

MASTERARBEIT

AnimVRig: Erstellung und Steuerung von Animationen in virtueller Realität

vorgelegt am 25. Oktober 2024
Wilhelm Gerner

Studiengang: Digital Reality
Abschluss: Master of Science (M.Sc.)
Erstprüfer: Prof. Dr. Eike Langbehn
Zweitprüfer: Prof. Dr. Daniel Görlich

**HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE
WISSENSCHAFTEN HAMBURG**
Department Medientechnik
Finkenau 35
20081 Hamburg

Eigenständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorstehende Masterthesis mit dem Titel

AnimVRig: Erstellung und Steuerung von Animationen in virtueller Realität

– bzw. im Falle einer Gruppenarbeit die entsprechend gekennzeichneten Teile der Arbeit – selbstständig ohne fremde Hilfe gefertigt und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quelle kenntlich gemacht. Diese Arbeit hat in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner Prüfungsbehörde vorgelegen.

Ort, Datum, Unterschrift

Bei der Erstellung dieser Arbeit wurde KI-basierte Technologie verwendet, um Unterstützung bei der Recherche, Strukturierung und Formulierung von Texten zu bieten. Alle inhaltlichen Entscheidungen und wissenschaftlichen Aussagen wurden jedoch eigenständig getroffen.

Ort, Datum, Unterschrift

Abstract

This thesis investigates the development of a VR animation tool in Unity, utilizing real-time body tracking to dynamically adapt rigged objects to user movements. The prototype, AnimVRig Version 2.0, integrates the Unity Movement Package and GameObjectRecorder, offering a flexible and accessible solution for real-time animation customization within the Unity engine, suitable for both experienced developers and beginners.

The prototype was evaluated using the System Usability Scale (SUS), Simulator Sickness Questionnaire (SSQ), and Situational Awareness Rating Technique (SART), along with a custom evaluation questionnaire. Key aspects such as usability, functionality, interactivity, immersion, and technical performance were assessed.

The results indicate that the tool provides satisfactory usability and technical performance, though with varying degrees of user experience depending on task complexity. Some participants experienced minor simulator sickness symptoms, while the cognitive load was manageable overall. Users appreciated the tool's ability to switch models and animation variants in real time, although challenges in the handling of certain advanced functions were noted. AnimVRig shows potential for use in educational and professional training contexts but also reveals areas where further refinement is needed.

In conclusion, this thesis contributes to the field by demonstrating how real-time body tracking can be integrated into VR animation workflows, providing insights into user experience challenges and interface design. The findings lay the groundwork for further advancements in VR animation technologies.

Zusammenfassung

Diese Arbeit untersucht die Entwicklung eines VR-Animationstools in Unity, das Echtzeit-Körperverfolgung nutzt, um riggte Objekte dynamisch an Benutzerbewegungen anzupassen. Der Prototyp, AnimVRig Version 2.0, integriert das Unity Movement Package und den GameObjectRecorder und bietet eine flexible und zugängliche Lösung für die Anpassung von Echtzeit-Animationen innerhalb der Unity-Engine, die sowohl für erfahrene Entwickler als auch für Anfänger geeignet ist.

Der Prototyp wurde mit der System Usability Scale (SUS), dem Simulator Sickness Questionnaire (SSQ) und der Situational Awareness Rating Technique (SART) sowie einem eigenen Bewertungsfragebogen evaluiert. Bewertet wurden Schlüsselaspekte wie Benutzerfreundlichkeit, Funktionalität, Interaktivität, Immersion und technische Leistung.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Benutzerfreundlichkeit und die technische Leistung des Tools zufriedenstellend sind, auch wenn die Benutzererfahrung je nach Komplexität der Aufgabe unterschiedlich ist. Bei einigen Teilnehmern traten leichte Symptome der Simulatorkrankheit auf, während die kognitive Belastung insgesamt überschaubar war. Die Benutzer schätzten die Fähigkeit des Tools, Modelle und Animationsvarianten in Echtzeit zu wechseln, auch wenn Herausforderungen bei der Handhabung bestimmter fortgeschrittener Funktionen festgestellt wurden. AnimVRig zeigt Potenzial für den Einsatz in der Aus- und Weiterbildung, zeigt aber auch Bereiche auf, in denen weitere Verbesserungen notwendig sind.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass diese Arbeit einen Beitrag zum Fachgebiet leistet, indem sie zeigt, wie Echtzeit-Körperverfolgung in VR-Animations-Workflows integriert werden kann, und Einblicke in die Herausforderungen der Benutzererfahrung und des Schnittstellendesigns bietet. Die Ergebnisse legen den Grundstein für weitere Fortschritte in der VR-Animationstechnologie.

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung.....	4
1.1	Wissenschaftliche Motivation	4
1.2	Zielsetzung	5
1.3	Aufbau der Arbeit.....	5
2	Grundlagen	7
2.1	Animation & Rigging	7
2.2	Animieren innerhalb der Virtual Reality	8
2.3	Animieren innerhalb von Unity.....	9
2.3.1	Animation and Rigging Toolset in Unity (ART).....	10
2.4	Bodytracking/ Motion-Capture-Technologien	11
2.4.1	Bodytracking mittels MoCap-Techniken	11
2.4.2	Bodytracking mittels Head Mounted Display	12
2.4.3	Bodytracking mittels extra Sensorik	12
2.4.4	Bodytracking ohne zusätzliche Sensorik.....	13
2.5	Fortschritte in der VR-Animation	13
3	State of the Art.....	15
3.1	Spezialisierte Anwendungen und Tools für VR-Animationen.....	15
3.1.1	Unity und das Unity Animation Toolset	15
3.1.2	Unreal Engine und Blueprints	16
3.1.3	Unity Movement SDK.....	17
3.1.4	AnimVRig – Version 1.0.....	18
3.1.5	Weitere Tools	19
3.2	Relevante Studien zum Live-Bodytracking in VR.....	23
3.2.1	Full-body Tracking in VR	23
3.2.2	Kostengünstiges Full-Body-Tracking-System für VR	24
3.2.3	Vergleich von Keyframe-Animation und Motion Capture in VR.....	24
3.2.4	Echtzeit-Animation menschlicher Körper mit Motion Capture	24
3.2.5	Integration von Motion-Tracking in 3D-Benutzeroberflächen für VR	24
3.2.6	SparsePoser: Fortschritte in der Echtzeit-Ganzkörperrekonstruktion für VR	24
3.2.7	DTP: Optimierte Pose-Schätzung mit minimalen Sensordaten in VR	25
3.3	Selbstanimierte Avatare und Körperwahrnehmung	25
3.4	Analyse der Schwächen aktueller VR-Animationstechnologien.....	25
4	Methodik.....	27
4.1	Methodische Überlegungen und Auswahl.....	27
4.2	Durchführung	28
4.3	Detaillierte Beschreibung der Aufgabenstellung.....	30

4.3.1	Technische Spezifikationen.....	30
4.3.2	Ziele und Zwischenziele.....	30
4.4	Hypothesen.....	30
4.5	Erwartete Ergebnisse.....	31
4.6	Risiken und Herausforderungen.....	32
5	Entwicklung der Anwendung – AnimVRig Version 2.0.....	33
5.1	Zielsetzung und Anwendungsbereich.....	33
5.2	Wechsel vom XR Interaction Toolkit zum Oculus XR Plugin.....	33
5.3	Integration des Meta Movement SDK und des Meta Interaction SDK.....	33
5.4	Benutzeroberfläche und Interaktionsdesign.....	34
5.5	Bindings-Menü und selektive Steuerung.....	35
5.6	Aufnahme und Speichern von Animationen.....	40
5.7	Verwaltung von Animationen.....	40
5.8	Transformer-Werkzeug.....	40
5.9	Modell- und Variantenwechsel.....	41
5.9.1	Wechseln von Modellen zur Laufzeit.....	41
5.9.2	Wechseln von Varianten zur Laufzeit.....	42
5.9.3	Passthrough / Mixedreality Feature.....	44
6	Studiendesign.....	45
6.1	Studienablauf.....	45
6.1.1	Begründung der Fragebögen.....	47
6.2	Statische Analyse.....	48
6.2.1	Geplante deskriptive Statistik.....	48
6.2.2	Geplante korrelative Analyse.....	48
6.2.3	Qualitative Analyse des Evaluationsfragebogens.....	48
6.2.4	Visualisierung und Darstellung der Daten.....	49
6.2.5	Zu erwartende Ergebnisse und Interpretation.....	49
6.2.6	Validität und Verlässlichkeit der statistischen Analyse.....	50
6.3	Technische Anforderungen und Setup.....	50
6.3.1	Hardware.....	50
6.3.2	Software.....	51
6.3.3	Physische Umgebung.....	51
6.3.4	Einweisung und Sicherheit.....	51
7	Auswertung und Diskussion.....	52
7.1	SUS Auswertung.....	52
7.2	SSQ Auswertung.....	54
7.3	SART Auswertung.....	57

7.4	Analyse der Zusammenhänge zwischen SSQ, SART und SUS	60
7.5	Der AnimVRig-Evaluationsfragebogen	62
7.5.1	Der Benutzerfreundlichkeit	63
7.5.2	Funktionalität.....	65
7.5.3	Interaktivität und Immersion	66
7.5.4	Technische Leistung.....	68
7.5.5	Allgemeine Zufriedenheit.....	69
7.5.6	Hilfreiche Funktionen.....	71
7.5.7	Anwendungspotenzial	72
7.5.8	Technische Probleme.....	75
7.5.9	Verbesserungen	77
7.5.10	Schwierigkeiten	80
7.5.11	Qualitative Analyse der Zusammenhänge.....	82
8	Fazit und Ausblick.....	84
8.1	Wissenschaftlicher Beitrag.....	84
8.2	Fazit im Kontext zur der VR-Animation.....	85
8.2.1	System Usability Scale (SUS).....	85
8.2.2	Simulator Sickness Questionnaire (SSQ).....	85
8.2.3	Situational Awareness Rating Technique (SART).....	85
8.2.4	Technische Leistung und Interaktivität	86
8.2.5	Benutzerfreundlichkeit und Zufriedenheit.....	86
8.3	Ausblick.....	86
	Abbildungsverzeichnis	88
	Literaturverzeichnis.....	89
	Anhang A: Repository.....	92
	Anhang B: Fragebögen.....	93
	Simulator Sickness Questionnaire (SSQ)	93
	System Usability Scale (SUS)	94
	Situational Awareness Rating Technique (SART)	95
	AnimVRig Evaluationsfragebogen.....	96

1. Einleitung

Animation ist die Kunst, statische Bilder zum Leben zu erwecken und ihnen Bewegung zu verleihen. Diese Technik ist seit langem ein zentraler Bestandteil verschiedener Medien, wie Film, Spiel und interaktiven Anwendungen. Traditionelle Animationsmethoden, insbesondere die Keyframe-Animation, erfordern oft eine zeitaufwendige und technisch anspruchsvolle manuelle Erstellung und Bearbeitung jeder Bewegung. Mit der zunehmenden Verfügbarkeit und Qualität von immersiven Spielen sowie Virtual/Augmented/Mixed Reality-Hard- und Software besteht ein wachsender Bedarf an verbesserten Schnittstellen und Tools, die eine effizientere Erstellung und Bearbeitung von Animationen ermöglichen. Diese Entwicklung hat die Art und Weise, wie Animationen erstellt und bearbeitet werden, erheblich verändert (LaViola et al. 2018, S. 2).

In der modernen Animation insbesondere in VR/AR-Anwendungen und 3D-Spielen spielen Animationen eine entscheidende Rolle bei der Erschaffung immersiver und interaktiver Erlebnisse. Echtzeit-Interaktivität ermöglicht, dass Animationen direkt auf die Bewegungen und Aktionen der Nutzer reagieren wodurch ein immersiveres und dynamischeres Erlebnis geschaffen wird (Soumya und Mohler 2015, S. 1).

In der sich ständig weiterentwickelnden digitalen Animationsbranche sind die Anforderungen an Technologien die Echtzeit-Interaktivität ermöglichen, besonders hoch. Da Computeranimation als zentrales Medium etabliert ist, steigen die Erwartungen der Industrie an innovative digitale Techniken zur Erschaffung einzigartiger und wettbewerbsfähiger Animationen (Parent 2012, S. 29–30).

Der Einsatz des Unity-Movement Package (Meta 2024) bildet eine solide Grundlage für die Anwendung von Animationstechniken in virtuellen Realitäten (VR). Die Bedeutung einer solchen Verschmelzung ergibt sich aus dem wachsenden Bedarf an Technologien, die eine Echtzeit-Interaktivität ermöglichen und gleichzeitig eine einfache Handhabung bieten, um sowohl professionelle Animatoren als auch Amateure anzusprechen. Moderne Tools wie AnimationVR ermöglichen eine nahtlose Echtzeit-Synchronisation von Animationen mit Benutzerbewegungen und eröffnen neue kreative Möglichkeiten während sie gleichzeitig eine geringe Lernkurve für Einsteiger bieten (Vogel et al., S. 2; 5).

Ein besonderes Augenmerk des Unity Movement Package liegt dabei auf der Fähigkeit, bestehende Animationen zur Laufzeit anzupassen und jegliche Modelle an die eigene Körperstruktur zu binden. Dieses Feature kann besonders in interaktiven Anwendungen wie VR-Spielen und simulationsbasierten Trainingsprogrammen von Nutzen sein, wo Charaktere auf unvorhersehbare Aktionen der Nutzer reagieren müssen.

1.1 Wissenschaftliche Motivation

Die wissenschaftliche Motivation für den Einsatz von Echtzeit-Bodytracking und Animationserfassung in virtuellen Umgebungen ergibt sich aus der Notwendigkeit zur Verbesserung der Interaktion und Immersion in Virtual Reality (Capece et al. 2018, S. 624).

Die konventionellen Methoden der Animation, die sich stark auf manuell erstellte Keyframes stützen, sind oft zeitaufwändig und erfordern ein hohes Maß an technischem Know-how. Dieses macht sie für Anfänger und selbst für erfahrene Entwickler zu einer Herausforderung. In der Praxis muss der Animator wichtige Schlüsselposen für den Charakter in bestimmten Frames festlegen, während der Computer die Zwischenschritte mithilfe einer Interpolationstechnik berechnet (Izani et al. 2003, S. 154).

Die Integration von Echtzeit-Bodytracking ermöglicht eine präzisere und intuitivere Methode zur Erstellung und Anpassung von Animationen, die die natürlichen Bewegungen der Nutzer in virtuellen Umgebungen widerspiegeln. Diese Technologie sorgt dafür, dass virtuelle Avatare nicht nur präzise und einfach zu bedienen sind, sondern auch eine nahtlose Interaktion zwischen dem virtuellen Körper und

physischen Objekten ermöglichen, was die Immersion und Benutzererfahrung erheblich beeinflusst (Soumya und Mohler 2015, S. 1).

Ein herausragender Vorteil dieses Forschungsprojekts ist die außergewöhnliche Kosteneffizienz der erforderlichen Technologie. Durch die Nutzung der Meta Quest 3, einer erschwinglichen und weit verbreiteten VR-Brille, eliminiert dieses Projekt die Notwendigkeit für teure Sensoren oder spezialisierte Tracking-Hardware, wodurch es insbesondere für Indie-Entwickler interessant sein könnte.

Die Verwendung des Unity-Movement Package in Kombination mit der Unity Klasse *GameObjectRecorder*¹ bietet eine einzigartige Gelegenheit zur Veränderung der Art und Weise, wie Animationen in VR erstellt und angewendet werden könnten. Dieses Vorgehen versucht die Lücke zwischen der physischen und der digitalen Welt zu schließen, indem Nutzerbewegungen nahtlos und effektiv in die Animation digitaler Charaktere übersetzt werden. Eine solche Technologie könnte das Potenzial haben, sowohl die Entwicklungszeiten zu verkürzen als auch die kreative Kontrolle zu erhöhen, indem sie den Nutzern erlaubt, Modifikationen in Echtzeit vorzunehmen.

Ein weiterer wesentlicher Aspekt dieser Forschung ist die Verbesserung der Benutzererfahrung innerhalb von VR-Anwendungen. Durch die direkte Manipulation von Charakteranimationen mittels fortschrittlicher Interaktionsmethoden, wie z.B. handgesteuerten und gestenbasierte Benutzeroberflächen, können Entwickler dynamische und reaktionsfähige VR-Umgebungen schaffen. Diese Umgebungen reagieren auf die Aktionen und Präsenz des Nutzers in der virtuellen Welt.

Darüber hinaus könnte die Integration dieser Technologien eine Rolle in der Erforschung und Entwicklung von neuen Interaktionsmöglichkeiten in VR spielen, die über die traditionellen Modelle hinausgehen. Die Fähigkeit komplexe Animationen durch einfache Gesten und Bewegungen zu steuern, könnte weitreichende Implikationen für die Bereiche Bildung, Therapie und professionelle Trainingsanwendungen haben.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die wissenschaftliche Motivation dieses Projekts darin besteht, durch die Integration fortschrittlicher Tracking- und Aufzeichnungstechnologien in Unity die Praktiken der VR-Animation zu verändern und damit die Grenzen dessen zu erweitern, was mit kostengünstigen Body-Tracking-Systemen derzeit möglich ist.

1.2 Zielsetzung

Das Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung eines Unity-VR-Animations-Tools, das die Erstellung, Bearbeitung, Speicherung und Anpassung von Animationen für bestehende, animierte, geriggte humanoide Modelle durch Hand- und Bodytracking erleichtert. Das Tool soll den Prozess der Integration dieser Animationen auf verschiedene Modelle und Skins vereinfachen, um einen effizienteren und intuitiveren Workflow bei der Erstellung von Animationen zu ermöglichen.

1.3 Aufbau der Arbeit

Diese Arbeit ist in acht Kapitel gegliedert, die sowohl die theoretischen Grundlagen als auch die praktische Umsetzung des Projekts, die empirische Untersuchung, die Evaluation und schließlich das Fazit und den Ausblick umfassen.

Kapitel 2 bietet eine Einführung in die grundlegenden Konzepte und Technologien, die für das Verständnis von Animationen in virtuellen Realitäten und die dafür verwendeten Tools notwendig sind.

¹ Unity Technologies: GameObjectRecorder, Version 2022.3, <https://docs.unity3d.com/2022.3/Documentation/ScriptReference/Animations.GameObjectRecorder.html>

Es werden die Konzepte des Animierens und Riggings in VR und Unity sowie relevanten Bodytracking- und Motion-Capture-Technologien vorgestellt.

Kapitel 3 gibt einen Überblick über den aktuellen Stand der Technik im Bereich der VR-Animationen. Hier werden spezialisierte Anwendungen und Tools vorgestellt, die zur Erstellung von VR-Animationen verwendet werden, einschließlich Unity, Unreal Engine und spezifischer VR-Animationstools. Zudem wird eine kritische Analyse der bestehenden Schwächen aktueller VR-Animationstechnologien durchgeführt.

Kapitel 4 beschreibt die Methodik der Thesis. Es wird erläutert, welche methodischen Überlegungen angestellt wurden, welche Durchführungsschritte erfolgten und wie die Aufgabenstellung technisch umgesetzt wurde. Zudem werden die Hypothesen, erwarteten Ergebnisse sowie potenzielle Risiken und Herausforderungen dargelegt.

Kapitel 5 widmet sich der Entwicklung der Anwendung „AnimVRig Version 2.0“. Es werden die Ziele und die technische Umsetzung des Prototyps beschrieben, einschließlich des Wechsels zum Oculus XR Plugin und der Integration des Unity-Movement Package. Dieses Kapitel bietet eine detaillierte Beschreibung der Benutzeroberfläche, des Interaktionsdesigns und der spezifischen Tools die entwickelt wurden, um Animationen in VR zu erstellen und zu steuern.

Kapitel 6 stellt das Studiendesign vor, das zur Evaluation des entwickelten Prototyps genutzt wurde. Es werden die verwendeten Messinstrumente im Detail beschrieben, wie der Simulator Sickness Questionnaire (SSQ), der System Usability Scale (SUS) und die Situational Awareness Rating Technique (SART) sowie das Setup der empirischen Untersuchung.

Kapitel 7 kombiniert die Auswertung, Diskussion und Evaluation der Studienergebnisse. Es wird eine detaillierte Analyse der Benutzererfahrung, der Systemleistung und der Effektivität der implementierten Lösungen vorgenommen. Die Ergebnisse werden im Kontext der bestehenden Literatur und theoretischen Überlegungen diskutiert. Diskrepanzen, Herausforderungen und unerwartete Ergebnisse werden ebenfalls adressiert und es werden die Implikationen für die Praxis sowie zukünftige Forschungen aufgezeigt.

Kapitel 8 fasst die zentralen Erkenntnisse der Arbeit zusammen und gibt einen Ausblick auf mögliche zukünftige Entwicklungen und Verbesserungen des Systems. Zudem werden Empfehlungen für die Anwendung der Ergebnisse in realen Szenarien und weiterführende Forschungsfragen vorgestellt.

2 Grundlagen

Historisch gesehen war das Animieren von Charakteren ein aufwändiges Unterfangen, das sich stark auf Frame-für-Frame-Techniken stützte, welche durch Keyframing weiterentwickelt wurden. Diese Techniken wurden in frühen computerbasierten Animationssystemen eingesetzt, die häufig zweidimensionale Systeme waren und sich an den etablierte Methoden der handgezeichneten Animation orientierten (Parent 2012, S. 111)

Mit der Einführung digitaler Technologien und Software hat sich die Zugänglichkeit und Effizienz des Animationsprozesses signifikant verbessert. Dies veranschaulicht das Projekt von Vogel aus dem Jahr 2018 (Vogel et al., S. 5). Diese Tools ermöglichen eine präzisere und benutzerfreundlichere Manipulation der Modelle und erleichtern den Animationsprozess sowohl für Anfänger als auch für erfahrene Animator*innen den Zugang erheblich. Beispielsweise zeigt die Evaluation des von Vogel entwickelten Anwendung „AnimationVR“, dass das Tool eine beschleunigte Arbeitsweise, Benutzerfreundlichkeit und verbesserte Navigation bietet, wodurch der Animationsprozess sowohl für Anfänger als auch für professionelle Anwendungen zugänglicher wird.

Ein signifikanter Fortschritt in der Animationstechnologie ist die Integration von Bodytracking-Systemen, die es ermöglichen menschliche Bewegungen direkt in Daten umzuwandeln, die für die Animation von digitalen Modellen verwendet werden können. Diese Technologie fängt die Dynamik und Komplexität realer Bewegungen ein und überträgt sie auf animierte Charaktere, wodurch realistischere und flüssigere Animationen ermöglicht werden. Dazu mehr im Kapitel „Bodytracking/Motion-Capture-Technologien“.

2.1 Animation & Rigging

Animation und Rigging sind zwei fundamentale Prozesse in der digitalen Medien- und Spieleentwicklung, die es ermöglichen, Charaktere und Objekte dynamisch zu gestalten.

Rick Parent, ein renommierter Professor für Computergrafik an der Ohio State University, definiert Animation als den Prozess durch den ein statisches 3D-Modell in einer digitalen Umgebung bewegt wird (Parent 2012, S. 2). Als Autor des Standardwerks “Computer Animation: Algorithms and Techniques“ trägt Parent maßgeblich zum Verständnis der technischen Aspekte der Animation bei. Er erläutert, dass Animation durch verschiedene Techniken erreicht werden kann, darunter künstlerische Animation (Keyframe-Animation), datengesteuerte Animation (Motion Capture) und prozedurale Animation. Bei der Keyframe-Animation werden Schlüsselpositionen entlang einer Zeitachse definiert und die Software interpoliert die Zwischenpositionen. Die datengesteuerte Animation verwendet erfasste Bewegungen, die auf grafische Objekte übertragen werden, während die prozedurale Animation durch Berechnungsmodelle gesteuert wird, die Bewegungen anhand physikalischer oder verhaltensbasierter Simulationen kontrollieren.

Der Rigging-Prozess stellt sicher, dass die Struktur eines Modells flexibel genug ist, um realistische Bewegungen zu ermöglichen, während die Animationstechniken dafür sorgen, dass diese Bewegungen flüssig und natürlich wirken. Chris Maraffi, ein erfahrener 3D-Künstler und Ausbilder im Bereich der Computergrafik, beschreibt in seinem Buch "Maya Character Creation: Modeling and Animation Controls" die wesentlichen Komponenten des Rigging-Prozesses (Maraffi 2004). Maraffi gilt als Experte auf diesem Gebiet und hat umfangreiche Erfahrung in der Charaktererstellung und dem technischen Rigging.

Er erläutert, dass Rigging die Erstellung eines Skelettsystems für ein 3D-Modell umfasst, das aus einer Hierarchie von Bones und Joints besteht (Maraffi 2004, S. 10-5). Bones dienen als Struktur, die die Form des Modells stützt, während Joints die Verbindungsstellen zwischen den Bones sind. Sie definieren wie sich die Bones relativ zueinander bewegen. Jeder Joint kann rotieren, skalieren und sich

verschieben, was die Basis für komplexe Bewegungsabläufe bildet. Zusätzlich werden Constraints eingesetzt, um bestimmte Bewegungsregeln zu implementieren und das Skinning verbindet die Bones mit der Geometrie des Modells, sodass die Verformung der Oberfläche in Abhängigkeit von den Bewegungen des Skeletts erfolgt (Maraffi 2004, S. 130-135).

Rigging und Animation sind in vielen Bereichen der digitalen Medienproduktion unerlässlich. In der Spieleentwicklung ermöglichen sie die Erstellung lebensechter Charaktere und Kreaturen, die auf die Aktionen des Spielers reagieren. In der Filmproduktion werden sie verwendet, um realistische und beeindruckende Inhalte zu erstellen, die ein hohes Maß an Immersion bieten. Auch in der Werbung und im Design finden diese Techniken Anwendung, um ansprechende und interaktive Inhalte zu schaffen (Maraffi 2004, S. 4).

2.2 Animieren innerhalb der Virtual Reality

Virtual Reality bietet eine einzigartige Plattform für die Animationsprozesse, da sie nicht nur eine immersivere Umgebung für die Betrachter schafft, sondern auch neue Werkzeuge und Methoden für Animatoren bereitstellt. Das Animieren in VR unterscheidet sich erheblich von traditionellen Methoden, indem es direkt in einem dreidimensionalen Raum stattfindet, was eine natürlichere Interaktion mit den animierten Objekten ermöglicht.

Eine der Schlüsselkomponenten beim Animieren in VR ist die Möglichkeit der direkten Interaktion. Animatoren können physisch durch den Raum navigieren und Charaktere oder Objekte direkt mit VR-Controllern oder Händen manipulieren. Dies erlaubt eine intuitivere Steuerung der Bewegung und Pose der Charaktere, da die Animatoren physisch die Bewegungen durchführen, die sie von ihren Charakteren erwarten. Diese Art der Interaktion bietet zudem sofortiges Feedback in der VR-Umgebung und führt zu einer schnelleren und effizienteren Arbeitsweise.

Laut (Vogel et al., S. 1) einem Forscherteam spezialisiert auf VR-Interaktionen ermöglicht VR den Animatoren eine direkte und intuitive Manipulation von 3D-Objekten. In ihrer Studie untersuchen sie, wie das Eintauchen in eine VR-Umgebung die Kreativität und Effizienz von Animationsprozessen steigern kann. Ihre Arbeit hebt die Bedeutung von Immersion für eine natürlichere Interaktion mit digitalen Inhalten hervor, welche für die moderne Animation entscheidend ist.

