4.11 verweist, wo die relevanten Variablen der *InventoryController*-Klasse definiert sind. Dies stellt sicher, dass die Funktionalitäten, die in der **Start()** Funktion verwendet werden, korrekt initialisiert und verwendet werden können.

4.5.4.3 Bounds des Inventars aktualisieren

Um sicherzustellen, dass ein Item innerhalb der Grenzen des Inventars platziert werden kann, werden in der **UpdateInventoryBounds()** Funktion einige Änderungen an dem Inventar-Objekt vorgenommen um dies zu realisieren.

```

1 private void UpdateInventoryBounds()
2 {
3     if (inventoryObject != null)
4     {
5         Bounds localBounds = GetBounds(inventoryObject);
6         ExtendBounds(ref localBounds, verticalOffset);
7         inventoryBounds = localBounds;
8     }
9 }
```

Listing 4.13: Funktion um Inventar Bounds zu erweitern

Zunächst werden die aktuellen Begrenzungen des Inventar-Objekts gespeichert, und dann werden sie mittels der **ExtendBounds()** Funktion erweitert. Schließlich werden diese aktualisierten Begrenzungen als neue Begrenzungen gespeichert.

Diese Funktion wird in einem größeren Kontext verwendet, insbesondere in der **Start()** Funktion des *InventoryControllers*, wie in Codeabschnitt 4.12 zu sehen ist. Dies stellt sicher, dass die Begrenzungen des Inventars korrekt aktualisiert werden, bevor das Inventar für den weiteren Gebrauch vorbereitet wird.

4.5.4.4 Bounds des Inventars ermitteln

Um erfolgreich auf die Begrenzungen des Inventar-Objekts zugreifen zu können, wird die Funktion **GetBounds()** aufgerufen.

Diese Funktion ist entscheidend, da sie den *Renderer* des Inventar-Modells verwendet, um die Begrenzungen zu ermitteln. Der Renderer ist verantwortlich für die Darstellung des Modells im Spiel. Wenn der Renderer vorhanden ist (*renderer != null*), gibt die Funktion die Begrenzungen des Modells zurück. Andernfalls wird eine neue Bounds-Instanz erstellt, die die Position des Objekts und eine Einheitsgröße hat.

```

1 private Bounds GetBounds(GameObject obj)
```

```

1  {
2      Renderer renderer = obj.GetComponent<Renderer>();
3      return renderer != null ? renderer.bounds : new Bounds(obj.transform.position,
4          Vector3.one);
5  }

```

Listing 4.14: Funktion um Bounds zu ermitteln

Die Funktion **GetBounds()**, wie in Codeabschnitt 4.14 dargestellt, wird von Codeabschnitt 4.13 aufgerufen, um die aktuellen Begrenzungen des Inventars zu erhalten. Diese Begrenzungen werden dann verwendet, um die Bounds des Inventars zu erweitern.

4.5.4.5 Inventory Bounds erweitern

Im weiteren Verlauf der **UpdateInventoryBounds()** Funktion, also nach dem Abschluss des Aufrufs der **GetBounds()** Funktion, wird anschließend die Funktion **ExtendBounds()** aufgerufen (siehe Codeabschnitt 4.15), die sich darum kümmert, dass die *Bounds* tatsächlich erweitert werden. Der zugehörige Code dieser Funktion:

```

1 private void ExtendBounds(ref Bounds bounds, float offset)
2 {
3     bounds.center = new Vector3(bounds.center.x, bounds.center.y + offset / 2, bounds.
4         center.z);
5     bounds.extents = new Vector3(bounds.extents.x, bounds.extents.y + offset / 2,
6         bounds.extents.z);
7 }

```

Listing 4.15: Funktion um Bounds zu erweitern

Diese Funktion nimmt zwei Parameter an. Der erste Parameter ist eine *Referenz* auf die *Bounds* des Inventar-Objekts. Die Verwendung der Referenz ermöglicht es, die Änderungen direkt an den ursprünglichen *Bounds* des Inventar-Objekts vorzunehmen, was effizienter ist als die Rückgabe einer neuen *Bounds*-Instanz. Der zweite Parameter ist das *Offset*, um das die *Bounds* des Objekts erweitert werden sollen.

Der Code der Funktion erweitert die Grenzen (*Bounds*) des Inventar-Objekts um das angegebene Offset. Dies geschieht, indem der Mittelpunkt der *Bounds* und ihre Ausdehnung entsprechend modifiziert werden. Die Höhe der *Bounds* wird um die Hälfte des Offset-Werts erhöht, um die *Bounds* sowohl nach oben als auch nach unten zu erweitern, während die anderen Dimensionen unverändert bleiben.

Nach Abschluss der **UpdateInventoryBounds()** (siehe Codeabschnitt 4.13) sehen die aktualisierten *Bounds* im Hintergrund dann wie auf Abbildung 4.21 zu sehen aus.

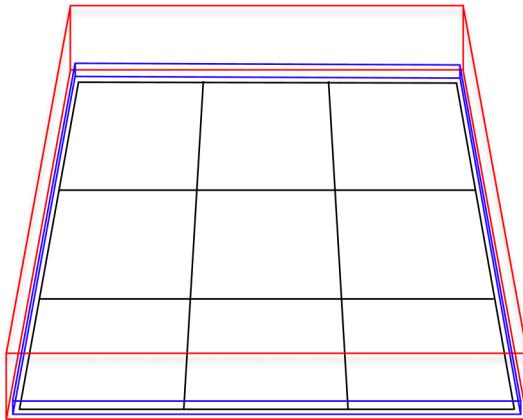


Abbildung 4.21: Erweiterte Bounds des Inventar Modells

Diese Abbildung zeigt eine schematische Darstellung des zweidimensionalen Inventars. Die blaue Umrandung repräsentiert die *Bounds* des Inventar-Objekts vor der Ausführung der Funktion **UpdateInventoryBounds()**. Nach ausführung der Funktion und erweiterung der *Bounds* ist nun anhand der blauen Umrandung deutlich, dass insbesondere die *Bounds* entlang der X-Achse erweitert wurden.

Die Erweiterung der Bounds ist von entscheidender Bedeutung, da die standard *Bounds* des Inventar-Objekts die Höhe des Objekts, auf dem der QRCode befestigt ist, nicht berücksichtigen. Dies könnte dazu führen, dass ein Gegenstand, der sich tatsächlich innerhalb der Bounds befindet, als außerhalb betrachtet wird.

Diese Anpassungen sind wichtig, um sicherzustellen, dass die Begrenzungen des Inventars korrekt erfasst werden und somit eine präzise Verortung von QR-Codes innerhalb der Augmented-Reality-Anwendung gewährleistet ist.

4.5.4.6 ID Grid Initialisierung

Als Abschluss der **Start()** Funktion wird die **InitializeIDGrid()** Funktion die, im folgenden Codeabschnitt 4.16 dargestellt ist, aufgerufen.

```

1 private void InitializeIDGrid()
2 {
3     idGrid = new int[numRows, numColumns];
4 }
```

Listing 4.16: Initialisierung des idGrids

Diese Funktion initialisiert das *idGrid*, das ein zweidimensionales Array darstellt und dazu dient, die Positionen der Gegenstände im Inventar zu speichern. Die Größe des Arrays wird durch die Variablen *numRows* und *numColumns* festgelegt, die zuvor in der Klasse definiert wurden.

4.5.4.7 Update-Funktion

Um stets den aktuellen Zustand des Inventars und der darin enthaltenen *Items* zu erhalten, wird hier die **Update()** Funktion verwendet. Diese Funktion wird jeden Frame neu aufgerufen. Der zugehörige Code dazu:

```

1 void Update()
2 {
3     UpdateGrid();
```

4 }

Listing 4.17: Initialisierung des idGrids

4.5.4.8 Neue oder entfernte Items erkennen

Das Kernstück des *InventoryController* stellt die **UpdateGrid()** dar. Diese Funktion ist hauptverantwortlich dafür, dass neue *Items* innerhalb des Inventars erkannt werden, *Items* die aus dem Inventar entfernt wurden dementsprechend entfernt werden und auch, dass bei jedem neuem oder entferntem *Item* das Inventar neu berechnet wird und darauffolgend die drei *TextMeshes* innerhalb des *infoObjects* aktualisiert werden, um dem Benutzer immer die aktuellen Inventarwerte und potentielle Fehlermeldungen anzuzeigen. Der Code zu dieser Funktion:

```

1 void UpdateGrid()
2 {
3     lock (activeQRObjects)
4     {
5         foreach (var item in activeQRObjects.Values)
6         {
7             QRCode qRCode = item.GetComponent<QRCode>();
8             Vector3 worldPosition = item.transform.TransformPoint(qRCode.item.qrData.
position);
9
10            if (item != null && inventoryBounds.Contains(worldPosition))
11            {
12                int itemId = qRCode.item.qrData.id;
13
14                if (!processedItems.Contains(itemId))
15                {
16                    if (currWeight + qRCode.item.qrData.weight <= cap)
17                    {
18                        userInfo.text = "";
19                        processedItems.Add(itemId);
20                        Vector2 startGridPosition = CalculateGridPosition(
worldPosition);
21                        idGrid[(int)startGridPosition.x, (int)startGridPosition.y] =
itemId;
22                        knapsackSolver?.UpdateInfoMesh("", Color.white);
23                        currWeight += qRCode.item.qrData.weight;
24                        EventManager.GridUpdate(idGrid);
25                    }
26                    else
27                    {
28                        knapsackSolver?.UpdateInfoMesh("Item hat zu viel Gewicht!",
Color.red);
29                    }
30                }
31            }
32            else if (!inventoryBounds.Contains(worldPosition) && processedItems.
Contains(qRCode.item.qrData.id) && ContainsId(qRCode.item.qrData.id))
33            {
34                int itemId = qRCode.item.qrData.id;
35                processedItems.Remove(itemId);
36                RemoveItem(itemId);
37                currWeight -= qRCode.item.qrData.weight;
38                EventManager.GridUpdate(idGrid);
39            }
40        }
}

```

```

41     }
42 }
```

Listing 4.18: Neue / Entfernte Items erkennen

Zu Beginn der Funktion wird eine Sperre mittels einer *lock*-Anweisung auf das *Dictionary* der aktiven QR-Objekte (*activeQRObjects*) angewendet. Diese Maßnahme zielt darauf ab, die Datenkonsistenz zu gewährleisten, indem verhindert wird, dass mehrere *Threads* gleichzeitig auf dieses *Dictionary* zugreifen und dabei gleichzeitig Änderungen vornehmen. Ohne diese Sperre könnte es zu einem sogenannten Wettlaufzustand (*race condition*) kommen, bei dem mehrere Threads versuchen, gleichzeitig auf dasselbe Datenobjekt zuzugreifen und es möglicherweise in einen inkonsistenten Zustand bringen könnten.

Definition einer race condition

Ein Wettlaufzustand kann verschiedene Probleme verursachen, darunter inkonsistente oder fehlerhafte Datenoperationen. Als Beispiel könnten Threads gleichzeitig versuchen, ein Element aus dem *Dictionary* zu entfernen oder hinzuzufügen, was zu inkonsistenten Datenzuständen führen könnte. Durch die Anwendung der *lock*-Anweisung wird sichergestellt, dass jeweils nur ein Thread gleichzeitig auf das *Dictionary* zugreifen kann, wodurch potenzielle Konflikte vermieden werden und die Datenintegrität gewährleistet ist.

Nachdem die Sperre angewendet wurde, durchläuft die Funktion eine *foreach*-Schleife, um jedes Objekt im Dictionary *activeQRObjects* zu durchlaufen. Für jedes dieser Objekte wird die zugehörige *QRCode*-Komponente mittels der *GetComponent<QRCode>()* Funktion abgerufen, um auf die spezifischen Informationen des QR-Codes zuzugreifen. Die *Weltposition* des Objekts wird anschließend berechnet, indem die *lokale Position* des Objekts in seine Weltposition umgerechnet wird.

Definition Lokale und Weltposition

In Unity bezieht sich die *lokale Position* eines Objekts auf seine Position relativ zu seinem Elternobjekt oder dem Koordinatenursprung, wenn es kein Elternobjekt hat. Diese Position wird in Bezug auf die Achsen des Objekts selbst angegeben, unabhängig von der Umgebung.

Die *Weltposition* eines Objekts ist hingegen seine Position im *globalen Koordinatensystem* der Szene. Sie berücksichtigt die Position des Objekts *relativ zum Koordinatenursprung der Szene und alle Transformationen*, die auf das Objekt angewendet wurden, einschließlich der *Verschiebung, Drehung und Skalierung*.

Die Berechnung der Weltposition eines Objekts erfolgt, indem seine lokale Position relativ zu seinem Elternobjekt oder zum Koordinatenursprung in die Szene umgerechnet wird. Dies ermöglicht es, die tatsächliche Position des Objekts in der Welt zu bestimmen und mit anderen Objekten oder Koordinaten in der Szene zu interagieren.

Angenommen, gegeben ist ein Game Object namens *childObject*, dessen lokale Position relativ zu seinem Elternobjekt oder zum Koordinatenursprung (0, 0, 0) wie folgt definiert ist:

$$\text{localPosition} = (x_{\text{local}}, y_{\text{local}}, z_{\text{local}})$$

Die Weltposition des Elternobjekts (oder des Ursprungs) ist gegeben durch:

$$\text{parentWorldPosition} = (x_{\text{parent}}, y_{\text{parent}}, z_{\text{parent}})$$

Um die Weltposition des *childObjects* zu berechnen, wird stets die *lokale Position* des Objekts zu der *Welt Position* seines zugehörigen Elternobjekts addiert.

$$\text{worldPosition} = \text{parentWorldPosition} + \text{localPosition}$$

Dies ergibt die Weltposition des childObject im globalen Koordinatensystem.

Beispiel: Angenommen, das Elternobjekt liegt im globalen Koordinatensystem bei (2, 0, 0) und die lokale Position des childObject ist als (0, 1, 0) definiert. Dann lautet die Berechnung wie folgt:

$$\text{worldPosition} = (2, 0, 0) + (0, 1, 0) = (2, 1, 0)$$

Dies bedeutet, dass die Weltposition des childObject im globalen Koordinaten- system (2, 1, 0) ist.

