



ViRGOS Missions

Abschlussbericht

Hochschule Reutlingen
Masterprojekt VR Lab

Robin Schramm
Roman Würtemberger

WS 19/20 – WS 20/21

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Inhaltsverzeichnis..... | 2 |
| 1 Einleitung..... | 4 |
| 1.1 Motivation | 4 |
| 1.2 Grundidee | 5 |
| 2 State of the Art | 6 |
| 3 Umsetzung..... | 7 |
| 3.1 3D Umgebung | 8 |
| 3.2 Steuerung..... | 9 |
| 3.3 Hände..... | 10 |
| 3.4 Interaktionsmöglichkeiten | 12 |
| 3.5 Sound..... | 18 |
| 3.6 Missionen..... | 19 |
| 3.6.1 Mission: Go to | 20 |
| 3.6.2 Mission: Airlock deliver | 21 |
| 3.6.3 Mission: Fix hole | 21 |
| 3.6.4 Mission: Button riddle | 23 |
| 3.7 Kollaboration..... | 24 |
| 4 Softwaredokumentation | 25 |
| 4.1 Benutzerbewegung..... | 25 |
| 4.2 Objekte greifen und werfen..... | 25 |
| 5 Probandentest | 27 |
| 5.1 COVID-19-Pandemie | 27 |
| 5.2 Ablauf..... | 27 |
| 5.3 Probanden | 27 |
| 5.4 Ergebnis Interview | 28 |
| 5.5 PQ Test | 29 |
| 6 Zukunftsaussichten..... | 33 |
| 6.1.1 Außenmissionen | 33 |
| 6.1.2 Virtualizer | 33 |
| 6.1.3 Simulation der Schwerelosigkeit, in der Luft hängen | 33 |

| | | |
|-------|--|----|
| 6.1.4 | Tangibles, verknüpfung von reellen Objekten..... | 33 |
| 7 | Literaturverzeichnis | 34 |

1 *Einleitung*

Das Projekt ViRGOS Missions (Missions) wurde als Erweiterung des Projekts *Virtual Reality Gravity Offload System* (ViRGOS) konzipiert, wurde jedoch letztendlich als selbständiges Projekt umgesetzt und fortgeführt. Missions ist eine Plattform zur Untersuchung von Bewegung und dem Erledigen von Aufgaben unter Einfluss von Mikrogravitation (ugs. Schwerelosigkeit) in einer virtuellen Welt. Missions erlaubt es so, die Navigation und Orientierung in einer Raumstation zu simulieren und damit Studien durchführen zu können. Zusätzlich sollen die Kommunikation und Kooperation eines Astronauten und einer Mission Control Einheit¹ zu einem gewissen Grad simuliert werden.

1.1 *Motivation*

Virtual Reality (VR) bietet die Möglichkeit in unterschiedlichste Welten einzutauchen und mit ihnen zu interagieren. Das Erleben eines schwerelosen Raumes zählt unter anderem zu diesen Erfahrungen. Der Benutzer erhält die Möglichkeit, sich in Schwerelosigkeit zu bewegen, sowie die direkte Interaktion mit Objekten und der Umgebung zu erfahren. Moderne Gaming-Engines erlauben die Simulation von physikalischen Kräften und so auch die Simulation von Schwerelosigkeit. Objekte verhalten sich so realitätsnah, behalten ihre Geschwindigkeit und Wurfrichtung und kollidieren mit anderen Objekten. Das Absolvieren von Aufgaben in einer solchen simulierten Welt erlaubt es, die Kommunikation unter Teilnehmern in neuen Umgebungen zu Testen. So kann ein Teilnehmer die Kontrolle der Mission Control übernehmen und bekommt detaillierte Instruktionen über die zu erfüllenden Aufgaben und ein zweiter Teilnehmer versucht diese Aufgaben nach den Vorgaben zu erfüllen. Dabei ist vor allem die Koordination im dreidimensionalen Raum gefragt sowie ein Verständnis für abstrakte Aufgaben.

Ein weiterer potentieller Nutzen einer solchen Anwendung ist das Astronautentraining. Das Training für einen Astronauten für einen einzigen Spacewalk (Ausseneinsatz) in einem Neutral Buoyancy Laboratory dauert ungefähr hundert Stunden². Dabei handelt es sich um ein Schwimmbecken (62m X 31m; 12.34m tief), in dem Teile der ISS nachgebaut wurden, um an ihnen Operationen durchführen zu können. Die Astronauten tragen dabei einen realitätsnahen Raumanzug. Das Training in einem solchen Pool ist somit kostspielig und zeitaufwändig. Daher gibt es auch von NASA selbst verschiedene VR-Trainingsanwendung, die mit Erfolg eingesetzt werden, um das Training kostengünstig zu unterstützen³. So können in VR sowohl verschiedene Prozeduren geübt werden als auch die Missionsumgebung und wichtige Punkte kennengelernt werden.

¹ https://de.wikipedia.org/wiki/Mission_Control_Center

² (Video) NASA VR/360 Astronaut Training: Space Walk: https://youtu.be/lil_I_-7aOM

³ (Video) NASA's Virtual Reality Lab For Astronaut Training: <https://youtu.be/cwK3MatQQFc>

1.2 Grundidee

Die Idee hinter Missions ist es, eine immersive, interaktive und zu einem gewissen Grad realistische Simulation der ISS zu schaffen. Dabei findet die Fortbewegung innerhalb der Simulation ausschließlich über die Hände statt. Dazu werden die Controller der HTC Vive verwendet, um sich per Knopfdruck an einer Wand, einer Stange oder einem Objekt festzuhalten um sich anschließend in eine Richtung ziehen und somit bewegen zu können. Weiterhin sollen so auch diverse Objekte in der Raumstation vorhanden sein. Ziel ist es, eine interaktive Umgebung zu schaffen, in der ein Proband Aufgaben in Mikrogravitation zu erfüllen hat. So schweben greif- und werfbare Gegenstände herum und Türen können über Knöpfe und Hebel geöffnet werden. Die zu erfüllenden Aufgaben sind so gestaltet, dass sie nicht allein gelöst werden können. Dazu sind die Unterstützung und Anleitung einer weiteren Person notwendig, die die Rolle der Mission Control einnimmt. Die Kommunikation erfolgt dabei primär auditiv, Mission Control kann aber auch zusätzlich Teile der Station steuern.

2 *State of the Art*

Virtuelle Realitäten sind eine kostengünstige Alternative um Aufgaben in einer Umgebung mit Mikrogravitation zu simulieren. Dabei kann eine virtuelle Umgebung dazu verwendet werden, um komplexe abläufe zu Trainieren, den Aufbau von Geräten für Weltraummissionen zu testen und sich an die Orientierung und Bewegung in der Schwerelosigkeit zu gewöhnen.

Die Sichtbarkeit von Wartungsteilen unter Schwerelosigkeit beeinflusst die Effizienz und Genauigkeit von Wartungsarbeiten. Die Studie von Zhou et al. (2019) präsentiert ein Modell zur Evaluation der Sichtbarkeit von Wartungsteilen in einer Mikrogravitationsumgebung. Dazu wird eine virtuelle Wartungsumgebung simuliert, um die Performance verschiedener Wartungsaufgaben zu untersuchen um diese anschließend optimieren zu können [5].

Das “preflight adaption training” (PAT) hilft Astronauten sich auf die Orientierung und Bewegung in der Schwerelosigkeit vorzubereiten. Ein erfolgreiches Training ist dabei abhängig von einer angemessenen Manipulation Visueller- und Trägheitsfaktoren. Diese Faktoren kontrollieren die Bewegung, Wahrnehmung und Orientierung der Astronauten. Das Ergebnis der Studie von Harm et al. suggeriert, dass das vorläufige Training von Astronauten in einer Simulation der Schwerelosigkeit positive Effekte auf die “space motion sickness” haben kann. Besonders hilfreich ist dabei das Training mentaler Rotationen. Das vorausgehende Training der Astronauten wurde als hilfreich befunden, um sich an die Orientierung in Mikrogravitation zu gewöhnen [6].

Unter Mikrogravitation ist die Beweglichkeit eines Körpers stark verstärkt und seine Stabilisierung schwer zu erreichen. Durch diese Schwierigkeiten kann die optimale Platzierung und Erreichbarkeit von Objekten und Steuerelemente kritisch sein um Aufgaben in einer Raumstation zu erfüllen. Anthropometrische Messungen der Reichweite von Astronauten erlauben eine maximale funktionale Platzierung für Aufgaben. Mithilfe einer virtuellen Mikrogravitationsumgebung kann die Erreichbarkeit für Astronauten getestet werden [7].

In virtuellen Umgebungen können Astronauten und Bodenpersonal verschiedene Aktivitäten trainieren. Außerdem erlaubt die Technologie eine signifikante Reduktion von Kosten und einen höheren Trainingsdurchsatz. Das virtuelle Training einer Reparatur am Hubble Space Teleskope führte zu einem positiven Effekt für die Performance der Reparatur. Die virtuelle Umgebung erlaubt eine akkurate Visualisierung des Teleskops und seiner Komponenten und erlaubt es Aktivitäten der Mission zu trainieren [8].

Mithilfe von VR kann eine sichere Methode geschaffen werden um verschiedene Vor- und Nachteile von Erreichbarkeit und Manövrieren in einer Mikrogravitationsumgebung zu erforschen. Die Verwendung einer virtuellen Realität ist bestehenden Methoden überlegen, da diese oft nicht zeitnah verwendet werden können und zeitlich begrenzt sind [9].

3 Umsetzung

Für die Umsetzung wurde die Game Engine Unity in der zum Zeitpunkt der Erstellung aktuellsten Version 2019.1.0f2 verwendet. Unity wurde verwendet, da das originale ViRGOS in Unity umgesetzt wurde und das Team bereits Erfahrung mit Unity hatte.

Zur Entwicklung wurde das HTC VIVE VR System verwendet. Die VIVE beinhaltet ein Head-Mounted Display (HMD), zwei Controller und zwei Basisstationen. Die Positionen des HMD und der Controller

Das ViRGOS Hardware Setup, also der Virtualizer und die Aufhängung an dem Gerüst wie in Abbildung 1 dargestellt, wurden nicht verwendet, da in einer Mikrogravitationsumgebung die Fußbewegungen, die im Virtualizer gemacht werden, keinen Sinn ergeben würden. Die Aufhängung zur Simulation niedriger Gravitation wurde testweise verwendet, macht aber im Kontext der ISS ebenfalls wenig Sinn. Ein Gefühl der Schwerelosigkeit lässt sich mit der aktuellen Konfiguration nicht erreichen, stattdessen wird primär die Bewegung und das Wohlbefinden des Probanden bei Verwendung der Aufhängung bei dem Nutzer eingeschränkt. Eine Erweiterung des Systems um Schwerelosigkeit zu simulieren wäre jedoch eine Möglichkeit, wie im Kapitel 6: Zukunftsaussichten erläutert wird.



Abbildung 1: ViRGOS Hardware Setup.
Links: Cyberith Virtualizer
Rechts: ViRGOS Lite Aufhängung

3.1 3D Umgebung

Die für die ISS verwendeten 3D Modelle stammen von NASA, speziell von der *nasa3d* für 3D Modelle Webseite.⁴ Die Modelle dieser Webseite dürfen nach den Media Usage Guidelines von NASA zu Bildungs- oder Informationszwecke in grafischen Simulationen frei verwendet werden.⁵

Das fertige Modell in Missions wurde aus zwei verschiedenen Modellen zusammengesetzt. Zum einen kam das Modell des inneren der ISS zum Einsatz⁶, zum anderen Teile der Außenhülle der ISS⁷. Aus Performancegründen wurden die Solarpanele und deren Supportstruktur bisher nicht mit eingebaut. Da Außenmissionen in Missions in Zukunft eine Rolle spielen könnten, könnten diese zusätzlich eingebunden werden. Eine 3ds Max Projektdatei mit dem teilweise segmentierten Außenbereich der ISS sowie die verwendeten 3D Modelle mit zusätzlichen Informationen sind in BSCW abgelegt⁸.

In Abbildung 2 sind in der oberen Hälfte die beiden NASA Modelle der ISS zu sehen. In der unteren Hälfte das fertige zusammengesetzte Modell in Unity vor einer Skybox, in der die Erde zu sehen ist. Im linken unteren Bild ist die Außenhülle des Modells unsichtbar um die einzelnen Räume sichtbar zu machen.