Eine der Schlüsselkomponenten beim Animieren in VR ist die Möglichkeit der direkten Interaktion. (Lamberti et al. 2020, S. 45), Experten im Bereich der virtuellen Realität und interaktiven Systeme betonen die Bedeutung von VR-Controllern und haptischen Feedback-Geräten für die Animation. Ihre Forschung zeigt, dass Animatoren physisch durch den Raum navigieren und Charaktere oder Objekte direkt manipulieren können. Dies ermöglicht eine intuitivere Steuerung der Bewegung und Pose der Charaktere und bietet sofortiges Feedback, was zu einer schnelleren und effizienteren Arbeitsweise führt.

VR-Animationen profitieren erheblich von der Integration von Motion-Capture-Technologien. (Thalmann et al. 1999, S. 146), Pioniere in der Forschung zu virtuellen Menschen und computergenerierten Animationen haben umfangreiche Arbeiten zur Verwendung von Motion Capture in VR-Umgebungen veröffentlicht. Daniel Thalmann und sein Team zeigen, wie das Erfassen realer Bewegungen und deren Übertragung auf digitale Charaktere zu realistischeren und organischeren Animationen führt. Ihre Forschung hat maßgeblich dazu beigetragen, Motion Capture als Standardwerkzeug in der VR-Animation zu etablieren.

Ein weiterer Vorteil der VR-Animation ist die Fähigkeit, Animationen leicht anpassen und skalieren zu können. (Mine 1995, S. 10) ein früher Innovator im Bereich der VR-Interfaces, diskutiert in seiner Arbeit die Vorteile der direkten Manipulation in virtuellen Umgebungen. Er hebt hervor, wie Animatoren in VR die Größe und Proportionen von Objekten interaktiv ändern können, um Details

besser zu betrachten oder die gesamte Umgebung anzupassen. Diese Flexibilität ist besonders nützlich in frühen Designphasen oder bei schnellen Iterationen, da Änderungen sofort sichtbar sind und direkt bewertet werden können.

Die Animation in VR bringt auch spezifische Herausforderungen mit sich. (LaValle 2023, S. 348–349) ein angesehener Professor und Autor des Buches "Virtual Reality" adressiert die Probleme der Präzision bei der Bewegungserfassung und die potenzielle Cybersickness durch längere Exposition gegenüber immersiven Umgebungen. LaValles Forschung konzentriert sich auf die Entwicklung ergonomischer Tools und Interfaces, um diese Herausforderungen zu meistern und das Wohlbefinden der Nutzer zu gewährleisten.

2.3 Animieren innerhalb von Unity

Unity² ist eine der führenden Plattformen für die Entwicklung von Spielen und interaktiven Medien und ist besonders bekannt für ihre robusten Animationswerkzeuge. Das Animieren innerhalb von Unity ermöglicht es Entwicklern, hochdynamische und interaktive Inhalte zu erstellen, die sowohl für Spiele als auch für virtuelle Realität und Mixed Reality (MR) Anwendungen geeignet sind. Die Plattform bietet eine umfassende Suite von Tools, die den gesamten Animationsprozess von der Erstellung bis zur Implementierung abdecken.

Der Animator ist eine zentrale Komponente in Unity, die das Management komplexer Animationen ermöglicht (siehe Abbildung 1). Er steuert, wie Charaktere und Objekte sich bewegen und reagieren, basierend auf Zuständen und Übergängen, die innerhalb des Animator Controllers definiert sind. Dieses System erlaubt es Animatoren, detaillierte Animationen zu erstellen, die auf Benutzerinteraktionen oder Spielereignissen reagieren. Der Animation Controller fungiert als eine Art Zustandsmaschine in der verschiedene Animationszustände und die Regeln für ihre Aktivierung festgelegt werden.

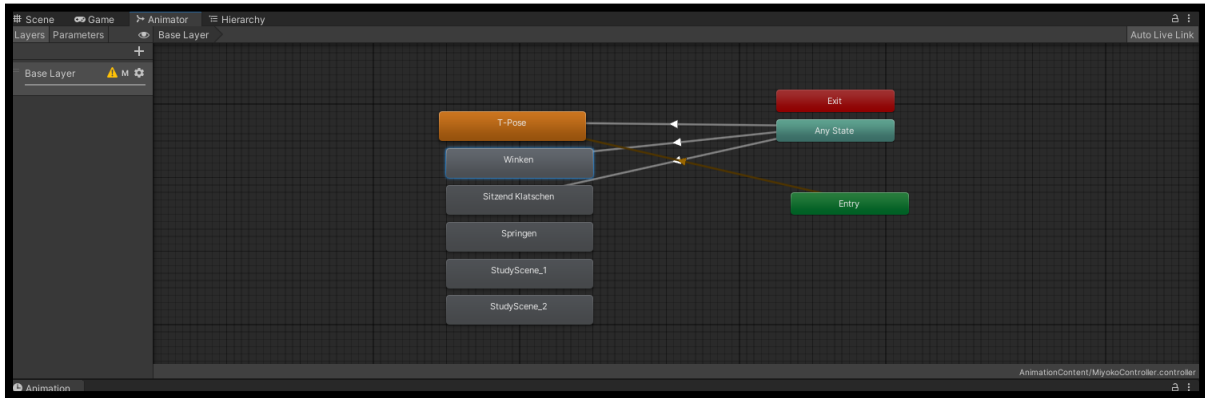


Abbildung 1: Unity's Animator Komponente

Das Animation Window in Unity hingegen ist ein mächtiges Werkzeug für die direkte Manipulation und das Keyframing von Animationen (siehe Abbildung 2). Es ermöglicht den Animatoren, Animationen Frame für Frame zu erstellen, indem sie Position, Skalierung, Rotation und andere Eigenschaften über die Zeitachse anpassen. Dies ist besonders nützlich für die Erstellung von fein abgestimmten Animationen, die spezifische Bewegungsabläufe oder Interaktionen erfordern. Das

² Unity Technologies: Unity Game Engine, <https://unity.com/>

Animation Window bietet eine intuitive Oberfläche, um Keyframes zu setzen und die Bewegungspfade von Objekten visuell zu bearbeiten.

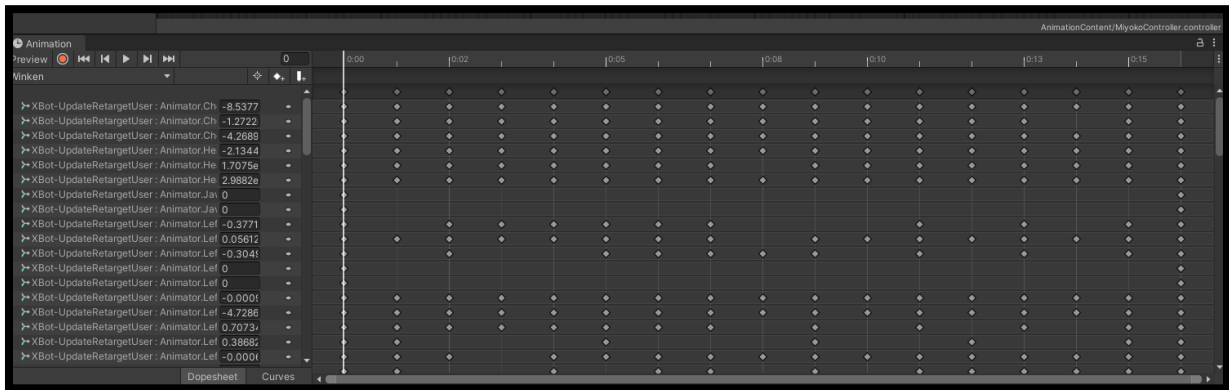


Abbildung 2: Unity's Animation Window im Editor

Unity bietet auch die Möglichkeit, Animationen durch Skripte zu steuern, was besonders wichtig ist, wenn dynamische Reaktionen oder komplexe Interaktionslogiken erforderlich sind. Durch die Verwendung von C#-Skripten können Entwickler Animationszustände per Programm ändern, Parameter anpassen und sogar Animationen in Echtzeit generieren, basierend auf dem Spielverhalten oder Benutzereingaben. Dies eröffnet ein enormes Potenzial für die Erstellung adaptiver und interaktiver Animationssysteme.

Ein weiterer Vorteil von Unity ist die nahtlose Integration von Animationen mit der Physik-Engine. Dies ermöglicht es, dass animierte Objekte und Charaktere realistisch auf physikalische Kräfte reagieren, wie z.B. Schwerkraft, Kollisionen und andere physikalische Interaktionen. Diese Integration ist entscheidend für die Erstellung von Spielen und Simulationen, in denen eine hohe Immersion und realistisches Verhalten gefordert sind.

2.3.1 Animation and Rigging Toolset in Unity (ART)

Das Animation and Rigging Toolset (ART)³ in Unity erweitert die Standardanimationswerkzeuge der Plattform und bietet Entwicklern und Animatoren erweiterte Funktionen für das Rigging und die Animation von Charakteren. Dieses Toolset ist besonders nützlich für die Erstellung komplexer Skelette und die präzise Steuerung von Charakterbewegungen.

ART ermöglicht die Entwicklung von benutzerdefinierten Rigs, die weit über einfache bipedale oder quadrupedale Modelle hinausgehen. Benutzer können individuell angepasste Skelette für Charaktere mit nicht-standardisierten Proportionen oder Bewegungsabläufen erstellen, was für die Animation von Fantasiecreaturen oder mechanischen Konstrukten ideal ist. Das Toolset integriert sowohl Inverse Kinematics (IK) als auch Forward Kinematics (FK), um eine detaillierte Kontrolle über die Charakterbewegungen zu bieten. IK hilft bei der Erstellung realistischer und kontextbezogener Bewegungen, indem es ermöglicht, dass die Position eines Gliedes die Positionierung anderer Teile des Skeletts beeinflusst. FK erlaubt die direkte Manipulation jedes Knochens. ART unterstützt das Layering und Masking von Animationen, was es erlaubt, unterschiedliche Bewegungsaspekte eines Charakters unabhängig voneinander zu animieren. Diese Funktionen sind essenziell für die Erstellung komplexer Animationen, bei denen verschiedene Aktionen gleichzeitig ohne gegenseitige Beeinflussung ablaufen sollen.

³ Unity Technologies: Animation Rigging, Version 1.3.0, <https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.animation.rigging@1.3/manual/index.html>

Die Möglichkeit, benutzerdefinierte Skripte zu integrieren, eröffnet weitere Anpassungsoptionen, indem spezifische Animationsfunktionen und -logiken implementiert werden können, die auf die Anforderungen des Spiels oder der Anwendung zugeschnitten sind.

Insgesamt bietet das Animation and Rigging Toolset in Unity eine solide Basis für die Erstellung von detaillierten und interaktiven Charakteranimationen, die für ein breites Spektrum von digitalen Projekten geeignet sind.

2.4 Bodytracking/ Motion-Capture-Technologien

Bodytracking und Motion-Capture (MoCap) sind wesentliche Technologien in der modernen Spieleentwicklung und Animation. Sie transformieren die Art und Weise, wie Charaktere animiert und wie Spielerinteraktionen in Echtzeit in digitale Welten übertragen werden. Sie dienen jedoch unterschiedlichen Zwecken und verwenden verschiedene Techniken.

Motion Capture ist eine Technologie, die häufig in der Unterhaltungsindustrie eingesetzt wird, um die Bewegungen des gesamten Körpers in Echtzeit zu erfassen und auf einen digitalen Avatar zu übertragen. Es gibt zwei Haupttypen von Motion-Capture-Systemen: Marker-basierte und markerlose Systeme. Marker-basierte Systeme erfordern das Anbringen von reflektierenden Markern am Körper des Benutzers, die dann von mehreren Infrarotkameras erfasst werden. Diese Systeme sind bekannt für ihre hohe Genauigkeit. Auf der anderen Seite bieten markerlose Systeme den Vorteil, dass keine zusätzlichen Sensoren am Körper erforderlich sind. Das macht sie in bestimmten Anwendungen flexibler. Diese Systeme haben jedoch oft Schwierigkeiten mit der Erfassung von Bewegungen bei Verdeckungen und dem Erkennen in komplexen Umgebungen (Caserman et al. 2020, S. 1–2).

Bodytracking hingegen hat eine breitere Anwendungspalette und wird nicht nur in der Unterhaltung, sondern auch in Bereichen wie Sportwissenschaft, Gesundheitsüberwachung und in interaktiven Systemen wie VR und AR verwendet. Im Gegensatz zu MoCap-Systemen, die eine aufwändige Ausrüstung erfordern, kann Bodytracking mit einfacheren und kostengünstigeren Geräten durchgeführt werden. Dazu gehören tragbare Sensoren, Smartphones oder auch herkömmliche Kameras. Die dabei verwendete Technologie ist in der Regel weniger fokussiert auf genaue Datenerfassung und eher darauf ausgerichtet, grundlegende Bewegungsinformationen zu liefern, die für die jeweilige Anwendung ausreichend sind (Cossich et al. 2023, S. 6).

2.4.1 Bodytracking mittels MoCap-Techniken

Bodytracking in virtuellen Umgebungen basiert häufig auf Motion-Capture-Techniken (MoCap), die es ermöglichen menschliche Bewegungen in Echtzeit zu erfassen und in eine virtuelle Welt zu übertragen. Das Ziel dieser Techniken ist es, das Gefühl der Präsenz und Immersion in der virtuellen Realität zu steigern, indem der Benutzer in der Lage ist, seinen Körper innerhalb der virtuellen Umgebung zu sehen und zu steuern.

Giuseppe Capece und seine Kollegen, Forscher im Bereich der VR-Technologien und natürlichen Benutzerschnittstellen, haben in ihrer Studie von 2018 umfangreiche Untersuchungen zu diesen Techniken durchgeführt. Ihre Arbeit konzentriert sich darauf wie MoCap und Natural User Interfaces (NUIs) kombiniert werden können, um immersive VR-Erfahrungen zu schaffen (Capece et al. 2018, S. 624-629).

Ein gängiger Ansatz besteht darin, den Benutzer durch ein sogenanntes Natural User Interface zu steuern, bei dem die Interaktion ohne traditionelle Eingabegeräte wie Tastaturen oder Controller erfolgt. Stattdessen wird die Bewegung des Körpers direkt genutzt, um Aktionen auszuführen. Ein Beispiel für ein NUI ist der Einsatz von Microsoft Kinect das mithilfe einer Tiefenkamera und Infrarotsensoren die

Bewegungen des Benutzers aufzeichnet. Diese Daten werden verwendet, um ein virtuelles Abbild des Benutzers in der VR-Umgebung zu steuern.

In der beschriebenen Implementierung werden Techniken wie Rigging und Skinning genutzt, um das Skelett eines 3D-Avatars mit den Bewegungen des Benutzers zu synchronisieren. Beim Rigging werden die Gelenke eines 3D-Modells definiert, während das Skinning bestimmt, wie sich die Bewegungen eines Gelenks auf benachbarte Teile des Modells auswirken. Diese Prozesse sind entscheidend um realistische Bewegungen des Avatars zu ermöglichen.

Durch die Kombination von MoCap und NUI mit VR-Technologien wie dem HTC Vive kann eine hoch immersive Erfahrung geschaffen werden. Hierbei wird die physische Bewegung des Benutzers in Echtzeit in die virtuelle Welt übertragen, sodass der Benutzer das Gefühl hat, wirklich in der virtuellen Umgebung präsent zu sein und mit ihr zu interagieren.

2.4.2 Bodytracking mittels Head Mounted Display

Head-Mounted Displays (HMDs) wie die Meta Quest 3 spielen eine entscheidende Rolle im Bereich des Body Trackings, insbesondere in Virtual-Reality-Anwendungen. Einige dieser Geräte sind in der Lage, nicht nur Head Tracking und Eye Tracking zu erfassen, sondern auch Körperbewegungen mithilfe von Full Body Tracking. Dies wird durch verschiedene Sensoren und Tracking-Methoden wie Inside-Out-Tracking ermöglicht, bei dem die Kameras des HMDs externe Bewegungen erfassen (Meta Quest 3). Dieses Ganzkörper-Tracking erweitert die Möglichkeiten für eine tiefere Immersion und interaktive Erfahrungen in virtuellen Umgebungen. Spieler können ihre natürlichen Kopf-, Körper- und Augenbewegungen nutzen, um durch VR-Szenarien zu navigieren und mit ihrer Umgebung zu interagieren. Diese Art des Bodytrackings erlaubt es Entwicklern, Spiele und VR-Erlebnisse zu kreieren, die auf die natürlichen Bewegungen der Nutzer reagieren.

Moderne HMDs wie die Meta Quest 3 integrieren eine Vielzahl von Sensoren darunter Gyroskope, Beschleunigungsmesser und Infrarotkameras, um eine präzise und responsive Erfassung der Bewegungen des Nutzers zu gewährleisten. Diese Geräte verwenden fortschrittliche Algorithmen zur Bewegungsverfolgung und -interpretation, die es ermöglichen nicht nur die Richtung des Blicks und die Orientierung des Kopfes, sondern auch die Position und die Gestik der Hände und des gesamten Körpers zu erfassen.

Die Herausforderungen bei der Implementierung von Bodytracking-Technologien in HMDs liegen vor allem in der Minimierung von Latenzzeiten, um ein nahtloses Erlebnis zu gewährleisten sowie in der präzisen Kalibrierung der Sensoren um genaue und verlässliche Daten zu liefern (Caserman et al. 2020, S. 14).

Im Vergleich zu traditionellen Motion-Capture-Systemen bieten HMDs eine kosteneffiziente und zugänglichere Lösung für das umfassende Bodytracking. Geräte wie die Meta Quest 3 machen fortschrittliches Bodytracking einer breiteren Nutzerbasis zugänglich ohne die Notwendigkeit für externe Sensoren oder spezielle Aufnahmeeinrichtungen. Dieses macht sie zu einer attraktiven Option für Entwickler und Konsumenten.

2.4.3 Bodytracking mittels extra Sensorik

In einem umfassenden Literaturreview über die Integration zusätzlicher Sensorik in Bodytracking-Systeme untersuchten (Lopez-Nava und Munoz-Melendez 2016, S. 1-2) die Möglichkeiten und Herausforderungen dieser Technologien. Sie betonen, dass die Erweiterung von Bodytracking-Systemen durch zusätzliche Sensoren wie beispielsweise Wearables eine präzisere und umfassendere Erfassung menschlicher Bewegungen ermöglicht. Diese Technologie findet breite Anwendung in

fortgeschrittenen VR- und AR-Systemen, insbesondere dort, wo eine höhere Genauigkeit erforderlich ist.

Laut den Autoren können durch die an verschiedenen Körperteilen befestigten Sensoren detaillierte Analysen der Körperhaltung und Gelenkwinkel durchgeführt werden. In der Spieleentwicklung tragen solche Systeme dazu bei, die Interaktion zu verfeinern und eine realistischere Darstellung der Spielerbewegungen zu erreichen. Darüber hinaus werden diese Technologien in der medizinischen Forschung eingesetzt, um die Bewegungsmuster von Patienten zu analysieren und rehabilitative Maßnahmen zu unterstützen. Auch im Sport bieten sie Trainern und Athleten präzise Daten, die zur Verbesserung der Leistung und zur Minimierung von Verletzungsrisiken genutzt werden können.

Die Integration zusätzlicher Sensoren erfordert nach Ansicht von Lopez-Nava und Munoz-Melendez eine robuste Datenverarbeitung und -analyse, um die gewonnenen Informationen sinnvoll nutzen zu können. Dabei stellen die großen Datenmengen, die von den Sensoren gesammelt werden, eine besondere Herausforderung dar, da sie in Echtzeit verarbeitet und interpretiert werden müssen. Zudem heben die Autoren hervor, dass eine hohe Zuverlässigkeit und Genauigkeit der Sensoren unerlässlich ist, um valide Ergebnisse zu erzielen.

2.4.4 Bodytracking ohne zusätzliche Sensorik

In ihrer umfassenden Studie über kamerabasierte Bodytracking-Systeme analysieren (Caserman et al. 2020, S. 2-7) die Möglichkeiten und Herausforderungen von Bodytracking ohne den Einsatz zusätzlicher Sensorik. Die Autoren, die Experten auf dem Gebiet der Virtual Reality und der Mensch-Computer-Interaktion sind, untersuchen Softwarelösungen, die Kamerafeeds nutzen, um menschliche Bewegungen zu erfassen. Diese Art des Bodytracking wird häufig in Anwendungen eingesetzt, bei denen keine speziellen Sensoren erforderlich sind, wie zum Beispiel in der Unterhaltungsindustrie, in einfachen Spielumgebungen oder bei interaktiven Installationen.

Die Nutzer interagieren dabei lediglich über die Kamera ihres Geräts, wie etwa bei der Verwendung von Microsoft Kinect, das häufig in der Spiele- und Unterhaltungsbranche zum Einsatz kommt. Diese Technologie ist besonders geeignet für Szenarien, in denen kostengünstige und leicht zugängliche Lösungen gefragt sind.

Caserman et al. heben hervor, dass die größte Herausforderung bei dieser Art von Bodytracking in der Abhängigkeit von den Lichtverhältnissen und der Qualität der verwendeten Kameras liegt. Zudem kann die Genauigkeit der Bewegungserfassung durch Faktoren wie Hintergrundbewegungen und Entfernung zum Kameraobjektiv beeinträchtigt werden. Um diese Probleme anzugehen, schlagen die Autoren vor, mehrere Kinect-Geräte zu nutzen und zu einem zusammenhängenden System zu kombinieren um die Qualität der Bewegungserfassung zu verbessern (Caserman et al. 2020, S. 2).

2.5 Fortschritte in der VR-Animation

Echtzeitanimationen sind ein wesentlicher Bestandteil moderner virtueller Realitäten und spielen eine entscheidende Rolle bei der Schaffung interaktiver und immersiver Anwendungserlebnisse. Die Fähigkeit, Animationen in Echtzeit zu generieren und darzustellen, ermöglicht es, direkt auf Benutzereingaben zu reagieren und dynamische Inhalte anzupassen (Vogel et al., S. 1).

Die Umsetzung von Echtzeitanimationen in VR basiert auf fortschrittlichen Grafikprozessoren (GPUs) und spezialisierten Rendering-Techniken, die in modernen Entwicklungsplattformen wie Unity

implementiert sind. Diese Plattformen bieten leistungsstarke Werkzeuge zur Erstellung und Modifikation von Animationen in Echtzeit (Capece et al. 2018, S. 626–627).

Bodytracking-Technologien in modernen VR-Systemen sind nach Caserman et al. (Caserman et al. 2020, S. 14) dabei entscheidend für die Erzeugung einer immersiven Benutzererfahrung von Echtzeitanimationen in virtuellen Umgebungen. Diese Technologien erfassen und übersetzen die physischen Bewegungen des Benutzers in Echtzeit in die virtuelle Welt, was eine direkte und intuitive Interaktion ermöglicht. Die grundlegenden Technologien hinter dem Bodytracking in VR, wie in den Grundlagen beschrieben, umfassen eine Vielzahl von Sensoren und Kameras, die die Position und Bewegungen der HMDs erfassen. Diese Daten werden durch komplexe Algorithmen verarbeitet, die darauf abzielen, die Bewegungen präzise und ohne merkliche Verzögerung in die VR zu übertragen. Eine der größten technischen Herausforderungen hierbei ist die Latenz, die zwischen der Erfassung der Bewegung und deren Umsetzung in die VR-Umgebung entsteht. Zu hohe Latenzen können das Gefühl der Präsenz beeinträchtigen und zu VR-Krankheit (Motion Sickness) führen

Ein weiteres Problem ist die Präzision der Bewegungserfassung. Nicht alle Systeme sind in der Lage, feine Bewegungen oder die vollständige Palette menschlicher Bewegungen genau zu erfassen. So ist die Quest 3 beispielsweise nur in der Lage, den Oberkörper aufzunehmen⁴. Für die Beine gibt es noch keine Implantationen. Diese werden innerhalb von Unity mittel KI-Methoden gesteuert, was im Prototypen später zu sehen sein wird. Dies kann insbesondere bei Interaktionen, die eine hohe Genauigkeit erfordern, wie das Greifen oder Manipulieren von kleinen Objekten in der VR zu Frustrationen führen. Die Verbesserung der Sensorik und die Entwicklung besserer Algorithmen zur Bewegungserkennung sind daher kontinuierliche Forschungsthemen in diesem Bereich.

Die Fähigkeit von VR-Systemen, komplexe menschliche Bewegungen zu erfassen und umzusetzen, hat weitreichende Anwendungen über Unterhaltung hinaus. In der medizinischen Ausbildung können beispielsweise chirurgische Eingriffe in einer vollständig kontrollierten und risikofreien Umgebung simuliert werden, was den Auszubildenden ermöglicht, Fähigkeiten zu entwickeln und zu verfeinern, bevor sie am lebenden Objekt angewendet werden. In der psychologischen Therapie wird Bodytracking genutzt, um Patienten durch virtuelle Szenarien zu führen, die speziell darauf ausgelegt sind, bestimmte Phobien oder Angststörungen zu behandeln (Javvaji et al. 2024).

In industriellen Anwendungen ermöglicht das Bodytracking in VR die Simulation von Arbeitsabläufen in gefährlichen oder schwer zugänglichen Umgebungen. Dies kann zur Schulung von Mitarbeitern verwendet werden, ohne sie den tatsächlichen Gefahren auszusetzen (Shringi et al. 2022, S. 1). Auch in der Architektur und im Städtebau wird VR eingesetzt, um neue Gebäude oder städtische Layouts in voller Größe zu visualisieren und zu erleben, bevor ein einziger Stein gelegt wird (Xu und Zheng 2021, S. 1).

Um die Herausforderungen des Bodytrackings in VR zu überwinden, arbeiten Forscher an verschiedenen technischen Lösungen. Dazu gehört die Kombination verschiedener Hardwarekomponenten wie Kinect, Leap Motion oder IMU-Sensoren, um natürliche Ganzkörperinteraktionen und Gestenerkennung zu ermöglichen. Diese Kombinationen zielen darauf ab, die Vorteile jeder Technologie zu nutzen und deren Nachteile zu minimieren. Zusätzlich werden Algorithmen entwickelt, die eine präzisere und schnellere Verarbeitung der Sensordaten ermöglichen, um die Genauigkeit zu verbessern und Verzögerungen zu reduzieren (Caserman et al. 2020, S. 7).

Die fortgeschrittene Integration von Bodytracking in VR ist ein dynamisches Forschungsfeld, das kontinuierlich entwickelt wird, um die Qualität und das Potenzial der virtuellen Realität zu verbessern. Durch technologische Fortschritte in diesem Bereich wird die Schnittstelle zwischen Menschen und Maschine immer schmäler, was die Türen für neue und innovative Anwendungen in einer Vielzahl von Bereichen öffnet.

3 State of the Art

In den letzten Jahren hat sich die Erfassung und Animation menschlicher Bewegung insbesondere im Bereich der virtuellen Realität rasant weiterentwickelt. Diese Fortschritte sind maßgeblich durch die Integration von Motion-Capture-Systemen, Inside-Out-Tracking, Inverser Kinematik (IK) und Echtzeit-Tracking-Algorithmen vorangetrieben worden. Sie ermöglichen es, virtuelle Avatare präzise und dynamisch zu steuern, was für Anwendungen in Spielen, Simulationen und interaktiven Trainingsumgebungen von entscheidender Bedeutung ist. Die stetige Verbesserung dieser Technologien hat dazu beigetragen, die Immersion und das Gefühl der Präsenz in virtuellen Umgebungen zu erhöhen, indem sie realistische und reaktive Körperdarstellungen ermöglichen. Einige dieser spezialisierten Anwendungen und Tools für VR-Animationen werden im Kapitel 3.1 behandelt.