Der folgende Schritt in der Funktion **UpdateGrid()** beinhaltet die Überprüfung der Gültigkeit des QR-Objekts (*item != null*) sowie die Feststellung, ob die berechnete Weltpositione innerhalb der definierten Begrenzungen des Inventars liegen (*inventoryBounds.Contains(worldPosition)*). Im Falle der Erfüllung dieser Bedingungen (*true*), wird das QR-Objekt weiteren Analysen unterzogen.

Zunächst wird von dem aktuellen Item die *ID* mittels *qRCode.item.grData.id* gespeichert, um im weiteren Verlauf mit dieser *ID* weiterarbeiten zu können. Nach diesem Schritt wird überprüft, ob die *ID* des Items bereits in der Liste der verarbeiteten Items *processedItems* enthalten ist. Wenn diese *ID* neu ist und noch nicht verarbeitet wurde, wird weiter überprüft, ob das Hinzufügen des Items die Maximale Kapazität (*cap*) des Inventars überschritten wird.

Im Falle, dass das Gewicht des Items zusammen mit dem aktuellen Gesamtgewicht (*currWeight*) die maximale Kapazität (*cap*) nicht überschreitet, wird der Text des *infoMesh* geleert, die ID des Items zur Liste der verarbeiteten Items (*processedItems*) hinzugefügt, um es als verarbeitet zu markieren. Des Weiteren wird die Position dieses Items innerhalb des Inventars mithilfe der Funktion **CalculateGridPosition()** berechnet und anschließend dem *idGrid* hinzugefügt. Zuletzt werden das *InfoMesh* aktualisiert sowie das aktuelle Gewicht (*currWeight*) und das Event **GridUpdate** des *EventManagers* mit dem aktualisierten *idGrid* ausgelöst. Der Code, um die Position des Items innerhalb des Inventars zu berechnen:

```

1 private Vector2 CalculateGridPosition(Vector3 objectPosition)
2 {
3     float cellWidth = inventoryBounds.size.x / numColumns;
4     float cellHeight = inventoryBounds.size.z / numRows;
5     int col = Mathf.FloorToInt((objectPosition.x - inventoryBounds.min.x) / cellWidth)
6     ;
7     int row = Mathf.FloorToInt((inventoryBounds.max.z - objectPosition.z) / cellHeight
8 );
9     return new Vector2(row, col);
10 }
```

Listing 4.19: Position des Items berechnen

Die Funktion beginnt damit, die Länge einer einzelnen Zelle anhand der *Bounds* in der X- und Y-Achse zu berechnen. Die Variable *cellWidth* repräsentiert die Breite jeder Zelle, während *cellHeight* die Höhe jeder Zelle im Raster des Inventars darstellt.

Anschließend werden die 2D-Koordinaten der Position des übergebenen Objekts im Raster des Inventars berechnet. Hierzu wird die X-Koordinate des Objekts relativ zur minimalen X-Grenze der Inventar-Bounds genommen und durch die Breite einer Zelle (*cellWidth*) geteilt. Der resultierende Wert wird auf die nächstgelegene ganze Zahl abgerundet (*Mathf.FloorToInt*) und repräsentiert somit die Spalte (*col*) im Raster.

Ebenso wird die Z-Koordinate des Objekts relativ zur maximalen Z-Grenze der Inventar-Bounds herbeigezogen und durch die Höhe einer Zelle (*cellHeight*) geteilt. Auch dieser Wert wird auf die nächstgelegene ganze Zahl abgerundet und repräsentiert die Zeile (*row*) im Raster.

Abschließend werden die berechneten Zeilen- und Spaltenwerte als 2D-Vektor (*Vector2*) zurückgegeben. Dieser Vektor repräsentiert die Position des Objekts im Inventar-Raster.

Um diesen Ablauf des hinzufügen eines Gegenstandes aus der Sicht des Benutzers als auch wie dieser Prozess dann im Hintergrund abläuft, wird hierfür ein Beispiel herangezogen.

Die visuelle Darstellung für den Benutzer, nachdem dieser einen Gegenstand in das Inventar hinzugefügt hat ist in folgender Abbildung 4.22 zu sehen.

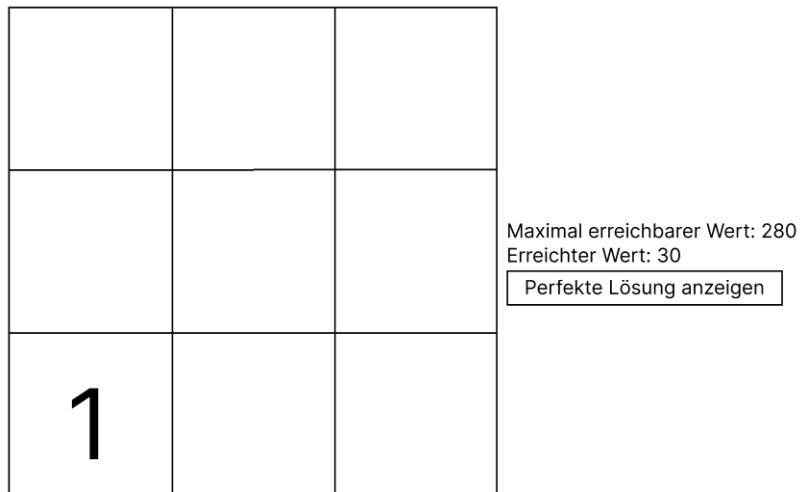


Abbildung 4.22: Item zu Inventar hinzugefügt

Auf dieser Abbildung ist zu sehen, dass in *Zelle: 7* das Item mit der *ID: 1* hinzugefügt wurde.

Nachdem das Item im Inventar platziert wurde, sieht das *idGrid* folgendermaßen aus:

```

1 idGrid = [[0, 0, 0],
2           [0, 0, 0],
3           [1, 0, 0]];

```

Das HashSet *processedItems* sieht nach dem platzieren des Items dann folgendermaßen aus:

```

1 processedItems = [1];

```

In dem anderen Fall, dass das Gewicht des Items zusammen mit dem aktuellen Gesamtgewicht (*currWeight*) die maximale Kapazität (*cap*) überschreitet wird das TexMesh (*Info-Mesh*) mit der Nachricht, dass das Item zu schwer ist aktualisiert.

Um diesen Ablauf, in dem eine Vielzahl an Gegenständen in das Inventar hinzugefügt werden, wobei der zuletzt hinzugefügte Gegenstand zu schwer ist, wird hierfür erneut ein Beispiel herangezogen.

Der Zustand, indem der Benutzer mehrere Gegenstände zu dem Inventar hinzugefügt hat, wobei der zuletzt hinzugefügte Gegenstand zu schwer ist, ist in folgender Abbildung 4.23 zu sehen. Darauf folgend ist auch angegeben, wie dieser Ablauf im Hintergrund aussieht.

| | | |
|---|---|--|
| | 9 | |
| 5 | | |
| 1 | 3 | |

Item hat zu viel Gewicht!
Maximal erreichbarer Wert: 280
Erreichter Wert: 250

[Perfekte Lösung anzeigen](#)

Abbildung 4.23: Item zu schwer für das Inventar

In Abbildung 4.23 sind vier verschiedene Gegenstände im Inventar enthalten. Diese haben folgende *IDs*: 1, 3, 5, 9. Die Reihenfolge, in der diese zum Inventar hinzugefügt wurden, lautet 1, 5, 3, 9. Das Item mit der *ID*: 9 wurde jedoch aufgrund seines zu hohen Gewichts nicht zu dem *idGrid* und *processedItems* hinzugefügt. Gleichzeitig wird eine Fehlermeldung angezeigt, um dem Benutzer zu signalisieren, dass der zuletzt hinzugefügte Gegenstand zu schwer für das aktuelle Inventar ist. Als Konsequenz bleiben *idGrid* und *processedItems* unverändert und enthalten daher nicht die *ID*: 9. Im Hintergrund sieht daher das *idGrid* dementsprechend folgendermaßen aus:

```
1 idGrid = [[0, 0, 0],  
2           [5, 0, 0],  
3           [1, 3, 0]];
```

Das HashSet *processedItems* sieht nach dem Platzieren des Items dann so aus:

```
1 processedItems = [1, 5, 3];
```

Sobald der Benutzer dieses Item wieder aus dem Inventar entfernt, wird die Fehlermeldung nicht mehr angezeigt, und es kann ein passendes Item hinzugefügt werden.

Wenn sich das Item außerhalb der definierten Bounds befindet, jedoch zuvor im Inventar platziert wurde und sowohl in der Liste der verarbeiteten Items (*processedItems*) als auch im *idGrid* enthalten ist, deutet dies darauf hin, dass der Benutzer das Item aus dem Inventar entfernt hat. In diesem Fall wird die ID des Items aus der Liste der verarbeiteten Items (*processedItems*) sowie aus dem *idGrid* entfernt. Zusätzlich wird das aktuelle Gesamtgewicht (*currWeight*) aktualisiert und das Event **GridUpdate** des EventManagers mit dem aktualisierten idGrid ausgelöst. Wichtig anzumerken ist hier noch, dass in diesem *else-if*-Zweig die zwei Funktionen **RemoveItem()** und **ContainsId()** mit der aktuellen Item *ID* aufgerufen werden. Der zugehörige Code der beiden Funktionen:

```

1 private void RemoveItem(int id)
2 {
3     for (int i = 0; i < numRows; i++)
4     {
5         for (int j = 0; j < numColumns; j++)
6         {
7             if (idGrid[i, j] == id)
8             {
9                 idGrid[i, j] = 0;
10            return;
11        }
12    }
13 }
14 }
```

Listing 4.20: Item aus Liste entfernen

```

1 private bool ContainsId(int id)
2 {
3     for (int i = 0; i < numRows; i++)
4     {
5         for (int j = 0; j < numColumns; j++)
6         {
7             if (idGrid[i, j] == id)
8             {
9                 return true;
10            }
11        }
12    }
13 return false;
14 }
```

Listing 4.21: Überprüfen ob ID in Liste enthalten ist

Beide Funktionen operieren im Wesentlichen auf ähnliche Weise. Sie durchlaufen die Liste der verarbeiteten Items mithilfe einer verschachtelten *for-Schleife* und überprüfen, ob die als Parameter übergebene ID enthalten ist. Wenn dies der Fall ist, wird die **RemoveItem()** Funktion die ID an dieser Stelle durch den Wert 0 ersetzen, der keinen Inhalt repräsentiert. Die **ContainsId** Funktion hingegen überprüft lediglich, ob die ID in der Liste enthalten ist, und gibt den boolschen Wert *true* zurück, falls dies zutrifft, andernfalls *false*.

Der Fall, indem der Benutzer einen Gegenstand aus dem Inventar entfernt, wird in folgendem Beispiel veranschaulicht und erklärt, wie dieser Ablauf im Hintergrund abläuft.

In folgender Abbildung 4.24 ist der aktuelle Zustand eines selbst zusammengestellten Inventars zu sehen. In diesem Inventar sind die beiden Gegenstände mit den *IDs* 5 und 3 enthalten

| | | |
|---|---|--|
| | | |
| 5 | | |
| | 3 | |

Maximal erreichbarer Wert: 280
Erreichter Wert: 95
Perfekte Lösung anzeigen

Abbildung 4.24: Item aus Inventar entfernt

Im Hintergrund sieht das *idGrid* jedoch wie folgt aus:

```
1 idGrid = [[0, 0, 0],  
2           [5, 0, 0],  
3           [1, 3, 0]];
```

Das HashSet *processedItems* sieht wie folgt aus:

```
1 processedItems = [1, 5, 3];
```

Anhand der Abbildung 4.24 und den gespeicherten *IDs* in *processedItems* und *idGrid* ist jedoch zu erkennen, dass hier noch die ID 1 gespeichert ist. Dies bedeutet, dass das Item mit der ID 1 in einem früheren Zustand im Inventar platziert wurde, aber jetzt außerhalb der Grenzen des Inventars liegt. Folglich wird diese ID aus dem *idGrid* und *processedItems* entfernt, und das *currWeight* wird entsprechend angepasst. Nach dem entfernen dieser ID sehen das *idGrid* und das *processedItems* Array wie folgt aus:

```
1 idGrid = [[0, 0, 0],  
2           [5, 0, 0],  
3           [0, 3, 0]];
```

```
1 processedItems = [5, 3];
```

4.5.5 EventManager

Der *EventManager* ist ein entscheidendes Game-Objekt, das als zentrales Kommunikationselement fungiert und die Interaktion zwischen verschiedenen Komponenten und Klassen innerhalb der Anwendung ermöglicht. Implementiert als Klasse im Skript *EventManager.cs*, das dem Game-Objekt angehängt ist, spielt er eine unverzichtbare Rolle trotz seiner Komplexität, da er die Schnittstelle für die Kommunikation zwischen verschiedenen Klassen und Game-Objekten bereitstellt.

Das Konzept der Ereignisse ermöglicht die Kommunikation zwischen verschiedenen Teilen eines Programms, ohne dass direkte Abhängigkeiten zwischen diesen Teilen bestehen

→
HAYLAZ

müssen. Andere Teile des Codes können sich auf diese Ereignisse registrieren, um benachrichtigt zu werden, wenn sie auftreten. In diesem Zusammenhang werden spezifische Ereignisse definiert:

- **Nachrichteneingang:** Dieses event wird ausgelöst, wenn im ersten Level eine Nachricht von einem Laptop empfangen wird. Nach dem Auslösen wird ein Ping-Paket über ein Kabel auf der Brille simuliert.
- **Nachricht versendet:** Dieses Event wird ausgelöst, wenn im ersten Level eine Nachricht an einen Laptop gesendet wird. Es dient dazu die Empfangene Nachricht an das zweite Laptop im richtigen Moment (nach Abschluss der Simulation) weiter zu leiten.
- **Inventar Aktualisierung:** Dieses Event wird ausgelöst, wenn im zweiten Level ein Item ins Inventar gelegt und das Inventar aktualisiert wird. Nach der Aktualisierung wird der aktuelle Wert des Inventars berechnet. Dadurch können wir auf eine ständige Neuberechnung des Inventars verzichten und limitierte Ressourcen sparen.