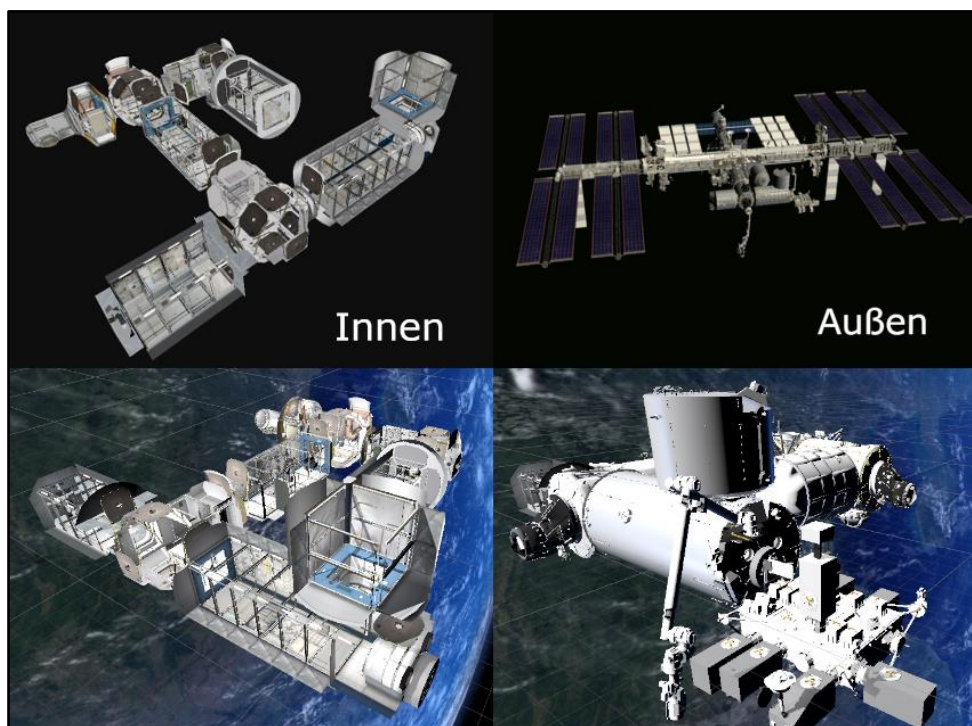


Abbildung 2: ISS Modelle

⁴ <https://nasa3d.arc.nasa.gov/models>

⁵ <https://www.nasa.gov/multimedia/guidelines/index.html>

⁶ <https://nasa3d.arc.nasa.gov/detail/iss-internal>

⁷ <https://nasa3d.arc.nasa.gov/detail/iss>

⁸ <https://bscw.srv.reutlingen-university.de/bscw/bscw.cgi/18311741> (@VRLab/Projekte/Missions/ISS Modelle und Informationen)

Das Modell für das innere der ISS war bereits sehr detailliert in verschiedene Gruppen von Objekten und Strukturen unterteilt, wie in Abbildung 3: Aufteilung ISS innen zu sehen ist. Die Aufteilung erfolgte nach den gängigen Namen der Module der ISS, JPM steht in diesem Fall beispielsweise für das *Japanese Pressurized Module*. Der Aufbau der ISS ist auf der NASA Webseite^{9,10} detailliert beschrieben.

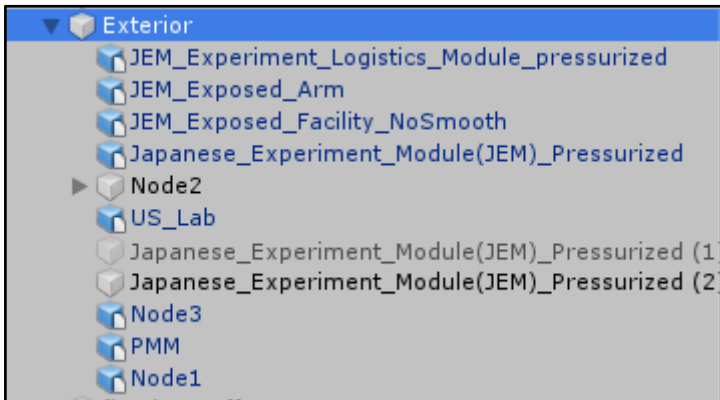


Abbildung 4: Aufteilung ISS außen

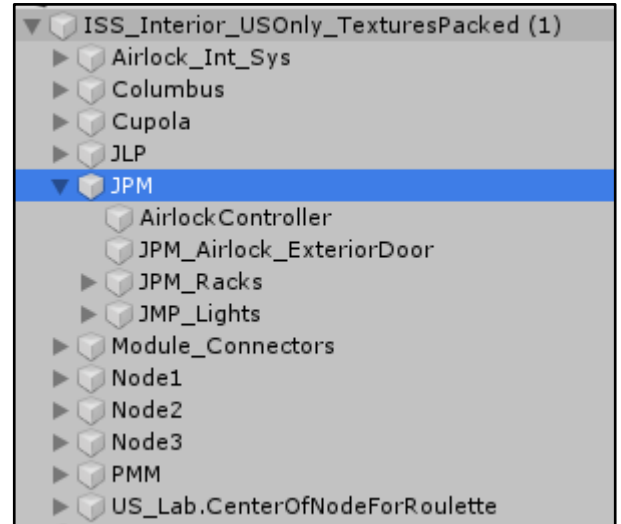


Abbildung 3: Aufteilung ISS innen

Das Modell der äußeren ISS war wiederum ein zusammenhängendes Mesh, welches zur weiteren Nutzung erst aufgeteilt werden musste. Das Ausschneiden der Module erfolgte in dem 3D Grafikprogramm 3DsMax. Anschließend wurden die einzelnen Module in Unity eingefügt. Die resultierende Struktur in Unity ist in Abbildung 4: Aufteilung ISS außen zu sehen. Dieses Vorgehen machte es möglich, die Module mit individuellen Collidern zu versehen und verhalf zu einer signifikanten Verbesserung der Performance.

Falls Missions in Zukunft Außenmissionen beinhalten soll, wäre es ratsam, das Modell des äußeren der ISS komplett in kleinen Teilen zu importieren und diesen nach Möglichkeit weitere Details zu geben.

3.2 Steuerung

Ein Alleinstellungsmerkmal von Missions ist die Art der Bewegung durch die Szene. Durch greifen mit den Händen an Stangen, Wänden und Objekten kann sich der Benutzer durch ziehen und geschicktes loslassen zum richtigen Zeitpunkt Geschwindigkeit aufbauen. Sobald eines der getrackten Körperteile des Nutzers, also der Kopf oder die Hände, gegen eine Wand oder ein Objekt stoßen, hält die Spielfigur an oder verliert entsprechend an Geschwindigkeit.

⁹ https://www.nasa.gov/sites/default/files/thumbnails/image/iss_config_exploded_view_page_0.jpg

¹⁰ https://www.nasa.gov/mission_pages/station/structure/elements/space-station-assembly

Diese Art der Fortbewegung hebt Missions vom Großteil der verfügbaren VR-Erfahrungen ab und soll so gleichzeitig ein immersives Erlebnis in einer realitätsnahen Umgebung schaffen.

Es besteht außerdem die Möglichkeit, eine Rollbewegung zu initiieren, indem mit beiden Händen eine Wand gegriffen wird und anschließend die Hände bewegt werden. Dieses Manöver kann jedoch Motion Sickness verursachen und ist für erfahrenere Nutzer gedacht. Dieses Feature fehlt aus diesen Gründen in verschiedenen kommerziell erhältlichen VR-Erfahrungen [2], wurde aber für mehr Realismus und für die Möglichkeit für Experimente in diese Richtung in Missions eingebaut.

Der einzige für die Bewegung notwendige Button von den HTC Vive Controllern ist der Grip Button, der in Abbildung 5: HTC Vive Controller hervorgehoben ist.



Abbildung 5: HTC Vive Controller⁵

Das Feedback zur Steuerung war überwiegend positiv, jedoch scheint der *Hair Trigger* für viele Menschen der öfter genutzte Button zu sein. Einige Probanden in unserem Experiment benötigten Hilfe beim ersten Finden und Drücken des Grip Buttons.

3.3 Hände

Als Handmodelle dienen die Standard Modelle aus SteamVR. Die Textur wurde durch ein helles Blau ersetzt und die Hände erscheinen leicht durchsichtig, wie in Abbildung 6 zu sehen ist. Jede Hand in Missions beinhaltet drei Collider für verschiedene Zwecke.

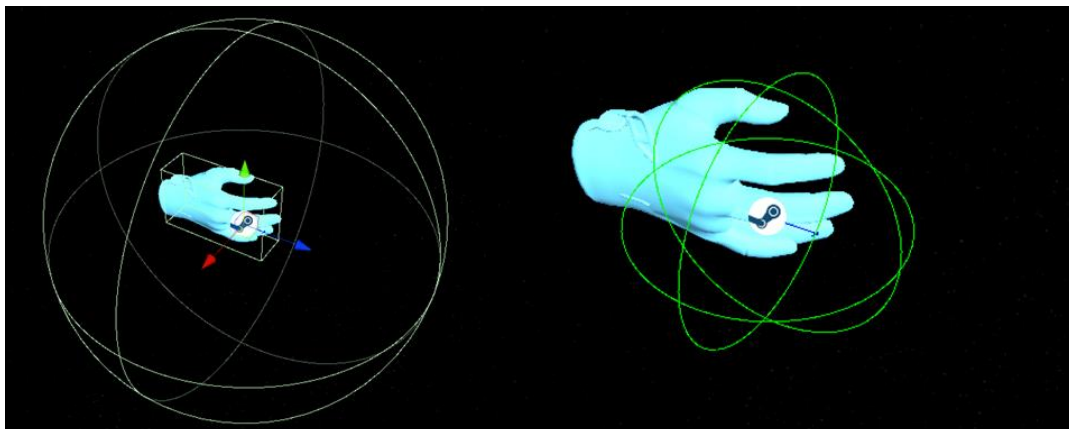


Abbildung 6: Rechte Hand des Benutzers in Missions

¹¹Bild von: https://xr.berkeley.edu/decal/lab2_htcvive

Links in Abbildung 6 ist ein Quader eng um die Hand herum abgebildet. Dieser Collider dient als einziger physischer Collider der Hand und hindert den Nutzer daran, seine Hand durch Wände oder Objekte bewegen zu können. Gleichzeitig erlaubt er dem Nutzer, sich von Wänden wegzuschieben, ohne speziell eine Taste des Controlles zu drücken um zu Greifen.

Der große, kreisförmige Kollider, ebenfalls in der linken Hälfte von Abbildung 6 zu sehen, ist ein Trigger Collider. Das bedeutet, dass er nicht mit dem Physiksystem von Unity interagiert, sondern nur dazu dient, das bei bestimmten Ereignissen spezifische Funktionen aufgerufen werden. Dieser Collider ist für die Interaktion mit Objekten konzipiert. Sobald ein Objekt mit dem Tag *grabable* in diesen Collider eindringt, weiß das Handsript nun bei einem Knopfdruck, dass ein greifbares Objekt in der Nähe ist und nimmt dieses in die Hand.

Die Größe des Colliders dient dazu, Objekte leichter greifen zu können, indem weniger Präzision erforderlich ist.

Der grüne kreisförmige Collider in der rechten Hälfte von Abbildung 6 ist ein vorgefertigter Collider von SteamVR. Dabei handelt es sich um die *Hover Sphere* des *Hand Scripts*. Dieser Collider interagiert in Fall von Missions nur mit dem SteamVR Circular Drive Script, welches im Kapitel 3.4 Interaktionsmöglichkeiten näher erläutert wird.

Zur Steuerung, wie sie oben beschrieben wurde, kommt unser eigens erstelltes GrabHandle Script zum Einsatz, welches alle essenziellen Informationen für die Steuerung beinhaltet. Jede Hand verfügt separat über das Script. Die globalen Variablen des Scripts sind in Abbildung 7 zu sehen. Diese gliedern sich von oben nach unten in die Tastenbelegung über SteamVR, über verschiedene interagierbare Objekte wie Wände und Kisten, bis zu dem aktuellen Zustand der Hand mithilfe von Boolean Variablen.