(Capece et al. 2018, S. 624-625) untersuchten in ihrer Studie die wesentlichen Bestandteile moderner VR-Erfahrungen, insbesondere die Fähigkeit, die Körperbewegungen eines Nutzers in Echtzeit auf einen virtuellen Avatar zu übertragen. Giuseppe Capece und seine Kollegen, Forscher an der Universität der Basilicata im Fachbereich Mathematik, Informatik und Wirtschaft, sind auf die Entwicklung und Optimierung von VR-Systemen spezialisiert. Ihr Forschungsschwerpunkt liegt dabei auf der Echtzeit-Bewegungserkennung und der Integration kostengünstiger Bewegungsverfolgungssysteme in immersive VR-Anwendungen, die sowohl für die Forschung als auch für industrielle Anwendungen relevant sind. Sie betonen, dass diese Technologie auf der Kombination von Motion-Capture-Systemen wie Microsoft Kinect oder Inertial Measurement Units (IMUs) und fortgeschrittenen Algorithmen zur Inversen Kinematik basiert. Diese Algorithmen ermöglichen es, aus einer begrenzten Anzahl von Tracking-Datenpunkten die vollständige Körperhaltung zu rekonstruieren. Zusätzlich zu diesen Technologien heben die Autoren die Fortschritte in der Mensch-Computer-Interaktion (Human-Computer Interaction, HCI) hervor, insbesondere im Bereich der Natural User Interfaces (NUI). Diese Schnittstellen erlauben es Nutzern, durch einfache, intuitive Gesten mit virtuellen Umgebungen zu interagieren. Dadurch wird das Nutzungserlebnis weiter verbessert und es werden neue Anwendungsfelder erschlossen.

Dennoch gibt es auch bedeutende Schwächen in den bestehenden VR-Animationstechnologien, die in Kapitel 3.4 analysiert werden.

3.1 Spezialisierte Anwendungen und Tools für VR-Animationen

Die Entwicklung und das Design von VR-Anwendungen erfordern fortschrittliche Software-Tools und spezialisierte Software Development Kits (SDKs) die es Entwicklern ermöglichen, immersivere und interaktive virtuelle Umgebungen zu schaffen. Diese Tools und SDKs sind von entscheidender Bedeutung für die nahtlose Integration von Animationen, das Management von Content-Workflows und die Interaktionserfassung in VR-Erlebnissen. Sie bieten die technologische Grundlage, die benötigt wird, um die kreative Vision von VR-Designern in Realität umzusetzen und gleichzeitig eine hohe Benutzerfreundlichkeit und Performanz zu gewährleisten. In diesem Kapitel werden einige der führenden Tools und SDKs vorgestellt, die in der Branche weit verbreitet sind, um die Entstehung dynamischer und ansprechender VR-Erlebnisse zu unterstützen.

3.1.1 Unity und das Unity Animation Toolset

Unity steht mit an der Spitze dieser innovativen Werkzeuge und hat sich als eine der am häufigsten genutzten Plattformen für die Entwicklung von Spieleinhalten etabliert. Besonders in der mobilen und VR/AR-Entwicklung führend, wobei 50 % aller mobilen Spiele im Play Store und 60 % aller VR/AR-Spiele mit dieser Engine entwickelt werden (Chu 2023) (siehe Abbildung 3).

Darüber hinaus nutzen 61 % der Entwickler weltweit Unity für die Spieleentwicklung. Im zweiten Quartal 2021 wurden zudem 40 Millionen Assets über Unity heruntergeladen, was die umfangreiche Nutzung und den Einfluss der Plattform unterstreicht (Unity Technologies 2021).

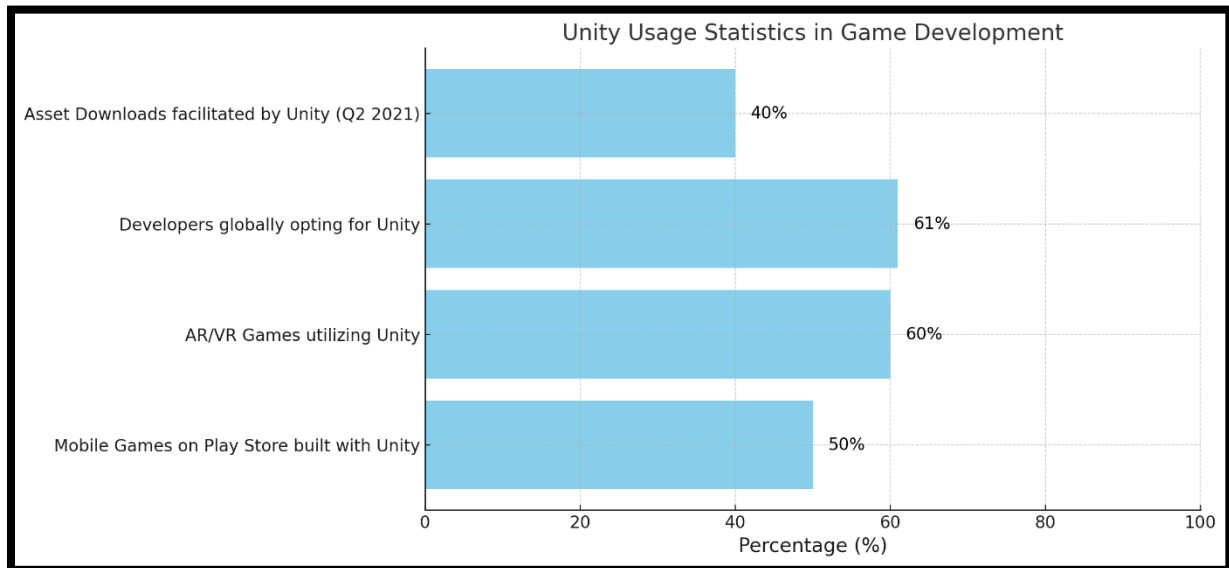


Abbildung 3: Nutzungsstatistiken für die Game-Engine Unity nach (Chu 2023) & (Unity Technologies 2021)

Dank seines umfassenden Animationstoolsets ermöglicht es Unity Entwicklern, komplexe Animationen effizient zu gestalten und zu verwalten. Dieses Toolset ist besonders vorteilhaft für die Erstellung von VR-Anwendungen, da es eine breite Palette von Funktionalitäten zur Unterstützung von sowohl Skelettanimationen als auch Keyframe-basierten Bewegungen bietet.

Unitys Fähigkeit, nahtlos mit verschiedenen VR-Hardware-Systemen zu interagieren, erlaubt Entwicklern, ihre Projekte über ein breites Spektrum von Geräten zugänglich zu machen. Dies ist entscheidend für die Erreichung einer breiten Marktdurchdringung, in der sich schnell entwickelnden Welt der virtuellen Realität. Das Unity Animation Toolset integriert auch physikbasierte Interaktionen. Dies unterstützt die Entwicklung von realistischen, dynamischen Umgebungen, in denen Nutzeraktionen direkt die Animationen und das Verhalten von Objekten innerhalb der virtuellen Welt beeinflussen können.

Durch die Bereitstellung eines robusten, benutzerfreundlichen und hochgradig anpassbaren Frameworks hat Unity die Art und Weise wie Entwickler VR-Inhalte entwerfen und implementieren grundlegend verändert und die Türen für innovative Ansätze zur Animationserstellung in virtuellen Umgebungen weit geöffnet.

3.1.2 Unreal Engine und Blueprints

Neben Unity steht die Unreal Engine⁴ von Epic Games als eine der führenden Entwicklungsplattformen für die Erstellung von VR-Inhalten. Bekannt für ihre beeindruckende Grafikqualität und das leistungsfähige visuelle Scripting-System, genannt Blueprints, bietet Unreal Engine Entwicklern eine starke Basis für die Erstellung hochwertiger VR-Erlebnisse. Damit ermöglicht Blueprints selbst Anwendern ohne tiefgehende Programmierkenntnisse, komplexe Logik für Spiele und interaktive Anwendungen zu gestalten.

⁴ Epic Games: Unreal Engine, <https://www.unrealengine.com/de>

Die Unreal Engine zeichnet sich durch ihre fortgeschrittenen Animationswerkzeuge aus, die speziell für die Anforderungen der VR-Entwicklung konzipiert sind. Eines dieser Werkzeuge ist der Sequencer, ein leistungsfähiges Tool für die Erstellung kinematografischer Animationen und visueller Effekte in Echtzeit. Der Sequencer ermöglicht es Entwicklern, komplexe Szenarien mit detaillierten Charakterinteraktionen und dynamischen Umgebungsveränderungen zu schaffen, die direkt auf Benutzeraktionen reagieren.

Ein weiterer Vorteil der Unreal Engine ist ihre ausgezeichnete Unterstützung für Motion Capture-Integration. Entwickler können Motion Capture-Daten nahtlos importieren und für die Erstellung realistischer Charakteranimationen nutzen. Dies ist besonders wichtig in VR, wo die Glaubwürdigkeit der Charakterbewegungen maßgeblich zur Immersion beiträgt. Die Fähigkeit, präzise und lebensechte Bewegungen in Echtzeit darzustellen, hebt die Qualität der Nutzererfahrung erheblich. Zusätzlich bietet die Unreal Engine robuste Unterstützung für Multi-User-Kollaboration in Echtzeit und ermöglicht den Teams, gleichzeitig an Projekten zu arbeiten und Änderungen sofort zu sehen. Diese Funktionalität ist entscheidend für die effiziente Entwicklung großer VR-Projekte, bei denen Zusammenarbeit und schnelles Feedback wichtig sind.

Durch die Kombination dieser fortgeschrittenen Tools und Funktionen unterstützt die Unreal Engine Entwickler nicht nur bei der Erstellung visuell beeindruckender VR-Erlebnisse, sondern fördert auch innovative Ansätze zur Animation und Interaktion in virtuellen Welten. Ihre umfassenden Fähigkeiten machen sie zu einer bevorzugten Wahl für Projekte, die höchste Ansprüche an Grafik und Realismus stellen.

3.1.3 Unity Movement SDK

Unity Movement⁵ von Meta ist ein stellt einen bedeutenden Fortschritt in der VR-Entwicklung dar und wurde speziell für die Oculus Quest 3 entwickelt. Es ermöglicht es, humanoide Charaktere mittels Bodytracking und generativer Animationen an den eigenen Körper anzubinden und sie in Echtzeit zu steuern. Ein herausragender Vorteil dieses SDKs ist die Nutzung des integrierten Bodytrackings der Quest 3, was zusätzliche Hardwarekosten minimiert und dennoch eine hohe Tracking-Qualität bietet.

Durch die Nutzung des in der Meta Quest 3 integrierten Bodytrackings benötigen Entwickler keine zusätzlichen teuren Sensoren. Dies senkt die Einstiegshürden für hochwertige VR-Projekte erheblich. Das SDK ermöglicht in Echtzeit die Erfassung und Übertragung von Nutzerbewegungen auf virtuelle Charaktere und Objekte. Dies führt zu einer intuitiven Steuerung und erhöht die Immersion des VR-Erlebnisses. Dank fortschrittlicher Sensorik und Algorithmen kann das SDK komplexe Bewegungsmuster effizient verarbeiten und in präzise Animationen umsetzen. Selbst subtile Gesten werden detailliert erfasst und animiert. Dieses trägt zur Authentizität und Lebendigkeit der virtuellen Welt bei.

Eine besondere Herausforderung liegt darin, dass das SDK derzeit keine integrierte Funktionalität zur Aufnahme von Charakterbewegungen bietet. Diese Lücke soll durch die Entwicklung eines Prototypen im Rahmen dieser Arbeit geschlossen werden. Dieser Prototyp wird die Aufnahme und Bearbeitung von Bewegungen ermöglichen, wodurch Entwickler in der Lage sein werden, die Bewegungen ihrer Avatare präzise zu erfassen und für ihre VR-Projekte zu nutzen.

Zusätzlich zur technischen Exzellenz bietet das Oculus Movement SDK auch umfangreiche Dokumentation und Support, die Entwicklern helfen, die Möglichkeiten des SDKs vollständig auszuschöpfen. Die Bereitstellung von Best Practices und umfangreichen Anleitungen ermöglicht es auch weniger erfahrenen Entwicklern, fortschrittliche Funktionen effektiv zu nutzen und ihre VR-Projekte schneller und mit höherer Qualität zu realisieren.

⁵ Meta: Unity Movement, <https://developers.meta.com/horizon/documentation/unity/move-overview/>

Insgesamt hat das Oculus Movement SDK das Potenzial die Art und Weise grundlegend zu verändern, wie Indie Entwickler VR-Inhalte gestalten. Anstatt teure MoCap-Anzüge zur Animationserstellung zu nutzen, reicht wohlmöglich ein HMD aus. Das SDK erweitert nicht nur die technischen Möglichkeiten der Animationserstellung in virtuellen Umgebungen, sondern fördert auch einen kreativeren und interaktiveren Ansatz in der VR-Entwicklung. Durch seine robuste Funktionalität und Benutzerfreundlichkeit setzt das Unity-Movement Package neue Maßstäbe für die Integration von Bodytracking in die virtuelle Realität.

3.1.4 AnimVRig – Version 1.0

AnimVRig⁶ wurde vom Autor als Lösung zur Erstellung und Bearbeitung von Animationen in der Unity-Umgebung entwickelt. Die erste Version (Version 1.0) stellt ein dynamisches Werkzeugset bereit, das Entwicklern und Animatoren erlaubt, Animationen effizient und intuitiv zu gestalten und zu verwalten. Es ermöglicht die selektive Animation von bestimmten Körperteilen, während andere Teile des Charakters weiterhin vordefinierte Bewegungen ausführen. Diese Version basiert auf dem Animation and Rigging Package von Unity und nutzt das XR-Interaction Toolkit, wobei sowohl im Editor als auch in einer VR-Umgebung gearbeitet werden kann.

AnimVRig Version 1.0 wurde ursprünglich im Rahmen des Kurses „Großprojekt 2“ im 3. Semester an der Hochschule für Angewandte Wissenschaften (HAW) entwickelt. Dieses Projekt steht in keinem direkten Zusammenhang mit der vorliegenden Thesis. Beide Projekte sind unabhängig voneinander entstanden, und obwohl sie den gleichen Namen tragen, sind sie funktional und strukturell unterschiedlich. Der Prototyp, der im Rahmen dieser Arbeit erstellt wurde (Version 2.0), basiert auf dem Meta-SDK und integriert das Movement SDK, während Version 1.0 auf einer anderen technologischen Grundlage beruht. Langfristig ist jedoch geplant, beide Versionen nach Abschluss der Thesis zu kombinieren. Zum jetzigen Zeitpunkt müssen sie jedoch als getrennte Projekte betrachtet werden.

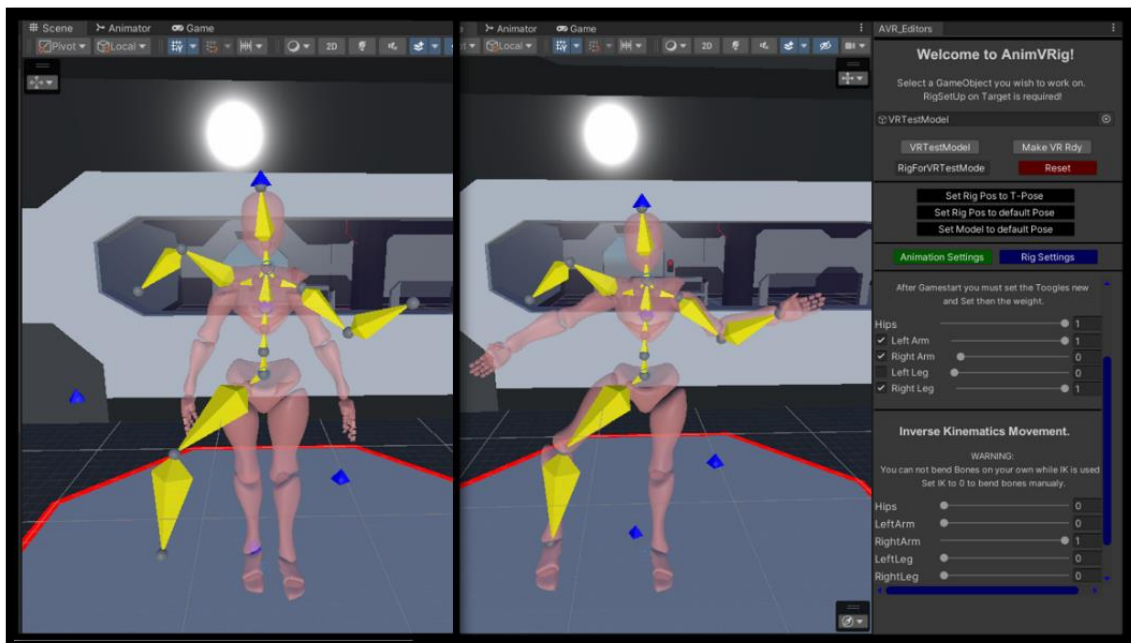


Abbildung 4: AnimVRig Version 1 – Editor Ansicht

Abbildung 4 zeigt das Editor-Fenster von AnimVRig (Version 1.0), das eine Reihe von Funktionen zur Kontrolle der Rig-Kreation und -Steuerung bietet. In der linken Hälfte der Abbildung ist ein 3D-Modell

⁶ AnimVRig 1, <https://www.gerner-portfolio.com/animvrig-1-0-1>

in seiner Ursprungsposition zu sehen, überlagert von einem gelben Rig. Auf der rechten Hälfte der Abbildung ist eine aktive Animation dargestellt, bei der sich das Modell gemäß dem erstellten Rig bewegt. Dies geschieht jedoch nur, wenn die entsprechenden Körperteile selektiert sind.

Das Tool ist so konzipiert, dass dieselben Funktionalitäten auch in VR verwendet werden können. Hierdurch können Animationen sowohl im Editor als auch in VR in Echtzeit erstellt und bearbeitet werden. Diese Editor-Funktionen sind besonders vorteilhaft innerhalb von VR-Anwendungen, da sie eine direkte Manipulation und Anpassung der Knochen eines Modells erlauben. In der VR-Variante gibt es noch weitere Anpassungen wie das UI in Abbildung 5.



Abbildung 5: AnimVRig Version 1 – VR UI

AnimVRig - Version 2.0 wird ein unabhängiger Prototyp, der im Rahmen dieser Thesis entwickelt wird. Obwohl die erste Version von AnimVRig bereits eine innovative Lösung für VR-Animationen darstellt, befindet sie sich in einem sehr frühen Entwicklungsstadium und adressiert das Animieren hauptsächlich im Unity Editor. Es sind zukünftige Updates und Erweiterungen geplant, um die Funktionalität weiter zu verbessern. Dazu gehören Funktionen wie Bodytracking und eine erweiterte Unterstützung für nicht-humanoide Charaktere, die die AnimVRig zu einem noch leistungsfähigeren Werkzeug in der VR-Entwicklung machen sollen. Letztendlich soll der in dieser Arbeit umgesetzte Prototyp „AnimVRig - Version 2.0“ mit dem bestehenden AnimVRig-Projekt kombiniert werden. Der für die Thesis entwickelte Prototyp ist jedoch vorerst unabhängig von der bereits bestehenden Lösung zu betrachten und trägt lediglich denselben Namen mit der Versionsnummer 2.0.

3.1.5 Weitere Tools

Für die Erstellung von VR-Animationen sind spezielle Tools und Software Development Kits (SDKs) unerlässlich, die speziell für die Bedürfnisse und Herausforderungen der animierten Interaktion in virtuellen Umgebungen entwickelt wurden. Diese Tools und SDKs erleichtern die nahtlose Integration von Animationen in VR-Anwendungen und bieten erweiterte Funktionen zur Steuerung und Optimierung der Benutzererfahrung. Sie tragen wesentlich zur Erweiterung der kreativen und technischen Möglichkeiten bei der Entwicklung von VR-Animationen bei. Dadurch, dass sie erweiterte Funktionen für das Rigging, die Bewegungserfassung und die realistische Bewegungskonstruktion bieten ermöglichen sie Entwicklern immersive und interaktive VR-Erlebnisse zu schaffen, die die Grenzen der virtuellen Realität weiter verschieben. Nachfolgend werden einige dieser Anwendungen aufgelistet und kurz beschrieben.

Autodesk Motion Builder

Autodesk MotionBuilder ist ein führendes Tool für die Echtzeit-3D-Charakteranimation. Es ist besonders nützlich für VR-Entwickler, die komplexe Charakterinteraktionen und natürliche Bewegungsabläufe erstellen möchten. MotionBuilder bietet fortschrittliche Funktionen zur Motion Capture-Bearbeitung und Animation, die es ermöglichen, realistische und reaktionsschnelle Charakteranimationen für VR zu entwickeln. Die Integration mit anderen Autodesk-Produkten wie Maya und 3ds Max erleichtert zudem den Workflow für VR-Entwicklungen.⁷

Blender

Blender ist eine kostenlose und Open-Source-3D-Animationssoftware, die umfangreiche Tools zur Modellierung, Rigging, Animation und Rendering bietet. Für VR-Entwickler ist Blender besonders wertvoll, da es die Erstellung von detaillierten 3D-Modellen und Animationen ermöglicht, die direkt in VR-Umgebungen importiert werden können. Blender unterstützt auch das Erstellen von VR-spezifischen Inhalten wie stereoskopischen 3D-Szenen.⁸

Mixamo

Mixamo, bietet einen automatisierte Rigging- und Animationsservice, der besonders für schnelle und effiziente Erstellung von Charakteranimationen geeignet ist. Durch seine Cloud-basierte Plattform können VR-Entwickler schnell animierte Charaktere erstellen und anpassen, ohne tief in die Komplexität des Rigging eintauchen zu müssen. Mixamo's Animationen sind sofort einsatzbereit und können leicht in VR-Projekte integriert werden.⁹

Brekel Pro Body

Brekel Pro Body ist ein Motion-Capture-Tool, das speziell dafür entwickelt wurde, Bewegungen mit Hilfe von 3D-Sensoren wie Kinect zu erfassen. Für VR-Entwickler, die realistische menschliche Interaktionen innerhalb ihrer Anwendungen simulieren möchten, bietet Brekel schnelle und präzise Datenerfassung, die direkt für VR-Animationen genutzt werden kann.¹⁰

Marvelous Designer

Marvelous Designer ist spezialisiert auf die Erstellung von 3D-stoffbasierten Animationen und ist ideal für VR-Anwendungen, bei denen realistische Kleidung und Stoffbewegungen benötigt werden. Es ermöglicht VR-Entwicklern, detaillierte und physikalisch plausible Kleidungsanimationen zu erstellen, die auf die Bewegungen der Charaktere in der virtuellen Welt reagieren.¹¹

Mocap Fusion

Mocap Fusion ist ein fortschrittliches Motion Capture (MoCap)-Tool, das speziell für VR-Anwendungen konzipiert wurde. Es ermöglicht die präzise Erfassung menschlicher Bewegungen mit einer Vielzahl von MoCap-Systemen von professionellen MoCap-Anzügen bis hin zu erschwinglicheren sensorbasierten Lösungen. MoCap Fusion ist ideal für VR-Entwickler, die komplexe Interaktionen und natürliche Bewegungsabläufe innerhalb ihrer Anwendungen realisieren möchten. Das Tool unterstützt die schnelle Übertragung von Bewegungsdaten in VR-Umgebungen, wodurch Entwickler dynamische und realistisch reagierende Charaktere erstellen können.¹²

⁷ Autodesk : Motion Builder, <https://www.autodesk.com/products/motionbuilder/>

⁸ Blender Foundation: Blender, <https://www.blender.org/>

⁹ Adobe: Mixamo, <https://www.mixamo.com/>

¹⁰ Brekel: Brekel Pro Body, <https://brekel.com>

¹¹ CLO Virtual Fashion, Marvelous Designer, <https://marvelousdesigner.com/>

¹² Mocap Fusion, Mocap Fusion [VR], <https://www.mocapfusion.com/>

Glycon3D

Glycon3D ist ein innovatives VR-Tool, das es Nutzern ermöglicht, Motion Capture in einer immersiven Umgebung direkt zu verwenden. Mit VR-Headsets ausgestattet, können Anwender ihre Bewegungen in Echtzeit aufzeichnen und sofort in 3D-Animationen umwandeln. Glycon3D ist besonders nützlich für Indie-Entwickler und kleinere Studios, die ohne den Aufwand und die Kosten für traditionelle MoCap-Systeme realistische menschliche Bewegungen erfassen möchten. Die Einfachheit und Zugänglichkeit von Glycon3D machen es zu einem wertvollen Werkzeug für schnelle Iterationen und das Prototyping von Charakteranimationen in VR-Projekten.¹³

Limitless VR Creative Environment

Limitless VR Creative Environment ist ein vielseitiges Tool für die Erstellung von VR-Erlebnissen, das dem Nutzer durch drei verschiedene Modi eine umfangreiche Kontrolle über die Gestaltung der virtuellen Welt ermöglicht. Im ersten Modus kann der Benutzer die Szene von oben betrachten, Objekte neu positionieren und Animationspfade festlegen. Triggerpunkte lassen sich setzen, um bestimmte Animationen oder Verhaltensweisen in der Szene auszulösen. Die eigentliche Animation von humanoiden Charakteren erfolgt in einem weiteren Modus mittels eines Keyframe-basierten Ansatzes während der dritte Modus das Abspielen der erstellten VR-Erfahrung ermöglicht (Sanocki et al. 2017).

AnimationVR – Interactive Controller-based Animating in Virtual Reality

AnimationVR, ein Projekt der Universität Hamburg, wurde speziell für das HTC Vive VR-System entworfen und als Plugin für die Unity Engine entwickelt. Diese Anwendung ähnelt einem Echtzeit-Puppenspiel, das es ermöglicht, spielerisch Animationen in der VR zu erstellen. Obwohl es besonders anfängerfreundlich ist, liegt der Fokus auf der schnellen Erstellung von Storyboards oder Vorvisualisierungen, wobei auf präzise Ergebnisse verzichtet wird. Die Ergebnisse sind daher für semiprofessionelle Anwendungen gedacht. Aktuell scheint das Plugin jedoch nicht öffentlich zugänglich zu sein (Vogel et al.).

AnimVR

AnimVR, entwickelt von NVRMIND ist im Oculus Store sowie auf Steam erhältlich und ermöglicht es, Objekte und Animationen in der VR zu erstellen. Objekte können direkt in der Anwendung gezeichnet und anschließend animiert werden, was sich ideal für die Erstellung von Trickfilmen, VR-Erlebnissen oder Storyboards eignet. Die Anwendung bietet verschiedene Methoden wie eine virtuelle Zeitleiste und virtuelle Kameras. Jedoch ist AnimVR nicht für das Bearbeiten von 3D-Modellen gedacht und erlaubt keine kommerzielle Nutzung der erstellten Projekte.¹⁴

Tvori

Tvori bietet umfangreiche Möglichkeiten zur Erstellung von VR-Erfahrungen einschließlich Animation, Modellierung, Prototypisierung und Design. Die Anwendung ist ausschließlich in der VR nutzbar und bietet auch Unterstützung für AR-Anwendungen. Tvori ist besonders bekannt für seine einfache Bedienung und die Möglichkeit, High-Poly-Modelle zu importieren. Kommerzielle Nutzung erfordert jedoch den Erwerb einer zusätzlichen Lizenz.¹⁵

Masterpiece Motion

MasterpieceMotion ist eine umfassende VR-Anwendung, die die Modellierung, Rigging, Texturierung und Animation ermöglicht. Die Anwendung nutzt Machine Learning-Algorithmen, um Modelle schnell zu riggen und für Animationen vorzubereiten. Obwohl sie beeindruckende Ergebnisse liefert, ist die

¹³ Glycon3D: Glycon3D, <https://www.glycon3d.com/>

¹⁴ NVRMIND, AnimVR, <https://store.steampowered.com/app/508690/AnimVR/>

¹⁵ Tvori: Tvori, <https://tvori.co/>

Software nur auf Mietbasis verfügbar, was die Kosten für Freelancer und kleinere Studios erhöhen kann.¹⁶

Move Live

Move Live von Move AI stellt eine innovative Technologie im Bereich des Echtzeit-Motion-Capturings (MoCap) dar, die ohne die Verwendung von traditionellen Markern oder speziellen Anzügen auskommt. Das System ermöglicht es, die Bewegungen einer Person in Echtzeit zu erfassen und diese in ein digitales Modell zu übertragen. Dies ist besonders für virtuelle Produktionen, Live-Events, Fernsehproduktionen und spezielle Marketingaktionen von Interesse.