Die Klasse *EventManager* definiert diese Ereignisse als statische Ereignisse und stellt Methoden bereit, um die Ereignisse auszulösen. Dies erleichtert die globale Verwendung des Ereignissystems in verschiedenen Teilen des Codes. Die Aktionen (Actions) sind statisch, was bedeutet, dass sie auf Klassenebene definiert sind und keine Instanz der Klasse benötigen, um aufgerufen zu werden. Die Methode *Invoke* wird verwendet, um die Ereignisse auszulösen.

```

1 public static class EventManager
2 {
3     // Level 1
4     public static event System.Action<int, string, string> OnMessageReceived;
5     public static void ReceiveMsg(int idx, string username, string message) =>
6         OnMessageReceived?.Invoke(idx, username, message);
7
8     public static event System.Action<int, string, string> OnMessageSend;
9     public static void SendMsg(int idx, string username, string message) =>
10        OnMessageSend?.Invoke(idx, username, message);
11
12     // Level 2
13     public static event System.Action<int[,]> OnGridUpdate;
14     public static void GridUpdate(int[,] grid) => OnGridUpdate?.Invoke(grid);
15 }
```

Das ist die definition der Ereignisse und Methoden, die verwendet werden, um die Ereignisse auszulösen. Um auf diese Ereignisse zu reagieren, können andere Teile des Codes sich auf diese Ereignisse registrieren, welches wie folgend aussieht:

```

1 //Dieser Code Abschnitt befindet sich in der Klasse: KnapsackSolver.cs
2
3 void Start()
4 {
5     items = new QRItem(0).items;
6     EventManager.OnGridUpdate += SetInventory;
7 }
8
9 public void SetInventory(int[,] newInventory)
10 {
11     inventory = newInventory;
12     CalculateKnapsack();
13 }
```

Nach laden der Scene registriert sich die *KnapsackSolver* Klasse auf das *OnGridUpdate* Event mit der *setInventory* Methode. Dies bedeutet, dass jedes mal wenn das *OnGridUpda-*

te Event ausgelöst wird, die *setInventory* Methode aufgerufen wird und der aktuelle Wert des neuen Inventars berechnet wird.

```
1 EventManager.GridUpdate(idGrid);
```

Das auslösen des *OnGridUpdate* Events wird durch den obigen Codeabschnitt erreicht. Dieser Codeabschnitt befindet sich in der *InventoryController* Klasse und wird aufgerufen, wenn ein neues Item hinzugefügt oder entfernt wird.

Insgesamt ermöglicht dieser simple Code eine lose Kopplung zwischen verschiedenen Teilen des Programms, indem Ereignisse verwendet werden, um auf bestimmte Aktionen zu reagieren, ohne dass die beteiligten Teile voneinander wissen müssen. Dadurch wird die Modularität, Erweiterbarkeit und Wartbarkeit der Anwendung gefördert.

4.5.6 Das Knapsack Problem

Dieser Abschnitt befasst sich mit allem Rund um das Thema des bekannten Optimierungsproblems des Knapsack-Problems, die Problemstellung, welche Varianten und Typen des Problems es gibt, die zwei bekanntesten Algorithmen zum Lösen des Problems und anschließend die Implementierung um das Problem zu lösen.

→
SKREPEK

4.5.6.1 Knapsack-Algorithmus

Der Knapsack-Algorithmus ist ein grundlegendes Werkzeug in der Informatik, das sich mit der optimalen Ressourcenallokation beschäftigt, insbesondere wenn es darum geht, eine begrenzte Menge an Ressourcen effizient zu nutzen, um einen bestimmten Nutzen oder Gewinn zu maximieren. Die Metapher des *Knapsacks* bezieht sich dabei auf die Vorstellung, einen Rucksack mit einer begrenzten Kapazität zu füllen, wobei die enthaltenen Gegenstände jeweils unterschiedliche Werte und Gewichte aufweisen.

4.5.6.2 Problemstellung

Das Knapsack-Problem befasst sich mit der Herausforderung, einen Rucksack optimal zu befüllen, wenn dieser eine begrenzte Kapazität aufweist. Um diesen zu füllen, stehen hier eine Reihe von Gegenständen zur Auswahl, von denen jeder einen individuellen Wert, der einen bestimmten Nutzen oder eine Wichtigkeit repräsentiert. Auch hat jeder Gegenstand ein bestimmtes individuelles Gewicht, welches genau beschreibt, wie viel an Platz dieser Gegenstand im Rucksack einnimmt.

Das grundlegende Ziel beim Knapsack-Problem besteht darin, eine Auswahl von Gegenständen zu treffen, die in den Rucksack passt und gleichzeitig den Gesamtwert der ausgewählten Gegenstände maximiert. Dabei muss die Summe der Gewichte der ausgewählten Gegenstände die Kapazität des Rucksacks nicht überschreiten. Dies führt zu einer Herausforderung, bei der eine perfekte Lösung gefunden werden muss, um den bestmöglichen Nutzen aus den verfügbaren Gegenständen zu ziehen.

4.5.6.3 Variationen des Knapsack-Problems

Im Laufe der Zeit hat das Knapsack-Problem verschiedene Variationen hervorgebracht, die jeweils unterschiedliche Aspekte und Einschränkungen des Problems berücksichtigen. Nachfolgend werden einige bekannte Variationen erläutert.

Mehrzieliges Knapsack-Problem

Das mehrzielige Knapsack-Problem erweitert das klassische Knapsack-Problem, indem es *mehrere Zielkriterien* berücksichtigt. Anstatt nur den Gesamtwert der ausgewählten Gegenstände zu maximieren, sollen nun mehrere Ziele *gleichzeitig optimiert* werden. Zum Beispiel könnte neben der *Maximierung* des Gesamtwerts auch die *Minimierung* des Gesamtgewichts oder anderer Kosten angestrebt werden. Diese Variation des Problems führt zu komplexeren Optimierungsaufgaben, da Kompromisse zwischen den verschiedenen Zielen gefunden werden müssen.

Multidimensionales Knapsack-Problem

Beim multidimensionalen Knapsack-Problem hat jeder Gegenstand nicht nur ein Gewicht, sondern wird durch einen *M-dimensionalen* Vektor repräsentiert, der verschiedene *Merkmale* oder *Eigenschaften* des Gegenstands darstellt. Entsprechend ist auch die Kapazität des Rucksacks ein *M-dimensionaler* Vektor. Diese Variation des Problems entsteht häufig in realen Anwendungen, in denen die Gegenstände durch mehrere Merkmale charakterisiert werden, wie zum Beispiel Größe, *Form*, *Farbe* oder *Material*.

Mehrere Knapsack-Probleme

Das multiple Knapsack-Problem *erweitert* das klassische Knapsack-Problem, indem es mehrere Rucksäcke oder Behälter einführt, in die die Gegenstände verteilt werden können. Im Gegensatz zum klassischen Problem, bei dem alle Gegenstände in einen einzelnen Rucksack gepackt werden müssen, können hier mehrere Rucksäcke genutzt werden, um die Gegenstände aufzunehmen. Diese Variation ist relevant in Situationen, in denen die Gegenstände auf verschiedene Weise organisiert oder verwendet werden sollen.

Quadratisches Knapsack-Problem

Das quadratische Knapsack-Problem bezieht sich auf eine Variation, bei der das Ziel darin besteht, eine quadratische Zielfunktion zu maximieren, die von den ausgewählten Gegenständen abhängt. Diese Zielfunktion kann beispielsweise den Gesamtnutzen oder den Gesamtwert der ausgewählten Gegenstände darstellen und ist oft von quadratischer Form in Bezug auf die Variablen, die die Auswahl der Gegenstände repräsentieren. Die Lösung dieses Problems erfordert spezielle Techniken zur Bewältigung der quadratischen Struktur der Zielfunktion.

Geometrisches Knapsack-Problem

Beim geometrischen Knapsack-Problem stehen eine Reihe von geometrischen Objekten mit unterschiedlichen *Formen* und *Größen* zur Auswahl, die in einen *rechteckigen Rucksack* gepackt werden sollen. Das Ziel besteht darin, die Gegenstände so anzurichten, dass der verfügbare Platz im Rucksack optimal genutzt wird und der Gesamtwert der ausgewählten Gegenstände maximiert wird. Diese Variation des Knapsack-Problems erfordert eine *Berücksichtigung* der *geometrischen Eigenschaften* der Objekte und kann in verschiedenen Anwendungen wie Layoutdesign oder Packungsproblemen auftreten.¹⁸

¹⁸GeeksForGeeks, **Introduction to Knapsack Problem; its Types and How to solve them**

4.5.6.4 Typen des Knapsack-Problems

Das Knapsack-Problem kann in verschiedene Typen unterteilt werden, die jeweils *unterschiedliche Bedingungen* und *Anforderungen* haben. Nachfolgend werden die wichtigsten Typen des Knapsack-Problems erläutert.

0/1 Knapsack-Problem

Das 0/1-Knapsack-Problem bezieht sich auf die effiziente Auswahl von Gegenständen, um den maximalen Gesamtwert in einem begrenzten Rucksack zu erreichen. Gegeben sind N Gegenstände, wobei jedem Gegenstand ein bestimmtes Gewicht (w) und ein Wert (v) zugeordnet ist. Außerdem steht ein Rucksack mit einer Kapazität (C) zur Verfügung. Das Ziel besteht darin, die Gegenstände in den Rucksack zu legen, sodass die Summe der Werte der ausgewählten Gegenstände maximal ist.

Es ist wichtig zu beachten, dass beim 0/1-Knapsack-Problem entweder ein Gegenstand *vollständig* in den Rucksack gepackt wird oder *überhaupt nicht*. Es gibt *keine Möglichkeit*, einen Gegenstand *teilweise* in den Rucksack zu legen. Diese Beschränkung erfordert eine sorgfältige Auswahl der Gegenstände, um den verfügbaren Platz im Rucksack optimal zu nutzen und gleichzeitig den Gesamtwert zu maximieren.

Fraktionales Knapsack-Problem

Das fraktionale Knapsack-Problem befasst sich mit der effizienten Verteilung von Gegenständen in einem Rucksack, um den Gesamtwert im Rucksack zu maximieren. Dabei werden die Gewichte und Werte von N Gegenständen gegeben, und das Ziel besteht darin, diese Gegenstände in einen Rucksack mit der Kapazität W zu legen, um den maximalen Gesamtwert zu erreichen. Im Gegensatz zum klassischen 0/1-Knapsack-Problem, bei dem entweder ein Gegenstand vollständig in den Rucksack gepackt wird oder nicht, erlaubt das fraktionale Knapsack-Problem das Aufteilen von Gegenständen, um den Gesamtwert im Rucksack zu maximieren. Diese Flexibilität ermöglicht es, eine perfekte Lösung zu finden, indem die Gegenstände entsprechend ihrer Wertigkeit und Gewichtung effizient verteilt werden.

Begrenztes Knapsack-Problem

Das begrenzte Knapsack-Problem bezieht sich auf die effiziente Auswahl von Gegenständen, um den maximalen Gesamtwert unter Berücksichtigung eines begrenzten Gewichts zu erreichen. Angenommen, es gibt N Gegenstände, wobei jedem Gegenstand ein bestimmtes Gewicht (w) und ein Wert (v) zugeordnet ist. Die Aufgabe besteht darin, den Gesamtwert zu maximieren, indem maximal N Gegenstände ausgewählt werden, deren Gesamtgewicht nicht größer als das maximale Gewicht W ist.

Unbegrenztes Knapsack-Problem

Das unbeschränkte Knapsack-Problem befasst sich mit der effizienten Auswahl von Gegenständen, um den maximalen Gesamtwert zu erreichen, wobei das Gesamtgewicht nicht größer als eine vorgegebene Kapazität ist. Angenommen, es gibt ein Rucksackgewicht W und eine Menge von N Gegenständen, von denen jeder einen bestimmten Wert (v) und ein Gewicht (w) hat. Das Ziel besteht darin, die maximale Menge zu berechnen, die genau dieses Gewicht erreichen kann.

Im Gegensatz zum 0/1-Knapsack-Problem, bei dem die Anzahl der Instanzen eines Gegenstands begrenzt ist, können beim unbeschränkten Knapsack-Problem *beliebig viele* Instanzen *dieselben* Gegenstands verwendet werden. Dies ermöglicht eine flexiblere Auswahl und Nutzung der verfügbaren Gegenstände, um den maximalen Gesamtwert zu erzielen, der das vorgegebene Gewicht nicht überschreitet.¹⁹

4.5.6.5 Ansätze zur Lösung des Knapsack-Problems

Das Knapsack-Problem bietet Raum für eine Vielzahl von Lösungsansätzen, die sich in ihrer *Komplexität*, *Effizienz* und *Genauigkeit* unterscheiden können. Diese Ansätze reichen von einfachen *heuristischen Methoden* bis hin zu *komplexen optimierten Algorithmen*. Abgesehen von *dynamischer Programmierung* und dem *Greedy-Ansatz*, die später genauer betrachtet werden, gibt es weitere interessante Möglichkeiten, das Knapsack-Problem anzugehen.

Ein Ansatz besteht darin, das Problem in kleinere Teilprobleme zu zerlegen und diese dann unabhängig voneinander zu lösen. Durch die Kombination der Lösungen dieser Teilprobleme kann eine Gesamtlösung gefunden werden. Diese Methode ist besonders nützlich, wenn die Problemgröße groß ist und eine vollständige Suche nach einer optimalen Lösung zu aufwändig ist.

Eine weitere Herangehensweise ist die Verwendung von *Metaheuristiken*, wie etwa *genetische Algorithmen* oder *Schwarmintelligenz*. Diese Algorithmen basieren auf biologischen oder sozialen Konzepten und verwenden probabilistische Techniken, um Lösungen zu finden, die möglicherweise nicht optimal, aber dennoch akzeptabel sind. Sie eignen sich gut für komplexe Probleme, bei denen eine exakte Lösung schwer zu erreichen ist.

Eine neuere Entwicklung in der Lösung des Knapsack-Problems ist der Einsatz von *maschinellem Lernen* und *künstlicher Intelligenz*. Durch den Einsatz von *Datenanalyse* und *statistischen Methoden* können Modelle trainiert werden, um Muster in den Eigenschaften der Gegenstände und den Anforderungen des Rucksacks zu erkennen und optimale Packstrategien vorherzusagen.