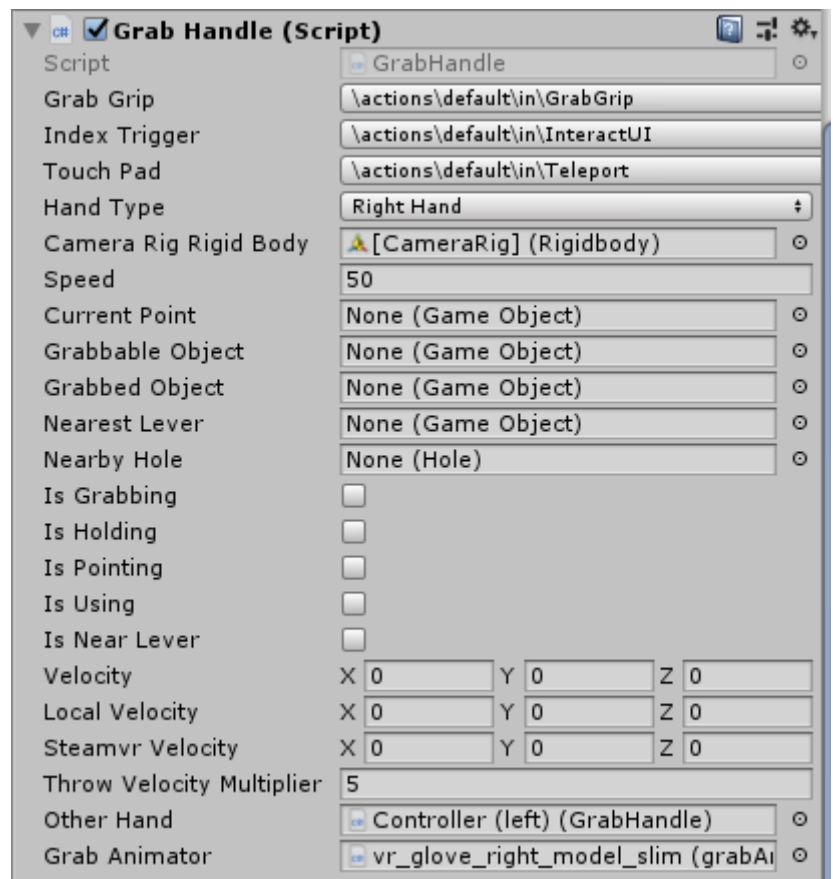


Abbildung 7: Inspektor Ansicht des Grab Handle Scripts

3.4 Interaktionsmöglichkeiten

Damit der Benutzer in der Simulation etwas zu tun hat, waren, wie der Name *Missions* verrät, verschiedene Missionen angedacht, die es zu bewältigen gibt. Um Missionen, die über „schwebe zu Modul X“ hinausgehen, mussten mehr Interaktionsmöglichkeiten mit der Simulation erschaffen werden. Diese werden in diesem Kapitel näher beschrieben.

Gegenstände:

Gegenstände, die aufgehoben, bewegt und geworfen werden können bildeten die Grundlage für eine Reihe von Missionen und für weitere komplexere Interaktionsmöglichkeiten. Die einfachsten Objekte, welche ebenfalls zahlreich in der realen ISS vorhanden sind, sind Kisten und verschiedene Objekte zur Lagerung von Gegenständen. Das 3D Modell für eine Kiste war bereits in einem der vorher beschriebenen Modelle vorhanden und musste nur als eigenes Mesh exportiert werden. Das Mesh der Kiste ist in Abbildung 8 zu sehen. Die Kisten sind vom Benutzer nicht zu übersehen und sind klar als interaktives Objekt erkennbar, wenn sie in der Mitte eines Raumes schweben. Sie bremsen den Benutzer ab, wenn er gegen sie stößt und können leicht mit einer Hand aufgehoben und getragen werden. Die Kisten wurden teilweise mit Tags versehen, die sie als wichtige Missionsobjekte markieren. Das Modul PMM der ISS dient teilweise als *Kistenlager*¹² und ist deshalb das Perfekte Ziel für eine *Aufräummission*.



Abbildung 8: Eine Kiste der ISS

Weitere schwebende Gegenstände wurden zur Abwechslung eingefügt wie ein Taschenrechner oder Ketchup- und Senfflaschen in der *Küche*. Diese dienen als Dekoration, können aber ebenso wie die Kisten bewegt werden. Die Flaschen für Ketchup und Senf wurden selbst modelliert, die anderen Utensilien stammen von dem kostenlosen Unity Asset *Office Supplies Low Poly*¹³ aus dem Asset Store.

Bisher ist nur ein Objekt neben den Kisten missionsrelevant, nämlich die Klebebandrolle. Mit ihr kann ein kleines Loch in der Innenhülle temporär verschlossen werden, was teils auf einem realen Event basiert¹⁴.

¹² [https://en.wikipedia.org/wiki/Leonardo_\(ISS_module\)#/media/File:PMM_interior.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Leonardo_(ISS_module)#/media/File:PMM_interior.jpg)

¹³ <https://assetstore.unity.com/packages/3d/props/office-supplies-low-poly-105519>

¹⁴ <https://www.sciencealert.com/russia-knows-what-caused-the-hole-in-the-iss-and-nasa-wants-answers>

Knöpfe:

Das Modell der ISS beinhaltet bereits verschiedene Knöpfe, teils als Textur, teils als Mesh auf Computerkonsolen oder ähnlichem. Diese waren jedoch meist zu klein und nicht auffällig genug, um sie als interaktive Objekte erkenntlich zu machen. So wurde ein Knopf Mesh mit einem Knopfhalter modelliert. Der drückbare Teil des Knopfs kann zudem jede beliebige Farbe je nach Zustand des Knopfs annehmen, wie in Abbildung 9 zu sehen ist.

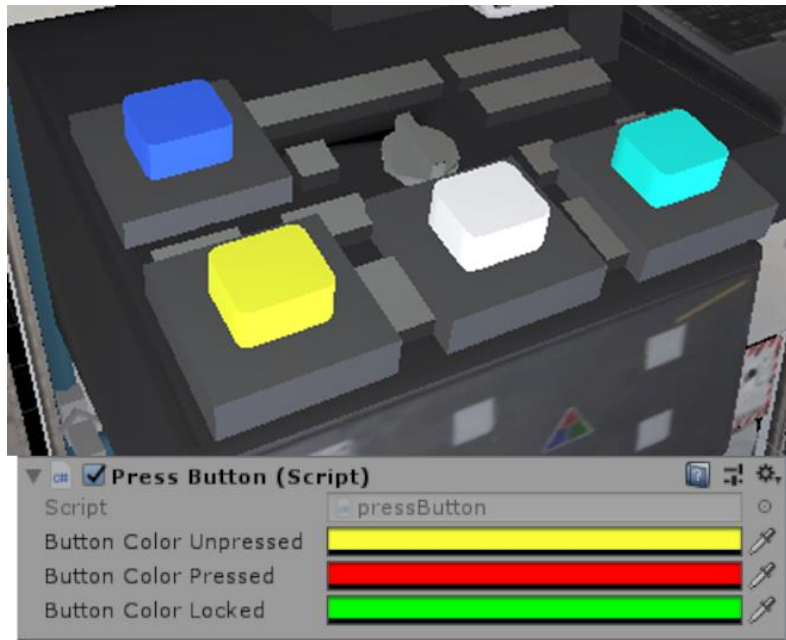


Abbildung 9: Knöpfe und deren Einstellungsmöglichkeiten

Um einen Knopf zu drücken, muss lediglich der Collider einer Hand den Collider eines Knopfes berühren. Der Collider des Knopfes ragt ein wenig über das Mesh hinaus, damit die Knöpfe leichter zu drücken sind.

Das Script, welches die Knöpfe steuert, ist so generisch wie möglich gehalten. So können Schleusen mit Knöpfen verbunden werden, um sie per Knopfdruck zu öffnen oder zu schließen. Andererseits müssen in einer Mission fünf Knöpfe in der richtigen Reihenfolge gedrückt werden, was in einem separaten Missionsscript abgewickelt wird.

Schleusen:

Wie bereits oben beschrieben wurde, können Schleusen durch Knopfdruck geöffnet oder geschlossen werden. Dies geschieht durch einfaches setzen einer Variable, die bestimmt, ob die Schleuse geöffnet oder geschlossen sein soll. Der Animationscontroller der Schleuse übernimmt dabei den Rest.

Manche Schleusen verfügen über keine Knöpfe, stattdessen werden sie entweder von Mission Control gesteuert oder sie werden durch Abschluss von Missionen *freigeschaltet*. So öffnet sich die Schleuse, hinter der sich ein Leck in der Hülle befindet erst wenn eine andere Mission erfüllt wurde. So kann in einer relativ kleinen und abgeschlossenen Umgebung wie der ISS ein gewisser Fortschritt simuliert werden.

In Abbildung 10 ist eine Schleuse im geöffneten und geschlossenen Zustand zu sehen.

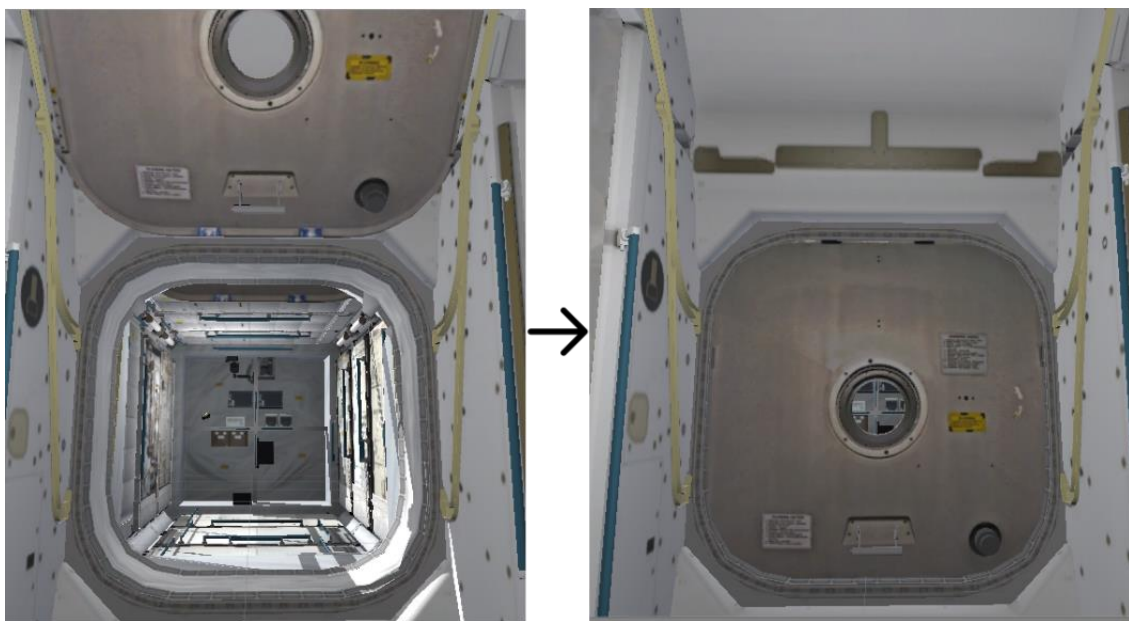


Abbildung 10: Geöffnete und geschlossene Schleuse der ISS

Reparatur:

Die Reparatur der Außenhülle soll eine Extremsituation in der Raumstation simulieren. Für die Beschädigung der Hülle wurde ein Partikeleffekt verwendet, um das Austreten von Luft zu simulieren. Für die Reparatur der Beschädigung wird ein Klebebandroller verwendet. Wird dieser in der Nähe des Loches verwendet, wird die Beschädigung behoben.

In Abbildung 11 ist links das Partikel Script für den Partikeleffekt der austretenden Luft dargestellt. Rechts oben ist der Partikeleffekt zu sehen. Unten rechts ist die für die Mission benötigte Klebebandrolle abgebildet.