Das Besondere an Move Live¹⁷ ist die Verwendung von vier bis sechs handelsüblichen Kameras, die zusammen mit einem speziellen Deep-Learning-Modell arbeiten. Dieses Modell wurde darauf trainiert, die wichtigsten Schlüsselpunkte des menschlichen Körpers aus den 2D-Bildern der Kameras zu erkennen und daraus Bewegungsdaten in 3D zu rekonstruieren. Die erfassten Daten werden durch ein lokales neuronales Netz in Echtzeit verarbeitet und mit biomechanischen sowie kinematischen Modellen ergänzt, um eine naturgetreue Darstellung der Bewegungen des menschlichen Körpers zu ermöglichen.

Das System arbeitet mit einer Latenz von weniger als 100 Millisekunden, was es besonders geeignet für Anwendungen macht, bei denen eine unmittelbare Reaktion auf die Bewegung erforderlich ist. Ein Beispiel für den Einsatz von Move Live ist das Euro 2024 Erlebnisprojekt in Nike Stores in London, Paris und Berlin, bei dem das System genutzt wurde, um interaktive und immersive Erlebnisse für die Besucher zu schaffen (Richter 2024).

Neben der kamerabasierten Version bietet Move AI auch eine iPhone-App an, die es ermöglicht, Bewegungen mehrerer Personen mit Hilfe von 2-6 iPhones zu erfassen. Diese Daten werden jedoch in der Cloud verarbeitet und bieten keine Echtzeit-Funktionalität. Die Hardware-Anforderungen für das Move Live-System sind für die Echtzeitverarbeitung der Bewegungsdaten extrem hoch. Ein typisches Setup erfordert einen leistungsstarken PC mit einem Intel i9-12900K Prozessor, 96 GB DDR4 RAM und einer Nvidia RTX A6000 Grafikkarte (Richter 2024).

Move Live repräsentiert den aktuellen Stand der Technik im markerlosen Echtzeit-Motion-Capturing für hochpräzise Anwendungen und bietet eine flexible und leistungsstarke Lösung, insbesondere in der professionellen Medienproduktion und im Event-Management. Im Vergleich zu anderen markerlosen Tracking-Systemen wie etwa dem Inside-Out-Tracking der Meta Quest 3, das primär für VR-Erlebnisse optimiert ist, fokussiert sich *Move Live* auf die exakte Erfassung und Echtzeitrekonstruktion von Ganzkörperbewegungen und macht es ideal für anspruchsvolle Produktionsumgebungen.

AmfiTrack

AmfiTrack¹⁸ ist ein hochentwickeltes markerloses Motion-Capture-System, das auf elektromagnetischer Technologie basiert und in Echtzeit Positionen und Orientierungen von Objekten in sechs Freiheitsgraden (6DOF) erfasst. Das System ist für Anwendungen in Virtual Reality, Robotik, Biomechanik und der Mensch-Maschine-Interaktion konzipiert und zeichnet sich durch seine hohe Präzision und Flexibilität aus. Ein wesentliches Merkmal von AmfiTrack ist seine Fähigkeit, Bewegungen ohne die Notwendigkeit von Sichtlinien oder Markern zu erfassen. Dieses macht es besonders für komplexe und dynamische Umgebungen geeignet.

Die Installation des Systems ist benutzerfreundlich und erfordert keine speziellen technischen Kenntnisse. Sensoren werden an den zu verfolgenden Objekten angebracht und über ein zentrales Interface gesteuert. Die Kalibrierung erfolgt durch eine intuitive Benutzeroberfläche, die es ermöglicht,

¹⁶ Masterpiece Studio, Masterpiece Motion, <https://masterpiecestudio.com/masterpiece-motion>

¹⁷ Move.ai: Move Live, <https://www.move.ai/real-time>

¹⁸ Amfitech: AmfiTrack, <https://www.amfitrack.com/>

die erfassten Bewegungsdaten in Echtzeit zu visualisieren und für verschiedene Anwendungen weiterzuverarbeiten. Dies macht AmfiTrack zu einer vielseitigen Lösung, die sowohl für Forschungszwecke als auch für industrielle Anwendungen attraktiv ist.

Ein weiterer Vorteil des Systems liegt in seinen geringen Betriebskosten und der einfachen Integration in bestehende Infrastrukturen. Dies macht es zu einer kosteneffizienten Alternative zu herkömmlichen optischen Motion-Capture-Systemen, die häufig teure Hardware und aufwendige Kalibrierungen erfordern. Die Fähigkeit von AmfiTrack, ohne Sichtlinien zu arbeiten, ermöglicht zudem den Einsatz in Umgebungen, in denen optische Systeme eingeschränkt sind.

Insgesamt stellt AmfiTrack eine moderne, zuverlässige und flexible Lösung für präzises Motion-Capturing dar, die sich durch eine breite Anwendbarkeit und einfache Handhabung auszeichnet. Durch die Nutzung elektromagnetischer Felder zur Positionsbestimmung können Bewegungen selbst in schwierigen Umgebungen genau erfasst werden. Das macht das System besonders wertvoll für Anwendungen, die hohe Präzision und Echtzeitverarbeitung erfordern.

3.2 Relevante Studien zum Live-Bodytracking in VR

Live-Bodytracking spielt eine zentrale Rolle in der Schaffung immersiver VR-Erfahrungen, indem es die Bewegungen des Nutzers in Echtzeit auf einen virtuellen Avatar überträgt. Diese Technologie hat vielfältige Anwendungen, die von der Unterhaltung über die medizinische Ausbildung bis hin zur industriellen Nutzung reichen. Verschiedene Studien haben die Herausforderungen und Fortschritte in diesem Bereich hervorgehoben.

3.2.1 Full-body Tracking in VR

Im Zusammenhang mit der Live-Körperverfolgung in der virtuellen Realität wirkt sich das Problem der begrenzten Verfolgungsdaten erheblich auf die Genauigkeit der Schätzung der Körperhaltung aus. Die Implementierung von Pose-Solvern, insbesondere in Umgebungen wie Unity, wurde erforscht, um diesen Aspekt zu verbessern. Eine bemerkenswerte Studie von Yong stellt ein robustes Netzwerk zur Posenschätzung, CoS-PVNet, vor, das die Erkennung von Merkmalen nutzt, um die Posenschätzung in komplexen Szenarien zu verbessern und damit die Einschränkungen herkömmlicher Methoden überwindet, die sich ausschließlich auf Headset- und Controller-Daten stützen (Yong et al. 2024, S. 16).

Darüber hinaus wird in der Literatur betont, wie wichtig es sei die Anzahl der Tracking-Punkte zu erhöhen. So erörtern Li et al. die Effektivität von Multiview-Kameras bei der Erkennung von 3D-Posen von eng interagierenden Menschen und weisen darauf hin, dass eine größere Anzahl von Perspektiven zu einer verbesserten Genauigkeit bei der Posenschätzung führen kann (Li et al. 2019, S. 12). Dies deckt sich mit den Ergebnissen einer anderen Studie, die die Notwendigkeit umfassender Tracking-Daten betont, um realistische Körperdarstellungen in VR-Umgebungen zu erreichen (Dai et al. 2024, S. 1).

Doch selbst mit fortschrittlichen Algorithmen bleiben Herausforderungen bei der Verwendung grundlegender Tracking-Daten bestehen. Die Grenzen einfacher Algorithmen sind offensichtlich da sie möglicherweise keine ausreichende Genauigkeit für präzise Berechnungen der Körperhaltung bieten dieses insbesondere in dynamischen Umgebungen in denen mehrere Interaktionen stattfinden. Dies unterstreicht den Bedarf an fortlaufender Forschung und Entwicklung anspruchsvollerer Algorithmen, die verschiedene Datenquellen integrieren können, um die Genauigkeit der Körperverfolgung in VR-Anwendungen zu verbessern.

3.2.2 Kostengünstiges Full-Body-Tracking-System für VR

Capece et al. entwickelten ein kostengünstiges System zur Körperverfolgung in VR das auf Microsoft Kinect und HTC Vive basiert. Ziel war es, die Immersion in VR durch die Visualisierung des gesamten Nutzers in der virtuellen Umgebung zu verbessern. Das System verwendet eine Kombination aus Motion-Capture-Technologie und einem Natural User Interface (NUI) um die Bewegungen des Nutzers in Echtzeit auf einen virtuellen Avatar zu übertragen. Die Autoren betonen, dass die Verwendung solcher Technologien nicht nur die physische Präsenz des Nutzers in der VR-Welt erhöht, sondern auch die Interaktion mit virtuellen Objekten verbessert (Capece et al. 2018, S. 630).

3.2.3 Vergleich von Keyframe-Animation und Motion Capture in VR

In einer umfassenden Untersuchung verglichen Izani et al. die Techniken der Keyframe-Animation und Motion Capture zur Erstellung von Animationen einschließlich der Anwendung im Bereich des Live-Bodytracking in VR. Die Autoren stellten fest, dass Motion Capture besonders für die Erfassung realistischer Bewegungen geeignet ist, jedoch um die Daten zu verfeinern und eine höhere Genauigkeit zu erzielen eine Nachbearbeitung durch Keyframe-Animation erforderlich macht. Dies ist besonders relevant für VR-Anwendungen bei denen die Qualität der Bewegungsdaten direkt die Immersion beeinflusst (Izani et al. 2003, S. 1–7).

3.2.4 Echtzeit-Animation menschlicher Körper mit Motion Capture

Thalmann beschäftigte sich mit der Echtzeit-Animation virtueller menschlicher Körper in VR unter Verwendung von Motion-Capture-Geräten. Sie betonen die technischen Herausforderungen, insbesondere die Notwendigkeit einer präzisen Kalibrierung der Geräte um eine realistische Darstellung der Körperbewegungen zu gewährleisten. Die Studie zeigt, dass die Genauigkeit und die zeitliche Synchronisation der erfassten Bewegungen entscheidend für die Immersion des Nutzers sind (Thalmann et al. 1999, S. 1–12).

3.2.5 Integration von Motion-Tracking in 3D-Benutzeroberflächen für VR

LaViola und seine Kollegen untersuchten die Integration von Motion-Tracking-Technologien in 3D-User-Interfaces für VR. Sie betonen, dass präzise Bewegungsverfolgung die Interaktion und Immersion in VR-Umgebungen erheblich verbessert. Durch den Einsatz von Motion Capture können Nutzer in Echtzeit mit virtuellen Objekten interagieren. Dieses steigert das Gefühl der Präsenz und die Benutzerfreundlichkeit in VR-Anwendungen deutlich (LaViola et al. 2018, S. 101–115).

3.2.6 SparsePoser: Fortschritte in der Echtzeit-Ganzkörperrekonstruktion für VR

Die SparsePoser-Studie stellt eine bedeutende Innovation im Bereich des Live-Bodytrackings in Virtual Reality dar. Das System verwendet eine Kombination aus Inertial Measurement Units (IMUs) und Kameras um Bewegungen des Nutzers in Echtzeit zu erfassen und präzise Ganzkörperbewegungen zu rekonstruieren. Besonders hervorzuheben ist die zweistufige Methodik bei der ein Convolutional Neural Network (CNN) in Kombination mit einem lernbasierten Inverse Kinematics (IK) Modell eingesetzt wird. Diese Methode reduziert nicht nur das bei längerer Nutzung auftretende Problem des Driftens, sondern ermöglicht es auch flüssige und naturgetreue Bewegungen zu erzeugen. Dieses verstärkt die Immersion des Nutzers in der virtuellen Umgebung erheblich (Ponton et al. 2024).

3.2.7 DTP: Optimierte Pose-Schätzung mit minimalen Sensordaten in VR

Das DTP-Projekt bietet einen weiteren bedeutenden Fortschritt im Echtzeit-Bodytracking durch den Einsatz eines Deep-Learning-Modells, das speziell für die Schätzung von Ganzkörperposen aus minimalen Sensordaten entwickelt wurde. Das Modell basiert auf einer Transformer-Architektur die sich durch ihre hohe Effizienz in der Verarbeitung von Bewegungssequenzen auszeichnet. Dadurch können selbst mit nur wenigen Tracking-Daten präzise und natürliche Ganzkörperbewegungen in Echtzeit rekonstruiert werden. Diese Technik stellt eine erhebliche Verbesserung gegenüber traditionellen IK-basierten Ansätzen dar, die oft zu unnatürlichen Posen führen. Die Anwendung dieser Methode ermöglicht eine höhere Immersion und ein realistisches Nutzererlebnis in VR (Zeng et al. 2024).

3.3 Selbstanimierte Avatare und Körperwahrnehmung

Selbstanimierte Avatare in VR bieten eine faszinierende Möglichkeit um die menschliche Körperwahrnehmung zu erforschen. Durch die Verwendung von Avataren, die die Bewegungen des Nutzers in Echtzeit nachbilden können Forscher untersuchen wie Veränderungen in der virtuellen Darstellung des Körpers die Selbstwahrnehmung und das Verhalten beeinflussen.

Ein bemerkenswertes Beispiel dafür ist die Arbeit von Soumya und Mohler, die sich mit der Anpassung von Avataren an die individuellen Körpermaße der Nutzer beschäftigen um die Wahrnehmung des eigenen Körpers in VR zu verbessern. Ihre Forschung zeigt, dass präzise kalibrierte Avatare die sowohl Hand- als auch Körperbewegungen korrekt darstellen das Gefühl der Körperwahrnehmung und die Interaktion mit physischen Objekten in der virtuellen Umgebung signifikant verbessern können. Diese Technologie kann nicht nur für immersive VR-Erfahrungen sondern auch für therapeutische Anwendungen genutzt werden bei denen das Körperbild des Nutzers verändert oder verbessert werden soll (Soumya und Mohler 2015, S. 1–3).

Zusätzlich kann die Möglichkeit, den Avatar in VR zu manipulieren – wie z.B. das Ändern der Körperdimensionen oder die Anpassung der Hautfarbe – genutzt werden um psychologische Effekte zu untersuchen die durch solche Veränderungen hervorgerufen werden. Diese Studien tragen zum Verständnis bei, wie die digitale Selbstrepräsentation das Verhalten und die Wahrnehmung in der realen Welt beeinflusst.

3.4 Analyse der Schwächen aktueller VR-Animationstechnologien

Im Rahmen dieses Kapitels meiner Masterarbeit wird ein besonderer Fokus auf die derzeitigen Einschränkungen und Kostenproblematiken bestehender VR-Animationslösungen gelegt. Diese Herausforderungen bieten den Anstoß für die Entwicklung und Erforschung von AnimVRig Version 2.0, einem Projekt, das darauf abzielt eine erschwinglichere und zugänglichere Alternative in der Welt der VR-Animation zu schaffen.

Aktuelle VR-Animationssysteme setzen häufig teure Hardware und spezialisierte Sensoren voraus, was die allgemeine Zugänglichkeit und Adaption solcher Technologien erheblich einschränkt. Diese hohen Kosten bilden eine signifikante Hürde, insbesondere für unabhängige Entwickler und kleinere Studios die das Potenzial von VR-Animationen nutzen möchten jedoch durch finanzielle Restriktionen limitiert sind (Menache 2011, S. 72). Zusätzlich zu den Kosten gibt es weitere bedeutende Schwächen in den bestehenden Animationstechnologien. Viele dieser Tools sind mit steilen Lernkurven für Beginner verbunden. Um ihre umfangreichen Funktionen voll ausschöpfen zu können müssen sich Anwender oft intensiv mit der Software auseinandersetzen, was Zeit und Geduld erfordert. Diese Lernkurven stellen für viele Entwickler eine erhebliche Barriere dar, insbesondere für diejenigen, die nicht über umfangreiche Erfahrung in der Animation verfügen (van Gumster 2020, S.10).

Ein weiteres Problem besteht darin, dass viele VR-Animationswerkzeuge mit einer Überfülle an Content und Funktionen ausgestattet sind. Dies führt dazu, dass Benutzer oft überfordert sind und mehr Zeit damit verbringen um sich in die Software einzuarbeiten anstatt kreative Prozesse voranzutreiben. Die Vielzahl an Funktionen die nicht immer intuitiv gestaltet sind kann den Arbeitsfluss erheblich behindern und die Effizienz verringern. Darüber hinaus müssen Ergebnisse häufig von einer Engine in eine andere importiert werden. Dieses führt oft zu Kompatibilitätsproblemen und zusätzlichen Arbeitsschritten. Dieser Prozess ist nicht nur zeitaufwendig sondern birgt auch das Risiko von Datenverlusten oder auftretenden Fehlern während des Exports und Imports. Diese Herausforderung erschwert es einen nahtlosen Workflow zu etablieren und verzögert die Entwicklungszeit erheblich. Hinzu kommt die mangelnde Benutzerfreundlichkeit vieler bestehender VR-Animationswerkzeuge. Komplexe Benutzeroberflächen und unübersichtliche Menüs können die Bedienung erschweren. Dieses ist besonders für weniger erfahrene Benutzer frustrierend. Diese Schwierigkeiten lenken von der kreativen Arbeit ab und verlangsamen den Fortschritt (LaViola, S.566).

Angesichts dieser Herausforderungen bietet das AnimVRig-Projekt einen innovativen Ansatz indem es ausschließlich auf die Verwendung der Meta Quest 3 setzt die bereits in privaten Haushalten und Entwicklungsstudios vorhanden ist. Diese Strategie zielt darauf ab um die Notwendigkeit teurer zusätzlicher Hardware zu eliminieren und somit die Kosten für die Nutzer erheblich zu reduzieren. Durch die Integration in Unity eine der am weitesten verbreiteten Plattformen für die Entwicklung von VR-Inhalten wird AnimVRig direkt in ein Ökosystem eingebettet, das von einer breiten und aktiven Entwicklergemeinschaft unterstützt wird. Diese Integration sichert nicht nur die kontinuierliche Aktualisierung und Pflege durch Community-Beiträge sondern gewährleistet auch die Kompatibilität mit bestehenden und zukünftigen VR-Projekten.

Zusätzlich zu den Kostenvorteilen wird in dieser Forschung auch die Benutzerfreundlichkeit von AnimVRig Version 2.0 adressiert. Das Tool ist darauf ausgelegt eine intuitive Bedienung zu ermöglichen was die Einarbeitungszeit verkürzen soll und Entwicklern erlauben soll sich mehr auf den kreativen Aspekt der Animation zu konzentrieren. Dies wird insbesondere durch die direkte Interaktion in der VR-Umgebung gefördert die eine unmittelbare und präzise Anpassung der Animationen ermöglicht.

Durch die Berücksichtigung genannter Schwächen zielt die 2te Version AnimVRig darauf ab ein benutzerfreundlicheres, kosteneffizientes und zugängliches Tool für VR-Animationen zu werden, welches sowohl für professionelle Entwickler als auch für Einsteiger geeignet ist.

4 Methodik

Um die Benutzerfreundlichkeit und Akzeptanz des Unity-Movement Package und des Unity Recorder Packages für VR-Animationen zu evaluieren ist es wichtig alternative Methoden zu betrachten die in verwandten Forschungsbereichen angewendet wurden. Im Folgenden werden gängige Evaluationsmethoden für VR-Animationstools untersucht und bewertet ob und warum diese für die Zielsetzung dieser Arbeit weniger geeignet sind

4.1 Methodische Überlegungen und Auswahl

In diesem Abschnitt werden verschiedene methodische Ansätze zur Evaluierung von Präzision und Tracking-Genauigkeit in virtuellen Umgebungen untersucht. Ziel ist es, die für diese Arbeit geeignete Methodik zu identifizieren und die Gründe für die Auswahl oder den Ausschluss bestimmter Methoden nachvollziehbar darzulegen. Dabei werden für die Schaffung einer fundierte Entscheidungsgrundlage sowohl technische als auch praktische Aspekte berücksichtigt.

Motion Capture (Mocap) zur Evaluierung von Präzision und Tracking-Genauigkeit

- **Methode:** Professionelle Motion Capture-Systeme wie OptiTrack, Vicon oder Xsens werden in der Forschung häufig verwendet um die Präzision und Genauigkeit von Animationen in VR zu bewerten (Nagy-máté und M. Kiss 2018). Diese Systeme nutzen Infrarotkameras und Marker die am Körper des Benutzers angebracht werden um präzise Bewegungsdaten zu erfassen. Beispielsweise kann das OptiTrack-System mit Prime 13 Kameras eine Submillimeter-Genauigkeit erreichen und wird oft in biomechanischen Studien verwendet um die Bewegungsanalyse zu unterstützen (Monica und Aleotti 2022).
- **Argumentation für den Ausschluss:** Obwohl Motion Capture-Systeme unübertroffene Präzision in der Bewegungsverfolgung bieten liegt der Schwerpunkt dieser Arbeit auf der Benutzerakzeptanz und -freundlichkeit eines kostengünstigen VR-Systems wie der Meta Quest 3. Diese Systeme haben bekanntermaßen eine geringere Tracking-Präzision Dieses wird in dieser Arbeit jedoch als akzeptierter Kompromiss gesehen um die Zugänglichkeit und Anwendbarkeit der Technologie zu bewerten. Die Verwendung eines hochpräzisen Mocap-Systems wäre daher nicht repräsentativ für das Ziel dieser Studie und würde den Fokus auf die Benutzererfahrung verfälschen.

Usability-Tests mit Vergleichsgruppen

- **Methode:** Eine weitere gängige Methode ist die Durchführung von Usability-Tests mit Vergleichsgruppen, um verschiedene Systeme oder Benutzeroberflächen miteinander zu vergleichen. Dies kann in Form von A/B-Tests oder multi-methodischen Vergleichsstudien geschehen bei denen unterschiedliche Aspekte der Tools bewertet werden (Nielsen und Landauer 1993, S. 206) .
- **Argumentation für den Ausschluss:** Vergleichsstudien sind nützlich um die relative Leistung verschiedener Systeme zu testen. In dieser Arbeit liegt der Fokus jedoch auf der detaillierten Untersuchung eines spezifischen Systems, des Unity-Movement Package in Kombination mit dem Unity Recorder Package. Ein direkter Vergleich mit anderen Systemen würde zusätzliche Variablen einführen, die die Zielsetzung, die Benutzerakzeptanz und -freundlichkeit eines spezifischen Systems zu evaluieren, verwässern könnten.

Langzeitstudien zur Nutzerakzeptanz und Lernkurvenanalyse

- **Methode:** Langzeitstudien werden verwendet, um die Entwicklung der Nutzerakzeptanz und die Lernkurve über einen längeren Zeitraum zu beobachten. Diese Studien sind besonders nützlich um festzustellen wie sich die Nutzungserfahrung und Effizienz im Laufe der Zeit entwickeln (Venkatesh und Bala 2008, S. 282).
- **Argumentation für den Ausschluss:** Langzeitstudien bieten wertvolle Einblicke in die Entwicklung der Nutzerakzeptanz, sind jedoch aufgrund des begrenzten Zeitrahmens dieser Masterarbeit nicht praktikabel. Diese Arbeit zielt darauf ab, eine Momentaufnahme der Benutzererfahrung und -akzeptanz zu liefern, weshalb Langzeitstudien weniger geeignet sind.

Die gewählte Methodik: Fokus auf Benutzerakzeptanz und -freundlichkeit

- **Methode:** Die gewählte Methodik basiert auf experimentellen Studien, in denen Benutzer spezifische Aufgaben in einer VR-Umgebung durchführen und anschließend ihre Erfahrungen durch standardisierte Fragebögen wie den System Usability Scale (SUS) (Brooke 1995), den Simulator Sickness Questionnaire (SSQ) (Kennedy et al. 1993), die Situational Awareness Rating Technique (SART) (Endsley 1995) und spezifische Feedback-Fragen bewerten.
- **Argumentation:** Diese Methodik ist besonders geeignet, da sie sowohl quantitative als auch qualitative Daten zur Benutzererfahrung liefert. Sie ist praxisnah und fokussiert auf die Aspekte, die für die Zielgruppe dieser Arbeit am relevantesten sind. Während andere Methoden wie Motion Capture oder Langzeitstudien detailliertere technische oder zeitabhängige Daten liefern könnten, würde dies den Fokus dieser Arbeit auf Benutzerakzeptanz und -freundlichkeit verfehlen.

4.2 Durchführung

Basierend auf den in Abschnitt 4.1 dargelegten methodischen Überlegungen und der Zielsetzung dieser Arbeit ist es essenziell die Benutzerakzeptanz und -freundlichkeit des erweiterten Unity-Movement Package in Kombination mit dem Unity Recorder Package empirisch zu untersuchen. Eine **empirische Studie** ermöglicht es direkte Einblicke in die praktische Anwendung der Technologie zu gewinnen und deren Auswirkungen auf die Erstellung von VR-Animationen aus Anwendersicht zu analysieren. Durch die Sammlung von quantitativen und qualitativen Daten können fundierte Aussagen über die Stärken und Schwächen des Systems getroffen werden.

Die Entscheidung für eine empirische Studie ergibt sich aus der Notwendigkeit, nicht nur theoretische Annahmen zu prüfen, sondern auch reale Nutzererfahrungen zu erfassen. Dies ist besonders wichtig da VR-Animationstools häufig komplex sind und ihre Akzeptanz stark von der Benutzerfreundlichkeit abhängt. Eine solche Studie trägt dazu bei die tatsächliche Nutzbarkeit und den Mehrwert des Systems für die Anwender zu bewerten.

Um die verschiedenen Aspekte des Systems umfassend zu testen, wurde die Studie in **drei spezifische Szenarien** unterteilt. Jedes Szenario wurde sorgfältig konzipiert um unterschiedliche Funktionen und Herausforderungen des Systems zu adressieren und somit ein ganzheitliches Bild der Benutzererfahrung zu erhalten.

Die drei Szenarien der Studie des Prototypen sind wie folgt konzipiert:

- **Szenario 1 - Einführung in den entwickelten Prototypen und grundlegende Funktionen von AnimVRig – Version 2.0:**
In diesem ersten Szenario werden die Teilnehmer in den entwickelten Prototypen eingeführt. Hierbei liegt der Schwerpunkt auf den grundlegenden Funktionen von AnimVRig – Version 2.0.

Ziel ist es den Benutzer mit der Benutzeroberfläche und den Steuerungsmechanismen vertraut zu machen. Ein besonderes Augenmerk liegt dabei auf der Einführung in das Konzept der Animationsschichtungen (LayerMask-UI-Menü). Die Teilnehmer lernen wie diese Schichtungen zur Laufzeit das Zielmodell beeinflussen können indem sie bestimmen, ob Bewegungen dem Benutzer oder dem Modell folgen sollen. Diese Einführung legt die Grundlage für die nachfolgenden Szenarien in denen diese Konzepte praktisch angewendet werden.