Dynamischer Programmieransatz genauer betrachtet

Der dynamische Programmieransatz ist eine leistungsfähige Methode zur Lösung des Knapsack-Problems, die auf der Idee beruht, das Problem in kleinere Teilprobleme zu zerlegen und die Lösungen dieser Teilprobleme systematisch zu kombinieren, um die optimale Gesamtlösung zu finden. Diese Methode eignet sich besonders gut für Probleme, bei denen Teilprobleme sich überlappen und dieselben Teillösungen verwendet werden können, um mehrere Teilprobleme zu lösen.

Der folgende Pseudocode veranschaulicht den dynamischen Algorithmus zur Lösung des Knapsack-Problems:

```

1 FUNCTION knapsackDynamic(weights[], values[], capacity)
2     n = length(weights)
3     DECLARE Tabelle[n + 1][capacity + 1]
4     FOR i FROM 0 TO n DO
5         FOR w FROM 0 TO capacity DO
6             IF i == 0 OR w == 0 THEN
7                 Tabelle[i][w] = 0
8             ELSE IF weights[i-1] <= w THEN
9                 Tabelle[i][w] = MAX(values[i-1] + Tabelle[i-1][w - weights[i-1]],
Tabelle[i-1][w])

```

¹⁹GeeksForGeeks, **Introduction to Knapsack Problem; its Types and How to solve them**

```

10      ELSE
11          Tabelle[i][w] = Tabelle[i-1][w]
12      END IF
13  END FOR
14 END FOR
15 RETURN Tabelle[n][capacity]
16 END FUNCTION

```

Listing 4.22: Dynamischer Algorithmus

Die Funktion **knapsackDynamic** implementiert den dynamischen Programmieransatz zur Lösung des Knapsack-Problems. Sie akzeptiert drei Parameter: ein Array von Gewichten (*weights*), ein Array von Werten (*values*) und die Kapazität des Rucksacks (*capacity*).

Zuerst wird die Länge des Gewichtsarrays n berechnet, um die Anzahl der verfügbaren Gegenstände zu bestimmen. Dann wird eine Tabelle *Tabelle* mit $n+1$ Zeilen und $capacity+1$ Spalten initialisiert. Diese Tabelle dient dazu, die optimalen Werte für verschiedene Teilprobleme zu speichern.

Anschließend werden zwei verschachtelte Schleifen verwendet, um alle möglichen Kombinationen von Gegenständen und Gewichten zu durchlaufen. Dabei wird für jedes Teilproblem in der Tabelle der optimale Wert berechnet. Die innere Schleife iteriert über die möglichen Kapazitäten des Rucksacks, während die äußere Schleife die verfügbaren Gegenstände durchläuft.

Für jedes Teilproblem wird überprüft, ob der aktuelle Gegenstand in den Rucksack passt. Wenn ja, wird der Wert dieses Gegenstands zu dem Wert addiert, der erreicht werden kann, wenn der Rucksack ohne diesen Gegenstand gefüllt wird. Andernfalls wird der Wert aus der vorherigen Zeile der Tabelle übernommen, da der aktuelle Gegenstand nicht in den Rucksack passt.

Schließlich wird der Wert in der untersten rechten Zelle der Tabelle zurückgegeben, der den maximal erreichbaren Gesamtwert des Rucksacks darstellt.

Dieser Algorithmus nutzt die Eigenschaften der optimalen Teilstruktur und des Überlappungsprinzips aus, um eine effiziente Lösung des Knapsack-Problems zu finden. Durch die systematische Berechnung und Speicherung der optimalen Werte für Teilprobleme ermöglicht der dynamische Programmieransatz eine Zeitkomplexität von $O(n \cdot capacity)$, was für viele praktische Anwendungen akzeptabel ist.

Aufbau und Interpretation der Tabelle der Teilprobleme

Die Tabelle der Teilprobleme spielt eine entscheidende Rolle bei der systematischen Lösung des Knapsack-Problems mithilfe des dynamischen Programmieransatzes. Sie ist eine zweidimensionale Matrix, die während des Algorithmusverlaufs generiert wird und die optimalen Lösungen für verschiedene Teilprobleme des Knapsack-Problems enthält. Die Matrix ist wie folgt strukturiert:

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \cdots & a_{2n} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & \cdots & a_{3n} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & \cdots & a_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & a_{m3} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix}$$

Jede *Zeile* in der Matrix entspricht den verschiedenen verfügbaren Gewichtskapazitäten des Rucksacks, beginnend bei *null* und schrittweise bis zur *maximalen Kapazität*.

Jede *Spalte* in der Matrix repräsentiert die Anzahl der bereits *berücksichtigten Gegenstände*, wobei jede Spalte die *Teilprobleme* für eine zunehmende Anzahl von Gegenständen darstellt.

Um anschließend eine Zelle a_{mn} dieser Matrix zu interpretieren, ist Folgendes wichtig zu wissen:

1. **m** gibt an, wie viel *Gewicht* bereits im Rucksack verbraucht wurde. Je weiter fortgeschritten dieser Wert ist, daher desto weiter unten in der Tabelle und desto mehr Gewicht wurde bereits verwendet.
2. **n** gibt an, wie viele *Gegenstände* bereits betrachtet wurden. Je weiter fortgeschritten, daher, desto weiter rechts in der Tabelle und desto mehr Gegenstände wurden bereits berücksichtigt.

Die Einträge in der Matrix werden durch den *dynamischen Programmieransatz* berechnet, indem die optimalen Werte für Teilprobleme *schrittweise kombiniert* werden, um den Wert für größere Teilprobleme zu bestimmen.

Greedy-Ansatz genauer betrachtet

Im Gegensatz zur dynamischen Lösung wählt der Greedy-Ansatz Gegenstände basierend auf bestimmten Kriterien aus, um eine lokale Optimierung zu erreichen. Hierbei wird in jedem Schritt diejenige Entscheidung getroffen, die im Moment am vorteilhaftesten erscheint, ohne jedoch die Gesamtoptimierung im Auge zu behalten.

Der folgende Pseudocode veranschaulicht den Greedy-Algorithmus zur Lösung des Knapsack-Problems:

```

1 FUNCTION knapsackGreedy(weights[], values[], capacity)
2     n = length(weights)
3     DECLARE items[n]
4     FOR i FROM 0 TO n DO
5         items[i] = (values[i] / weights[i], weights[i], values[i])
6     END FOR
7     SORT items by ratio in descending order
8     totalValue = 0
9     currentWeight = 0
10    FOR i FROM 0 TO n DO
11        IF currentWeight + items[i].weight <= capacity THEN
12            currentWeight += items[i].weight
13            totalValue += items[i].value
14        ELSE
15            ratio = (capacity - currentWeight) / items[i].weight
16            totalValue += ratio * items[i].value
17            BREAK
18        END IF
19    END FOR
20    RETURN totalValue
21 END FUNCTION

```

Listing 4.23: Greedy Algorithmus

Die Funktion **knapsackGreedy()** nimmt wie der dynamische Ansatz drei Parameter an: ein Array von Gewichten (*weights*), ein Array von Werten (*values*) und die Kapazität des Rucksacks (*capacity*). Die Funktionsweise dieses Ansatzes ist wie folgt:

1. Zunächst wird für jeden Gegenstand das Verhältnis von Wert zu Gewicht berechnet und in einer Liste von Tupeln gespeichert. Jedes Tupel enthält das Wert-Gewichts-Verhältnis sowie das Gewicht und den Wert des entsprechenden Gegenstands.

2. Die Liste der Gegenstände wird basierend auf dem Verhältnis von Wert zu Gewicht in absteigender Reihenfolge sortiert, um die Gegenstände mit dem höchsten Verhältnis zuerst zu betrachten.
3. Der Algorithmus durchläuft die sortierte Liste der Gegenstände und versucht, jeden Gegenstand dem Rucksack hinzuzufügen. Dabei wird überprüft, ob das Hinzufügen des Gegenstands das Gewichtslimit des Rucksacks überschreitet. Falls dies der Fall ist, wird ein Teil des Gegenstands entsprechend dem verbleibenden verfügbaren Gewicht im Rucksack hinzugefügt.
4. Nachdem alle Gegenstände überprüft wurden, wird der Gesamtwert der im Rucksack enthaltenen Gegenstände zurückgegeben. Dies stellt die Lösung des Problems dar.

Der Greedy-Algorithmus bietet eine einfache und effiziente Lösung für das Knapsack-Problem, die jedoch nicht immer die perfekte Lösung garantiert. Durch die Auswahl der Gegenstände basierend auf lokalen Kriterien kann der Algorithmus zu suboptimalen Ergebnissen führen, insbesondere wenn die Gegenstände stark voneinander abhängen oder das Gewichtslimit des Rucksacks sehr restriktiv ist.

4.5.6.6 Anwendungen des Knapsack-Problems

Die grundlegende Problemstellung des Knapsack-Problems hat breite Anwendung in verschiedenen *wissenschaftlichen* und *industriellen* Bereichen gefunden und bildet die Grundlage für eine Vielzahl von Algorithmen und Anwendungen.

Dieses Kapitel untersucht die Anwendungen des Knapsack-Problems und seine Bedeutung in verschiedenen Domänen. Von der *Logistik* über die *Finanzplanung* bis hin zum *Ressourcenmanagement* und der *Netzwerkoptimierung* hat das Knapsack-Problem einen entscheidenden Einfluss auf die moderne Technologie und Wirtschaft.

Die Anwendungen des Knapsack-Problems lassen sich in vier Hauptbereiche unterteilen:

1. **Logistik:** Der Knapsack-Algorithmus wird in der Logistik angewendet, um den Transport von Gütern mit begrenzten Kapazitäten zu optimieren. Indem er die bestmögliche Auswahl von Gütern trifft, ermöglicht er Logistikunternehmen, ihre Transportkosten zu minimieren und die Effizienz ihrer Lieferketten zu steigern. Dies kann die Planung von LKW-Routen, die Beladung von Containern oder die Organisation von Waren in Lagern umfassen.
2. **Finanzplanung:** In der Finanzplanung wird der Knapsack-Algorithmus genutzt, um Portfolios von Investitionen zu optimieren. Investoren können mithilfe dieses Algorithmus eine Auswahl von Wertpapieren treffen, die das Risiko minimieren und den erwarteten Ertrag maximieren. Dies kann die Diversifizierung von Anlagen, die Auswahl von Aktien oder die Verwaltung von Fonds umfassen.
3. **Ressourcenmanagement:** Der Knapsack-Algorithmus wird im Ressourcenmanagement verwendet, um die effiziente Nutzung begrenzter Ressourcen sicherzustellen. Dies kann in der Produktion erfolgen, wo Arbeitskräfte, Maschinen und Materialien effizient zugewiesen werden müssen, oder im Projektmanagement, um Zeit und Budgets zu optimieren. Durch die Anwendung des Knapsack-Problems können Unternehmen ihre Produktivität steigern und Kosten senken.
4. **Netzwerkoptimierung:** In der Netzwerkoptimierung spielt der Knapsack-Algorithmus eine wichtige Rolle bei der Planung und Optimierung von verschiedenen Arten von Netzwerken. Dies kann die Optimierung von Transportrouten, die Verteilung von Ressourcen in Computernetzwerken oder die Verbesserung der Bandbreitenauslastung in Telekommunikationsnetzen umfassen. Der Einsatz des Knapsack-Problems

ermöglicht es, die Leistung von Netzwerken zu verbessern und Engpässe zu minimieren.²⁰

Die Untersuchung dieser Anwendungen veranschaulicht die Vielseitigkeit und Effektivität des Knapsack-Problems bei der Lösung komplexer Optimierungsprobleme. Darüber hinaus trägt die Anwendung des Knapsack-Algorithmus dazu bei, industrielle Abläufe zu verbessern, Kosten zu senken und die Effizienz in verschiedenen Bereichen zu steigern.

4.5.6.7 Auswahl des Implementierungsansatzes

Die Wahl des Implementierungsansatzes für den Knapsack-Algorithmus in dieser Anwendung ist von entscheidender Bedeutung für den Erfolg des Projekts. Moderne Softwaresysteme stehen vor einer Vielzahl von Herausforderungen und Anforderungen, die eine sorgfältige Auswahl eines geeigneten Algorithmus erforderlich machen.

Die Entscheidung für den Implementierungsansatz erfolgte nach einer eingehenden Analyse der Anforderungen der Anwendung und einer gründlichen Untersuchung der verfügbaren Algorithmen sowie ihrer Eigenschaften. Dabei wurden verschiedene Faktoren berücksichtigt, darunter die Notwendigkeit einer optimalen Lösung, die Effizienz der Algorithmausführung, die Flexibilität in Bezug auf unterschiedliche Problemvarianten und die Genauigkeit der berechneten Ergebnisse.

Diese Überlegungen werden anschließend ausführlich diskutiert und die Gründe für die Wahl des dynamischen Ansatzes als Implementierungsstrategie für den Knapsack-Algorithmus erläutert:

1. **Perfekte Lösungsgarantie:** Der dynamische Ansatz bietet die Möglichkeit, eine perfekte Lösung für das Knapsack-Problem zu garantieren. Dies ist besonders wichtig in Anwendungen, in denen eine genaue und zuverlässige Lösung erforderlich ist, um optimale Entscheidungen zu treffen.
2. **Effizienz:** Obwohl der dynamische Ansatz im Vergleich zum Greedy-Ansatz einen höheren Rechenaufwand erfordert, bietet er dennoch eine effiziente Lösung für das Knapsack-Problem. Durch die Verwendung von dynamischer Programmierung können Teilprobleme effizient gelöst und die Gesamtlösung optimiert werden.
3. **Flexibilität:** Der dynamische Ansatz ist flexibel und kann auf verschiedene Varianten des Knapsack-Problems angewendet werden, einschließlich 0/1-Knapsack, unbeschränktem Knapsack und anderen Typen. Dadurch ist er vielseitig einsetzbar und kann an die spezifischen Anforderungen einer Anwendung angepasst werden.
4. **Genauigkeit:** Durch die Verwendung des dynamischen Ansatzes können exakte Werte für den maximal erreichbaren Wert des Rucksacks und die optimale Auswahl von Gegenständen berechnet werden. Dies ermöglicht eine präzise Bewertung und Planung basierend auf den berechneten Ergebnissen.