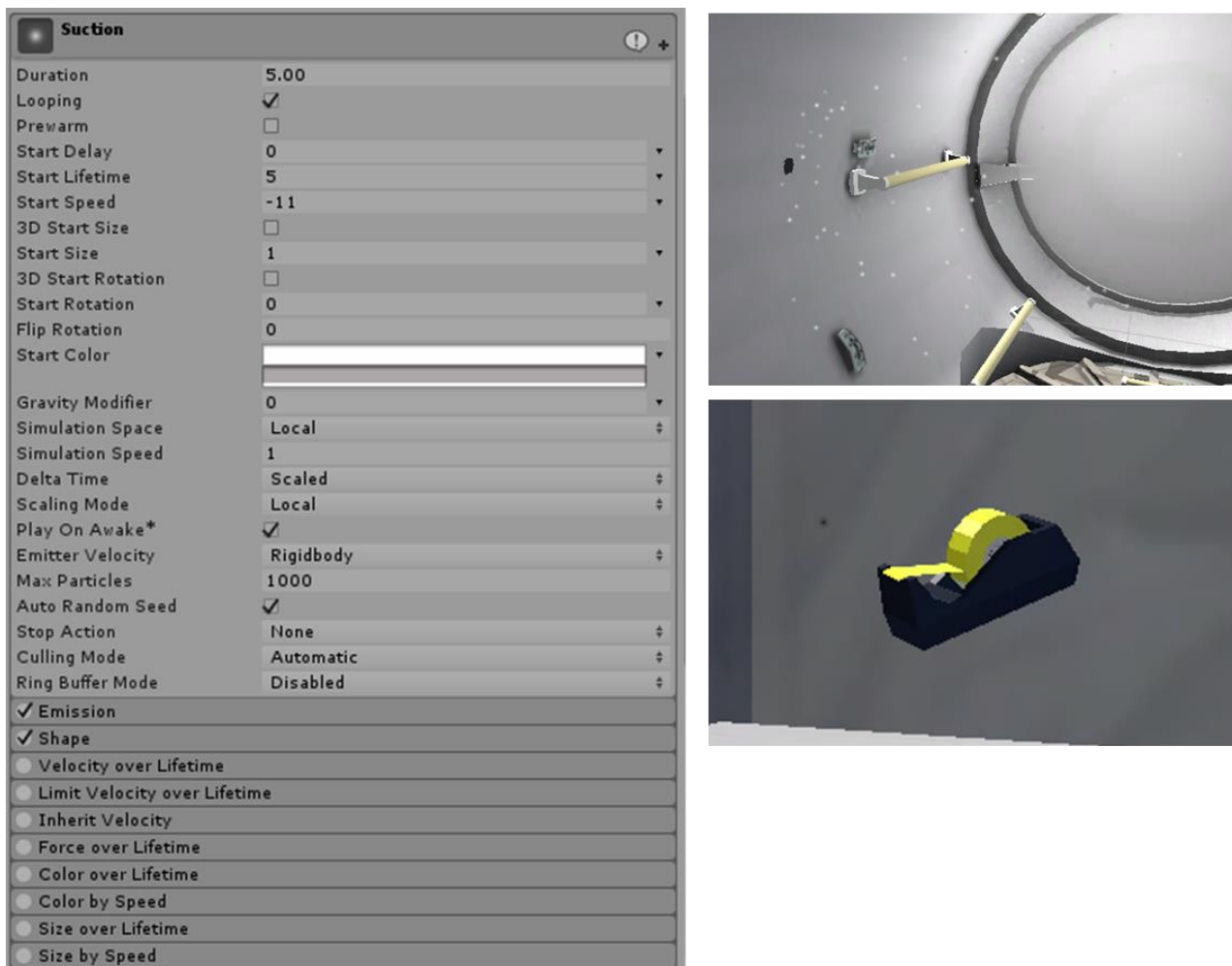


Abbildung 11: Assets für die Reparatur Mission

Hebel:

Eine Art der Interaktion, die ein wenig anspruchsvoller als Knöpfe ist, ist die Drehbewegung. Mit der Drehbewegung, in SteamVR *Circular Drive* genannt, lassen sich beispielsweise Hebel realisieren. In Abbildung 12 sind zwei verschiedene Arten von Hebeln abgebildet. Der Hebel im rechten Bild war zu Testzwecken an einer Wand angebracht und lässt sich zwar bewegen, bewirkt jedoch dadurch nichts. Die Umrandungen der Hebel in der Abbildung sind nur in der Editoransicht zu sehen.

Der Hebel in den beiden linken Bildern ist notwendig, um die Luftschleuse des JPM zu öffnen. Der Hebel lässt sich nur innerhalb der dunkleren Einkerbung hinter dem Hebel bewegen. In der Position nach oben (linkes Bild) ist die Schleuse komplett geschlossen. Befindet er sich wiederum in der unteren Position (rechtes Bild), kann die Luftschleuse anhand des weiß/schwarzen Griffs geöffnet werden, wie in Abbildung 18 zu sehen ist. Die Tür der Luftschleuse ist technisch gesehen ebenfalls ein Hebel, da sie auch durch den SteamVR *Circular Drive* gesteuert wird.

Jedes Gameobject, das wie ein Hebel bewegt werden soll, muss zusätzlich zum *Circular Drive* Script über das *Interactable* Script verfügen. In Abbildung 13 ist beispielhaft das *Circular Drive* Script des Hebels der Luftschleuse abgebildet. Die Logik zum Öffnen der Luftschleuse ist rot eingerahmt. Durch Bedingungen können hier die Collider der Luftschleusenhebel ein- und ausgeschaltet werden.

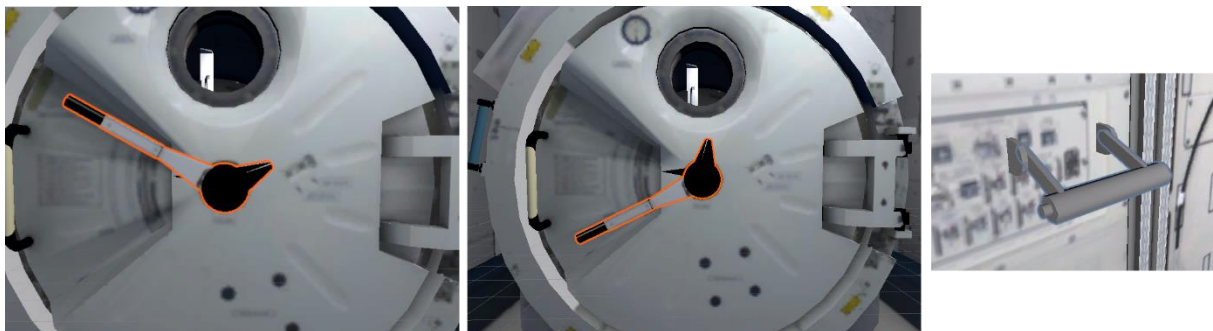


Abbildung 12: Beispiele von zwei Arten von Hebeln

Da Rotationen in Unity immer relativ zum Parent Objekt stattfindet, war für das Rotieren eines Hebels eine spezielle Struktur der Gameobject in der Szenenhierarchie notwendig, die in Abbildung 14 zu sehen ist. So besteht der bewegliche Hebel allein aus 4 verschiedenen Gameobjects, um eine korrekte Rotation zu ermöglichen.

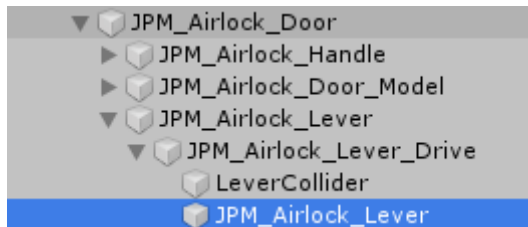


Abbildung 14: Unity-Struktur der Lutschleuse

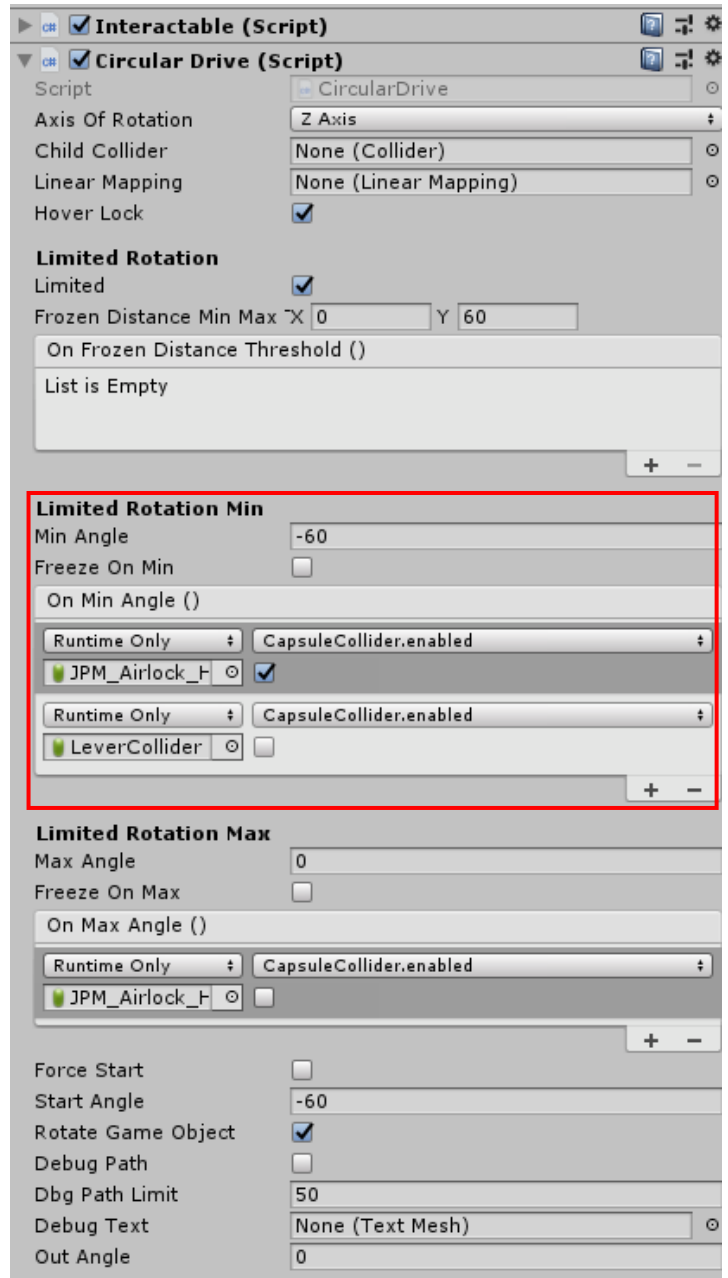


Abbildung 13: Circular Drive des Luftschleusen-Hebels

3.5 Sound

Sound spielt eine wichtige Rolle für die Immersion. So spielt der auditive Sinn eine immer wichtiger werdende Rolle als Informationsquelle bei der Wahrnehmung von virtuellen Welten. [10]

In Missions wurde aus diesem Grund Ton eingefügt. In der Realität ist in der ISS die Lüftung jederzeit angeschaltet und produziert Geräusche. So macht ein Hintergrundrauschen in Missions Sinn. Weitere eingefügt Geräusche sind Sounds für das Öffnen von Türen und für Kollisionen von Objekten. Im folgenden sind alle Sounddateien mit Name und Quelle beschrieben. Alle Dateien sind in Mp3 oder wav Format vorhanden:

- Box Hit von danlucaz aus freesound.org ¹⁵
- HatchSound1 von Paul368 aus freesound.org ¹⁶
- HatchSound2 von Paul368 aus freesound.org ¹⁷
- AirConditioner von Daniel Simion aus soundbible.com ¹⁸
- ISS_Original_Ambient ist aus dem Hintergrundrauschen von dem Video „ONE OF THE MOST DETAILED ISS TOUR!!!“¹⁹ entnommen. In dem Video ist das Hintergrundrauschen der Lüftung sehr präsent und gut zu hören und bietet eine sehr realistische Geräuschkulisse für die ISS in Missions.



Abbildung 15: Alle in Missions vorhandenen Sounddateien

¹⁵ <https://freesound.org/people/danlucaz/sounds/500283/>

¹⁶ <https://freesound.org/people/Paul368/sounds/264063/>

¹⁷ <https://freesound.org/people/Paul368/sounds/264060/>

¹⁸ <https://soundbible.com/2187-Air-Conditioner.html>

¹⁹ <https://youtu.be/QvTmdIhYnes>

3.6 Missionen

Ausschlaggebend für den Namen des Projekts, Missions, war der Plan, verschiedene Missionen innerhalb und außerhalb der ISS zu konzipieren und umzusetzen.

Das Missionssystem wurde so modular wie möglich gestaltet, um das hinzufügen neuer Missionen zu erleichtern. Manche Missionen folgen ähnlichen Mustern und können so einem bestimmten Missionstyp zugehörig sein, wie z. B. eine einfache *goto* Mission, bei der der Nutzer sich an einen bestimmten Ort begeben muss. Muss ein Gegenstand an einen bestimmten Ort gebracht werden, muss das *Mission_goto* einfach nur um ein *target* Objekt erweitert werden.

Komplexere Missionen benötigen ihren eigenen Typ, wie z. B. die *Airlock_deliver* Mission wie sie in Abbildung 16 ganz unten zu sehen ist. Dabei handelt es sich um einen mehrstufigen Prozess, bei dem mehrere Bedingungen zum Abschluss der Mission erforderlich sind.

Es gibt zurzeit vier Missionstypen und sechs verschiedene Missionen, die abgeschlossen werden können. Im Folgenden wird jeder Missionstyp einzeln erläutert.