- **Szenario 2 - Anpassung und Aufnahme einer sitzenden Klatsch-Animation:**

Im zweiten Szenario steht die Modifikation einer vorgegebenen Animation im Vordergrund. Die Teilnehmer sollen eine sitzende Klatsch-Animation die sich im Rohzustand befindet in eine stehende Animation umwandeln. Dies wird erreicht, indem die Beine als einzige aktive Bindings eingestellt werden, sodass sich die stehende Animation an die Position des Spielers anpasst, während der Oberkörper weiterhin der ursprünglichen sitzenden Klatsch-Animation folgt. Diese Anpassung modifiziert die ursprüngliche Animation auf intuitive Weise. Abschließend sollen die Teilnehmer die modifizierte Animation aufnehmen und abspielen um die Funktionalität von AnimVRig weiter zu erproben.

- **Szenario 3 - Aufnahme einer Sprung-Animation unter Nutzung des Root Motion-Konzepts:**

Im dritten Szenario wird das Konzept von Root Motion eingeführt und thematisiert. Die Teilnehmer sollen eine Sprung-Animation erstellen ohne physisch springen zu müssen. Um sicherzustellen, dass die Sprung-Animation korrekt abläuft wird hierbei das Konzept der Root Motion angewendet. Die Teilnehmer setzen die Hände als einzige aktive Bindings ein um die Sprung-Animation durch Armbewegungen in der Luft zu modifizieren. Nach der erfolgreichen Modifikation soll die Animation aufgenommen werden um die Integration der Bewegungen in das Gesamtsystem zu testen.

Zur Bewertung der Benutzererfahrung und Systemleistung werden folgende aus Kapitel 4.1 ausgewählte Fragebögen eingesetzt:

- **System Usability Scale (SUS):** Ein standardisierter Fragebogen, der dazu dient die Gebrauchstauglichkeit des Systems zu erfassen.
- **Situational Awareness Rating Technique (SART):** Dieser Fragebogen bewertet, wie gut die Teilnehmer in der Lage sind das Geschehen innerhalb der VR-Umgebung zu erfassen und zu verstehen.
- **Simulation Sickness Questionnaire:** Ein spezieller Fragebogen zur Erfassung von Symptomen der Bewegungskrankheit die in VR-Anwendungen auftreten können.
- **Spezifische Feedback-Fragen:** Zusätzlich zu den standardisierten Fragebögen werden spezifische Fragen gestellt um zu bewerten wie natürlich und intuitiv die Teilnehmer die Bearbeitung von Animationen empfanden; insbesondere wenn gewisse Gliedmaßen eigenständigen Animationen folgen.

Um ein umfassendes Bild der Systemperformance und der Benutzererfahrung zu erhalten werden die gesammelten Daten mittels quantitativer und qualitativer Analysemethoden ausgewertet. Diese Analyse wird Aufschluss darüber geben wie gut das entwickelte System die Bedürfnisse der Anwender erfüllt und welche Aspekte weiter verbessert werden können.

4.3 Detaillierte Beschreibung der Aufgabenstellung

In diesem Kapitel wird die zentrale Aufgabenstellung der Masterarbeit definiert. Es wird erläutert welche Ziele verfolgt werden und welche spezifischen Aufgaben erfüllt werden müssen um diese Ziele zu erreichen. Die Relevanz und Bedeutung der Forschung werden hervorgehoben um den wissenschaftlichen und praktischen Beitrag dieser Arbeit darzustellen.

4.3.1 Technische Spezifikationen

Die Masterarbeit konzentriert sich auf die Entwicklung einer innovativen Erweiterung für Unity, das erweiterte Animations- und Rigging-Tools bereitstellt. Die folgenden technischen Spezifikationen sind entscheidend:

- Integration des Unity Recorder und Unity-Movement Package:
- Entwicklung von Funktionen zur Echtzeit-Aufnahme von Animationen für das Movement SDK.
- Implementierung der Möglichkeit Animationen dynamisch anzupassen und abzurufen.
- Sicherstellung der Kompatibilität und nahtlosen Integration mit bestehenden Unity-Tools.
- Benutzerinterface (UI): Gestaltung eines intuitiven und benutzerfreundlichen Interfaces für VR.
- Entwicklung von Steuerungsmechanismen zur einfachen Manipulation von Animationen.

4.3.2 Ziele und Zwischenziele

Um die übergeordneten Ziele der Masterarbeit zu erreichen werden folgende Ziele (Z) und Meilensteine (M) definiert:

Erster Prototyp:

- Z1: Entwicklung und Testen von grundlegenden Funktionen des Plugins.
- M1: Erstellung eines ersten Prototypen zur Demonstration der Funktionalitäten.

Zweiter Prototyp:

- Z2: Entwicklung und Testen von implementierten Funktionen zum Aufnehmen von Animationen.
- M2: Erstellung der zweiten Variante des Prototypen zur Demonstration der Funktionalitäten.

Empirische Studien:

- Z3: Durchführung von Nutzerstudien zur Bewertung der Benutzerfreundlichkeit und Effizienz der Erweiterung.
- Z3: Einsatz von Szenarien und standardisierten Fragebögen (z.B. System Usability Scale, Motion Sickness Questionnaire).
- M3: Sammlung von Feedback und Verbesserungsvorschlägen von Anwendern durch einen Evaluationsfragebogen.

Qualitative und quantitative Analyse:

- Z4: Erhebung und Analyse von Daten zur Bewertung der Systemleistung und Benutzererfahrung.
- M4: Auswertung der gewonnenen Daten in SPSS.
- Z5: Anwendung von statistischen Methoden zur Überprüfung der Hypothesen.

4.4 Hypothesen

Die zentrale Fragestellung dieser Arbeit ist, ob die Entwicklung einer Unity-Erweiterung die Erstellung, Bearbeitung, Speicherung und Anpassung von Animationen für bestehende, animierte, geriggte

humanoide Modelle durch Hand- und Bodytracking in der virtuellen Realität erleichtert und den Animationsprozess effizienter gestaltet.

Zum Zeitpunkt der Arbeit existiert keine vergleichbare, kostengünstige Lösung, die die angestrebten Funktionalitäten dieses Projekts bietet. Es gibt keine direkte Alternative, die eine ähnliche Kombination aus VR-basierter Steuerung und direkter Integration in Unity ermöglicht und dabei ausschließlich ein Head-Mounted Display (HMD) als Tracking-Hardware verwendet, ohne zusätzliche externe Geräte oder Software zur Unterstützung des Entwicklers zu benötigen. Daher wird in dieser Arbeit keine bestehende Technologie als Vergleichsbasis herangezogen. Vielmehr wird untersucht, ob dieses neu entwickelte System für sich genommen eine effiziente und benutzerfreundliche Lösung darstellt.

H0 (Nullhypothese): Die Integration von Echtzeit-Bodytracking und Animationserfassung in VR hat keinen signifikanten Einfluss auf die Benutzerfreundlichkeit und Effizienz bei der Erstellung von Animationen.

H1 (Hypothese): Die Integration von Echtzeit-Bodytracking und Animationserfassung in VR ermöglicht eine signifikante Steigerung der Benutzerfreundlichkeit und Effizienz bei der Erstellung von Animationen.

Erläuterung der Hypothesen:

Diese Hypothesen basieren auf der Annahme, dass die VR-gestützte, immersive Steuerung der Animationserstellung Vorteile gegenüber herkömmlichen, oft komplexen und weniger intuitiven Ansätzen bietet. Es wird untersucht, inwieweit die direkte Interaktion mit digitalen Modellen in Echtzeit eine intuitivere Bedienung und schnellere Anpassung von Animationen ermöglicht, ohne dass zusätzliche Hardware oder Software erforderlich ist.

Um die Benutzerfreundlichkeit und Effizienz des Systems zu bewerten, werden standardisierte Methoden wie der System Usability Scale (SUS) für die Messung der Benutzerfreundlichkeit und der Simulator Sickness Questionnaire (SSQ) für die Erfassung von Auswirkungen auf den Nutzer eingesetzt. Zusätzlich dient der SART (Situational Awareness Rating Technique) dazu, die situative Wahrnehmung und die Effizienz des Tools zu erfassen. Ein eigens entwickelter Evaluationsfragebogen ergänzt diese Messmethoden, um detailliertes Feedback der Nutzer zu spezifischen Funktionen und der allgemeinen Bedienbarkeit des Tools zu erhalten. Hohe SUS-Werte und niedrige SSQ-Werte sprechen dabei für eine benutzerfreundliche und effiziente Lösung.

4.5 Erwartete Ergebnisse

Die erwarteten Ergebnisse dieser Masterarbeit sind:

Verbesserte Benutzerfreundlichkeit und Effizienz:

- Das Plugin ermöglicht eine intuitive und effiziente Erstellung und Anpassung von Animationen in VR.
- Nutzer können Animationen in Echtzeit aufnehmen und dynamisch anpassen, was die Interaktivität und Immersion erhöht.

Technologische Innovation:

- Das Plugin stellt eine innovative Lösung für die VR-Animation dar, die sich durch die Integration von Bodytracking und fortschrittlichen Aufnahmetechniken auszeichnet.
- Die Ergebnisse dieser Arbeit bieten eine Grundlage für zukünftige Entwicklungen in der VR-Animationstechnologie.

4.6 Risiken und Herausforderungen

Während der Projektdurchführung können folgende Risiken und Herausforderungen auftreten:

Technische Schwierigkeiten:

- Probleme bei der Echtzeit-Erfassung und -Verarbeitung von Bewegungsdaten.
- Herausforderungen bei der Integration verschiedener Technologien und Tools.

Benutzerakzeptanz:

- Schwierigkeiten bei der Gestaltung eines benutzerfreundlichen Interfaces das den Bedürfnissen der Anwender gerecht wird.
- Unterschiedliche Erfahrungsniveaus der Nutzer können die Akzeptanz und Nutzung des Plugins beeinflussen.

Performance-Probleme:

- Latenzzeiten und Performance-Probleme können die Benutzererfahrung negativ beeinflussen.

5 Entwicklung der Anwendung – AnimVRig Version 2.0

In diesem Kapitel wird die Entwicklung und Umsetzung des Prototypen von AnimVRig Version 2.0 detailliert beschrieben. Dieser Prototyp stellt eine signifikante Weiterentwicklung gegenüber der ersten Version dar, mit einer spezifischen Ausrichtung auf die Nutzung in der Unity-Engine und dem Meta Quest 3 Headset. AnimVRig Version 2.0 wurde primär als ein Entwicklerwerkzeug konzipiert, das sowohl die Flexibilität als auch die Leistungsfähigkeit von Virtual Reality (VR) für den Bereich der Animationen erweitert.

Die Entwicklung dieser Version erfolgte unter Berücksichtigung modernster Technologien im Bereich der VR-Interaktion. Im Gegensatz zur ersten Version, die auf dem XR Interaction Toolkit basierte, wurde in Version 2.0 das Oculus XR Plugin verwendet. Diese Änderung war notwendig, da das Meta Movement SDK, ein zentrales Element dieser Version, nur mit dem Oculus XR Plugin kompatibel ist.

5.1 Zielsetzung und Anwendungsbereich

Das Hauptziel von AnimVRig Version 2.0 besteht darin, Entwicklern ein leistungsfähiges und benutzerfreundliches Werkzeug zur Verfügung zu stellen, das speziell für die Erstellung und Bearbeitung von Animationen in einer VR-Umgebung konzipiert ist. Es zielt darauf ab, den Prozess der Animationserstellung in VR zu vereinfachen und zu beschleunigen.

AnimVRig Version 2.0 wurde mit der Universal Render Pipeline (URP) entwickelt, die für ihre Flexibilität und Leistungsfähigkeit bekannt ist. Diese Pipeline ermöglicht es, visuell beeindruckende Ergebnisse zu erzielen, während sie gleichzeitig die Performance auf verschiedenen Geräten optimiert. Obwohl der Prototyp auf URP basiert, wurde darauf geachtet, dass er auch mit anderen Render Pipelines kompatibel ist, um eine größtmögliche Flexibilität für die Entwickler zu gewährleisten.

5.2 Wechsel vom XR Interaction Toolkit zum Oculus XR Plugin

Die Entscheidung, vom XR Interaction Toolkit auf das Oculus XR Plugin umzusteigen, wurde maßgeblich durch die Anforderungen des Meta Movement SDK beeinflusst. Das XR Interaction Toolkit, das in der ersten Version von AnimVRig verwendet wurde, bietet eine umfassende Unterstützung für verschiedene VR-Geräte und -Plattformen. Allerdings brachte es auch Einschränkungen mit sich, insbesondere in Bezug auf die Kompatibilität mit dem Meta Movement SDK. Dieses SDK ist speziell für die Interaktion mit dem Meta Quest 3 optimiert und bietet fortschrittliche Funktionen für die Bewegungssteuerung und Hand-Tracking.

Durch die Integration des Oculus XR Plugins konnte AnimVRig Version 2.0 von den spezifischen Vorteilen des Meta Movement SDK profitieren. Dieses SDK ermöglicht eine präzisere und intuitivere Bewegungssteuerung in d

er VR, was besonders bei komplexen Animationsaufgaben von Vorteil ist. Zudem unterstützt das Oculus XR Plugin die direkte Anbindung an die Oculus-Plattform, was die Performance und Stabilität der Anwendung auf dem Meta Quest 3 weiter verbessert.

5.3 Integration des Meta Movement SDK und des Meta Interaction SDK

Das Meta Movement SDK bildet das Rückgrat der Bewegungssteuerung in AnimVRig Version 2.0. Es bietet fortschrittliche Algorithmen für Hand-Tracking und Bewegungssteuerung, die es dem Nutzer ermöglichen, natürliche und intuitive Interaktionen in der VR umzusetzen. In Kombination mit dem Meta Interaction SDK, das für die Implementierung komplexer

wird dann auf dieses Modell angewendet, anstatt auf den Benutzer selbst. Wenn der Button "Mirror" erneut gedrückt wird, wird die Spiegelungsfunktion deaktiviert und die Aufnahme wirkt wieder direkt auf den Benutzer.

5.5 Bindings-Menü und selektive Steuerung

Das Bindings-Menü in AnimVRig Version 2.0 stellt eine zentrale Funktionalität dar, die es Entwicklern ermöglicht, gezielt einzelne Teile eines Modells zu steuern und zu animieren (siehe Abbildung 7). Dieses Feature ist besonders nützlich, wenn komplexe Animationen erstellt werden sollen, bei denen unterschiedliche Körperteile unabhängig voneinander agieren müssen. Das Bindings-Menü wird über den vierten Button im Hauptmenü aufgerufen und bietet dem Nutzer eine intuitive und visuelle Darstellung des Modells in Form eines humanoiden Rigs.

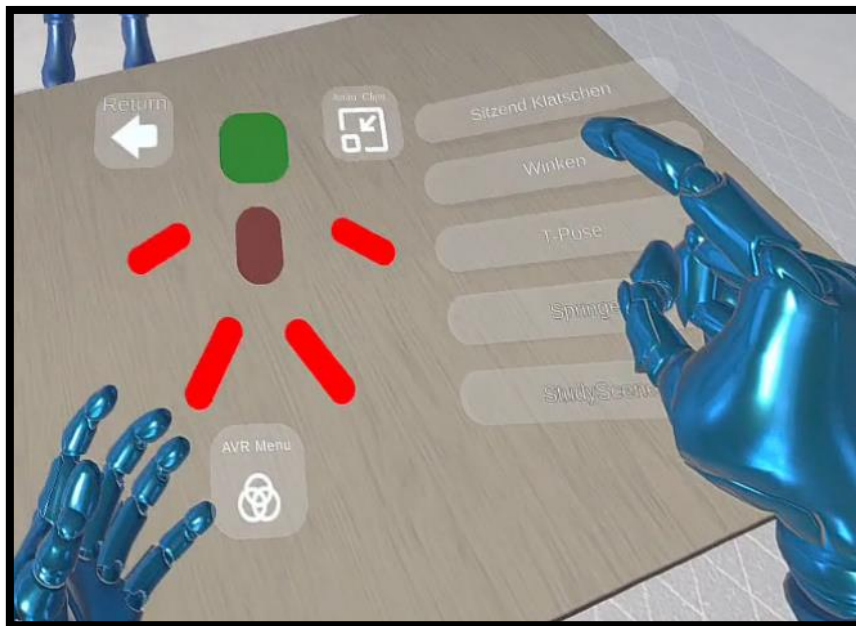


Abbildung 7: AnimVRig Bindings-Menü

Das Bindings-Menü zeigt eine vereinfachte Silhouette des Modells, bestehend aus sechs Hauptknotenpunkten: Kopf, Arme, Beine und Rumpf. Jeder dieser Knotenpunkte ist mit einem interaktiven Button versehen, der es dem Nutzer ermöglicht, diesen spezifischen Bereich des Modells zu selektieren und zu kontrollieren. Wenn beispielsweise die Arme selektiert werden, werden nur die Bewegungen und Animationen der Arme durch die Eingaben des Nutzers beeinflusst, während der Rest des Körpers in seiner aktuellen Position und Bewegung verharrt. Diese selektive Steuerung ist besonders nützlich, wenn nur bestimmte Teile des Modells animiert werden sollen, während andere Teile entweder statisch bleiben oder von einer vorgefertigten Animation gesteuert werden.

Ein Beispiel für die Nutzung dieser Funktionalität ist die Erstellung von Schichtanimationen. Schichtanimationen ermöglichen es, mehrere Animationsschichten übereinander zu legen und dabei jede Schicht unabhängig voneinander zu steuern. Der Nutzer könnte beispielsweise eine Grundanimation für das gesamte Modell erstellen, wie einen einfachen Walk Cycle und anschließend separate Animationen für die Arme hinzufügen, um Bewegungen, wie das Winken oder Halten eines Gegenstandes, zu integrieren. Durch die selektive Steuerung bleibt die Basisanimation erhalten, während spezifische Bewegungen hinzugefügt oder modifiziert werden können.

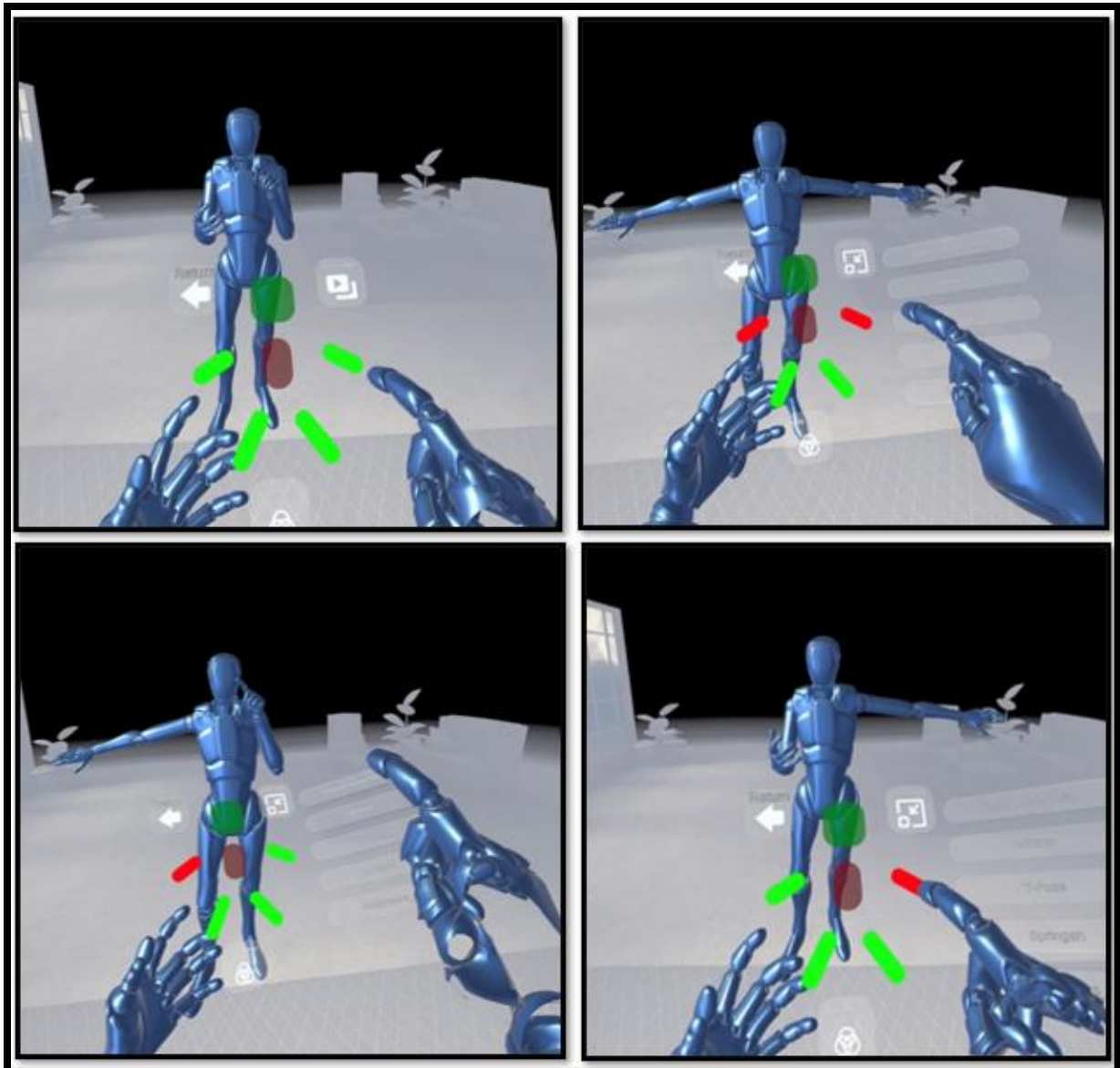


Abbildung 8: Beispiel Nutzung von Schichtanimationen anhand der „T-Pose“-Animation.

In Abbildung 8 wird die Funktionsweise von Schichtanimationen anhand eines Avatars dargestellt, bei dem verschiedene Körperteile unabhängig voneinander aktiviert oder deaktiviert werden können. Die T-Pose dient dabei als neutrale Ausgangsposition. In dieser Standardpose steht der Avatar aufrecht, die Beine sind parallel zueinander positioniert und die Arme horizontal ausgestreckt, sodass sie mit dem Körper die Form eines "T" bilden. Der gesamte Körper befindet sich in einem statischen, neutralen Zustand. Diese Pose wird oft genutzt, um den Avatar für Animationen vorzubereiten, dient aber selbst nicht als Animation.

Im oberen rechten Bild ist die T-Pose klar erkennbar, da die Arme inaktiv (rot markiert) sind und in der typischen, ausgestreckten Position verweilen. Der Rest des Körpers, insbesondere die Beine, folgt den Eingaben des Bodytrackings des Spielers, was durch die grüne Markierung an den Beinen angezeigt wird.

Oben links zeigt ein vollständig aktives Modell, bei dem alle Körperteile (grün markiert) den Bewegungen des Spielers folgen. Unten links ist der linke Arm deaktiviert (rot markiert), während der

restliche Körper, einschließlich der Beine, weiterhin den Bodytracking-Eingaben folgt. Im unteren rechten Bild ist der rechte Arm inaktiv, während alle anderen Körperteile aktiv bleiben.

Diese Abbildung verdeutlicht, wie durch Schichtanimationen bestimmte Körperteile in ihrer neutralen T-Pose verbleiben können, während andere Körperteile den Echtzeit-Bewegungen des Spielers über das Bodytracking folgen. Dies ermöglicht eine flexible Steuerung der Animation, ohne die Basisbewegung der übrigen Gliedmaßen zu beeinflussen.

In Abbildung 9 wird, im Gegensatz zur T-Pose aus Abbildung 8, eine Winkanimation als Basis verwendet. Diese Animation wird in den verschiedenen Bildern unterschiedlich kombiniert, um zu zeigen, wie durch Schichtanimationen bestimmte Körperteile aktiviert oder deaktiviert werden können, während andere weiterhin der Bewegung des Spielers folgen.

Im oberen linken Bild sind alle Körperteile aktiviert (grün markiert), was bedeutet, dass der gesamte Avatar der Winkanimation folgt. Der rechte Arm hebt sich in der Winkbewegung, während der restliche Körper ebenfalls aktiv den Bewegungen des Spielers folgt.

Im oberen rechten Bild hingegen ist der rechte Arm inaktiv (rot markiert), während der restliche Körper, einschließlich des linken Arms und der Beine, weiterhin den Bodytracking-Eingaben des Spielers folgt (grün markiert). Dies ermöglicht es, die Winkbewegung des linken Arms klar zu erkennen, da der rechte Arm in seiner starren Position verbleibt.

Im unteren Bild ist die Winkanimation in ihrem Rohzustand zu sehen, da alle Körperteile inaktiv sind (rot markiert). Dadurch bleibt der Avatar statisch und zeigt ausschließlich die vorgegebene Winkbewegung, ohne Einfluss durch das Bodytracking des Spielers. Dies veranschaulicht den Zustand der Animation, wenn keine anderen Körperteile aktiv sind.

Diese Abbildung demonstriert, wie die Winkanimation als Basis verwendet wird, und verdeutlicht, wie durch Schichtanimationen bestimmte Körperteile unabhängig voneinander gesteuert werden können, um entweder der Animation oder den Eingaben des Spielers zu folgen.

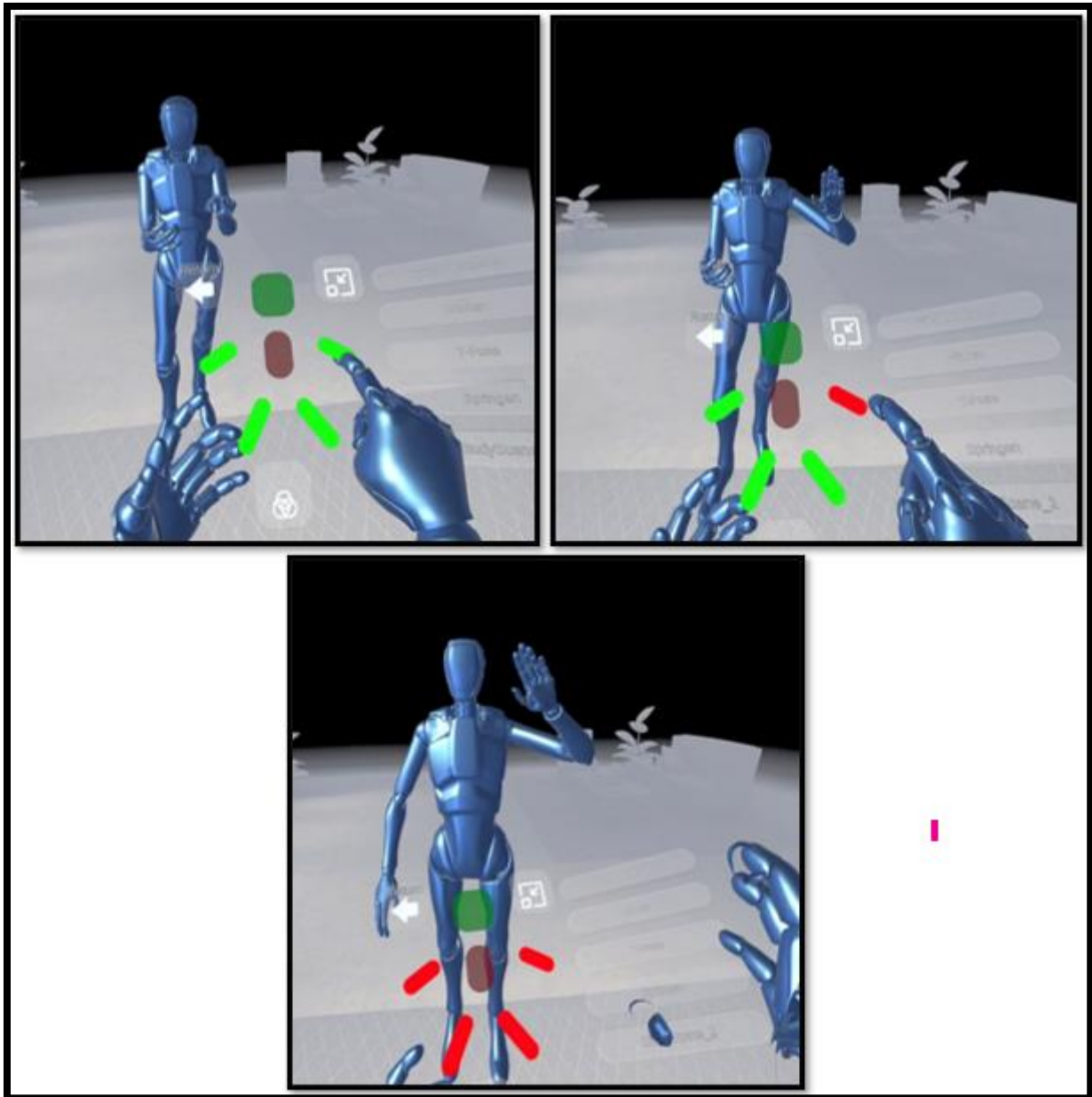


Abbildung 9: Beispiel Nutzung von Schichtanimationen anhand der „Winken“-Animation.