In Anbetracht dieser Überlegungen wurde der dynamische Ansatz als die geeignete Methode zur Implementierung des Knapsack-Algorithmus in dieser Applikation gewählt. Seine Fähigkeit, eine perfekte Lösung zu garantieren, kombiniert mit seiner Effizienz und Flexibilität, macht ihn zu einer idealen Wahl für die Behandlung des Knapsack-Problems in diesem Kontext.

4.5.6.8 Das KnapsackSolver Game Objekt

Das KnapsackSolver Unity Game Objekt in folgender Abbildung 4.25 ist hauptverantwortlich für die Realisierung des Knapsack Algorithmus. Dieses Objekt hat die angehängte

²⁰GeeksForGeeks, **Introduction to Knapsack Problem; its Types and How to solve them**

Komponente KnapsackSolver.cs welche das Skript für die Implementierung widerspiegelt und die **KnapsackSolver** Klasse implementiert.

Diese Klasse operiert in enger Zusammenarbeit mit der *InventoryController* Klasse, um sicherzustellen, dass die Berechnungen stets auf der Grundlage des aktuellen individuell zusammengestellten Inventars des Benutzers erfolgen. Diese Interaktion zwischen den beiden Klassen gewährleistet eine präzise und aktuelle Verarbeitung der inventarbezogenen Informationen innerhalb der Applikation.

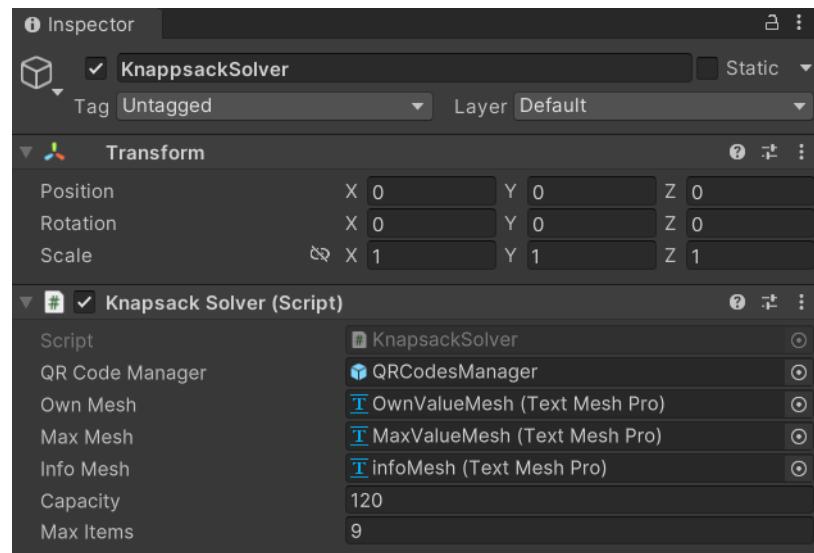


Abbildung 4.25: KnapsackSolver Objekt im Editor

Anzumerken auf dieser Abbildung sind die Werte des *KnapsackSolver* Skripts, die direkt im Unity Inspektor verändert und übergeben werden können. Diese Werte und deren Beschreibung sind die folgenden:

- **QRCodesManager:** Referenz auf das *QRCodeManager* Game Objekt aus der Level-2 Szene.
- **Own Mesh:** Referenz auf das *OwnValueMesh* aus dem *infoObjekt* aus der Level 2 Szene.
- **Max Mesh:** Referenz auf das *MaxValueMesh* aus dem *infoObjekt* aus der Level 2 Szene.
- **Info Mesh:** Referenz auf das *infoMesh* aus dem *infoObjekt* aus der Level 2 Szene.
- **Capacity:** Integer Wert, der die Kapazität für den *Knapsack Algorithmus* festlegt.
- **Max Items:** Repräsentiert die maximale Anzahl an Items die in das Inventar gelegt werden können. Dies dient als extra Bedingung für den *Knapsack Algorithmus*.

4.5.6.9 KnapsackSolver Klassenvariablen

```

1 public GameObject QRCodeManager;
2 public TextMeshPro ownMesh;
3 public TextMeshPro maxMesh;
4 public TextMeshPro infoMesh;
5
6 public int[,] usedItems;

```

```

7 public int capacity = 120;
8 public Dictionary<int, QRData> items;
9 public int maxItems = 9;
10
11 private int[,] inventory;

```

Listing 4.24: Klassenvariablen des KnapsackSolvers

Die im Codeabschnitt 4.24 gezeigten Klassenvariablen gehören zur *KnapsackSolver*-Klasse. Diese Variablen werden verwendet, um Objekte und Werte innerhalb des Unity Editors zu repräsentieren, die entweder direkt festgelegt und übergeben werden oder von anderen Klassen aus Funktionalitätsgründen benötigt werden. Die öffentlichen (*public*) Variablen ermöglichen einen direkten Zugriff auf diese Objekte in der eigenen oder einer anderen Klasse.

Das *2D int Array inventory* spielt eine entscheidende Rolle im Verlauf des *KnapsackSolvers*, da es verwendet wird, um das individuell vom Benutzer zusammengestellte Inventar zu verarbeiten und zu berechnen.

Die privaten (*private*) Klassenvariablen dienen hauptsächlich dem lokalen Speichern von Werten, die nur innerhalb der *KnapsackSolver*-Klasse benötigt werden und keinen Zugriff von außen erfordern.

4.5.6.10 Start des KnapsackSolvers

Die **Start()** Funktion, die in folgendem Codeabschnitt 4.26 abgebildet ist, ist der Startpunkt des *KnapsackSolvers*.

```

1 void Start()
2 {
3     items = new QRItem(0).items;
4     EventManager.OnGridUpdate += SetInventory;
5 }

```

Listing 4.25: Klassenvariablen der InventoryController Klasse

Zu Beginn der Funktion wird dem Dictionary *items* ein neues Objekt des Typs *QRitem* zugewiesen, wobei die *ID* 0 übergeben wird. Dies ermöglicht den Zugriff auf das Dictionary in der *QRItem* Klasse welches alle Daten der einzelnen Items enthält. Anschließend wird das Event *OnGridUpdate* des *EventManager*s ausgelöst und die Funktion **SetInventory()** aufgerufen. Letztere ist eine Rückruffunktion, die als Reaktion auf das Ereignis aufgerufen wird und die Aufgabe hat, das Inventar zu aktualisieren. Diese Funktion sieht wie folgt aus:

```

1 public void SetInventory(int[,] newInventory)
2 {
3     inventory = newInventory;
4     CalculateKnapsack();
5 }

```

Listing 4.26: Inventar setzen

Um stets mit dem aktuellen Inventar zu rechnen, wird bei jedem mal, bei dem die **SetInventory()** Funktion aufgerufen wird, das aktuelle Inventar (*inventory*) mit dem neuen Inventar in dem ein neues Item enthalten ist (*newInventory*) aktualisiert, um anschließend die tatsächlichen Werte zu berechnen, wird die **CalculateKnapsack()** Funktion aufgerufen. Der Code zu dieser Funktion:

```

1 void CalculateKnapsack()

```

```
2 {
3     int maxValue = KnapsackMaxValue(out usedItems);
4     int inventoryValue = -1;
5     maxMesh.text = "Maximal erreichbarer Wert: " + maxValue.ToString();
6     try
7     {
8         inventoryValue = KnapsackInventoryValue(inventory);
9         if (maxValue == inventoryValue)
10        {
11            UpdateInfoMesh("Optimale Lösung gefunden", Color.green);
12        }
13        else
14        {
15            infoMesh.text = "";
16        }
17        ownMesh.text = "Erreichter Wert: " + inventoryValue.ToString();
18    }
19    catch (Exception e)
20    {
21        Debug.LogError("Error calculating inventory value: " + e.Message);
22    }
23 }
```

Listing 4.27: Berechnungsfunktion

Diese Funktion stellt den Start des Knapsack-Algorithmus als auch der Berechnung des eigenen Inventars dar. Der berechnete maximale erreichbare Wert, der von Funktion **Knapsack-MaxValue** errechnet und zurückgegeben wird, wird der Variable *maxValue* zugewiesen für späteres vergleichen. Auch gibt diese Funktion das Array welches eine perfekte Lösung repräsentiert zurück (*out usedItems*).

Um dem Benutzer anzuzeigen, was der errechnete maximal erreichbare Wert ist, wird anschließend der Text des *maxMesh* geändert, um diesen anzuzeigen. Bei der Berechnung des individuell zusammengestellten Inventars wird hier aus Sicherheitsgründen ein *try/catch* Block durchlaufen um potenzielle Fehler und einen dadurch verursachten Programmcrash zu vermeiden. In diesem Block wird versucht, das eigene Inventar anhand des zusammengestellten Inventars (*inventory*) zu berechnen. Darauffolgend wird nun überprüft, ob der Benutzer mit seiner Lösung eine perfekte Lösung gefunden hat und in diesem Fall, wird das *infoMesh* anhand der **UpdateInfoMesh** Funktion mit einer dementsprechenden Erfolgsmeldung und Farbe aktualisiert. Falls dies nicht der Fall ist, bleibt dieses einfach leer. Nach dieser Überprüfung der errechnete Wert des Inventars in dem *ownMesh* dargestellt, um dem Benutzer zu zeigen, was dieser erreicht hat.

Um den beschriebene Fall zu veranschaulichen, in dem der Benutzer eine perfekte Lösung gefunden hat, wird hierzu ein Beispiel herangezogen.

Angenommen, der Benutzer stellt ein Inventar zusammen, welches den maximal möglichen Wert erreicht. Nach erneutem Berechnen wird dem Benutzer wie in folgender Abbildung 4.26 anschließend folgende Ansicht präsentiert:

Abbildung 4.26: Eine perfekte Lösung gefunden

dem der perfekten Lösung gleicht. Diese Erkenntnis ist anhand des *infoMesh* zu erkennen, in dem eine Erfolgsnachricht in grüner Farbe dargestellt ist.

4.5.6.11 Knapsack-Algorithmus Implementierung

Dieser Abschnitt behandelt die Implementierung der allgemeinen Variation des 0/1 Knapsack-Problems anhand des dynamischen Algorithmus zur Lösung des Knapsack-Problems. Die Implementierung erfolgt in der Funktion **KnapsackMaxValue()**. Diese Funktion gibt ein zweidimensionales Array zurück, das eine perfekte Lösung für das Problem speichert. Die Funktion besteht im Wesentlichen aus zwei wichtigen Abschnitten:

Der erste Abschnitt beinhaltet die Implementierung des Algorithmus selbst, während der zweite Abschnitt dazu dient, die ausgewählten Gegenstände zu verfolgen, die zur Erreichung des maximalen Werts verwendet wurden. Anhand dieser Gegenstände wird dann das Array *usedItems* erstellt, welches die perfekte Lösung repräsentiert.

Im Folgenden wird der Code dieser Funktion präsentiert:

```

1 public int KnapsackMaxValue(out int[,] usedItems)
2 {
3     int n = items.Count;
4     int[,] dp = new int[n + 1, capacity + 1];
5     bool[,] selected = new bool[n + 1, capacity + 1];
6     for (int i = 0; i <= n; i++)
7     {
8         for (int w = 0; w <= capacity; w++)
9         {
10            if (i == 0 || w == 0)
11                dp[i, w] = 0;
12            else if (i <= maxItems && items[i].weight <= w)
13            {
14                int newValue = items[i].value + dp[i - 1, w - items[i].weight];
15                if (newValue > dp[i - 1, w])
16                {
17                    dp[i, w] = newValue;
18                    selected[i, w] = true;
19                }
20            else
21            {
22                dp[i, w] = dp[i - 1, w];
23                selected[i, w] = false;
24            }
25        }
26    else
27    {
28        dp[i, w] = dp[i - 1, w];
29        selected[i, w] = false;
30    }
31 }
32 }
33 int[,] tempUsedItems = new int[3, 3];
34 int row = n;
35 int col = capacity;
36 int rowIndex = 0;
37 int colIndex = 0;
38 while (row > 0 && col > 0 && rowIndex < 3 && colIndex < 3)
39 {
40     if (selected[row, col] && colIndex < maxItems)
41     {
42         tempUsedItems[rowIndex, colIndex] = items[row].id;
43         col -= items[row].weight;

```

```

44         row--;
45         colIndex++;
46         if (colIndex >= 3)
47         {
48             colIndex = 0;
49             rowIndex++;
50         }
51     }
52     else
53     {
54         row--;
55     }
56 }
57 usedItems = tempUsedItems;
58 return dp[n, capacity];
59 }
```

Listing 4.28: Knapsack Algorithmus / Item Backtracking

Die Implementierung des Knapsack-Algorithmus in den Zeilen drei bis 32 der Funktion **KnapsackMaxValue()** dieses Abschnitts entspricht im Wesentlichen dem bereits erklärten Pseudocode. Ein wesentlicher Unterschied besteht jedoch darin, dass diese spezielle Implementierung eine zusätzliche Bedingung berücksichtigt. Diese Bedingung besagt, dass zur Berechnung des maximalen Werts und damit der optimalen Lösung maximal 9 Gegenstände in die Berechnung miteinbezogen werden können. Dies ist darauf zurückzuführen, dass im vorliegenden Inventar-Objekt nur 9 verfügbare Zellen vorhanden sind, in die ein Gegenstand eingefügt werden kann. Die Erfüllung dieser Bedingung wird in dem *else-if*-Zweig $i \leq \maxItems \wedge \text{items}[i].\text{weight} \leq w$ gewährleistet.

Zusätzlich wird ein Array von booleschen Werten namens *selected* erstellt, um im Verlauf der Berechnung diejenigen Gegenstände zu markieren, die ausgewählt wurden (*selected* = *true*). Dieses Array wird verwendet, um im zweiten Teil der Funktion die perfekte Lösung zusammenzustellen.