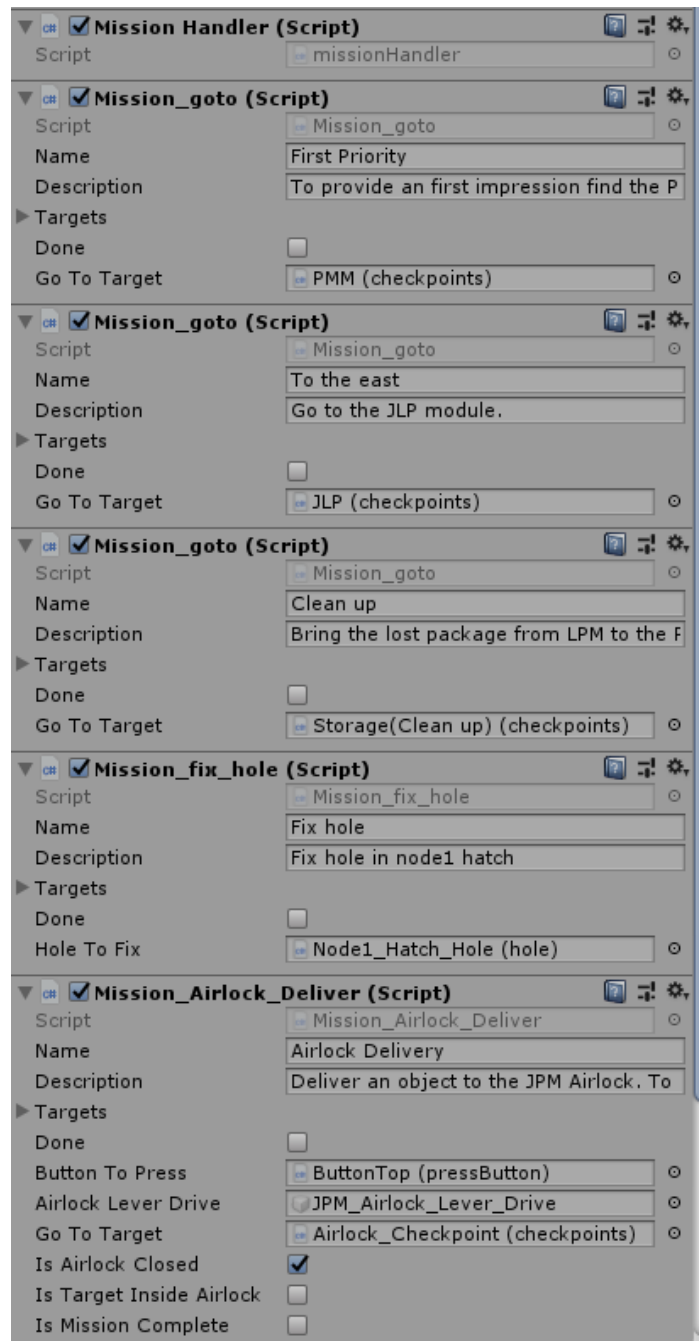


Abbildung 16: Inspector ansicht des Mission handlers

3.6.1 *Mission: Go to*

Die erste und einfachste Mission ist es, die verschiedenen Module innerhalb der ISS zu besuchen und sich so einen Überblick der Raumstation zu verschaffen. Der Benutzer muss mithilfe seiner Hände durch die Raumstation navigieren. Dabei sind die Module durch horizontale und vertikale Navigation zu erreichen. Das Betreten der Module wird durch einen Trigger erfasst. In Abbildung 17 ist das PMM zu sehen, welches weitestgehend als Lager in der ISS dient. Daher befinden sich hier einige Kisten. Die Startposition des Nutzers in Missions ist recht weit entfernt vom PMM, sodass zur Erfüllung dieser Mission ein Großteil der ISS durchschwebt werden muss.

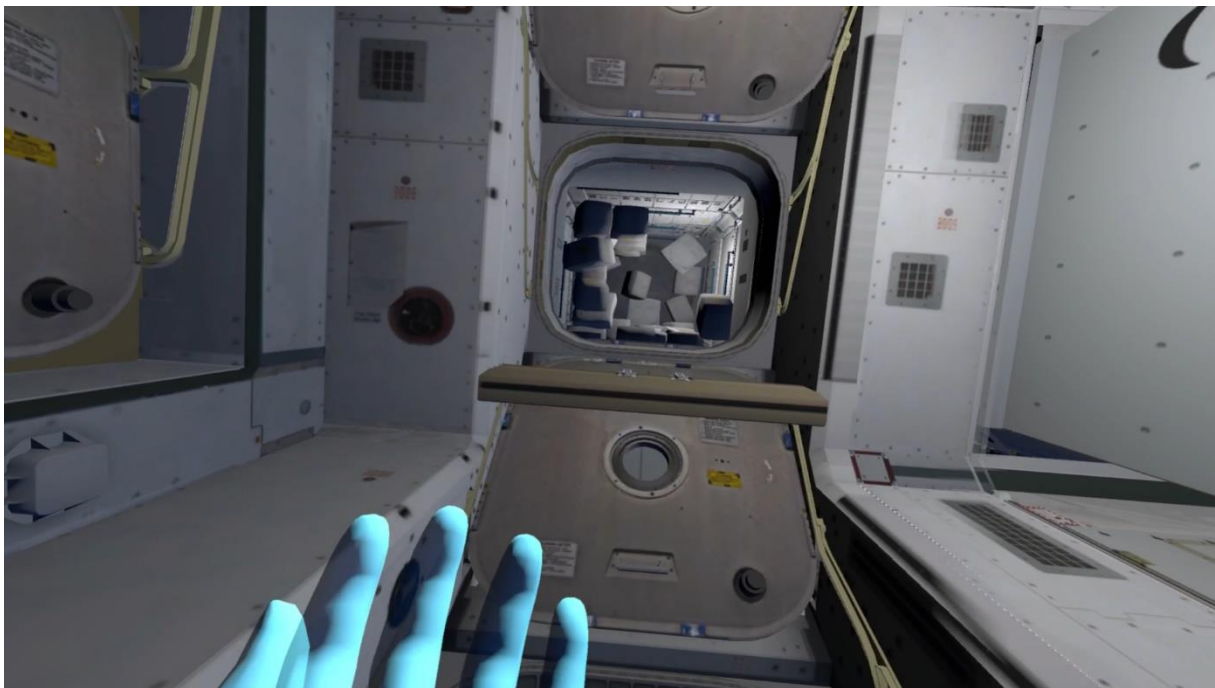


Abbildung 17: Sicht in das PMM, eines der Ziele der Go to Mission

3.6.2 *Mission: Airlock deliver*

In dieser Mission soll der Benutzer die Luftschleuse der Raumstation verwenden, um ein Paket zu übertragen. Dazu muss er die Luftschleuse zuerst mithilfe des Hebels entriegeln, um sie zu öffnen. Hat er die Schleuse erfolgreich geöffnet, kann er das Paket in die Schleuse übergeben und diese anschließend wieder verschließen. Um das Paket zu übertragen, muss er mithilfe eines Knopfes die Türe nach außen entriegeln. Das Paket verschwindet anschließend und ist nicht mehr in der Schleuse zu sehen. In Abbildung 18 ist die geöffnete Schleuse mit einer Kiste darin abgebildet.

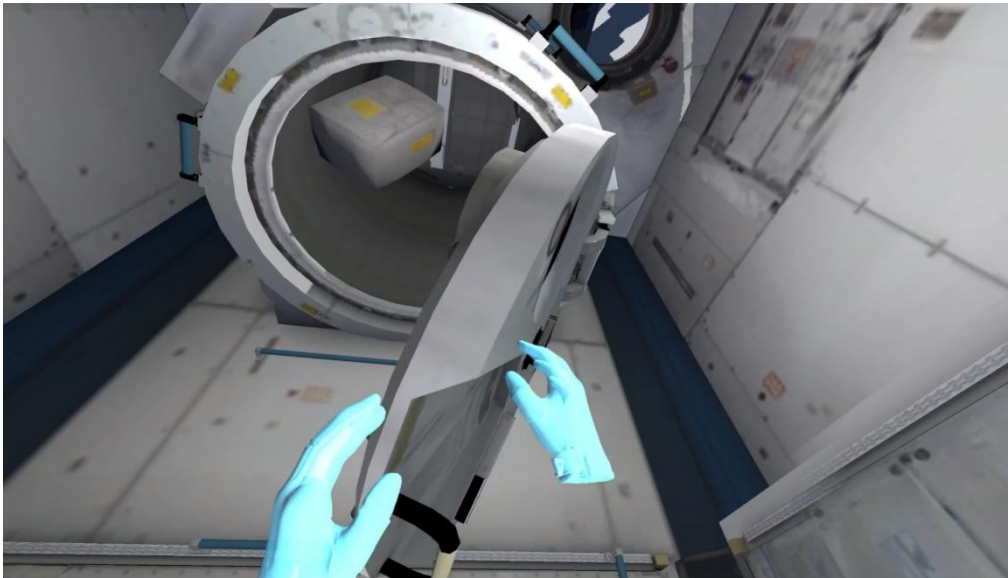


Abbildung 18: Die Luftschleuse nach Außen im JPM Modul

3.6.3 *Mission: Fix hole*

Durch die Simulation einer Beschädigung der Außenhülle soll das Verhalten des Benutzers in einem Extremfall getestet werden. Der Ablauf der Mission ist als Bilderreihe in Abbildung 19 dargestellt.

Um die Beschädigung zu reparieren, muss zuerst das Klebeband im Lagerraum besorgt werden. Dieses befindet sich hinter einer geschlossenen Tür, die per Knopfdruck geöffnet werden muss (Bild 1). Dort befindet sich das Klebeband schwebend in einem Regal (Bild 2). Das Klebeband muss anschließend zu der beschädigten Stelle gebracht werden (Bild 3). Durch einen Knopfdruck mit dem Klebeband in der Hand wird das Loch geschlossen und verschwindet.