Die Steuerung der Körperteile erfolgt durch die Anwendung von Constraints, die über das Bindings-Menü aktiviert werden. Diese Constraints legen fest, welche Teile des Modells von den Animationen beeinflusst werden und welche nicht. Wenn der Kopf des Modells selektiert wird, wird beispielsweise ein entsprechender Layer-Constraint auf den Animator angewendet, der dafür sorgt, dass alle anderen Körperteile von der Animation ausgeschlossen sind. Dies ermöglicht eine präzise Kontrolle über die Bewegungen des Modells.

Der Nutzen dieser Funktionalität zeigt sich insbesondere in der Möglichkeit, Animationsabläufe in Echtzeit anzupassen und zu testen. Entwickler können verschiedene Teile des Modells selektieren und deren Verhalten unabhängig voneinander modifizieren, ohne die gesamte Animation neu erstellen zu müssen. Dies spart nicht nur Zeit, sondern ermöglicht es auch komplexe Bewegungsabläufe effizient und flexibel zu gestalten.

In Abbildung 10 lässt sich die Ansicht und Zuweisung des Unity Editors zu den einzelnen Bindings dieses Projektes veranschaulichen. In der gezeigten Abbildung wird das Konzept von Avatar Masks und Layern in Unity veranschaulicht, die in der Animation verwendet werden, um spezifische Teile eines Modells zu steuern. Diese Technik ermöglicht es, Animationen auf bestimmte Körperteile anzuwenden, während andere Bereiche des Avatars unbeeinflusst bleiben.

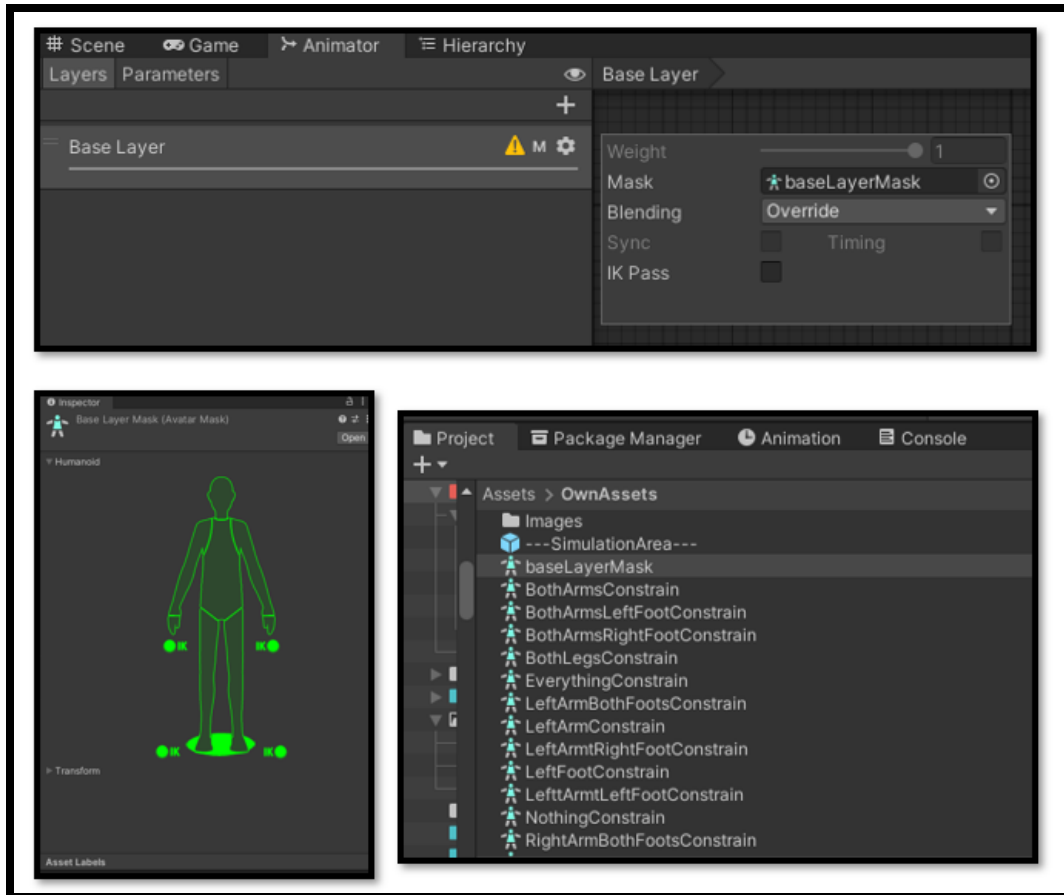


Abbildung 10: Unity Editor Layermask Zuweisungen

Das obere Bild zeigt das Interface des Base Layers in Unity, in dem die Basisanimationen des Avatars festgelegt werden. Hier ist der BaseLayerMask aktiviert, was bedeutet, dass diese Maske bestimmt, welche Körperteile von den Animationen beeinflusst werden. Der Benutzer kann hier den Modus „Override“ auswählen, um festzulegen, dass die Animation im Base Layer andere Animationen überschreibt.

Im linken unteren Bild wird im Inspector eine Avatar Mask angezeigt. Die grünen Bereiche auf der Figur stellen die aktiven Körperteile dar, auf die die Animation angewendet wird. In diesem Fall sind die Arme und Füße aktiviert, was bedeutet, dass diese Körperteile animiert werden, während der Rest des Körpers statisch bleibt.

Das rechte untere Bild zeigt das Projektfenster mit verschiedenen gespeicherten Constrains (Beschränkungen), die auf den Avatar angewendet werden können. Diese Constrains definieren spezifische Kombinationen von aktivierten und deaktivierten Körperteilen, wie etwa „BothArmsConstrain“, „LeftArmConstrain“ oder „BothLegsConstrain“. Diese Masken bieten eine flexible Möglichkeit, die Animationen gezielt auf bestimmte Körperbereiche zu beschränken.

Insgesamt verdeutlicht die Abbildung, wie Schichtanimationen in Unity durch Avatar Masks und Layer strukturiert werden können, um präzise Steuerungen der Animationen zu ermöglichen. So können verschiedene Animationsbereiche unabhängig voneinander angepasst und gesteuert werden.

5.6 Aufnahme und Speichern von Animationen

Die zentrale Funktionalität der Animationserstellung in AnimVRig Version 2.0 wird durch den fünften Button im Hauptmenü gesteuert, der die Aufnahme von Animationen startet und stoppt. Diese Funktion ist durch ein intuitives UI gekennzeichnet, das einen Countdown von fünf Sekunden anzeigt, bevor die Aufnahme beginnt. Während der Aufnahme werden alle Bewegungen des Nutzers aufgezeichnet, einschließlich der Position, Rotation und Skalierung des Modells. Diese Bewegungen werden dann in einer neuen Animation gespeichert.

Ein wichtiges technisches Detail bei der Aufnahme von Animationen in Unity ist, dass der Speichervorgang auf dem Hauptthread erfolgt und nicht ausgelagert werden kann. Dies führt unweigerlich zu einem kurzen Einfrieren des Nutzers in der VR. Um diese Einschränkung zu umgehen und die Benutzererfahrung nicht zu beeinträchtigen, wurde ein spezielles visuelles Interface entwickelt. Während des Speichervorgangs werden zwei schwarze Balken von oben und unten eingeblendet, die den Sichtbereich des Nutzers abdecken. Dieser Effekt simuliert das sanfte Schließen der Augen und verdeckt den kurzen Freeze. Sobald die Speicherung abgeschlossen ist, öffnen sich die Balken wieder und der Nutzer kann nahtlos weiterarbeiten, ohne dass der Freeze spürbar war.

5.7 Verwaltung von Animationen

Neben der Aufnahme bietet AnimVRig Version 2.0 umfangreiche Funktionen zur Verwaltung und Bearbeitung von Animationen. Der sechste Button im Hauptmenü öffnet das Animationsfenster, in dem der Nutzer eine Übersicht über alle verfügbaren Animationen erhält. Jede Animation wird durch einen interaktiven Button repräsentiert, der durch einfaches Drücken das Abspielen der entsprechenden Animation startet.

AnimVRig unterscheidet zwischen verschiedenen Typen von Animationen: solche, die durch den Unity Animator gesteuert werden und Animationen, die auf Transform-Daten basieren und durch den GameObject Recorder erzeugt wurden. Diese Unterscheidung ist wichtig, da sie es ermöglicht, unterschiedliche Animationstypen für verschiedene Anwendungsfälle zu verwenden.

Das Animationsfenster ist so konzipiert, dass es dem Nutzer eine maximale Kontrolle über seine Animationen bietet. Der Nutzer kann Animationen abspielen, pausieren, stoppen und in Echtzeit bearbeiten, um die gewünschten Ergebnisse zu erzielen.

5.8 Transformer-Werkzeug

Das Transformer-Werkzeug, das über den siebten Button im Hauptmenü aufgerufen wird, bietet erweiterte Möglichkeiten zur Manipulation des Modells im 3D-Raum. Es umfasst zwei interaktive Sphären, die in der linken und rechten Hand des Nutzers erscheinen (siehe Abbildung 11). Die Sphäre in der linken Hand ermöglicht das Verschieben des Modells im Raum, während die Sphäre in der rechten Hand für die Rotation des Modells verantwortlich ist. Skalierungsfunktionen wurden in dieser Version bewusst ausgeschlossen, um die Bedienung zu vereinfachen und eine präzisere Steuerung zu ermöglichen.

An der linken Sphäre befinden sich zwei zusätzliche Buttons: Einer führt zurück zum Hauptmenü, während der andere, mit „Anchor“ beschriftet, das Modell auf einen festgelegten Punkt zurücksetzt.

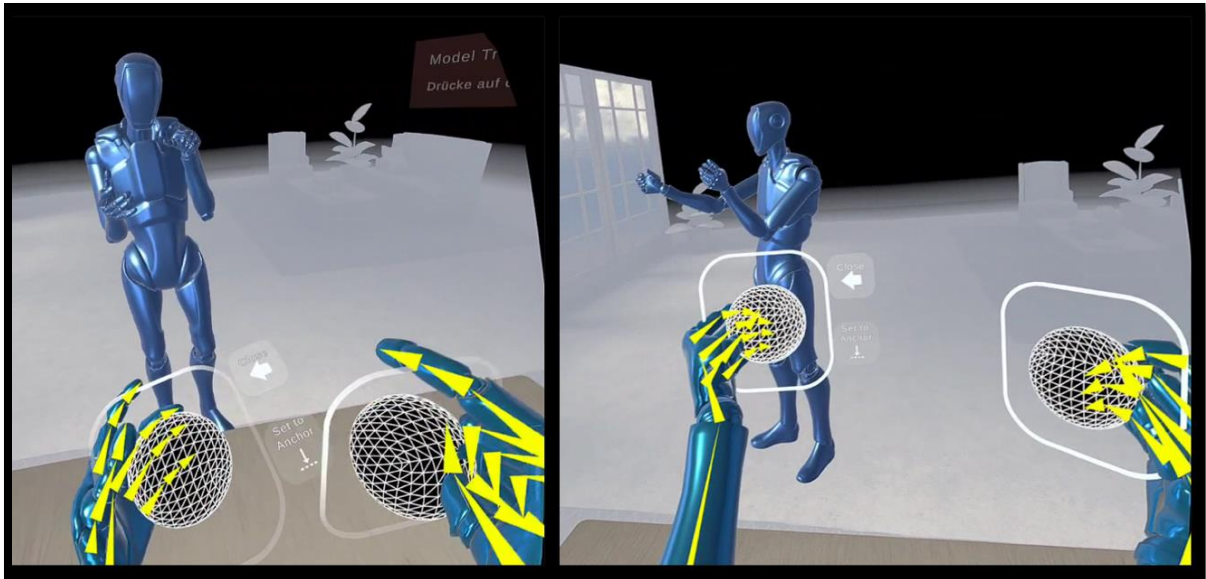


Abbildung 11: AnimVRig Transformer-Werkzeug

5.9 Modell- und Variantenwechsel

Eine der besonders herausragenden Funktionen von AnimVRig Version 2.0 ist die Möglichkeit, Modelle und deren Varianten direkt während der Unity-Laufzeit zu wechseln. Diese Funktion bietet Entwicklern ein hohes Maß an Flexibilität, da sie es ermöglicht, ohne Unterbrechung verschiedene Modelle oder Varianten in einer aktiven Szene auszuprobieren und zu testen.

5.9.1 Wechseln von Modellen zur Laufzeit

Über den achten Button im Hauptmenü kann der Nutzer eine Auswahl an vordefinierten Modellen aufrufen, die im Unity-Editor vorbereitet wurden. Durch einen einfachen Klick auf das gewünschte Modell wird dieses sofort in der laufenden Szene aktiviert (siehe Abbildung 12). Dies erlaubt es, verschiedene Charaktere, Objekte oder andere 3D-Modelle direkt in derselben Umgebung zu testen und zu vergleichen. Diese Funktion ist besonders nützlich in Entwicklungsprozessen, bei denen häufig zwischen unterschiedlichen Modellen gewechselt werden muss, um deren Verhalten oder Interaktion in der VR-Umgebung zu überprüfen.

Der nahtlose Wechsel zwischen Modellen bietet nicht nur praktische Vorteile bei der Entwicklung, sondern auch bei Präsentationen oder Testszenarien. Entwickler können verschiedene Modelle in einer einzigen Sitzung durchgehen und dabei sofortige Rückmeldungen zu deren Darstellung und Funktionalität in der VR erhalten, ohne die Anwendung neu starten zu müssen.

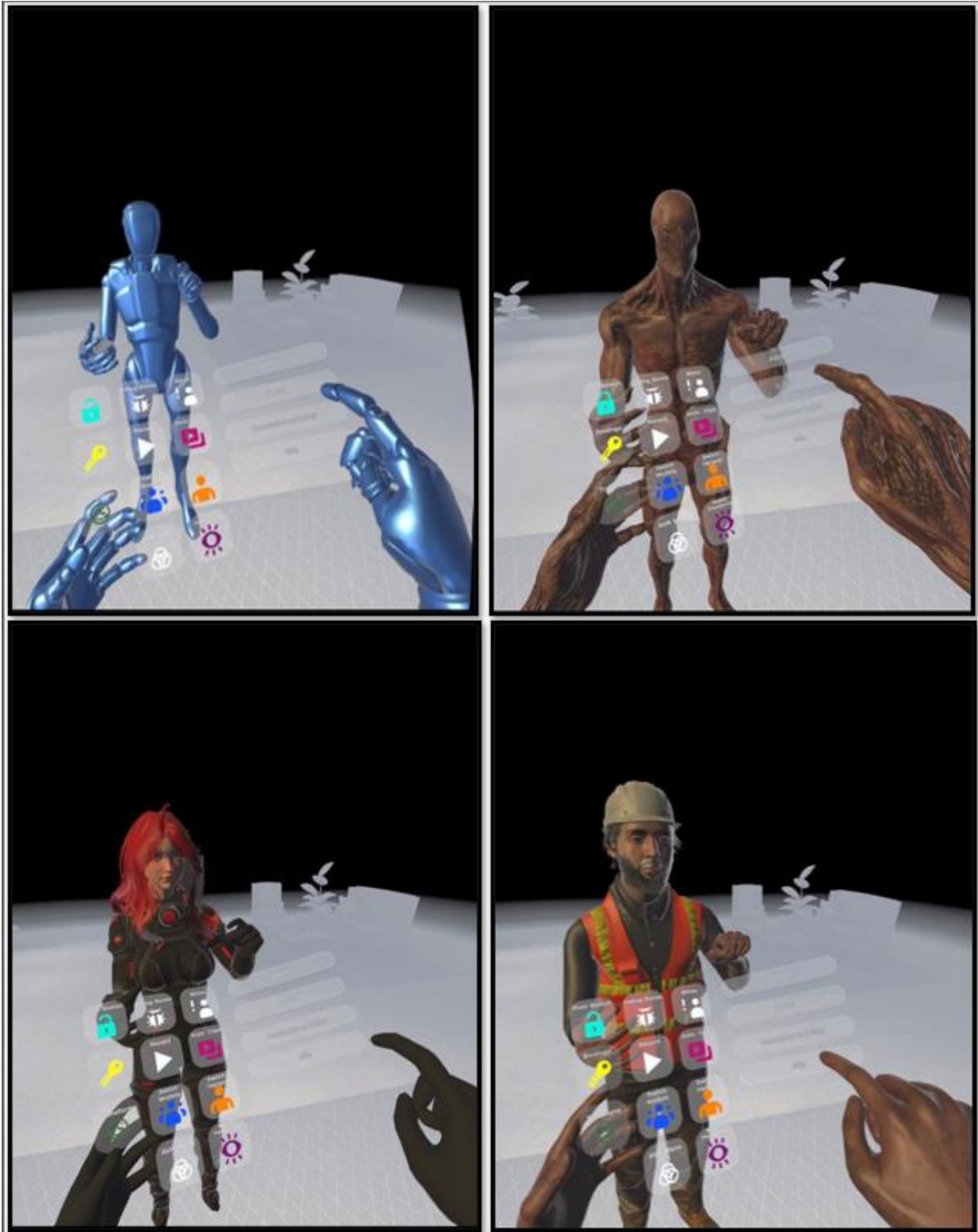


Abbildung 12: Alle vier Modelle des Prototyps: oben links den X-Bot, oben rechts den Alien, unten links Mia und unten rechts den Bauarbeiter.

5.9.2 Wechseln von Varianten zur Laufzeit

Zusätzlich zum Wechsel des gesamten Modells ermöglicht der neunte Button im Hauptmenü den Wechsel zwischen verschiedenen Varianten eines Modells. Varianten beziehen sich auf unterschiedliche Versionen desselben Modells, die sich durch Anpassungen, wie unterschiedliche Materialien, Accessoires, unterscheiden können. Diese Funktion ist besonders nützlich, wenn verschiedene

Erscheinungsformen eines Charakters oder Objekts getestet werden sollen, ohne das zugrunde liegende Modell zu ändern.

Das UI für den Variantenwechsel ist ähnlich aufgebaut wie das UI für den Modellwechsel und bietet eine Auswahl an vorbereiteten Varianten, die direkt zur Laufzeit angewendet werden können (siehe Abbildung 13). Technisch gesehen wird die Variante durch das dynamische Laden der entsprechenden Ressourcen und das Aktualisieren des aktuellen Modells realisiert. Dies geschieht so nahtlos, dass der Nutzer sofort das Ergebnis ohne Verzögerungen oder Ladezeiten sehen kann.

Ein praktisches Beispiel für die Nutzung dieser Funktion ist die Anpassung eines Charakters in einem Spiel, bei dem der Spieler zwischen verschiedenen Outfits oder Ausrüstungen wählen kann. Der Variantenwechsel ermöglicht es, diese Änderungen in Echtzeit vorzunehmen, was nicht nur die Flexibilität erhöht, sondern auch die Entwicklungs- und Testzeiten verkürzt.

Der Modell- und Variantenwechsel zur Laufzeit stellt somit eine wesentliche Erweiterung der Funktionalität von AnimVRig Version 2.0 dar, die die Flexibilität und Effizienz bei der Entwicklung und Präsentation von VR-Inhalten erheblich verbessert. Diese Funktion ermöglichen es Entwicklern, dynamisch und intuitiv mit Modellen zu arbeiten und verschiedene Versionen eines Modells in Echtzeit zu testen und anzupassen.



Abbildung 13: Auswahl der grünen X-Bot Variante im "Switch Variant" Menü.

5.9.3 Passthrough / Mixedreality Feature

Der letzte Button, der sich rechts neben dem AVR-Menü-Button befindet, ermöglicht es, zwischen der virtuellen Welt der Testumgebung und der Mixed Reality zu wechseln (siehe Abbildung 14). Aktuell ist diese Funktion jedoch instabil, da das Passthrough über das Oculus Link-Kabel genutzt wird. Passthrough ist für Standalone-Anwendungen konzipiert und bei der Nutzung über Oculus Link können Nutzer gelegentlich Verzerrungen erleben. Aus diesem Grund hat diese Funktionalität derzeit eine untergeordnete Priorität.

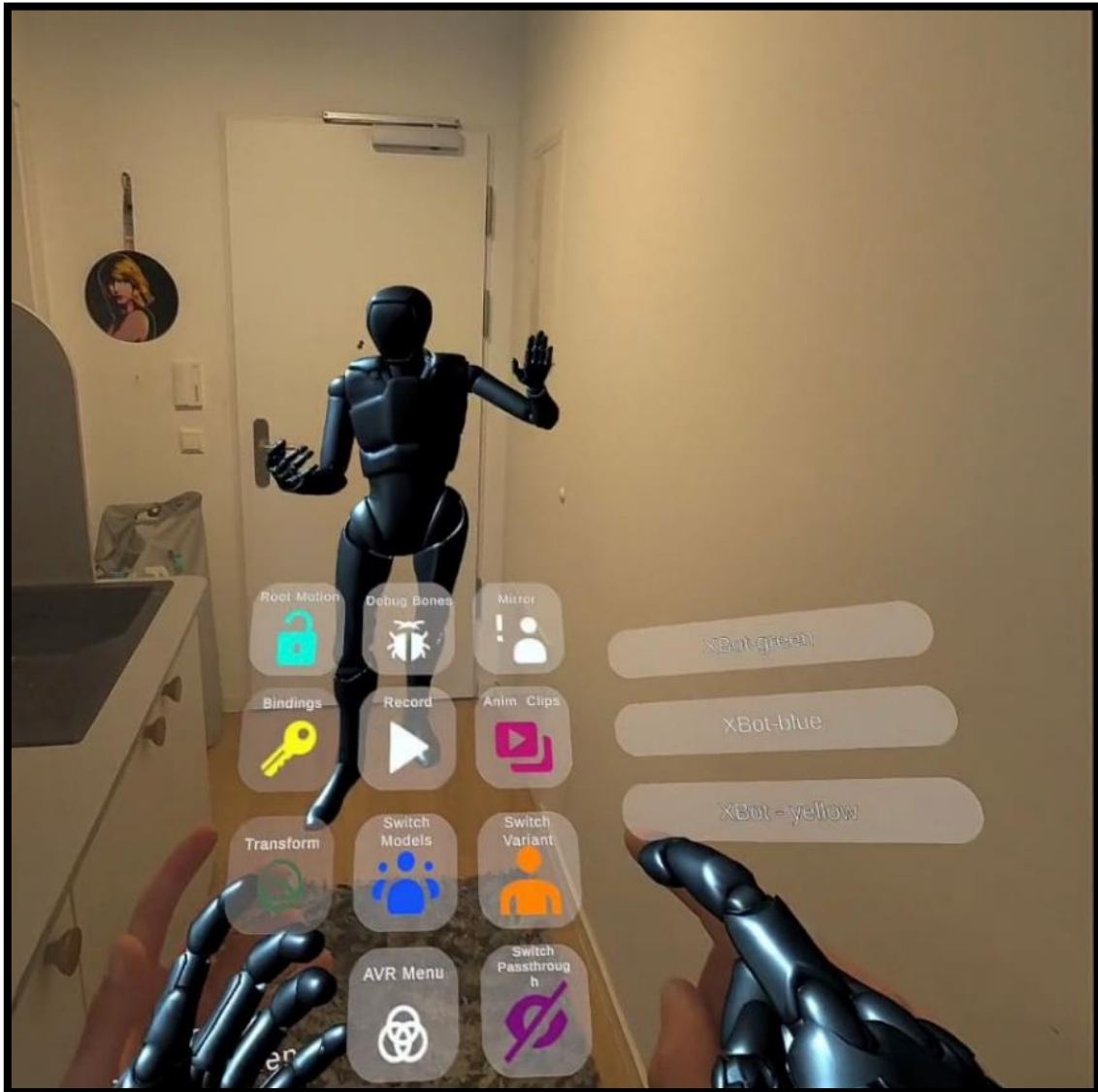


Abbildung 14: Das X-Bot-Modell wird im Passthrough-Modus samt AnimVRig UI dargestellt.

6 Studiendesign

Das Studiendesign für die Evaluation des Prototyps **AnimVRig 2.0** wurde gezielt entwickelt, um die zentralen Funktionen des Systems zu testen und zu validieren. Die Studie verfolgt zwei primäre Ziele: die Überprüfung der **Benutzerfreundlichkeit** und der **Effizienz** des Tools sowie die Analyse potenzieller physischer Belastungen und des Situationsbewusstseins der Nutzer während der Verwendung der VR-Technologie. Durch ein strukturiertes Design, das in drei aufeinander aufbauende Szenarien unterteilt ist, soll eine schrittweise Einführung der Probanden in die Funktionalitäten von AnimVRig 2.0 erfolgen. Jedes Szenario wurde so entwickelt, dass es verschiedene Kernfunktionen abdeckt.

Die Zielsetzung der Arbeit, die sich darauf konzentriert, die Anwendung von Echtzeit-Bodytracking und Animationserstellung in VR zu verbessern, spiegelt sich im Aufbau des Studiendesigns wider. Die grundlegende Hypothese lautet, dass die Implementierung dieser Technologien die Effizienz und Benutzerfreundlichkeit in der Animationserstellung signifikant erhöht. Zudem soll untersucht werden, inwieweit das System für verschiedene Nutzergruppen (Anfänger und Fortgeschrittene Entwickler) zugänglich ist und ob physische Belastungen durch die VR-Nutzung auftreten.

6.1 Studienablauf

Eine der besonders herausragenden Funktionen von AnimVRig Version 2.0 ist die Möglichkeit, Modelle und deren Varianten direkt während der Unity-Laufzeit zu wechseln. Diese Funktion bietet Entwicklern ein hohes Maß an Flexibilität, da sie es ermöglicht, ohne Unterbrechung verschiedene Modelle oder Varianten in einer aktiven Szene auszuprobieren und zu testen.

Szene 1: Einführung in die Grundfunktionen von AnimVRig 2.0 (9 Aufgaben)

In der ersten Szene werden die Teilnehmer in die grundlegenden Funktionen von AnimVRig eingeführt. Die Aufgaben umfassen:

1. **Einführung in AVR:** Pinche und drücke anschließend auf den AVR-Button.
2. **Spiegel Modell aktivieren:** Drücke auf den Mirror-Button.
3. **Schau dir die Debug Option an:** Drücke auf den Debug-Button.
4. **Model Transformer:** Drücke auf den Transform-Button.
5. **Anchor Button zum Zurücksetzen der Position:** Drücke auf den Anchor-Button.
6. **Wechsel deine Modell Variante:** Drücke auf den Switch Variant-Button.
7. **Grün, Blau oder Gelb?:** Wechsle die Modellvariante.
8. **Was sind Bindings?:** Drücke auf den Bindings-Button.
9. **Spiele eine Animation mit Bindings ab:** Drücke auf den Anim Clip-Button und spiele eine Animation ab.