Aufbau und Interpretation der selected Tabelle

Angenommen, es sind die folgenden 5 Gegenstände (indiziert von 1 bis 5) mit den folgenden Werten und Gewichten gegeben:

| Gegenstand | Wert | Gewicht |
|------------|------|---------|
| 1 | 10 | 5 |
| 2 | 6 | 4 |
| 3 | 8 | 3 |
| 4 | 3 | 2 |
| 5 | 7 | 1 |

Und die *Kapazität* des Rucksacks liegt bei 5. Aufgrund dieser Angaben wird die *selected*-Matrix nach Ausführung des Knapsack-Algorithmus basierend auf den ausgewählten Gegenständen gefüllt. Diese Matrix sieht dann folgendermaßen aus:

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0 | false | false | false | false | false |
| 1 | false | false | false | false | true |
| 2 | false | false | false | true | true |
| 3 | false | false | true | true | true |
| 4 | false | true | true | true | true |
| 5 | false | true | true | true | true |

Für die Interpretation der *selected*-Matrix ist es wichtig zu verstehen, wie sie funktioniert. Jede Zelle in dieser Matrix gibt an, ob der entsprechende Gegenstand in der perfekten Lösung des Knapsack-Problems enthalten ist (*true*) oder nicht (*false*). Als Beispiel zeigt die Zelle *selected*[4][3], dass der Gegenstand 4 in der perfekten Lösung miteinbezogen wurde, als die Kapazität des Rucksacks 3 betrug. Diese Informationen ermöglichen folgende Schlussfolgerungen:

1. Der Index **i** in *selected*[*i*][*j*] repräsentiert den Gegenstand, der in Betracht gezogen wird.
2. Der Index **j** in *selected*[*i*][*j*] gibt die Kapazität des Rucksacks an, die für diese Teillösung verwendet wurde.

Der zweite Teil der Funktion, der sich um das *Backtracking* der in der perfekten Lösung verwendeten Items kümmert, beginnt damit, dass Variablen initialisiert werden, um den aktuellen Zeilen- und Spaltenindex in dem *selected* Array zu verfolgen, sowie *Indizes* für das temporäre Array, die die ausgewählten Gegenstände speichert. Zunächst wird eine Schleife gestartet, um durch das *selected* Array zu iterieren und die ausgewählten Gegenstände zu identifizieren.

Während der Iteration werden Bedingungen überprüft, um zu entscheiden, ob ein Gegenstand ausgewählt wurde. Wenn ein Gegenstand ausgewählt wird, wird seine *ID* in das temporäre Array (*tempUsedItems*) eingefügt, und die Position in der Tabelle wird aktualisiert, indem das Gewicht des ausgewählten Gegenstands von der aktuellen Kapazität subtrahiert wird. Die Schleife durchläuft die Tabelle und fährt fort, bis entweder die erste Zeile oder Spalte erreicht wird oder die maximal zulässige Anzahl von ausgewählten Gegenständen erreicht ist.

Wenn ein Gegenstand ausgewählt wird, wird seine ID in die temporäre Matrix eingefügt, um die ausgewählten Gegenstände zu speichern. Die Indizes der temporären Matrix werden aktualisiert, um den nächsten verfügbaren Speicherplatz zu zeigen. Andernfalls wird der Zeilenindex dekrementiert, um zur vorherigen Zeile in des *selected* Arrays zu gehen.

Am Ende der Funktion wird der Wert von *usedItems* mit dem ermittelten Array *tempUsedItems* überschrieben und der maximale Wert des Rucksacks wird zurückgegeben.

4.5.6.12 Berechnung des eigenen Inventars

Die letzte Berechnung, die durchgeführt wird, ist die Berechnung des eigenen Inventars. Dies wird mittels der **KnapsackInventoryValue()** Funktion erreicht. Der Code dieser Funktion:

```

1 public int KnapsackInventoryValue(int[,] inventory)
2 {
3     if (inventory == null)
4     {
5         throw new System.Exception("Inventory is null");
6     }
7     int totalValue = 0;

```

```

8     foreach (var item in items.Values)
9     {
10         int itemId = item.id;
11         int itemValue = item.value;
12         for (int j = 0; j < inventory.GetLength(0); j++)
13         {
14             for (int k = 0; k < inventory.GetLength(1); k++)
15             {
16                 if (inventory[j, k] == itemId)
17                 {
18                     totalValue += itemValue;
19                 }
20             }
21         }
22     }
23     return totalValue;
24 }
```

Listing 4.29: Funktion um eigenes Inventar zu brechnen

In dieser Funktion wird der Gesamtwert des aktuellen Inventars berechnet, welches durch das zweidimensionale Array (*inventory*) repräsentiert wird. Zunächst wird überprüft, ob das übergebene Inventar korrekt gesetzt wurde und ob es *null* ist oder nicht. Falls es *null* ist, wird eine *Exception* geworfen. Falls das Inventar nicht leer ist, wird die Variable *totalValue* initialisiert, um den Gesamtwert des Inventars zu speichern. Anschließend wird eine *foreach*-Schleife über jedes Element des Dictionaries *items* durchgeführt, wobei die *ID* und der Wert *value* jedes Elements ermittelt und in *itemId* und *itemValue* gespeichert werden.

Anschließend werden zwei verschachtelte *for*-Schleifen verwendet, um jedes Element im *inventory*-Array zu durchlaufen. Wenn die *ID* des Gegenstands im *inventory*-Array gefunden wird, wird der Wert dieses Gegenstands zum Gesamtwert *totalValue* addiert. Nach Abschluss der beiden *for*-Schleifen wird dieser ert schließlich zurückgegeben.

4.5.6.13 InfoMesh aktualisieren

Der *KnapsackSolver* enthält zwei Funktionen, die sowohl in der Klasse selbst als auch in der *InventoryController* Klasse gebraucht werden. Die Funktion **SetInventory()** wurde bereits erklärt und die zweite Funktion ist die folgende:

```

1 public void UpdateInfoMesh(string input, Color color)
2 {
3     infoMesh.color = color;
4     infoMesh.text = input;
5 }
```

Listing 4.30: Funktion um InfoMesh zu verändern

Diese Funktion ist wichtig für das Ändern der Fehlermeldungen, Erfolgsmeldungen als auch der Farbe des Textes in dem *infoMesh* und sie wird von dieser Klasse selbst auch im *InventoryController* verwendet.

4.5.7 Anzeigen der perfekten Lösung

Im zweiten Anwendungsszenario ist das Anzeigen der perfekten Lösung von entscheidender Bedeutung. Es ermöglicht dem Benutzer, eine perfekte Lösung zu visualisieren, um zu verstehen, wie sie aussieht und welche Gegenstände sie enthält.



Für die Umsetzung dieser Funktion wird das *bestSolutionPrefab* verwendet. Dieses Prefab erfüllt nicht nur die Rolle eines allgemeinen Vorlagenobjekts für die perfekte Lösung, sondern dient auch als Träger einer wichtigen Komponente, nämlich des *PerfectSolutionVisualizer.cs* Skripts. Durch die Implementierung der **PerfectSolutionVisualizer** Klasse bietet dieses Skript eine Vielzahl grundlegender Funktionen, die für die Darstellung der perfekten Lösung von entscheidender Bedeutung sind.

Die Struktur und Hierarchie des Prefabs im Unity Editor sind entsprechend konzipiert, um eine effektive und übersichtliche Verwaltung zu gewährleisten. Die visuelle Darstellung sowie die logische Organisation der enthaltenen Elemente sind darauf ausgerichtet, dem Entwickler eine intuitive Handhabung und Anpassung zu ermöglichen.

Eine sorgfältige Gestaltung und Implementierung des *bestSolutionPrefab* und des zugehörigen *PerfectSolutionVisualizer.cs* Skripts sind entscheidend, um dem Benutzer ein nahtloses und aussagekräftiges Erlebnis zu bieten. Durch die präzise Visualisierung und die transparente Darstellung der perfekten Lösung kann der Benutzer nicht nur die Optimierungsmöglichkeiten des Knapsack-Problems besser verstehen, sondern auch wichtige Einblicke in die Funktionsweise des Algorithmus gewinnen. Das Prefab welches dies erreicht, ist in folgender Abbildung 4.27 zu sehen:

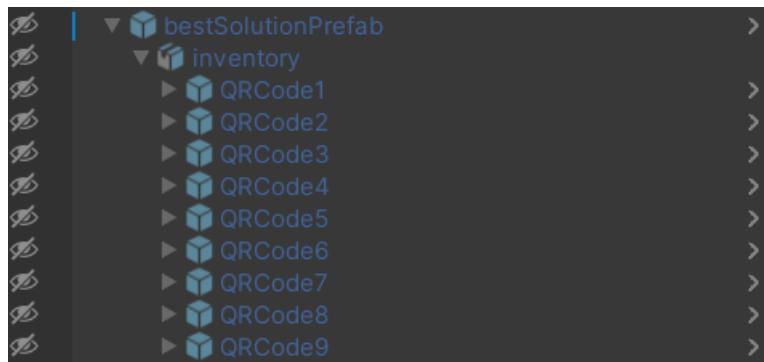


Abbildung 4.27: Prefab Hirarchie und Aufbau im Unity Editor

Auf dieser Abbildung ist sowohl die Hierarchie als auch der allgemeine Aufbau des Prefabs zu sehen. Die Hierarchie dieses Prefabs zeigt, dass es aus dem Inventar-Objekt besteht, unter dem mehrere einzelne *QRCode* Prefabs angeordnet sind. Besonders wichtig ist die Anordnung der *QRCode* Prefabs. In jeder einzelnen Zelle des Inventar-Objekts befindet sich jeweils ein Prefab, wie in der Abbildung dargestellt. Dies dient dazu, anhand der errechneten und gespeicherten perfekten Lösung das Prefab und die darin enthaltenen *QRCode*-Prefabs wie ein Array durchlaufen zu können. Mithilfe der eindeutigen ID jedes *QRCode*-Prefabs kann dann das darin gespeicherte Modell aktiviert werden. Dies stellt die Grundlage für das Anzeigen einer perfekten Lösung dar.

Das dem Prefab angehängte Script benötigt Zugriff auf mehrere verschiedene Objekte, um erfolgreich zu funktionieren. In folgender Abbildung ?? ist das Game Objekt selbst in Unity zu sehen.

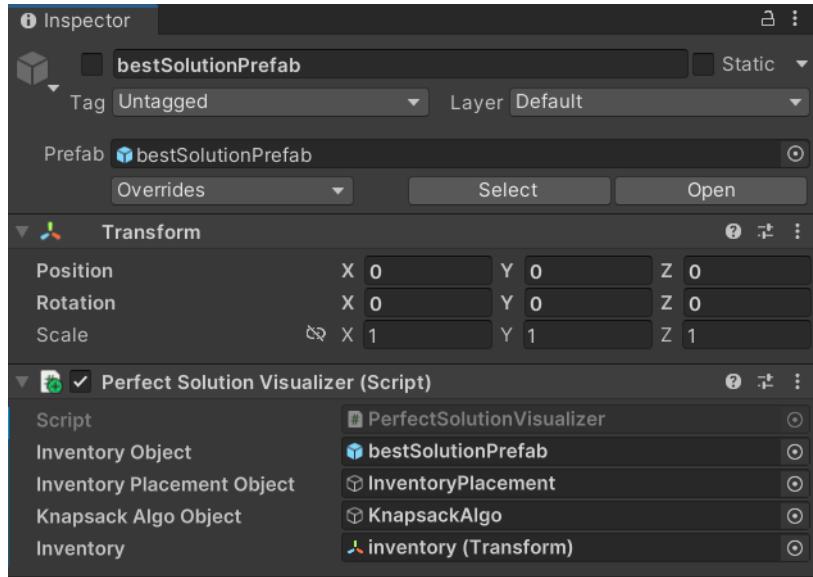


Abbildung 4.28: Game Objekt im Unity Editor

Auf dieser Abbildung ist das *bestSolutionPrefab* Game Objekt mit den zugehörigen Komponenten in Unity selbst zu sehen. An der Komponente welches das Skript repräsentiert ist zu sehen, dass dieses vier zu übergebende Objekte benötigt. Darunter sind die folgenden:

- **Inventory Object:** Eine Referenz auf das *Prefab* für die perfekte Lösung.
- **Inventory Placement Object:** Eine Referenz auf das *inventoryPlacement* Game Objekt.
- **Knapsack Algo Object:** Eine Referenz auf das *KnapsackSolver* Game Objekt.
- **Inventory:** Eine Referenz auf das *Inventory* Modell, das im Best Solution Prefab enthalten ist.

4.5.7.1 Auslöser des Skripts

Der Skript-Prozess zur Anzeige der perfekten Lösung wird durch einen simplen Knopfdruck ausgelöst. Der Knopf befindet sich innerhalb des *infoObject*, welches als Container für verschiedene Informationen oder Steuerelemente betrachtet werden kann.

Wenn der Benutzer auf diesen Knopf klickt, startet das Skript zur Darstellung der perfekten Lösung. Es führt die notwendigen Funktionen und Abläufe aus, um die perfekte Lösung zu visualisieren.

Abbildung 4.29 zeigt den Aufruf des Skripts und verdeutlicht den Zusammenhang zwischen dem Knopf im *infoObject* und dem Start des Skripts. Durch diese klare Verbindung können Benutzer die perfekte Lösung leichter abrufen und verstehen, was den gesamten Prozess zugänglicher macht.