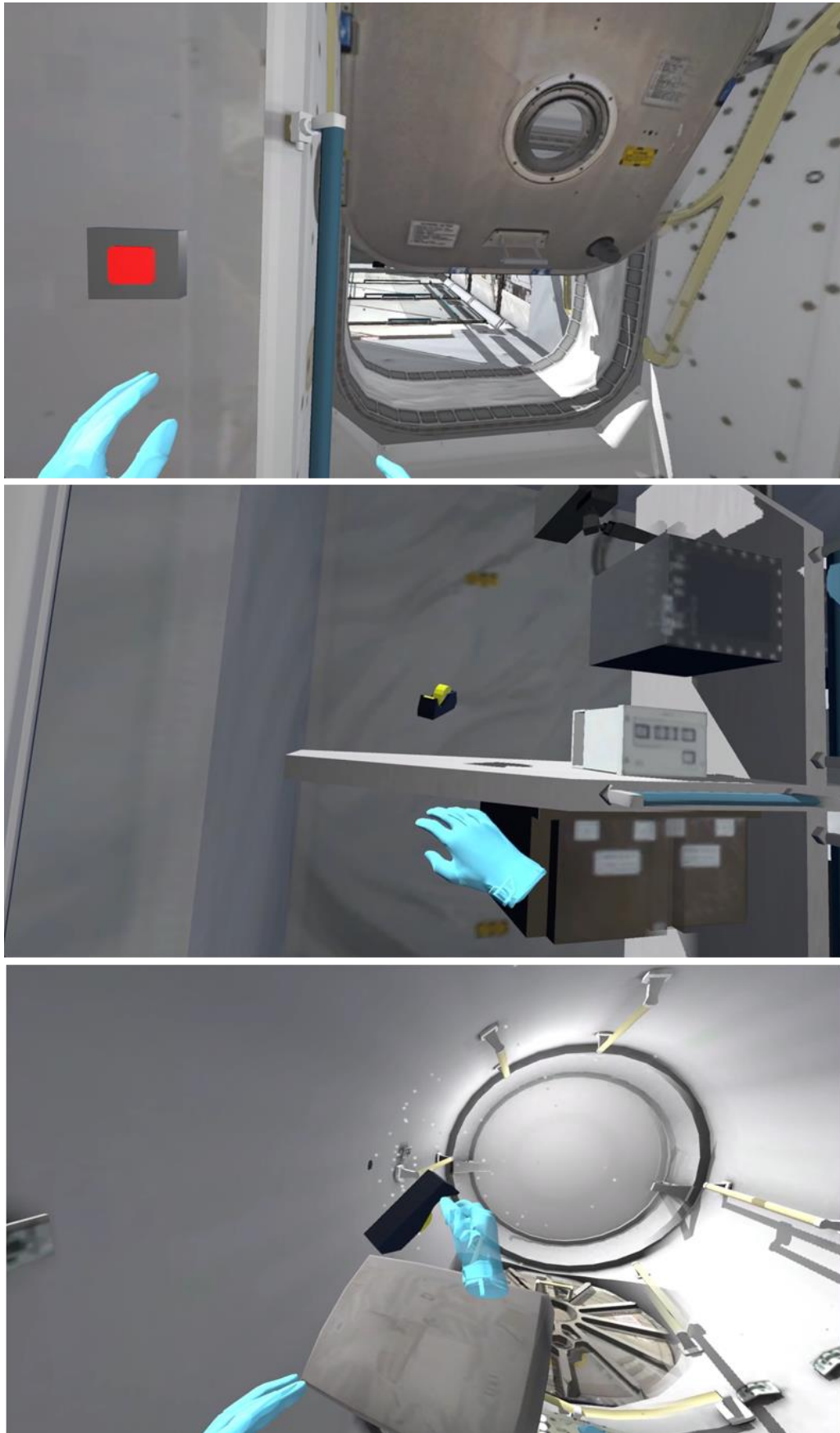


Abbildung 19: Verlauf der Fix Hole Mission

3.6.4 Mission: Button riddle

Das Knopfrätsel ist eine Mission, die der Benutzer nicht alleine lösen kann. Die Knöpfe des Computers müssen dazu in der richtigen Reihenfolge gedrückt werden. Diese Reihenfolge ist für den Benutzer aber nirgendwo indiziert. Er muss also auf die Kommunikation mit einem Partner der Bodenkontrolle vertrauen, der ihm die richtige Kombination vermittelt. Diese ist standardmäßig weiß, pink, hellblau, gelb, blau. Wird die Kombination richtig eingegeben werden die Knöpfe grün, anderenfalls werden sie rot und setzen sich zurück.



Abbildung 20: Das Knopfrätsel im US Lab

3.7 Kollaboration

Folgender Abschnitt ist der Vollständigkeit halber aufgeführt. Die beschriebenen Kollaborationstools wurden von Maximilian Waiblinger als Weiterentwicklung von Missions entwickelt und werden in einem separaten Dokument erläutert.

Durch die Kollaboration mit einem weiteren Teilnehmer soll dem Benutzer die Navigation durch die Raumstation erleichtert werden. Benutzer Eins stellt in dem Fall den Astronauten in der ISS dar, Benutzer Zwei simuliert Mission Control, der mit dem Astronauten kommuniziert und ihm wichtige Informationen vermittelt. Mission Control hat Zugriff auf eine 3D-Karte der ISS, auf die zu erfüllenden und erfüllten Missionen und hat die Kontrolle über einige der Luftschleusen innerhalb der Station.

Des Weiteren können manche Missionen nicht allein bewältigt werden, so hat Mission Control als einziger Zugriff auf die richtige Kombination für die Knopfrätsel Mission, benötigt aber den Astronauten um die Knöpfe zu drücken.

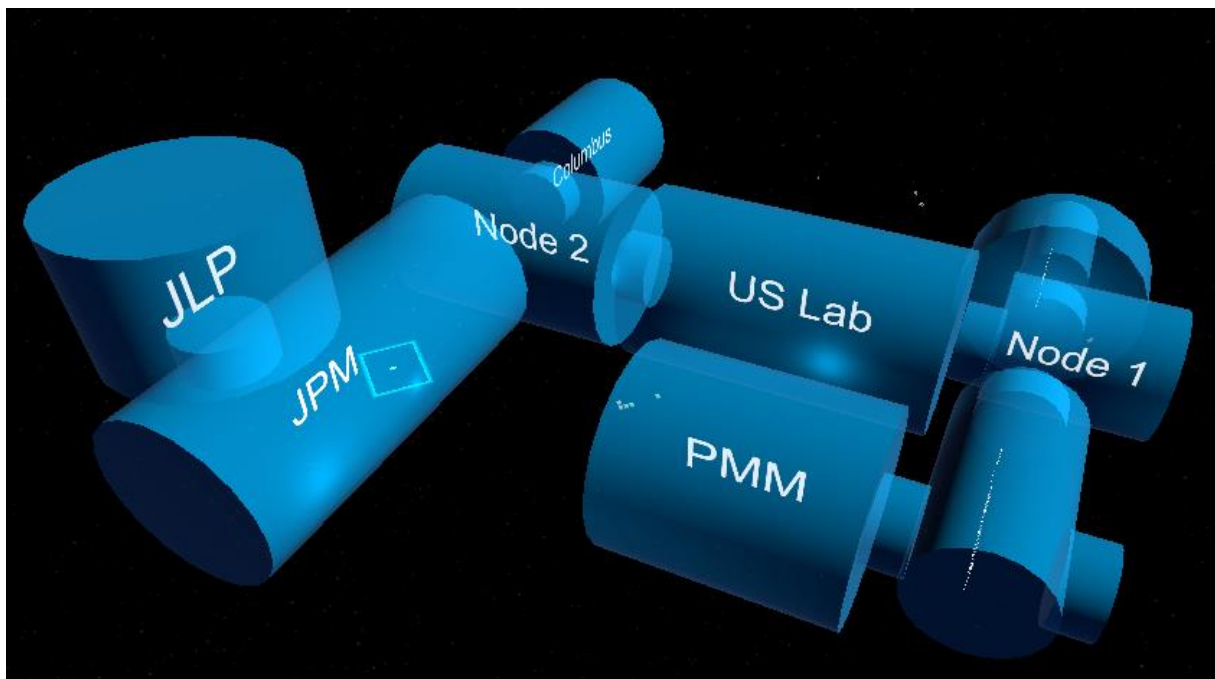


Abbildung 21: Abstrakte 3D Karte des begehbaren Teils der ISS

4 *Softwaredokumentation*

Dieses Kapitel veranschaulicht grundlegende Implementierungen, die für die Funktion des Projekts ausschlaggebend sind.

4.1 *Benutzerbewegung*

Wenn sich der Benutzer mit einer Hand an einer Wand festhält, wird die Bewegung der Hand auf ihn übertragen. So erhält dieser die Möglichkeit sich von einer Wand abzustoßen oder sich an sie heranzuziehen. Folgend wird das dafür verwendete Skript beschrieben. Das Skript liegt auf dem SteamVR Unity Objekt der Hand. In Zeile 2 wird die aktuelle Position der Hand zur Berechnung der Geschwindigkeit gespeichert. In Zeile 5 wird anhand der aktuellen Position und der letzten Position der Hand die bewegte Distanz berechnet. Mithilfe der zurückgelegten Distanz und der vergangenen Zeit wird die Bewegungsgeschwindigkeit berechnet. Anschließend wird in Zeile 7 die aktuelle Position der Hand in die Variable *oldTransform* gespeichert, um diese im nächsten Frame wieder zur Berechnung der Distanz zu verwenden. In der If-Verzweigung in Zeile 9 wird überprüft, ob der Nutzer sich nur mit einer Hand festhält und ob diese Hand kein Objekt hält. Ist das der Fall wird die Bewegungsgeschwindigkeit auf den RigidBody des Benutzers übertragen.

```
1 void FixedUpdate()
2 {
3     Vector3 currentTransform = transform.position;
4
5     Vector3 distance = currentTransform - oldTransform;
6     velocity = distance / Time.deltaTime;
7     oldTransform = transform.position;
8
9     if (isGrabbing && !otherHand.isGrabbing && !isHolding)
10    {
11        cameraRigRigidBody.AddForce(-velocity * speed);
12    }
13 }
```

Code 4.1: Codebeispiel Bewegung

4.2 *Objekte greifen und werfen*

Durch die Interaktion mit Objekten kann der Nutzer Effekte einer Mikrogravitation erleben. Er hat die Möglichkeit Objekte zu greifen und zu werfen. Gegriffenes Werkzeug kann außerdem für verschiedene Aufgaben verwendet werden. Greift der Nutzer ein Objekt wird über die Variable *isHolding* indiziert, dass die virtuelle Hand etwas hält. In Zeile 4 wird die Greifanimation des Handmodells gestartet. Das aktuell gegriffene Objekt wird in die Variable *grabbedObject* gespeichert. Dazu wird das Objekt aus der Variable *grabbableObject* gelesen. Diese Variable speichert das Objekt, welches mit dem Collider der Hand kollidiert.

Anschließend wird in Zeile 6 die virtuelle Hand als Elternobjekt für das Objekt gesetzt. Dadurch bleibt das Objekt an der Hand des Benutzers. Damit das Objekt nicht von anderen Objekten beeinflusst wird, wird sein Rigidbody auf Kinematic gestellt und sein Collider deaktiviert.

```
1 private void grabObject()
2 {
3     isHolding = true;
4     grabAnimator.grabAnimate();
5     grabbedObject = grabbableObject;
6     grabbedObject.transform.SetParent(this.transform);
7     grabbedObject.GetComponent<Rigidbody>().constraints =
8     RigidbodyConstraints.FreezeAll;
9
10    grabbedObject.GetComponent<Rigidbody>().isKinematic = true;
11    grabbedObject.GetComponent<Collider>().enabled = false;
12 }
```

Wird das Objekt losgelassen, wird sein Rigidbody und Collider zurückgesetzt. Anschließend wird in Zeile 12 die aktuelle Geschwindigkeit der Hand auf das Objekt übertragen. Damit die Aktion des Werfens realistischer wirkt, wird außerdem in Zeile 15 die entgegengesetzte Kraft auf den Benutzer übertragen. Anschließend werden die Variablen für die Objektinteraktion zurückgesetzt.

```
1 private void releaseObject()
2 {
3     if(isHolding)
4     {
5         grabbedObject.GetComponent<Collider>().enabled = true;
6         grabbedObject.GetComponent<Rigidbody>().isKinematic = false;
7         grabbedObject.GetComponent<Rigidbody>().constraints =
8         RigidbodyConstraints.None;
9
10        grabbedObject.transform.SetParent(null);
11
12        grabbedObject.GetComponent<Rigidbody>().AddForce(
13        (velocity* throwVelocityMultiplier) + cameraRigRigidBody.velocity);
14
15        cameraRigRigidBody.AddForce(
16        -velocity * (throwVelocityMultiplier / 4));
17
18        grabbedObject = null;
19        grabbableObject = null;
20        isHolding = false;
21    }
22 }
```

5 *Probandentest*

Um erstes Feedback zu Missions zu sammeln, wurde am 14.01.2021 ein Probandentest im VR Labor an der Hochschule Reutlingen durchgeführt.

5.1 *COVID-19-Pandemie*

Aufgrund der COVID-19-Pandemie mussten verschärfte Maßnahmen vor, während und nach dem Probandentest eingehalten werden. So waren die Fenster im Labor durchgehend geöffnet und es durften sich höchstens drei Personen gleichzeitig im Raum aufhalten. Zusätzlich musste jeder Proband vor dem Test die Hände desinfizieren. Nach jeden Durchgang wurden die VIVE HMD und die Controller ebenfalls desinfiziert. Im gesamten Gebäude und somit auch während des Tests musste dauerhaft eine Mund- und Nasenmaske von allen Beteiligten getragen werden.

5.2 *Ablauf*

Bei dem Test wurde vor allem die Art der Bewegung getestet, indem der jeweilige Proband fünf der vorgefertigten Missionen in einer festgelegten Reihenfolge absolvierte. Der Mehrspieleraspekt wurde dabei außen vorgelassen, stattdessen wurden vom Experimentleiter Anweisungen zu den Aufgaben sowie Hilfestellung bei Problemen gegeben.

Während des Experiments wurden anhand einiger Leitfragen die Eindrücke der Probanden festgehalten. So wurden Kommentare der Probanden während der Verwendung notiert sowie relevante Ereignisse, wie aufgetretene Fehler, festgehalten. Nach dem Test wurden die verbleibenden Fragen dieses Bogens im Zuge eines kurzen Interviews vervollständigt.

Nach dem Interview wurde dem Teilnehmer der Presence Questionnaire (PQ Test) von Witmer und Singer [4] zur Bearbeitung in ausgedruckter Form vorgelegt. Die Fragen 6., 15. und 16. wurden von dem Test ausgeschlossen, da sie in die Auditive Subskala gehören und im Aufbau des Experiments kein Ton möglich war. Die Fragen wurden außerdem zum besseren Verständnis der Probanden von Englisch nach Deutsch übersetzt. Wie von Witmer und Singer vorgeschlagen, wurde eine Likert Skala mit sieben Items von *überhaupt nicht* bis zu *sehr viel* verwendet.