Diese Aufgaben dienen dazu, sich mit der Benutzeroberfläche des Systems vertraut zu machen.

Szene 2: Modifikation einer Animation (6 Aufgaben)

Im zweiten Szenario wird die Fähigkeit der Teilnehmer getestet, eine vorgegebene Animation zu modifizieren:

1. **Wechsel dein Modell:** Drücke auf den Switch Models-Button und wechsle dein Modell.
2. **Kontrolle über die Füße:** Setze unter Bindings beide Füße auf aktiv und übernehme die Kontrolle.
3. **Aufnahme einer neuen Animation:** Drücke auf den Record-Button und nimm eine stehende Klatsch-Animation auf.
4. **Stoppe die Aufnahme:** Drücke erneut auf den Record-Button, um die Aufnahme zu stoppen.
5. **Meine erste eigene Animation:** Spiele deine neu erstellte Animation "StudyScene_1" ab.

In dieser Szene wird insbesondere die Nutzung der Bindings-Funktion zur Steuerung spezifischer Körperteile vertieft.

Szene 3: Sprung und Root Motion (5 Aufgaben)

Die dritte Szene führt das Konzept der Root Motion ein:

1. **Spring!:** Spiele die Sprung-Animation ab.
2. **Root Motion?!:** Drücke auf den Root Motion-Button.
3. **Aktivierte Arme! Deaktivierte Beine.:** Setze nur deine Arme unter Bindings auf aktiv.
4. **Nimm eine neue Sprung-Animation auf:** Drücke auf Record und nimm eine Animation auf. Stoppe, sobald du fertig bist.
5. **Spiele "StudyScene_2" ab:** Spiele die neu aufgenommene Sprung-Animation ab.

Diese Aufgaben testen die Fähigkeit der Teilnehmer, komplexe Bewegungsabläufe zu erstellen und anzupassen.

Fragebögen nach Abschluss der Studie

Nach Abschluss der VR-Szenen werden die Teilnehmer gebeten, folgende Fragebögen auszufüllen:

- **System Usability Scale (SUS):** Ein standardisierter Fragebogen, der die Benutzerfreundlichkeit des Systems bewertet (siehe Anhang).
- **Simulator Sickness Questionnaire (SSQ):** Dieser Fragebogen erfasst Symptome der Bewegungskrankheit, die in VR-Anwendungen auftreten können (siehe Anhang).
- **Situational Awareness Rating Technique (SART):** Bewertet das Bewusstsein der Teilnehmer für die VR-Umgebung und deren Verständnis der Geschehnisse innerhalb dieser Umgebung (siehe Anhang, Kapitel).
- **AnimVRig Evaluationsfragebogen:** Diese Fragen zielen darauf ab, das subjektive Empfinden der Teilnehmer hinsichtlich der Natürlichkeit und Intuitivität der Animationen zu erfassen, insbesondere in Bezug auf die Nutzung der Bindings-Funktion (siehe Anhang).

Nach dem Ausfüllen dieser Fragebögen gilt die Studie als abgeschlossen und die Teilnehmer können das VR-Setup verlassen.

Die geplante Studie soll den Teilnehmern ermöglichen, schrittweise und systematisch die Funktionen des AnimVRig-Systems kennenzulernen und anzuwenden. Durch die Strukturierung in drei aufeinanderfolgende Szenen, die jeweils spezifische Aufgaben und Herausforderungen bieten, wird den Teilnehmern die Möglichkeit gegeben, sich in einem kontrollierten Rahmen mit den Werkzeugen und Methoden des Systems vertraut zu machen.

Das Studiendesign legt großen Wert darauf, die Komplexität der Aufgaben schrittweise zu steigern, um Überforderung zu vermeiden und eine kontinuierliche Lernkurve zu gewährleisten. Dabei spielen visuelles Feedback und eine KI-generierte Stimme eine zentrale Rolle, um die Teilnehmer gezielt durch die einzelnen Schritte zu führen und ihnen die Navigation innerhalb der virtuellen Umgebung zu erleichtern.

Am Ende der Studie werden die Teilnehmer gebeten, verschiedene Fragebögen auszufüllen, die darauf abzielen, ihre Erfahrungen und Eindrücke während der Nutzung des Systems zu erfassen. Diese Rückmeldungen sind essenziell, um die Benutzerfreundlichkeit und Akzeptanz des AnimVRig-Systems zu bewerten und eventuelle Verbesserungsmöglichkeiten zu identifizieren.

Nach der Durchführung der Studie wird eine umfassende Auswertung der gesammelten Daten stattfinden, die in den folgenden Kapiteln detailliert besprochen wird. Diese Auswertung wird

entscheidend dafür sein, die Effektivität des Studiendesigns sowie die Leistungsfähigkeit des AnimVRig-Systems zu beurteilen.

6.1.1 Begründung der Fragebögen

Die gewählten Fragebögen (siehe Anhang B: Fragebögen) dienen der umfassenden Bewertung verschiedener Aspekte der VR-Nutzererfahrung und decken unterschiedliche, aber zusammenhängende Dimensionen ab.

System Usability Scale (SUS): Der SUS wurde ausgewählt, um die Benutzerfreundlichkeit des VR-Systems zu bewerten. Dieser Fragebogen ist ein bewährtes Instrument zur quantitativen Erfassung der Usability eines Systems, da er ein klares und global akzeptiertes Maß liefert. Benutzerfreundlichkeit ist in dieser Studie entscheidend, da das VR-Animations-Tool sowohl für Anfänger als auch für erfahrene Nutzer zugänglich sein soll.

Simulator Sickness Questionnaire (SSQ): Der SSQ bewertet die VR-spezifische Herausforderung der Simulator-Krankheit, die durch längere VR-Nutzung auftreten kann. Das Ziel der Studie ist es auch, die potenziellen negativen Auswirkungen der Nutzung des VR-Systems auf das physische Wohlbefinden zu quantifizieren, was durch den SSQ erfasst wird. Da VR-Systeme oft mit Symptomen wie Schwindel oder Übelkeit assoziiert sind, ist dieser Fragebogen besonders wichtig.

Situational Awareness Rating Technique (SART): Mit diesem Fragebogen wird das Situationsbewusstsein der Nutzer gemessen, also die Fähigkeit, die in der VR-Umgebung ablaufenden Prozesse wahrzunehmen und zu verstehen. Diese Dimension ist für die VR-Nutzung von großer Bedeutung, da ein hohes Maß an Situationsbewusstsein die Immersion und Effektivität der VR-Anwendung erhöhen kann.

AnimVRig-Evaluationsfragebogen: Dieser speziell entwickelte Fragebogen wurde hinzugefügt, um spezifische Rückmeldungen zu den einzigartigen Funktionen und der Bedienbarkeit des AnimVRig-Systems zu erhalten. Im Fokus stehen hier Aspekte wie Intuitivität der Bedienung und die Funktionalität des Bindings-Menüs, welches eine zentrale Rolle im Animationsprozess spielt.

Kombination und Reihenfolge der Fragebögen

Die Kombination dieser Fragebögen ist notwendig, um sowohl eine globale Bewertung der VR-Nutzererfahrung (SUS), als auch spezifische VR-bezogene Herausforderungen (SSQ, SART) und individuelle Rückmeldungen zu erfassen (Evaluationsfragebogen).

Reihenfolge: Die Reihenfolge beginnt mit dem SUS, gefolgt vom SSQ und SART und schließt mit dem Evaluationsfragebogen ab. Dies ist sinnvoll, da der SUS allgemeinere Eindrücke von der Benutzerfreundlichkeit erfasst, bevor der SSQ sich auf potenzielles Unwohlsein und der SART auf die kognitive Beanspruchung fokussiert. Der Evaluationsfragebogen ermöglicht schließlich, gezielte Fragen zu Funktionen und zur spezifischen Nutzererfahrung zu stellen.

Dauer und Anzahl der Fragen

Die Dauer des Ausfüllens aller Fragebögen wurde auf etwa 12 bis 15 Minuten geschätzt. Dies stellt eine akzeptable Zeit für die Teilnehmer dar, um die Fragebögen sorgfältig auszufüllen, ohne dass Ermüdung oder Unkonzentriertheit auftreten. Die Gesamtanzahl der Fragen beläuft sich auf 68, verteilt über die vier Fragebögen.

6.2 Statische Analyse

Im Rahmen dieser Studie ist die statistische Analyse von erhobenen Daten ein zentraler Bestandteil, um die Hypothesen zur Benutzerfreundlichkeit, Effizienz und physischen Belastung bei der Nutzung von **AnimVRig 2.0** zu überprüfen. Die Daten aus den vier eingesetzten Fragebögen – **SUS**, **SSQ**, **SART** und dem **AnimVRig-Evaluationsfragebogen** – werden mittels geeigneter statistischer Verfahren analysiert. Der Fokus liegt dabei auf der deskriptiven und korrelativen Analyse der erhobenen Daten. Es werden keine gruppenbasierten Vergleiche durchgeführt, da es sich um eine **homogene Stichprobe** ohne Unterteilung in Gruppen handelt.

6.2.1 Geplante deskriptive Statistik

Die erste Stufe der Analyse wird deskriptiver Natur sein, um einen Überblick über die zentralen Tendenzen der erhobenen Daten zu gewinnen. Hierfür sollen folgende Kennwerte berechnet werden:

- **Mittelwert:** Um die durchschnittliche Bewertung der Teilnehmer in jedem Fragebogen zu erfassen, z.B. für die Benutzerfreundlichkeit (SUS) und das Situationsbewusstsein (SART).
- **Median:** Der Median wird berechnet, um zu bewerten, wie sich die mittleren Werte der Teilnehmerantworten von den Durchschnittswerten unterscheiden, und um Verzerrungen durch Ausreißer zu vermeiden.
- **Standardabweichung:** Diese zeigt an, wie stark die einzelnen Bewertungen um den Mittelwert streuen, was Aufschluss über die Einheitlichkeit der Antworten gibt.

Die deskriptive Analyse soll erste Erkenntnisse darüber liefern, wie das System von den Teilnehmern wahrgenommen wurde, und grundlegende Anhaltspunkte zu Benutzerfreundlichkeit, Komfort und Situationsbewusstsein bieten.

6.2.2 Geplante korrelative Analyse

Da in dieser Studie keine Gruppenbildung erfolgt (z.B. Anfänger vs. Fortgeschrittene), werden T-Tests oder Varianzanalysen (ANOVA) nicht angewandt. Diese statistischen Verfahren dienen normalerweise dazu, Unterschiede zwischen Gruppen zu analysieren. Da alle Teilnehmer die gleichen Aufgaben unter ähnlichen Bedingungen durchführen, besteht keine Notwendigkeit für solche Tests.

Stattdessen wird der **Pearson-Korrelationskoeffizient** verwendet, um die Stärke der Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Dimensionen der Benutzererfahrung zu untersuchen. Dabei wird besonders der Zusammenhang zwischen der **Benutzerfreundlichkeit (SUS)**, der **Bewegungskrankheit (SSQ)** und dem **Situationsbewusstsein (SART)** von Interesse sein. Mit dieser korrelativen Analyse soll überprüft werden, ob ein Zusammenhang zwischen der Usability und dem kognitiven Verständnis der Umgebung oder physischen Symptomen der Bewegungskrankheit besteht.

Beispielsweise könnte untersucht werden, ob Teilnehmer, die das System als benutzerfreundlich empfinden, auch ein höheres Situationsbewusstsein in der VR-Welt haben, oder ob Nutzer mit schlechter Usability-Erfahrung häufiger unter Simulator-Krankheitssymptomen leiden.

6.2.3 Qualitative Analyse des Evaluationsfragebogens

Da der speziell für diese Studie entwickelte Evaluationsfragebogen nicht den gleichen wissenschaftlichen Validierungsprozess wie etablierte Fragebögen (SUS, SSQ, SART) durchlaufen hat, ist eine klassische statistische Analyse hier methodisch nicht sinnvoll. Die geringe Anzahl von Fragen

pro Kategorie und die fehlende Validierung schränken den Nutzen von statistischen Auswertungen wie der Korrelationsanalyse ein.

Stattdessen wird im Rahmen dieser Arbeit eine qualitative Analyse durchgeführt. Der Fragebogen ist spezifisch auf die Untersuchung der Benutzererfahrung und Funktionalität des AnimVRig-Tools ausgerichtet, was bedeutet, dass die gesammelten Daten eher subjektiver Natur sind. Eine kontextuelle Interpretation der Teilnehmerantworten bietet daher wertvollere Erkenntnisse über die Nutzerwahrnehmung und die Erfüllung der Zielsetzungen dieser Studie.

Diese Form der Auswertung ermöglicht es, detaillierte Rückschlüsse über die intuitive Bedienbarkeit, technische Herausforderungen und die immersive Qualität des Tools zu ziehen. Durch die Analyse individueller Rückmeldungen können gezielt Muster erkannt und potenzielle Verbesserungsvorschläge entwickelt werden.

Es gibt mehrere Gründe, warum in dieser Arbeit auf eine statistische Auswertung des eigens entwickelten Evaluationsfragebogens verzichtet wird. Erstens fehlt dem Fragebogen die wissenschaftliche Validierung, was bedeutet, dass er nicht auf Verlässlichkeit und Genauigkeit geprüft wurde. Dadurch bietet er keine belastbare Grundlage für statistische Tests, wie sie bei validierten Instrumenten wie SUS oder SSQ der Fall sind. Zweitens ist die Anzahl der Fragen pro Kategorie auf maximal drei beschränkt, was für statistische Verfahren, die größere Datenmengen benötigen, unzureichend ist. Schließlich zielt der Fragebogen auf subjektive Erfahrungen der Teilnehmer ab, die stark variieren können. Eine qualitative Auswertung ermöglicht es, diese individuellen Unterschiede besser zu erfassen und tiefere Einsichten in die Nutzererfahrungen zu gewinnen.

Anstelle von statischen Korrelationen werden die Antworten der Teilnehmer auf wiederkehrende Muster und Themen hin analysiert. Dabei liegt der Fokus besonders auf drei zentralen Aspekten. Zunächst wird die Intuitivität der Bedienung untersucht, um herauszufinden, wie leicht es den Nutzern fiel, die Funktionen des AnimVRig-Tools zu erlernen und anzuwenden. Weiterhin wird die technische Stabilität betrachtet, wobei analysiert wird, welche Probleme während der Nutzung auftraten und inwieweit diese die Nutzererfahrung beeinflussten.

Diese qualitative Auswertung bietet Einblicke, die durch rein statistische Methoden nicht erfasst werden könnten. Sie erlaubt es, ein tieferes Verständnis für die individuellen Nutzererfahrungen zu gewinnen und gezielt auf spezifische Probleme und Verbesserungsvorschläge einzugehen.

6.2.4 Visualisierung und Darstellung der Daten

Die Visualisierung der Daten erfolgt über gängige **deskriptive Darstellungsformen**, die es ermöglichen, die Verteilung und Streuung der Antwortwerte übersichtlich darzustellen:

- **Boxplots:** Boxplots bieten eine übersichtliche Darstellung der Verteilung der Antworten, zeigen den Median sowie die Streuung der Daten und machen potenzielle Ausreißer sichtbar. Dies ist besonders nützlich, um die Spannweite der Antworten in den einzelnen Fragebögen zu erkennen.
- **Balkendiagramme:** Diese Visualisierungsform ermöglicht es, die durchschnittlichen Bewertungen der einzelnen Fragebögen oder Fragenabschnitte zu vergleichen. So können die Ergebnisse der Fragebögen intuitiv dargestellt und miteinander verglichen werden.

6.2.5 Zu erwartende Ergebnisse und Interpretation

Es wird erwartet, dass die Analyse der Fragebögen eine positive Wahrnehmung der **Benutzerfreundlichkeit** von AnimVRig 2.0 zeigt, insbesondere in Bezug auf die Bedienung durch Nutzer, die mit VR-Umgebungen vertraut sind. Durch die korrelative Analyse könnten interessante

Beziehungen zwischen der **Usability** und dem **Situationsbewusstsein** sichtbar werden, die darauf hindeuten, dass ein benutzerfreundliches System auch eine effizientere Wahrnehmung der Umgebung und Aufgabenbewältigung fördert.

Darüber hinaus wird erwartet, dass der **SSQ** niedrige Werte aufweist, da die VR-Erfahrung so gestaltet wurde, dass Symptome der Bewegungskrankheit minimiert werden.

6.2.6 Validität und Verlässlichkeit der statistischen Analyse

Die **Validität** und **Reliabilität** der verwendeten Fragebögen werden durch deren bewährte Anwendung in der Forschung gewährleistet. Der **SUS**, **SSQ** und **SART** sind etablierte und in vielen Studien eingesetzte Instrumente, die als zuverlässig gelten.

Die statistischen Analysen werden mit **SPSS** durchgeführt, um sicherzustellen, dass die Berechnungen auf einer fundierten Basis erfolgen und methodisch korrekt sind. Die gewählten Verfahren (deskriptive und korrelative Statistik) ermöglichen eine angemessene Auswertung der erhobenen Daten, ohne die Anforderungen der Studie zu überschreiten.

6.3 Technische Anforderungen und Setup

Für die Durchführung der geplanten Studie sind spezifische technische Anforderungen notwendig, um die Nutzung und Evaluation von AnimVRig 2.0 unter realistischen Bedingungen zu ermöglichen. Die eingesetzte Hardware und Software zielt darauf ab, eine stabile und immersive VR-Erfahrung sicherzustellen, während das Bodytracking durch die Meta Quest 3 eine zentrale Rolle spielt, um die Nutzerbewegungen akkurat in die Animationserstellung zu übertragen.

6.3.1 Hardware

Die Wahl der Hardware wurde bewusst getroffen, um den Anforderungen der Studie gerecht zu werden und die präzise Erfassung der Benutzerbewegungen zu gewährleisten. Folgende Hardwarekomponenten kommen zum Einsatz:

Meta Quest 3: Dieses Head-Mounted Display ist entscheidend für die Durchführung der Studie, da es über Inside-Out-Tracking verfügt und eine präzise Erfassung von Kopf- und Körperbewegungen ohne externe Sensoren ermöglicht.

Laptop: Ein leistungsstarker Laptop, der als Host für die VR-Umgebung und die Anwendung von AnimVRig 2.0 dient. Der Laptop ermöglicht die Ausführung der Unity-Anwendung und sorgt für die Echtzeit-Berechnung und Darstellung der VR-Inhalte. Die wesentlichen **Hardware-Spezifikationen** sind:

- Prozessor: Intel i7 oder AMD Ryzen 7
- Grafikkarte: NVIDIA RTX 3060 oder besser
- RAM: Mindestens 16 GB, um die VR-Anwendung flüssig zu betreiben.

Meta Link-Kabel: Für die Verbindung der Quest 3 mit dem Laptop wird ein Meta Link-Kabel verwendet, das eine stabile und latenzarme Verbindung sicherstellt. Diese kabelgebundene Verbindung ermöglicht die Nutzung der Rechenleistung des Laptops für die Darstellung der VR-Szenarien, ohne durch die Akkulaufzeit der Quest 3 eingeschränkt zu werden.

6.3.2 Software

Die Softwareinfrastruktur wird von der Unity-Engine bereitgestellt, welche die Grundlage für die VR-Szenarien und das Bodytracking bietet. In Kombination mit dem Oculus Integration Package ermöglicht Unity eine nahtlose Verbindung zur Quest 3, um die Bewegungen des Nutzers in Echtzeit auf die virtuellen Modelle zu übertragen.

Unity: Die Version 2021.3 der Unity-Engine wird genutzt, um das VR-Projekt AnimVRig 2.0 zu hosten und auszuführen. Diese Plattform unterstützt die Integration des Bodytracking durch das Oculus SDK und bietet die Werkzeuge zur Echtzeit-Animationserstellung.

6.3.3 Physische Umgebung

Die Umgebung, in der die Studie durchgeführt wird, muss bestimmte Anforderungen erfüllen, um eine optimale Nutzererfahrung zu gewährleisten und die Tracking-Genauigkeit nicht zu beeinträchtigen:

Platzbedarf: Ein freier Bewegungsraum von mindestens 2 x 2 Metern ist erforderlich, um sicherzustellen, dass sich die Teilnehmer frei innerhalb der virtuellen Welt bewegen können. Diese Fläche ist ausreichend für das Inside-Out-Tracking der Meta Quest 3 und vermeidet Kollisionen mit Hindernissen im Raum.

Ruhige Umgebung: Die Studie wird in einem störungsfreien Raum durchgeführt, um externe Ablenkungen zu minimieren. Dies ist besonders wichtig, um die Konzentration der Teilnehmer sicherzustellen und eine unverfälschte Erfassung der Usability-Daten zu ermöglichen.

Ergonomische Bedingungen: Zusätzlich zur Bewegungsfläche ist ein Schreibtisch vorhanden, auf dem der Laptop sicher platziert wird, um die VR-Anwendung zu steuern und Einstellungen vorzunehmen.

6.3.4 Einweisung und Sicherheit

Vor Beginn der Studie wird jeder Teilnehmer in die Nutzung der Meta Quest 3 und die grundlegenden Interaktionen in der VR eingeführt. Dies umfasst:

Einführung in das Headset: Das korrekte Aufsetzen und Anpassen des HMDs wird erklärt, um eine komfortable und stabile Nutzung zu gewährleisten.

Erklärung der Steuerung: Die Nutzung der Handcontroller und grundlegende Interaktionen in der VR werden vorab demonstriert.

7 Auswertung und Diskussion

In die vorliegende Untersuchung wurden insgesamt **28** Probanden einbezogen, darunter **21** männliche und **7** weibliche Teilnehmer im Alter von **21** bis **38** Jahren, mit einem Durchschnittsalter von **28,39** Jahren. Die Mehrheit der Teilnehmenden hatte bereits Erfahrungen mit Virtual Reality, wobei **22** Personen angaben, VR zuvor genutzt zu haben, während **6** Teilnehmer keine Vorerfahrungen in diesem Bereich aufwiesen.

Die Analyse der VR-Nutzungshäufigkeit zeigt eine deutliche Varianz unter den Probanden. Der größte Anteil, **53,6 %**, gab an, VR selten zu verwenden, während **25 %** der Teilnehmenden angaben, VR niemals zu nutzen. Weitere **7,1 %** der Probanden nutzen VR wöchentlich, und ebenfalls **7,1 %** gaben an, VR täglich zu verwenden, was auf eine intensivere Auseinandersetzung mit der Technologie hinweist. Nur **3,6 %** der Teilnehmer gaben an, VR monatlich zu nutzen, und weitere **3,6 %** der erhobenen Antworten wurden als ungültig klassifiziert, da das entsprechende Auswahlfeld im Fragebogen nicht markiert wurde (siehe Abbildung 15).

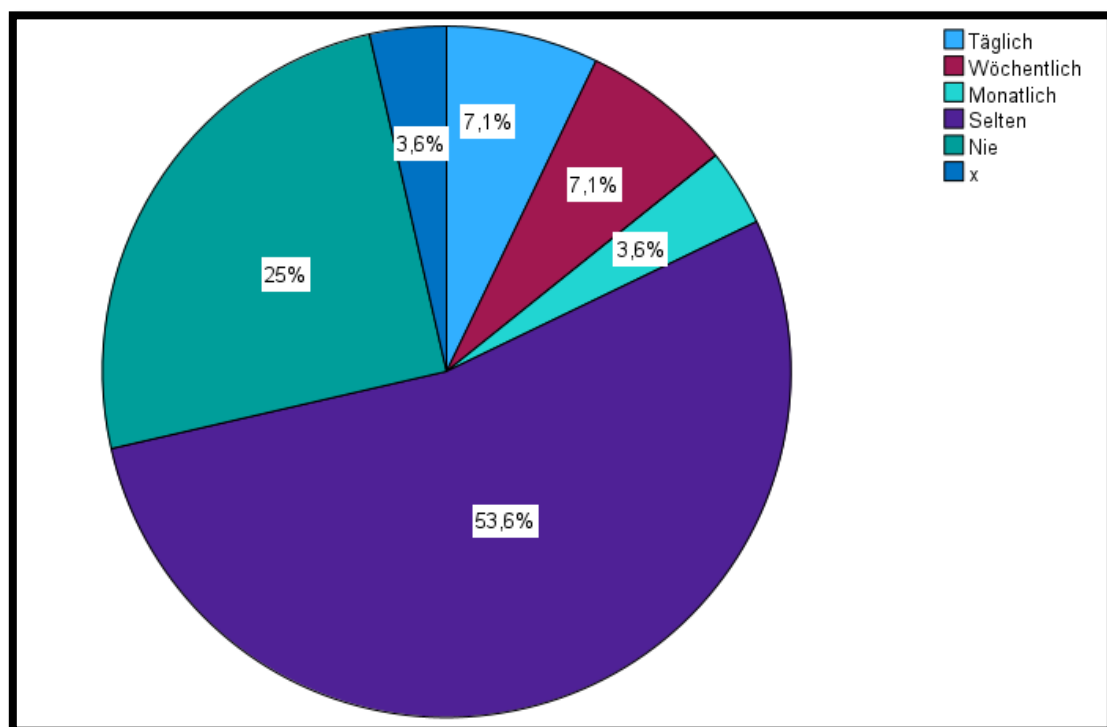


Abbildung 15: Kreisdiagramm der VR-Nutzungshäufigkeit

Diese unterschiedlichen Nutzungsmuster liefern wertvolle Hinweise für die spätere Analyse der Benutzerfreundlichkeit und Akzeptanz des VR-Systems. Es ist davon auszugehen, dass Probanden mit häufigerer Nutzung eine höhere Vertrautheit und damit einhergehend eine einfachere Bedienung des Systems aufweisen. Unerfahrene Nutzer hingegen könnten größere Schwierigkeiten bei der Interaktion mit dem VR-System erleben, was in den weiteren Untersuchungen berücksichtigt werden sollte.

7.1 SUS Auswertung

Der System Usability Scale (SUS)-Fragebogen misst die Benutzerfreundlichkeit eines Systems anhand von **10** standardisierten Fragen (siehe S. 39). Von den **28** Probanden wurden **27** gültige Antworten erfasst, wobei die SUS-Scores zwischen **50** und **100** lagen. Der Mittelwert der Scores beträgt **74,35**, was darauf hinweist, dass das System von den meisten Probanden als gut benutzbar wahrgenommen wurde.

Der Median liegt bei **75**, was ebenfalls darauf hindeutet, dass die Mehrheit der Probanden das System im oberen Bereich der Skala bewertet hat. Die Standardabweichung beträgt **11,61**, was eine moderate Streuung der Bewertungen zeigt – es gab keine extremen Ausreißer, jedoch einige Unterschiede in der Wahrnehmung der Benutzerfreundlichkeit. Die Spannweite der Bewertungen reicht von 50 (Minimum) bis 100 (Maximum), was auf eine relativ breite Verteilung hinweist.