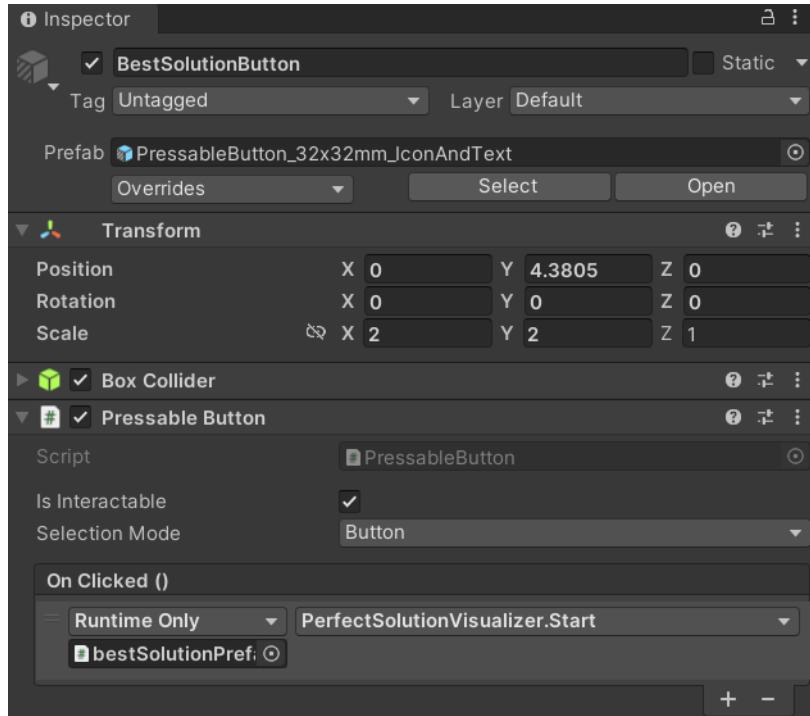


Abbildung 4.29: Script Aufruf bei Knopfdruck

Auf dieser Abbildung ist zusätzlich noch anzumerken, dass das interaktive drücken eines Knopfes durch das bereitgestellte Skript *PressableButton* möglich gemacht wird. Dieses Skript stellt die Funktion **OnClicked()** bereit, welche einen simplen Knopfdruck implementiert. Diese Funktion löst bei Knopfdruck anschließend die **Start()** Funktion des *bestSolutionVisualizer* aus.

4.5.7.2 PerfectSolutionVisualizer Klassenvariablen

```

1 public GameObject inventoryObject;
2 public GameObject inventoryPlacementObject;
3 public GameObject KnapsackAlgoObject;
4 public Transform inventory;
5
6 private PlaceObjectOnLookedAtDesk anchorScript;
7 private KnapsackScript knapsackScript;
8 private Vector3 originalInventoryPosition;
9 private int[,] perfectSolution;
10 private bool isClicked = false;
11 private int numRows = 3;
12 private int numColumns = 3;

```

Listing 4.31: Klassenvariablen des PerfectSolutionVisualizer

Die im Codeabschnitt 4.31 gezeigten Klassenvariablen gehören zur *PerfectSolutionVisualizer* Klasse. Diese Variablen dienen dazu, Objekte und Werte innerhalb des Unity Editors zu repräsentieren, die entweder direkt festgelegt und übergeben werden oder von anderen Klassen aus Funktionalitätsgründen benötigt werden. Durch die Verwendung von öffentlichen (*public*) Variablen ist ein direkter Zugriff auf diese Objekte in der eigenen oder einer anderen Klasse möglich.

Besonders wichtig ist der Zugriff auf die Variablen *inventoryPlacementObject* und *KnapsackAlgObject*, um im weiteren Verlauf dieses Skripts auf die beiden angehängten Skripte dieser Game Objekte zuzugreifen. Diese Skripte speichern die Position des Inventars und das *usedItems*-Array. Die Position des originalen Inventars ist notwendig, um die perfekte Lösung korrekt zu platzieren, während das *usedItems*-Array später benötigt wird, um das *bestSolutionPrefab* anhand der gespeicherten Werte zu befüllen.

4.5.7.3 Start des PerfectSolutionVisualizer

Nachdem der Benutzer den *BestSolutionButton* betätigt hat, wird der entscheidende Prozess zur Anzeige der perfekten Lösung eingeleitet. Dieser Vorgang wird durch die Ausführung der **Start()** Funktion gestartet, wie im folgenden Codeabschnitt 4.32 ersichtlich ist.

```

1 public void Start()
2 {
3     isClicked = !isClicked;
4     if (isClicked == true)
5     {
6         anchorScript = inventoryPlacementObject.GetComponent<
7             InventoryPlacementController>();
8         originalInventoryPosition = anchorScript.objectPosition;
9         knapsackSolver = KnapsackAlgObject.GetComponent<KnapsackSolver>();
10        perfectSolution = knapsackSolver.usedItems;
11        printItems();
12        setNewPosition();
13        inventoryObject.SetActive(true);
14        fillInventory();
15    }
16    else
17    {
18        inventoryObject.SetActive(false);
19    }
}

```

Listing 4.32: PerfectSolutionVisualizer Start

Diese Funktion fungiert nicht nur als Initiator für das Anzeigen der perfekten Lösung, sondern auch für das Ausblenden derselben. Eine zentrale Aufgabe besteht darin sicherzustellen, dass der Benutzer die Lösung nach Bedarf ein- oder ausblenden kann. Zu diesem Zweck wird bei jedem Aufruf der Funktion die boolsche Variable *isClicked* invertiert, welche den Zustand des Buttons repräsentiert.

Basierend auf diesem boolschen Wert wird im weiteren Verlauf der Funktion entschieden, ob die perfekte Lösung sichtbar gemacht werden soll oder nicht (*inventoryObject.SetActive(true/false)*). Bei Bedarf werden die Positionsinformationen des Objekts durch die *objectPosition*-Variable der Klasse *InventoryPlacementController* sowie das *usedItems*-Array der Klasse *KnapsackSolver* gesichert. Anschließend werden die Funktionen **setNewPosition()** und **fillInventory()** aufgerufen, um eine präzise Positionierung der perfekten Lösung zu gewährleisten und das Inventar entsprechend mit den relevanten Objekten zu füllen.

4.5.7.4 Perfekte Lösung platzieren

Die Platzierung der perfekten Lösung ist wichtig, um zu garantieren, dass es für den Benutzer leicht und angenehm ist, diese zu sehen.

Um dies zu garantieren, wird auf die Original-Position des Inventar-Objekts (*originalInventoryPosition*) zugegriffen und aufgrund dessen eine neue Position errechnet. Diese neue Position ist um 0,5 Einheiten entlang der z-Achse und um 0.205 Einheiten entlang der y-Achse verschoben, damit dieses vor dem originalen Inventar-Objekt platziert wird. Um es dem Benutzer jedoch angenehmer zu machen, die perfekte Lösung besser zu sehen, wird abschließend die Rotation dieses Objekts noch geändert, um es um -45 Grad entlang der x-Achse zu kippen.

```

1 private void setNewPosition()
2 {
3     Vector3 newPosition = originalInventoryPosition + Vector3.forward * 0.5f + Vector3
4         .up * 0.205f;
5     inventoryObject.transform.position = newPosition;
6     Quaternion objectRotation = Quaternion.Euler(-45f, 0f, 0f);
7     inventoryObject.transform.rotation = objectRotation;
}

```

Listing 4.33: Neue Position setzen

4.5.7.5 Prefab füllen

Aufgrund der Beschaffenheit des zuvor platzierten Objekts, das lediglich ein leeres Inventar-Objekt darstellt, ist es notwendig, dieses im nächsten Schritt mit den passenden Elementen zu füllen oder die geeigneten Modelle zu aktivieren, welche die perfekte Lösung repräsentieren. Diese Aufgabe wird durch den Aufruf der **fillInventory()** Funktion im weiteren Verlauf des Skripts realisiert.

```

1 private void fillInventory()
2 {
3     for (int i = 0; i < numRows; i++)
4     {
5         for (int j = 0; j < numColumns; j++)
6         {
7             int id = perfectSolution[i, j];
8             if (perfectSolution[i, j] == 0)
9                 continue;
10            else
11            {
12                string qrCodeName = "QRCode" + (i * numColumns + j + 1);
13                Transform qrCodeTransform = inventory.Find(qrCodeName);
14                if (qrCodeTransform != null)
15                {
16                    Transform childTransform = qrCodeTransform.Find(id.ToString());
17                    if (childTransform != null)
18                    {
19                        childTransform.gameObject.SetActive(true);
20                    }
21                }
22                else
23                {
24                    Debug.LogError($"QRCode {qrCodeName} not found in the inventory");
25                }
26            }
27        }
28    }
29 }

```

Listing 4.34: Inventar füllen

Die vorliegende Funktion durchläuft das zweidimensionale Array *perfectSolution*, das die perfekte Lösung repräsentiert. Zu Beginn wird die ID an der Stelle $[i, j]$ des Arrays gespeichert. An jeder Position wird zunächst überprüft, ob die gespeicherte ID gleich 0 ist. In diesem Fall wird der Schleifendurchlauf mit *continue* übersprungen, da der Wert 0 darauf hinweist, dass an dieser Stelle kein Item liegt.

Wenn der Wert an der Stelle $[i, j]$ größer als 0 ist, deutet dies darauf hin, dass an dieser Position im Inventar ein konkretes Element vorliegt. Zur Identifizierung dieses Elements und zum Auffinden des entsprechenden QRItems wird ein stringbasierter Bezeichner *qrCodeName* generiert. Dieser Bezeichner wird durch die Konkatenation des Präfixes *QRCode* mit dem Ergebnis der Berechnung $i \times \text{numColumns} + j + 1$ erzeugt. Diese Berechnung berücksichtigt die aktuelle Position im zweidimensionalen Array und ermöglicht die Erstellung eines eindeutigen Bezeichners für das QRItem. Auf diese Weise wird das QRItem erfolgreich identifiziert und kann anschließend im Inventar lokalisiert werden.

Um diesen Vorgang der Identifikation des korrekten *QRItem* Prefabs besser zu veranschaulichen wird hierfür ein Beispiel herangezogen, dass die Berechnung anhand von Testwerten durchführt.

Angenommen in der Schleife hat **i** den Wert 1 und **j** den Wert 1. Dies bedeutet, dass das Array momentan an der Stelle [1, 1] steht. Das **bestSolutionPrefab** ist so strukturiert, dass der Index nicht mit 0, sondern mit 1 beginnt. Daher wird in der Berechnung am Ende +1 hinzugefügt, um dies zu berücksichtigen. Somit wird an der Stelle $[i, j]$ das *QRItem5* dem Array zugeordnet.

Nachdem das richtige *QRItem* identifiziert wurde, wird anschließend das dem Inventar-Objekt untergeordnete *QRItem* Prefab mit diesem Namen gespeichert. Wenn dieses Objekt ungleich null ist, wird von diesem Prefab das untergeordnete Modell anhand der zuvor gespeicherten *ID* aktiviert, um es in dem Inventar-Raster anzuzeigen. Andernfalls wird eine Fehlermeldung in die *Logdatei* geschrieben. Der Zustand nach dem Abschluss dieser Funktion ist in der folgenden Abbildung 4.30 zu sehen.

Abbildung 4.30: Perfekte Lösung

4.6 Performance und Qualitätssicherung

4.6.1 Unit-Tests

→
HAYLAZ

Unit-Tests sind ein entscheidender Bestandteil der Qualitätssicherung. Sie ermöglichen die Überprüfung der korrekten Funktionalität einzelner Komponenten und stellen sicher, dass sie wie erwartet arbeiten. Im Rahmen dieses Projekts wurden Unit-Tests verwendet, um den Knapsack-Algorithmus zu überprüfen. Die Tests wurden mithilfe des Unity Test Frameworks erstellt und ausgeführt. Dieses Tool wurde speziell für die Erstellung und Ausführung von Unit-Tests in Unity entwickelt. Durch die sorgfältige Gestaltung der Tests wurde sichergestellt, dass der Algorithmus nicht nur die erwarteten Ergebnisse zurückgibt, sondern auch die vorgegebene Laufzeit einhält. Die Tests wurden innerhalb der Entwicklungsumgebung von Unity durchgeführt, und die Ergebnisse wurden genau überwacht, um sicherzustellen, dass der Algorithmus zuverlässig funktioniert.

4.6.2 Unity Test Framework

Das Unity Test Framework bietet eine breite Palette von Funktionen, mit denen Entwickler umfassende Tests für ihre Unity-Skripte schreiben und ausführen können. Dabei können verschiedene Aspekte der Skripte auf ihre korrekte Funktionalität überprüft werden, darunter das Testen von Variablen, das Aufrufen von Funktionen und das Überprüfen von erwarteten Ergebnissen. Dank dieser umfangreichen Funktionen können Entwickler sicherstellen, dass ihre Unity-Anwendungen robust und zuverlässig sind, was eine solide Grundlage für die Qualitätssicherung schafft.

4.6.3 Performance-Messung

Die Performance des Knapsack-Algorithmus wurde mithilfe von Unit-Tests überprüft. Dabei wurde die Laufzeit des Algorithmus für verschiedene Eingabegrößen gemessen. Die Ergebnisse wurden sorgfältig analysiert, um sicherzustellen, dass der Algorithmus die erwartete Laufzeit einhält. Es wurden verschiedene Algorithmen und Implementierungen getestet, um die optimale Leistung zu erzielen. Die Ergebnisse der Performance-Messung wurden genau überwacht, um sicherzustellen, dass der Algorithmus zuverlässig und effizient arbeitet.

```

1 public class AlgoTest
2 {
3     GameObject testObject;
4     KnapsackScript knapsackScript;
5     int[,] usedItems;
6     int capacity = 120;
7     ...

```

Listing 4.35: Unit Test Klasse

Dies ist eine Testklasse in C, welche den Knapsack-Algorithmus implementiert und testet.