5.3 *Probanden*

Getestet wurde mit Hilfe sechs freiwilliger Probanden im Alter zwischen 23 und 27 ($M=24.5$; $SD=1.26$). Bei den Probanden handelte es sich ausschließlich um Studierende. Alle Probanden gaben an, Erfahrung mit Gaming zu haben. Vier der Probanden hatten ein wenig Erfahrung mit VR, zwei hatten noch nie zuvor VR verwendet. Bei keinem der Probanden mit VR Erfahrung ist bisher VR Sickness aufgetreten, außerdem verspürte bei der Verwendung von Missions niemand VR Sickness. Ein Proband hatte kurz ein undefiniertes unangenehmes Gefühl bei einer schnellen Bewegung, dies verflog jedoch wieder sofort.

5.4 Ergebnis Interview

Die Resonanz zur Anwendung war ausschließlich positiv, im folgenden werden die Ergebnisse zu den einzelnen Fragen im Interview zusammengefasst.

Hat die Verwendung Spaß gemacht?

Alle Probanden gaben an, dass sie Spaß bei der Verwendung hatten. Dies wurde auch durch begeisterte Kommentare während der Durchführung bestätigt. Zwei gaben an, dass der Spaß vor allem durch die einfache und interessante Steuerungsweise kam, beide dieser Probanden hatten bereits Erfahrung mit VR und konnten so vermutlich Vergleiche mit anderen Anwendungen anstellen.

Was ist besonders aufgefallen (sowohl positiv als auch negativ)?

Drei Probanden fanden besonders positiv, wie gut das Bewegungssystem zu verwenden war und dass es sich realistisch anfühlte.

Ein Proband merke an, dass die Steuerung anfangs unintuitiv und gewöhnungsbedürftig war, schien nach kurzer Zeit aber sehr gut zurechtzukommen. Kritik gab es dabei, dass nicht immer klar war, was greifbar ist.

Weitere positive Anmerkungen waren, dass den Probanden die ISS als Umgebung gefallen hat, dass es viele Interaktionsmöglichkeiten gab und dass das schwerelose Setting interessant war.

Negative Anmerkungen waren meist über Bugs, bei zwei Probanden funktionierte das Werfen von Gegenständen nicht (ein uns bekannter Bug), einmal konnte ein Knopf nicht gedrückt werden und bei einem Proband funktionierte das Greifen an Wänden nicht immer.

Wie ist die Meinung zur Art der Bewegung?

Hier war das Feedback fast ausschließlich positiv. Alle Probanden sagten, dass es Spaß gemacht hat und meistens gut funktionierte.

Kritik gab es von einer Person zur Wahl des Grip Buttons, dieser war auf Dauer leicht unangenehm zu drücken. Die weitere Kritik, dass die Steuerung anfangs gewöhnungsbedürftig war, wurde bereits bei der vorigen Frage stärker erläutert. Ein Lösungsansatz für diese Kritik wäre es, das greifen wahlweise auf den Trigger-Button statt auf den Grip-Button zu legen.

Wie hat sich die Schwerelosigkeit angefühlt, obwohl man Schwerkraft spürt? (Auf Widerspruch eingehen)

Drei der Probanden fanden, dass sich die Schwerelosigkeit gut und realistisch aber auch ungewohnt angefühlt hat. Einer dieser drei Probanden hatte ein „Achterbahngefühl“ im Bauch, was als positiv und spaßig beschrieben wurde.

Zwei der Probanden gaben an, dass sie sich gar nicht oder nur sehr wenig *schwereelos* gefühlt haben und deshalb wenig immersiert waren. Der Widerspruch zwischen Gravitation und Schwerelosigkeit war für sie dennoch neutral oder zumindest nicht negativ.

Ein Proband gab an, dass es sich nicht nach Schwerelosigkeit angefühlt hat, sondern eher nach Bewegungsunfähigkeit.

Kritik und Anregung?

Weitere Kritik neben der bereits oben geschilderten gab es an dieser Stelle keine. Anregungen beinhalteten folgende gewünschte Konzepte:

- Sound
- Außeneinsätze
- Aus Fenstern schauen

Sound ist grundsätzlich bereits im Spiel, konnte im Aufbau des Experiments jedoch nicht eingesetzt werden. Aus Fenstern schauen ist bereits im Cupola Modul der ISS möglich, welches jedoch in der Version des Experiments von der Außenhülle verdeckt wurde. Außeneinsätze waren ursprünglich für Missions angedacht und werden im Kapitel 6 näher erläutert.

Insgesamt sind wir sehr zufrieden mit dem Erhaltenen Feedback. Viele Anmerkungen waren positiv und alle Kritiken waren konstruktiv und können potentiell in einer möglichen zukünftigen Weiterentwicklung von Missions umgesetzt werden.

5.5 PQ Test

Den Teilnehmern wurde nach dem Interview der Presence Questionnaire (PQ Test) von Witmer und Singer [4] zur Bearbeitung in ausgedruckter Form vorgelegt. Die Fragen 6., 15. und 16. wurden von dem Test ausgeschlossen, da sie in die Auditive Subskala gehören und im Aufbau des Experiments kein Ton möglich war. Die Fragen wurden außerdem zum besseren Verständnis der Probanden von Englisch nach Deutsch übersetzt. Wie von Witmer und Singer vorgeschlagen, wurde eine Likert Skala mit sieben Items von *überhaupt nicht* bis zu *sehr viel* verwendet. In der Auswertung wurden die Ergebnisse der Fragen 7, 8, 19, 21, 22, 25 und 26 invertiert, da es sich dabei um Negativaussagen handelt, bei denen es von hoher Präsenz zeugt, wenn der angegebene Wert des Probanden niedrig ist.

Die Probanden wurden für die Einfachheit bei der Erklärung der Ergebnisse von 1 bis 6 nummeriert.

Presence-Score:

Durch Addition aller Werte ergibt sich ein gesamter „Presence-Score“ pro Proband. Der maximale Wert in unserem modifizierten Test bei 29 Fragen mit einer Skala von 1 bis 7 beträgt 203. Die Ergebnisse für alle Fragen zusammen sind in Abbildung 22 zu sehen. Die Werte unserer Probanden siedeln sich dabei grob im oberen viertel an. Die Summen reichen dabei von 145 bis 173 ($M=157.83$; $Med=154.00$; $SD=10.50$). Da kein Vergleich von unterschiedlichen Bewegungsmethoden durchgeführt wurde, lassen sich die Daten schwer interpretieren. Es zeigt sich jedoch eine Tendenz, dass der Presence Score durchgehend relativ hoch ist, woraus man schließen könnte, dass die Probanden eine gewisse Präsenz in Missions gefühlt haben. Dies deckt sich Teilweise mit den Antworten aus dem Interview, bei dem zwei Personen explizit erwähnten, dass sich die Anwendung realistisch angefühlt hat. Ein Proband gab zwar an, dass keine Immersion zu spüren war, dessen Presence-Score lässt sich trotzdem beim Mittelwert ansiedeln.

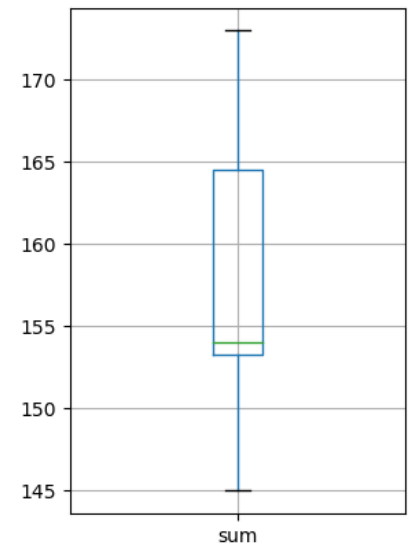


Abbildung 22: Boxplot des Presence-Score

Zusätzlich zum Gesamtwert beinhaltet der PQ-Test verschiedene Unterskalen, darunter die Skala Involment/Control und Fragen, bei denen es sich um Kontrollfaktoren (Control Factors) handelt.

Involment/Control:

Bei den Fragen zu Involvement Control handelt es sich um 12 Fragen aus dem PQ-Test, die damit zu tun haben, wie involviert sich der Benutzer in die Anwendung fühlt. Die Fragen haben damit viel mit Interaktion zu tun. Eine Frage lautet beispielsweise „Wie sehr warst du in der Lage Ereignisse zu steuern?“

Die Werte aller Fragen in der Involvement/Control Kategorie wurden ebenfalls Summiert um einen Wert pro Proband zu erhalten. Der maximale Wert bei den 12 Fragen betrug bei der selben 7-Punkte Likert Skala somit 84, der minimale Wert ist 12. Die Darstellung der Ergebnisse ist in Abbildung 23 zu sehen. Die Werte befinden sich zwischen 65 und 75 ($M=70.33$; $Med=70.00$; $SD=4.27$) und sind somit ebenfalls recht hoch. Daraus lässt sich schließen, dass die Probanden die Anwendung interaktiv fanden und sich zu einem gewissen Grad involviert gefühlt haben.

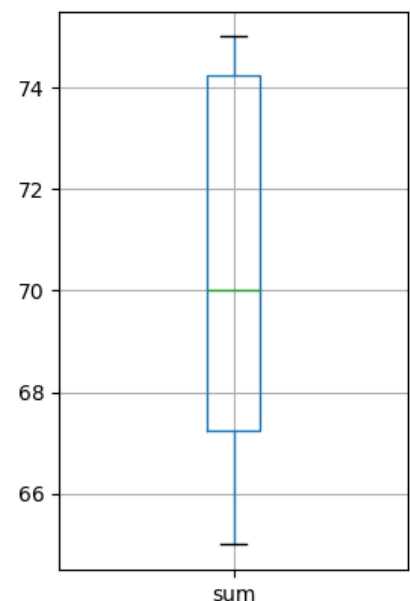


Abbildung 23: Boxplot der Involvement/Control Ergebnisse

Während des Durchlaufs bekamen die Probanden einige Aufgaben, die mit Objektinteraktionen zu tun hatten, was die Ergebnisse in gewisser Weise erklären kann.

Control Factors:

Bei den Fragen, die mit Control Factors gekennzeichnet wurde, handelt es sich um ein Teil des PQ-Tests, der 14 Fragen umfasst. In den Fragen wird sich hier viel mit der Interaktion mit der Umgebung befasst. Dabei wird sowohl die Interaktion mit der Umgebung als auch die Bewegung in der Umgebung abgefragt. Eine Frage lautet beispielsweise „Wie natürlich war der Mechanismus sich in der Umgebung zu bewegen?“. Diese Fragen sind für Missions besonders interessant, da eine bislang weniger erforschte Art der Bewegung in VR eingesetzt wird.

Die Werte aus den Control Factors wurden ebenfalls pro Proband summiert. Der maximale Wert bei den 14 Fragen insgesamt 98 und der minimale Wert 14. Die Darstellung zum Ergebnis der Control Factors ist in Abbildung 24 zu sehen. Die Werte umfassen den Bereich zwischen 68 und 85 ($M=78.17$; $Med=78.50$; $SD=6.62$). Diese Werte befinden sich im Durchschnitt im oberen viertel der möglichen Werte, woraus sich schließen lässt, dass die Kontrolle, die die Probanden während des Durchlaufs erlebten, recht hoch war. Auch hier lässt sich eine Tendenz erkennen, da die Meinung zur Bewegung bei den meisten Probanden positiv war. Trotz mancher Bugs, die die Interaktionsmöglichkeiten einschränkten, berichteten die Probanden, dass die Bewegung gut funktionierte und die Interaktionsmöglichkeiten positiv auffielen. Die Antworten der Probanden im Interview decken sich somit im Großteil mit den gemessenen Werten im PQ-Test.