Dies ist eine Testklasse in C, welche den Knapsack-Algorithmus implementiert und testet. Die Klasse AlgoTest enthält Testfunktionen für zwei verschiedene Knapsack-Algorithmen. Es werden mehrere Variablen definiert, darunter ein testObject, das zu testende knapsack-Script und capacity, die maximale Größe des Rucksacks, die für die Tests benötigt wird. Die Methoden SetUp und TearDown sind mit den Attributen [SetUp] und [TearDown] versehen. Diese Attribute werden vom Framework erkannt und dienen dazu, nach jedem Test die Umgebung zu reinigen und neu aufzusetzen. Es wird eine Instanz des KnapsackScript erstellt und wieder zerstört, um sicherzustellen, dass die Tests in einer sauberen Umgebung ausgeführt werden.

```

1 // Ein Test verhält sich wie eine normale Methode
2 [Test]
3 public void KnapsackMaxValue_ReturnsCorrectValue()
4 {
5     // Gibt eine Menge von Gegenständen für den Rucksack an
6     Dictionary<int, QRData> items = new Dictionary<int, QRData>() {
7         {1, new QRData { id = 1, weight = 50, value = 100 }},
8         ... //weitere Testobjekte
9     }
10    System.Random random = new System.Random();
11    for (int i = 11; i <= 100; i++)
12    {
13        int randomWeight = random.Next(1, 51);
14        int randomValue = random.Next(1, 101);

```

```

15
16 items.Add(i, new QRData { id = i, weight = randomWeight, value = randomValue });
17 }

```

Listing 4.36: Unit Test Methode

Der Unit-Test `Knapsack.MaxValue>ReturnsCorrectValue` testet die Methode `Knapsack.MaxValue` des `KnapsackScript`. Es werden verschiedene Gegenstände in dem Dictionary definiert. Außerdem werden noch weitere Items mit zufälligen Werten in das Dictionary hinzugefügt, damit auch getestet wird, ob der Algorithmus konsistent richtige Lösungen liefert.

```

1 // Messung der Ausführungszeit für Knapsack.MaxValue
2 System.Diagnostics.Stopwatch knapsack.MaxValueStopwatch = System.Diagnostics.Stopwatch.
    StartNew();
3 int maxValue = knapsackScript.Knapsack.MaxValue(out usedItems);
4 knapsack.MaxValueStopwatch.Stop();
5 Debug.Log($"Die Ausführungszeit von Knapsack.MaxValue beträgt: {
    knapsack.MaxValueStopwatch.ElapsedMilliseconds} ms");
6
7 // Messung der Ausführungszeit für Knapsack.MaxValueRecursive
8 System.Diagnostics.Stopwatch recursiveStopwatch = System.Diagnostics.Stopwatch.
    StartNew();
9 int maxValueComp = Knapsack.MaxValueRecursive(items.Count, capacity, items, new
    Dictionary<(int, int), int>());
10 recursiveStopwatch.Stop();
11 Debug.Log($"Die Ausführungszeit von Knapsack.MaxValueRecursive beträgt: {
    recursiveStopwatch.ElapsedMilliseconds} ms");
12
13 // Überprüfen, ob die Werte übereinstimmen
14 Assert.AreEqual(maxValueComp, maxValue);

```

Listing 4.37: Zeitmessung

Anschließend wird die Ausführungszeit sowohl der iterativen (`Knapsack.MaxValue`) als auch der rekursiven (`Knapsack.MaxValueRecursive`) Implementierung des Knapsack-Algorithmus gemessen. Schließlich wird überprüft, ob beide Implementierungen denselben Wert zurückgeben.

```

1 // Rekursive Implementierung des Knapsack-Algorithmus zur Berechnung des maximalen
2 // Werts
3 public int KnapsackMaxValueRecursive(int n, int remainingCapacity, Dictionary<int,
4                                     QRData> items, Dictionary<(int, int), int> memo)
5 {
6     if (n == 0 || remainingCapacity == 0)
7         return 0;
8
9     if (memo.TryGetValue((n, remainingCapacity), out int memoizedValue))
10    return memoizedValue;
11
12    if (items[n].weight > remainingCapacity)
13        memo[(n, remainingCapacity)] = KnapsackMaxValueRecursive(n - 1, remainingCapacity,
14                                                               items, memo);
15    return memo[(n, remainingCapacity)];
16
17    int includedValue = items[n].value + KnapsackMaxValueRecursive(n - 1,
18                      remainingCapacity - items[n].weight, items, memo);
19    int excludedValue = KnapsackMaxValueRecursive(n - 1, remainingCapacity, items, memo);
20
21    int result = Math.Max(includedValue, excludedValue);
22
23    memo[(n, remainingCapacity)] = result;
24 }
```

Listing 4.38: Rekursiver Algorithmus

Die Methode `KnapsackMaxValueRecursive` ist eine rekursive Implementierung des Knapsack-Algorithmus. Der maximale Wert, den der Rucksack aufnehmen kann, wird berechnet, indem die Elemente rekursiv entweder eingeschlossen oder ausgeschlossen werden. Es wurde darauf geachtet, verschiedene Implementierungen zu testen, um sicherzustellen, dass die optimale Implementierung verwendet wird.

TODO: Grafik der Testergebnisse und Unterschiede der Laufzeiten von rekursiver, iterativer und der neuen Implementierung erklären

Dabei wird die rekursive Implementierung `KnapsackMaxValueRecursive` als Vergleich verwendet, um sicherzustellen, dass auch die iterative Implementierung `KnapsackMaxValue` korrekt ist.

Kapitel 5

Zusammenfassung und Abschluss

5.1 Ergebnis

Hier steht der allgemeine Text für das Ergebnis

5.2 Abnahme

Hier steht der allgemeine Text für das Abnahme

5.3 Zukunft

Hier steht der allgemeine Text für die Zukunft

Anhang A

Mockups

A.1 UI/UX

A.2 Hauptmenu Level Design

A.3 Ping-Paket Level Design

A.4 Knapsack-Level Design

Anhang B

Literatur

- Blender. URL: <https://www.blender.org/about/> (besucht am 06.10.2023).
- Scrum Alliance Inc. WHAT IS SCRUM? URL: <https://www.scrumalliance.org/about-scrum#> (besucht am 06.10.2023).
- Scrum-Master.de Scrum-Rollen - Product Owner. URL: https://scrum-master.de/Scrum-Rollen/Scrum-Rollen_Product_Owner (besucht am 10.11.2023).
- Scrum-Master.de Scrum-Rollen - Scrum Master. URL: https://scrum-master.de/Scrum-Rollen/Scrum-Rollen_ScrumMaster (besucht am 10.11.2023).
- Scrum-Master.de Scrum-Rollen - Team. URL: https://scrum-master.de/Scrum-Rollen/Scrum-Rollen_Team (besucht am 10.11.2023).
- Scrum-Master.de Scrum-Meetings - Sprint - Team. URL: <https://scrum-master.de/Scrum-Meetings/Sprint> (besucht am 10.11.2023).
- Scrum-Master.de Scrum-Meetings - Sprint Planing Meeting - Team. URL: https://scrum-master.de/Scrum-Meetings/Sprint_Planning_Meeting (besucht am 10.11.2023).
- Scrum-Master.de Scrum-Meetings - Daily Scrum Meeting - Team. URL: <https://scrum-master.de/Scrum-Meetings/Sprint> (besucht am 10.11.2023).
- Scrum-Master.de Scrum-Meetings - Sprint Review Meeting - Team. URL: https://scrum-master.de/Scrum-Meetings/Sprint_Review_Meeting (besucht am 10.11.2023).
- Scrum-Master.de Scrum-Meetings - Sprint Retroperspektiv Meeting - Team. URL: https://scrum-master.de/Scrum-Meetings/Sprint_Review_Meeting (besucht am 10.11.2023).
- GeeksForGeeks.org Introduction to Knapsack Problem, its Types and How to solve them. URL: <https://www.geeksforgeeks.org/introduction-to-knapsack-problem-its-types-and-how-to-solve-them/> (besucht am 18.02.2024).
- Unity Dokumentation GameObjects. URL: <https://docs.unity3d.com/Manual/GameObjects.html> (besucht am 18.02.2024).
- Microsoft Dokumentation. MIXED REALITY TOOLKIT 3. URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/mrtk-unity/mrtk3-overview/> (besucht am 05.11.2023).
- Khronos Group. OPENXR. URL: <https://www.khronos.org/openxr/> (besucht am 05.11.2023).
- Medium. CREATING MANAGER CLASSES IN UNITY. URL: <https://sneakydaggergames.medium.com/creating-manager-classes-in-unity-a77cf7edcba5> (besucht am 05.11.2023).
- Unity Dokumentation. AR Plane Manager. URL: <https://docs.unity.cn/Packages/com.unity.xr.arfoundation@4.1/manual/plane-manager.html> (besucht am 05.11.2023).
- Unity Dokumentation. AR Raycast Manager. URL: <https://docs.unity.cn/Packages/com.unity.xr.arfoundation@5.0/api/UnityEngine.XR.ARFoundation.ARRaycastManager.html> (besucht am 05.11.2023).

- Unity Dokumentation. Plane. URL: <https://docs.unity3d.com/ScriptReference/Plane.html> (besucht am 13.12.2023).
- Unity Dokumentation. Scenes. URL: <https://docs.unity3d.com/Manual/CreatingScenes.html> (besucht am 13.12.2023).
- Unity Dokumentation. Prefabs. URL: <https://docs.unity3d.com/Manual/Prefabs.html> (besucht am 15.01.2024).
- Unity Dokumentation. Bounds. URL: <https://docs.unity3d.com/ScriptReference/Bounds.html> (besucht am 16.01.2024).
- Unity Dokumentation. Renderer. URL: <https://docs.unity3d.com/ScriptReference/Renderer.html> (besucht am 16.01.2024).
- Color Doku, URL: <https://docs.unity3d.com/ScriptReference/Color.html%7D> besucht am 4.11.2023).
- Trackable Doku, URL: <https://docs.unity3d.com/2019.2/Documentation/ScriptReference/Experimental.XR.TrackableType.html%7D> (besucht am 18.11.2023).
- ARRaycastHit Doku, URL: <https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.xr.arfoundation@4.0/api/UnityEngine.XR.ARFoundation.ARaycastHit.html%7D> (besucht am 18.11.2023).
- PhotoCaputre, URL: <https://docs.unity3d.com/ScriptReference/Windows.WebCam.PhotoCapture.html%7D> (besucht am 2.11.2023).
- Unity. TextMeshPro. URL: <https://docs.unity3d.com/Manual/com.unity.textmeshpro.html> (besucht am 15.12.2023).
- Foto-/Videokamera in Unity, URL: <https://learn.microsoft.com/de-de/windows/mixed-reality/develop/unity/locatable-camera-in-unity%7D> (besucht am 2.11.2023)
- Microsoft. Buttons — MRTK2. URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/mrtk-unity/mrtk2/features/ux-building-blocks/button?view=mrtkunity-2022-05> (besucht am 7.11.2023).
- Microsoft. Menü Nahe — MRTK2. URL: <https://learn.microsoft.com/de-de/windows/mixed-reality/mrtk-unity/mrtk2/features/ux-building-blocks/near-menu?view=mrtkunity-2022-05> (besucht am 8.11.2023).
- Unity. Load scene on button press. URL: https://blog.insane.engineer/post/unity_button_load_scene/ (besucht am 8.11.2023).
- Blender. Can't see added cube on my scene collection [duplicate]. URL: <https://blender.stackexchange.com/questions/162424/cant-see-added-cube-on-my-scene-collection> (besucht am 15.11.2023).
- Blender. How do I Inset a face equally? URL: <https://blender.stackexchange.com/questions/50876/how-do-i-inset-a-face-equally> (besucht am 17.11.2023).
- Blender. Modifier. URL: <https://docs.blender.org/manual/en/latest/modeling/modifiers/index.html> (besucht am 10.12.2023).
- Blender. Object Modes. URL: <https://docs.blender.org/manual/en/latest/editors/3dview/modes.html> (besucht am 21.12.2023).
- Blender. Loop Tools. URL: <https://docs.blender.org/manual/en/latest/addons/mesh/looptools.html> (besucht am 20.11.2023).
- Blender. Vertices. URL: https://docs.blender.org/manual/en/latest/scene_layout/object/properties/instancing/verts.html (besucht am 05.01.2024).
- Blender. Meshes. URL: <https://docs.blender.org/manual/en/latest/modeling/meshes/index.html> (besucht am 10.11.23).

- Blender. Array-Modifier. URL: <https://docs.blender.org/manual/en/latest/modeling/modifiers/generate/array.html> (besucht am 11.01.2024)
- Blender. Extrude. URL: https://docs.blender.org/manual/de/dev/grease_pencil/modes/edit/point_menu.html#extrude (besucht am 20.2.2024)
- Autodesk FBX. Getting started. URL: https://help.autodesk.com/view/FBX/2020/ENU/?guid=FBX_Developer_Help_welcome_to_the_fbx_sdk_html (besucht am 07.01.2024).
- Autodesk FBX. URL: <https://www.autodesk.com/products/fbx/overview> (besucht am 07.01.2024).
- Blender. Images as Planes. URL: https://docs.blender.org/manual/en/latest/addons/import_export/images_as_planes.html (besucht am 05.12.2024).
- Mozilla Developer Network. HTML. URL: <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/HTML> (besucht am 19.02.2024).
- Mozilla Developer Network. CSS. URL: <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/CSS> (besucht am 19.02.2024).
- Mozilla Developer Network. JavaScript. URL: <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/JavaScript> (besucht am 19.02.2024).
- Bootstrap Dokumentation. URL: <https://getbootstrap.com/docs/5.1/getting-started/introduction/> (besucht am 20.02.2024).
- Bootstrap Dokumentation. CDN-Links. URL: <https://getbootstrap.com/docs/5.2/getting-started/introduction/> (besucht am 20.02.2024).
- Unity. QR-Code Tracking. URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/samples/microsoft/mixedreality-qrcode-sample/qr-code-tracking-in-unity/> (besucht am 2.11.2023).
- Unity. QR-Code Tracking Overview. URL: <https://learn.microsoft.com/de-de/windows/mixed-reality/develop/advanced-concepts/qr-code-tracking-overview> (besucht am 30.10.2023).
- Unity. SpacialGraphNode Class. URL: <https://learn.microsoft.com/de-de/dotnet/api/microsoft.mixedreality.openxr.spatialgraphnode?view=mixedreality-openxr-plugin-1.9> (besucht am 2.11.2023).
- Scholl, Armin. *Die Befragung* 3. Aufl. Stuttgart: utb GmbH, 2014.
- Mayer, Horst. *Interview und schriftliche Befragung. Entwicklung, Durchführung und Auswertung* 3. Aufl. München: R. Oldenbourg, 2008.
- Bühner, Markus. *Einführung in die Test- und Fragebogenkonstruktion*. 3. Aufl. München: Pearson Studium, 2021.
- Unity. GameObjects. URL: <https://docs.unity3d.com/Manual/GameObject.html> (besucht am 15.12.2023).
- Unity. Texture2D. URL: <https://docs.unity3d.com/ScriptReference/Texture2D.html> (besucht am 15.12.2023).
- Unity. Canvas. URL: <https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.ugui@1.0/manual/UICanvas.html> (besucht am 21.02.2024)
- Unity. Job system overview. URL: <https://docs.unity3d.com/Manual/JobSystemOverview.html> (besucht am 21.02.2024)
- Unity. PhotoCapture. URL: <https://docs.unity3d.com/Manual/JobSystemOverview.html> (besucht am 22.02.2024)