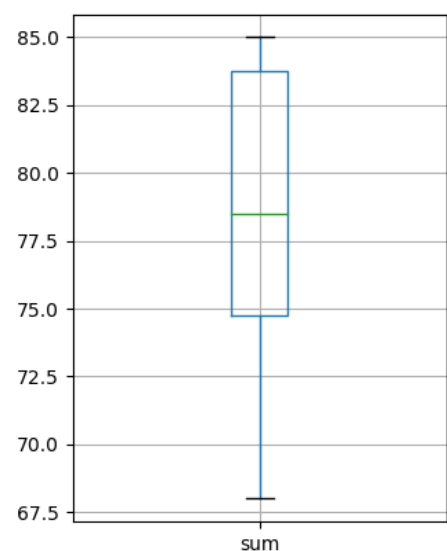


Abbildung 24: Boxplot der Control Factors Ergebnisse

Weitere Zusammenhänge:

Proband 4 hatte bei bei Involvement/Control den niedrigsten Wert, was sich möglicherweise damit erklären lässt, dass hier die Steuerung teilweise bei der Bewegung nicht funktioniert hatte, wodurch das Gefühl der Kontrolle niedriger ist.

| Involvement/Control, highest: 84 | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|----------|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| | Proband | 1 | 2 | 5 | 9 | 12 | 13 | 15 | 20 | 22 | 23 | 24 | 29 | sum |
| 0 | Proband1 | 7 | 6 | 6 | 5 | 6 | 7 | 7 | 5 | 7 | 7 | 6 | 6 | 75 |
| 1 | Proband2 | 7 | 7 | 7 | 7 | 5 | 7 | 7 | 5 | 6 | 5 | 6 | 6 | 75 |
| 2 | Proband3 | 7 | 5 | 4 | 6 | 6 | 7 | 5 | 4 | 6 | 6 | 6 | 6 | 68 |
| 3 | Proband4 | 5 | 5 | 4 | 4 | 7 | 6 | 6 | 4 | 7 | 7 | 5 | 5 | 65 |
| 4 | Proband5 | 6 | 5 | 7 | 4 | 7 | 7 | 7 | 6 | 6 | 7 | 6 | 4 | 72 |
| 5 | Proband6 | 6 | 4 | 6 | 4 | 4 | 5 | 6 | 7 | 6 | 7 | 5 | 7 | 67 |

| Control Factors, highest: 98 | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|----------|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| | Proband | 1 | 2 | 3 | 6 | 11 | 12 | 13 | 18 | 21 | 22 | 23 | 24 | 26 | 28 | sum |
| 0 | Proband1 | 7 | 6 | 7 | 7 | 3 | 6 | 7 | 6 | 5 | 7 | 7 | 6 | 6 | 5 | 85 |
| 1 | Proband2 | 7 | 7 | 7 | 7 | 5 | 5 | 7 | 7 | 6 | 6 | 5 | 6 | 6 | 4 | 85 |
| 2 | Proband3 | 7 | 5 | 6 | 4 | 5 | 6 | 7 | 5 | 5 | 6 | 6 | 6 | 7 | 5 | 80 |
| 3 | Proband4 | 5 | 5 | 5 | 6 | 3 | 7 | 6 | 6 | 7 | 7 | 7 | 5 | 6 | 2 | 77 |
| 4 | Proband5 | 6 | 5 | 4 | 5 | 4 | 7 | 7 | 5 | 5 | 6 | 7 | 6 | 6 | 1 | 74 |
| 5 | Proband6 | 6 | 4 | 6 | 4 | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 | 6 | 7 | 5 | 3 | 3 | 68 |

Abbildung 25: Punktzahlen aller Probanden bei Involvement/Control und Control Factors. Proband 1 und 2 sind markiert.

Die Probanden 1 und 2 wirkten von allen Probanden am begeistertsten, gaben sehr positives Feedback und scheinten von allen Probanden die zu sein, die am meisten in die Anwendung involviert waren. Dies lässt sich durch die Werte des PQ-Tests belegen, da beide Probanden bei Involvement/Control und bei den Control Factors die höchsten Werte erreichten, wie in Abbildung 25 zu sehen ist. Die Erfahrung hinsichtlich Gaming und VR waren bei den beiden Probanden unterschiedlich, beide leiden nicht an Reisekrankheit und VR-Sickness. Somit lässt sich hier die Tendenz zeigen, dass Menschen, die sehr in einer Anwendung wie Missions involviert sind, auch höhere Ergebnisse im PQ-Test zeigen.

Hinsichtlich des Leidens an Reisekrankheit ließ sich keine Tendenz finden. Die beiden Probanden, in Abbildung 26 gelb markiert, leiden an Reisekrankheit. Bei deren Werten hinsichtlich Involvement/Control und den Control Factors ließen sich jedoch keine Auffälligkeiten feststellen.

| Involvement/Control, highest: 84 | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|----------|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| | Proband | 1 | 2 | 5 | 9 | 12 | 13 | 15 | 20 | 22 | 23 | 24 | 29 | sum |
| 0 | Proband1 | 7 | 6 | 6 | 5 | 6 | 7 | 7 | 5 | 7 | 7 | 6 | 6 | 75 |
| 1 | Proband2 | 7 | 7 | 7 | 7 | 5 | 7 | 7 | 5 | 6 | 5 | 6 | 6 | 75 |
| 2 | Proband3 | 7 | 5 | 4 | 6 | 6 | 7 | 5 | 4 | 6 | 6 | 6 | 6 | 68 |
| 3 | Proband4 | 5 | 5 | 4 | 4 | 7 | 6 | 6 | 4 | 7 | 7 | 5 | 5 | 65 |
| 4 | Proband5 | 6 | 5 | 7 | 4 | 7 | 7 | 7 | 6 | 6 | 7 | 6 | 4 | 72 |
| 5 | Proband6 | 6 | 4 | 6 | 4 | 4 | 5 | 6 | 7 | 6 | 7 | 5 | 7 | 67 |

| Control Factors, highest: 98 | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|----------|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| | Proband | 1 | 2 | 3 | 6 | 11 | 12 | 13 | 18 | 21 | 22 | 23 | 24 | 26 | 28 | sum |
| 0 | Proband1 | 7 | 6 | 7 | 7 | 3 | 6 | 7 | 6 | 5 | 7 | 7 | 6 | 6 | 5 | 85 |
| 1 | Proband2 | 7 | 7 | 7 | 7 | 5 | 5 | 7 | 7 | 6 | 6 | 5 | 6 | 6 | 4 | 85 |
| 2 | Proband3 | 7 | 5 | 6 | 4 | 5 | 6 | 7 | 5 | 5 | 6 | 6 | 6 | 7 | 5 | 80 |
| 3 | Proband4 | 5 | 5 | 5 | 6 | 3 | 7 | 6 | 6 | 7 | 7 | 7 | 5 | 6 | 2 | 77 |
| 4 | Proband5 | 6 | 5 | 4 | 5 | 4 | 7 | 7 | 5 | 5 | 6 | 7 | 6 | 6 | 1 | 74 |
| 5 | Proband6 | 6 | 4 | 6 | 4 | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 | 6 | 7 | 5 | 3 | 3 | 68 |

Abbildung 26: Punktzahlen aller Probanden bei Involvement/Control und Control Factors. Proband 3 und 5, die an Reisekrankheit Leiden, sind gelb markiert.

Abschließend möchten wir erwähnen, dass wir sehr Zufrieden mit den Testergebnissen sind. Zwar ließen sich keine signifikanten Zusammenhänge aus der besonderen Art der Bewegung in Missions und den Werten aus dem PQ-Test beweisen, dennoch konnten in Kombination mit den Antworten aus dem Interview einige Tendenzen festgestellt werden. Diese Tendenzen können in Zukunft als Basis für weitere Tests dienen, wobei sie als Vergleichswerte fungieren oder möglicherweise bewiesen werden könnten.

Zudem bat der Probandentest die Möglichkeit, erstes allgemeines Feedback zu Missions zu sammeln. Dabei konnten unter anderem verschiedene Bugs und fehlende Features identifiziert werden. Außerdem hatten alle Probanden Spaß bei der Verwendung, was die Reife des Projekts in gewisser Weise bestätigt.

6 *Zukunftsaussichten*

Das Projekt Missions bietet eine solide Grundlage um die Bewegung, Orientierung und Interaktion in einem schwerelosen Raum zu erleben. Das Projekt hat sich dabei bisher vor allem auf das Innere der Raumstation fokussiert und einfache Gegenstände für die Interaktion umgesetzt. Dieses Kapitel soll einen Blick in die Zukunft des Projektes vermitteln und mögliche Punkte zur Erweiterung oder Verbesserung aufzeigen.

6.1.1 *Außenmissionen*

Ein großer Punkt, ist die Möglichkeit, Missionen außerhalb der Raumstation durchzuführen. Der interessante Punkt dabei ist, dass der Anwender sich mit einem Karabiner und einem Seil an der Raumstation befestigen müsste, um nicht ins Weltall abzutreiben. Außerdem bietet die Außenseite der Raumstation eine weitere ungewohnte Umgebung zur Navigation. Das Training in dieser reell weit gefährlicheren Umgebung ist umso wichtiger, damit dort im echten Einsatz keine Fehler passieren. Dem Anwender könnte hier auch die Möglichkeit gegeben werden sich mithilfe eines Jetpacks zu bewegen.

6.1.2 *Virtualizer*

Der Einsatz des Virtualizers bietet weitere Möglichkeiten mit der virtuellen Welt zu interagieren. So könnte mithilfe des Virtualizers eine Abstoßbewegung der Beine simuliert werden. Bewegt sich der Anwender nach oben kann diese Bewegung auf ihn in der virtuellen Welt übertragen werden. Außerdem schränkt der Virtualizer die Bewegung des Anwenders ein, wenn die Funktion zum Laufen nicht genutzt wird. Der Anwender wäre so vollkommen auf die Bewegung über seine Hände angewiesen und hätte ein geringeres Risiko umzufallen.

6.1.3 *Simulation der Schwerelosigkeit, in der Luft hängen*

Wie bereits in ViRGOS demonstriert [1] kann mithilfe eines Gurtsystems der Anwender in die Luft gehangen werden, um so zusätzlich das Gefühl der Schwerelosigkeit zu steigern. Wobei der Effekt für die Immersion aber geringer ausfallen dürfte als bei der Simulation von Mondgravitation, da die Erdanziehungskraft weiterhin bestehen bleibt.

6.1.4 *Tangibles, Verknüpfung von realen Objekten*

In Simulationen der Nasa²⁰ wurden reale Objekte mit virtuellen Repräsentationen verknüpft. Sogenannte Tangibles erlauben es dem Anwender, ein täuschend echtes Gefühl für verschiedene Werkzeuge in der virtuellen Umgebung zu erlangen.

²⁰ (Video) NASA's Virtual Reality Lab For Astronaut Training: <https://youtu.be/cwK3MatQQFc>

7 Literaturverzeichnis

- [1] A. Brückner, W. Sadri, U. Kloos, and G. Tullius. (2020). "ViRGOS - Virtual Reality Gravity Offload System ViRGOS Software und Umgebung".
- [2] W. Sadri. (2020). "User interaction and motion dynamics simulations for microgravity — development of a concept and prototype for astronaut training with virtual reality". in *Informatics inside: connect(IT) : Informatik-Konferenz der Hochschule Reutlingen ; 20. Mai 2020 : Tagungsband (Informatics inside ; 20)*, pp. 118–129.
- [3] K. Tamaddon and Di. Stiefs. (2017). "Embodied experiment of levitation in microgravity in a simulated virtual reality environment for science learning". *IEEE Virtual Real. Work. K-12 Embodied Learn. through Virtual Augment. Reality, KELVAR 2017*.
- [4] B. G. Witmer and M. J. Singer. (1998). "Measuring Presence in Virtual Environments: A Presence Questionnaire," *Presence*, vol. 7, no. 3, pp. 225–240.
- [5] Zhou, D., Zhou, QD., Guo, ZY. *et al.* (2019). A visual automatic analysis and evaluation method based on virtual reality in microgravity environment. *Microsyst Technol* 25, 2117–2133. <https://doi.org/10.1007/s00542-019-04379-2>.
- [6] Harm, D., & Parker, D.E. (1993). Perceived self-orientation and self-motion in microgravity, after landing and during preflight adaptation training. *Journal of vestibular research : equilibrium & orientation*, 3 3, 297-305 .
- [7] Patricia F. Lindsey .(1994). "Development of microgravity, full body functional reach envelope using 3-D computer graphic models and virtual reality technology", in Alabama Univ., Research Reports: 1994 NASA. Abgerufen von <https://ntrs.nasa.gov/citations/19950012575> (20.01.2021).
- [8] R. Bowen Loftin. (1994). "Virtual environments for aerospace training". *Proceedings of WESCON '94*, Anaheim , CA, USA, , pp. 384-387. doi: 10.1109/WESCON.1994.403567.
- [9] J. P. Hale (1994) "Applied virtual reality in aerospace design". *Proceedings of WESCON '94*, Anaheim , CA, USA, pp. 378-383. doi: 10.1109/WESCON.1994.403568.
- [10] Dörner, R., Broll, W., Grimm, P., & Jung, B. (2019). *Virtual und Augmented Reality (VR/AR)*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. doi:10.1007/978-3-662-58861-1.