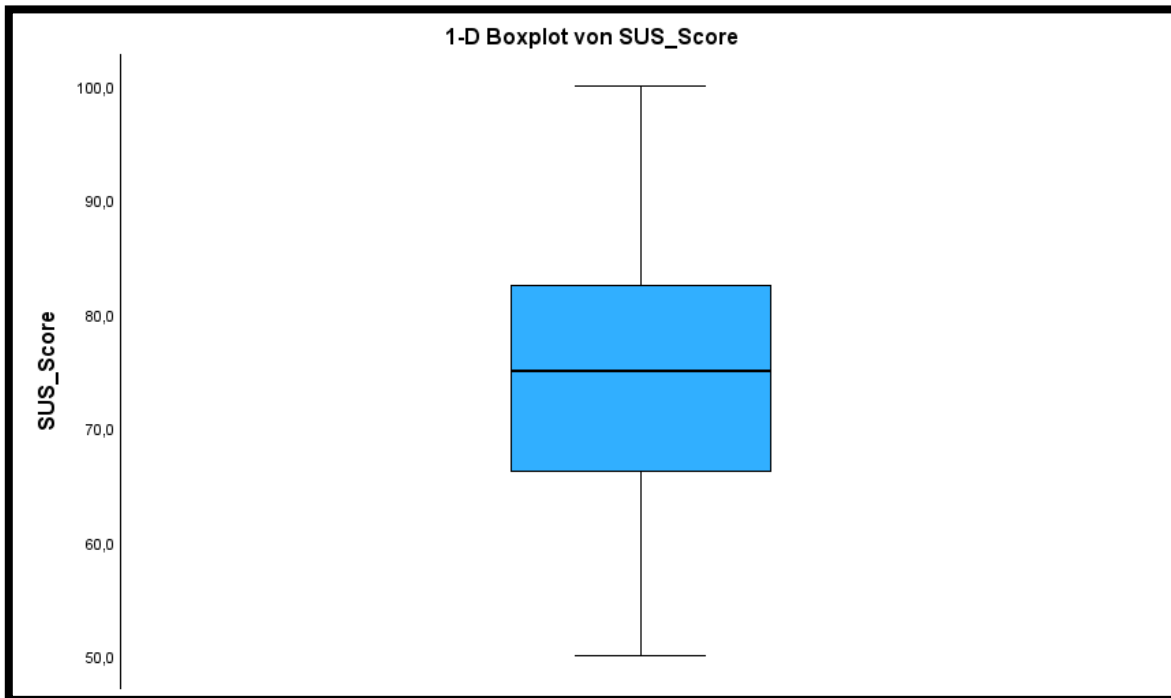


Abbildung 16: Boxplot der SUS-Scores der 27 Probanden

Der Boxplot der SUS-Scores (Abbildung 16) visualisiert die Verteilung der Daten und zeigt, dass der Großteil der Bewertungen zwischen **60** und **85** liegt. Der Median von **75** befindet sich in der Mitte des Kastens und verdeutlicht, dass die zentrale Tendenz der Bewertungen eher positiv ausfällt. Die oberen und unteren Whiskers zeigen die gesamte Spannweite der Daten, mit einem Ausreißer im niedrigen Bereich bei **50** und einem weiteren im hohen Bereich bei **100**. Diese Ausreißer verdeutlichen, dass einige Probanden sowohl sehr niedrige (50) als auch sehr hohe Bewertungen (100) der Benutzerfreundlichkeit abgegeben haben, was auf eine gewisse Bandbreite in der Wahrnehmung hindeutet. Dennoch bleibt die Verteilung insgesamt symmetrisch und zeigt keine starken Verzerrungen.

Die Häufigkeitsverteilung der SUS-Scores, die im dritten Diagramm dargestellt ist, zeigt, dass die häufigste Bewertung bei **75** liegt, was von **6** Teilnehmern vergeben wurde. Dies unterstreicht erneut, dass die Mehrheit der Probanden das System als überdurchschnittlich benutzerfreundlich einstufte. Die Verteilung der Scores ist breit gefächert, da alle möglichen Skalenwerte zwischen 50 und 100 mindestens einmal vergeben wurden. Besonders auffällig ist, dass einige Probanden die Höchstbewertung von **100** vergaben, was auf ein sehr positives Nutzungserlebnis hinweist, während der Score von **50** nur einmal vergeben wurde und damit eher eine Ausnahme darstellt.

Insgesamt lässt sich aus der Zusammenfassung der Ergebnisse schließen, dass das VR-System als benutzerfreundlich eingestuft wurde. Der durchschnittliche SUS-Score von **74,35** liegt deutlich über dem typischen SUS-Durchschnitt von **68**, was auf eine solide Benutzerfreundlichkeit hinweist. Die Verteilung der Scores zeigt, dass die Mehrheit der Teilnehmer das System als intuitiv und gut zugänglich wahrgenommen hat. Nur wenige Probanden hatten größere Schwierigkeiten bei der Bedienung. Die moderate Standardabweichung und die gleichmäßige Verteilung der Scores zwischen **50** und **100** weisen

darauf hin, dass das System für die meisten Benutzer gut funktionierte, wenngleich es auch einzelne Teilnehmer gab, die Verbesserungspotenzial sahen.

Schlussfolgerungen

Die SUS-Auswertung zeigt, dass das System insgesamt als benutzerfreundlich wahrgenommen wurde, mit einem durchschnittlichen Score von 74,35, was über dem typischen SUS-Durchschnitt liegt. Der Großteil der Probanden bewertete das System positiv, wobei nur wenige Teilnehmer Schwierigkeiten bei der Nutzung hatten. Dies deutet darauf hin, dass das VR-System im Allgemeinen gut funktioniert, jedoch weiterhin Potenzial zur Optimierung besteht, um auch die Erfahrungen von Nutzern, die die Benutzerfreundlichkeit als niedriger einschätzten, zu verbessern.

7.2 SSQ Auswertung

Der Simulator Sickness Questionnaire (SSQ) wurde verwendet, um die Symptome der Probanden in der VR-Umgebung zu erfassen. Der SSQ gliedert sich in drei Subskalen: Desorientierung, Okulomotorik und Übelkeit. Zudem wird ein Gesamtscore (Total SSQ) berechnet, der eine umfassende Bewertung der Simulator-Sickness-Symptome liefert (Siehe Anhang B).

Desorientierung

Die Subskala Desorientierung erfasst Symptome wie Orientierungslosigkeit oder Verwirrung. Die Ergebnisse zeigen, dass **18** von **28** Probanden keine Desorientierung (**Wert 0**) erlebten, was 64,3 % der Teilnehmer entspricht. **7** Probanden (25 %) gaben einen Wert von **13,92** an, und weitere **2** Probanden (jeweils 3,6 %) berichteten von stärkeren Desorientierungssymptomen mit Werten von **27,84** und **41,76**. Der Mittelwert liegt bei **7,46**, und der Median ist **0**, was darauf hindeutet, dass die meisten Teilnehmer keine oder nur geringe Desorientierungssymptome empfanden siehe (Abbildung 17).

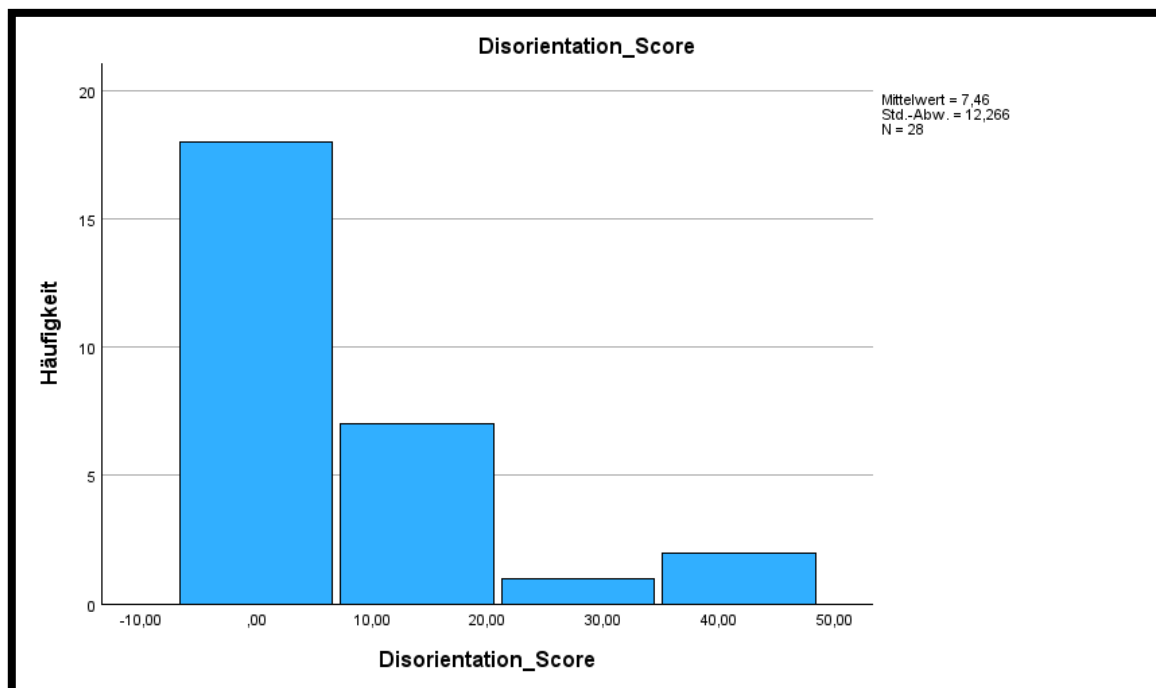


Abbildung 17: SSQ Desorientierung Häufigkeitsverteilung

Okulomotorik

Die Subskala Okulomotorik misst visuelle Symptome wie Augenbelastung oder verschwommenes Sehen. **8** Probanden (28,6 %) gaben an, keine Symptome in diesem Bereich (**Wert 0**) erlebt zu haben. **7** Probanden (25 %) berichteten von milden Symptomen (**Wert 7,58**), während **6** weitere Probanden (21,4 %) moderate Werte um **22,14** angaben. Nur **1** Teilnehmer (3,6 %) verzeichnete schwerere Symptome (**Wert 60,64**). Der Mittelwert liegt bei **15,16**, und der Median beträgt **7,58**, was auf leichte bis moderate Symptome hinweist (siehe Abbildung 18).

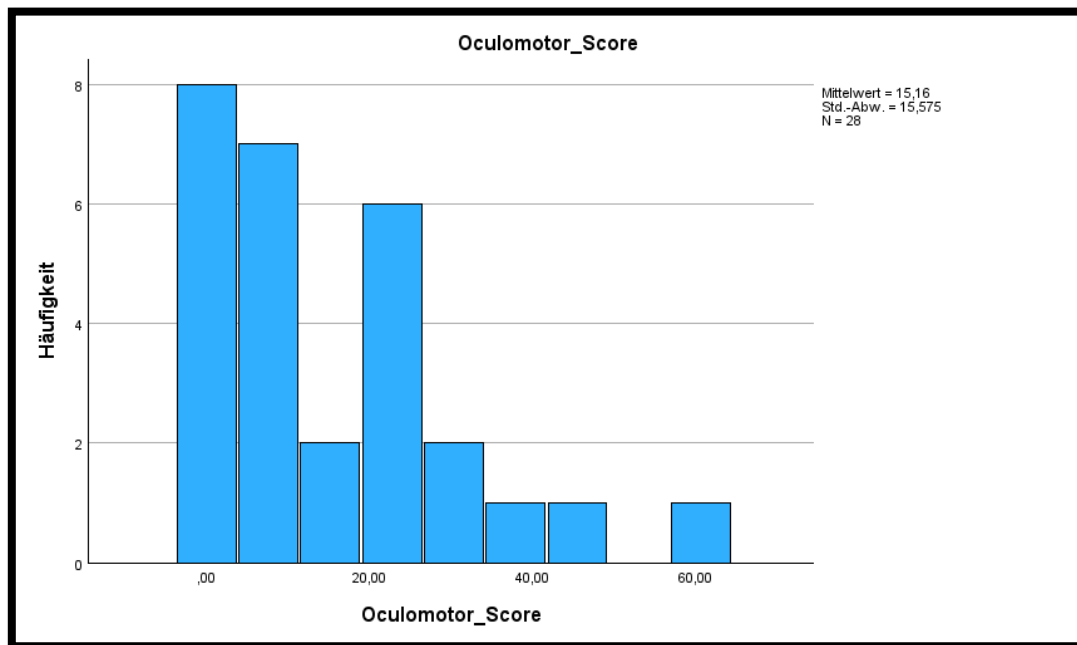


Abbildung 18: SSQ Okulomotorik Häufigkeitsverteilung

Übelkeit

Die Subskala Übelkeit erfasst Symptome wie Magenunwohlsein oder Schwindel. **19** Probanden (67,9 %) gaben an, keine Übelkeit (**Wert 0**) erlebt zu haben, was darauf hindeutet, dass dieses Symptom für die Mehrheit nicht stark ausgeprägt war. **5** Probanden (17,9 %) gaben einen Wert von **9,54** an, und **4** Probanden (jeweils 3,6 %) berichteten von Werten zwischen **19,08** und **28,62**. Der Mittelwert liegt bei **4,77**, und der Median beträgt **0**, was ebenfalls auf eine geringe Prävalenz von Übelkeit hinweist (siehe Abbildung 19).

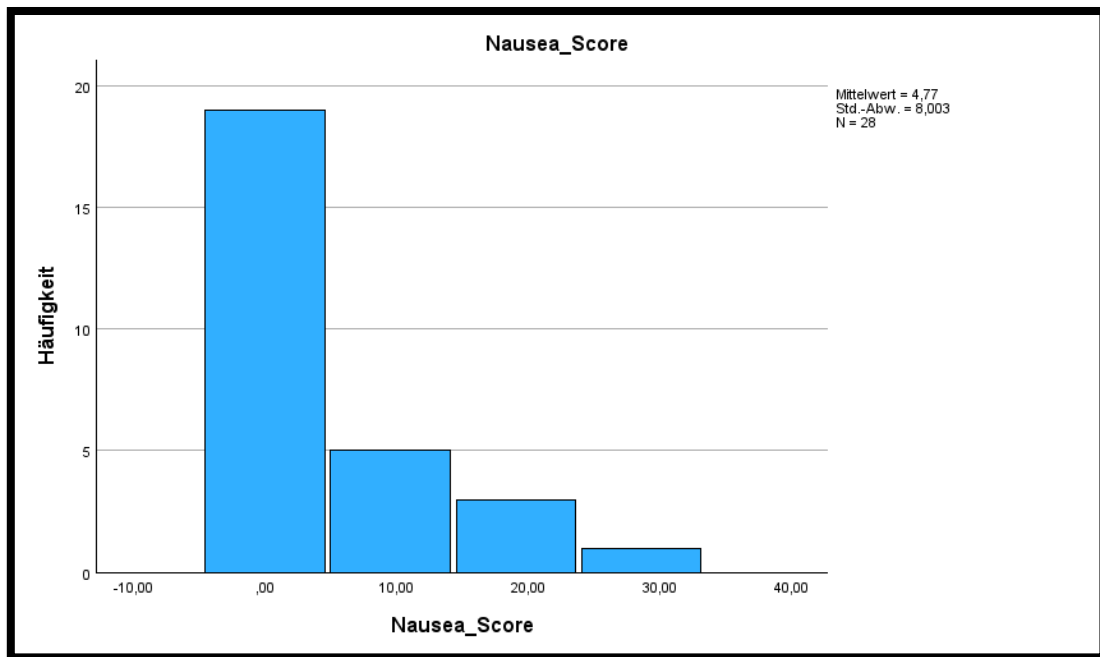


Abbildung 19: SSQ Übelkeit Häufigkeitsverteilung

Total SSQ

Der Gesamtscore des SSQ fasst die Ergebnisse der drei Subskalen zusammen. Die Häufigkeitsverteilung zeigt, dass **7** Probanden (25 %) keine Symptome hatten (**Wert 0**). Weitere **4** Probanden (14,3 %) erreichten einen Score von **7,58**. Andere Teilnehmer verteilten sich relativ gleichmäßig über die Skala, wobei die meisten Werte zwischen **21,50** und **52,54** lagen. Ein Proband zeigte jedoch einen signifikant höheren Wert von **131,02**, was auf schwerere Symptome bei diesem Teilnehmer hinweist.

Im Boxplot der Total SSQ-Werte liegt der Median bei **24,77**, was darauf hindeutet, dass die Mehrheit der Probanden milde bis moderate Symptome erlebte. Der Mittelwert beträgt **27,39**. Ein einzelner Proband zeigt einen deutlichen Ausreißer mit einem Wert von **131,02**, was auf schwerere Symptome bei dieser Person hinweist. Abgesehen von diesem Ausreißer bleibt die Verteilung der Scores relativ gleichmäßig im moderaten Bereich (siehe Abbildung 20).

Schlussfolgerung

Die Auswertung des SSQ zeigt, dass die meisten Probanden leichte bis moderate Symptome von Simulator Sickness erlebten, insbesondere in den Bereichen Okulomotorik und Desorientierung. Übelkeit trat bei den meisten Teilnehmern nur selten auf. Ein einzelner Proband zeigte schwerwiegendere Symptome, was jedoch eine Ausnahme darstellt. Insgesamt scheinen die Symptome in der VR-Umgebung begrenzt, was für die generelle Verträglichkeit der Anwendung spricht. Dennoch könnten Optimierungen vorgenommen werden, um die Belastungen weiter zu reduzieren.

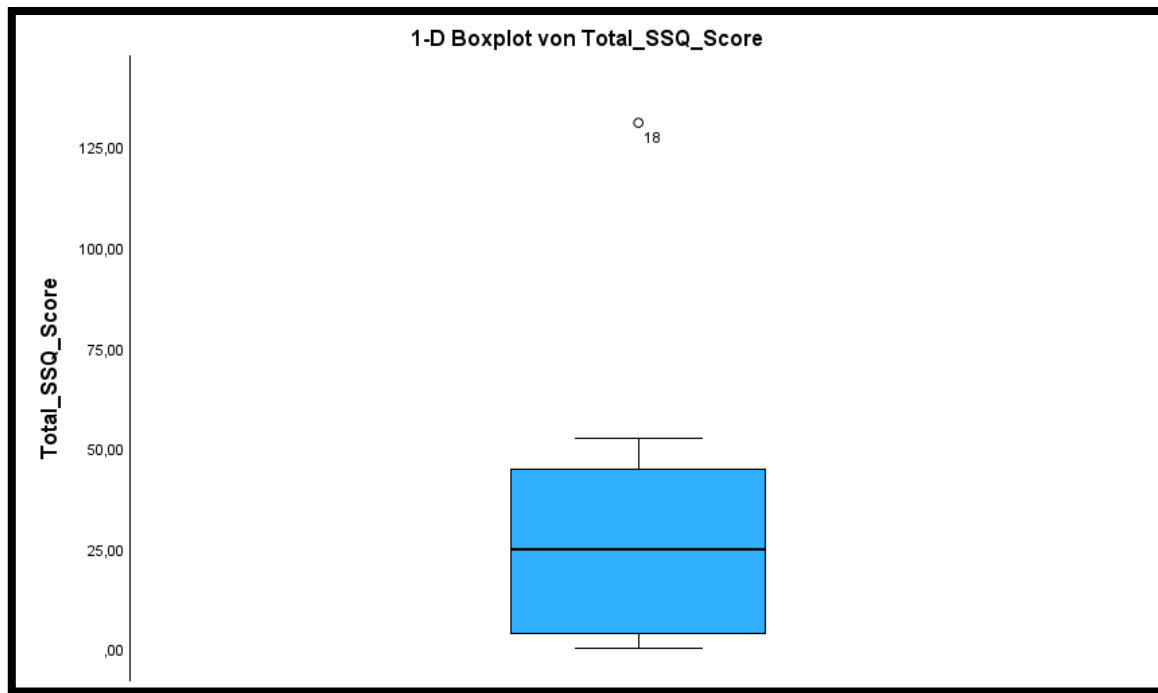


Abbildung 20: Boxplot des SSQ Gesamtscores

7.3 SART Auswertung

Zur Bewertung des Situationsbewusstseins der Probanden wurde der Situational Awareness Rating Technique (SART) verwendet. Der SART misst das Situationsbewusstsein in drei Dimensionen: Anforderungen an das Situationsbewusstsein, Verfügbarkeit von Ressourcen und Verständnis der Situation. Diese drei Kategorien bieten einen umfassenden Überblick über die kognitiven Herausforderungen und die Selbstwahrnehmung der Probanden während der Durchführung der Aufgabe.

Anforderungen an das Situationsbewusstsein

Die erste Dimension „Anforderungen an das Situationsbewusstsein“, erfasst, wie stark die Probanden ihre Aufmerksamkeit und Konzentration während der Aufgabe beansprucht sahen. Die Ergebnisse zeigen, dass die meisten Probanden die Anforderungen als gering bis moderat bewerteten. Die häufigsten Werte lagen bei **0** und **1**, was darauf hindeutet, dass die Aufgabe als nicht besonders kognitiv überfordernd wahrgenommen wurde. Nur wenige Probanden gaben höhere Bewertungen ab (**Werte 3, 4 und 7**), was auf individuelle Unterschiede in der Wahrnehmung der kognitiven Belastung schließen lässt. Insgesamt zeigte diese Verteilung, dass die meisten Probanden die Anforderungen als überschaubar erlebten (siehe Abbildung 21).

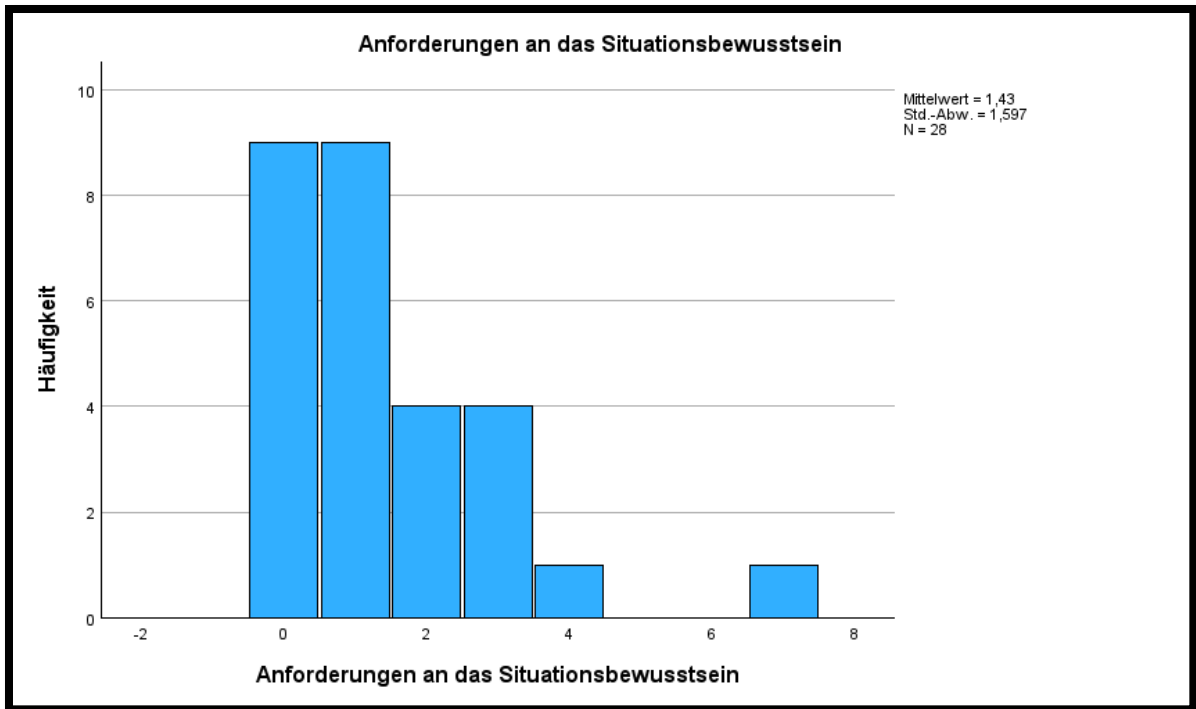


Abbildung 21: Histogramm (SART) Anforderungen an das Situationsbewusstsein

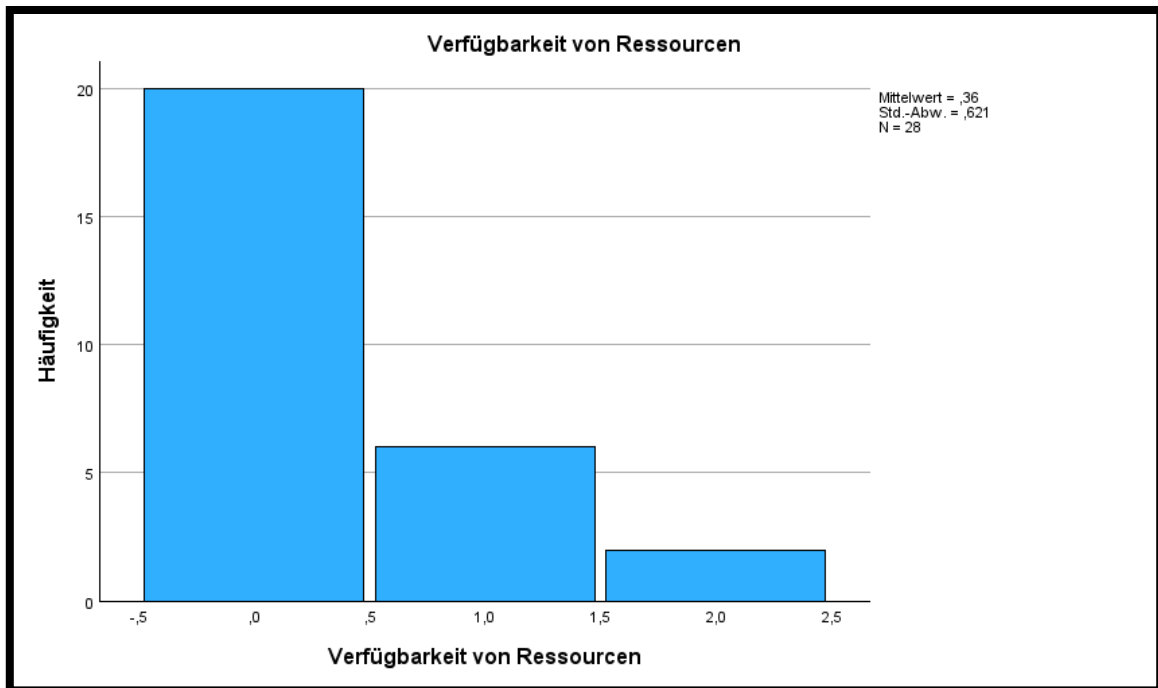


Abbildung 22: Histogramm (SART) Verfügbarkeit von Ressourcen

Verfügbarkeit von Ressourcen

Die Verfügbarkeit von Ressourcen bezieht sich auf die subjektive Wahrnehmung der Probanden, wie gut sie ihre mentalen Kapazitäten während der Aufgabe einsetzen konnten. Ein auffälliges Ergebnis ist, dass die Mehrheit der Probanden den Wert **0** angab, was auf eine empfundene Begrenzung ihrer kognitiven Ressourcen hindeutet. Diese Wahrnehmung könnte auf die Konfrontation mit einer neuen

VR-Umgebung und ungewohnten Interaktionsmechanismen zurückzuführen sein. Die Teilnehmer mussten gleichzeitig lernen, wie sie in der virtuellen Realität interagieren, und zusätzlich Aufgaben im Interface bewältigen, während sie einem Tutorial folgten. Dies könnte zu einer erhöhten kognitiven Belastung geführt haben, obwohl die Aufgaben letztlich erfolgreich abgeschlossen wurden. Nur eine kleine Gruppe der Probanden gab an, über ausreichend Ressourcen zu verfügen, was sich in höheren Werten (**1 und 2**) widerspiegelt (siehe Abbildung 22).

Verständnis der Situation

Die Ergebnisse zum Verständnis der Situation zeigen, dass mehr als die Hälfte der Probanden Schwierigkeiten hatte, die bereitgestellten Informationen vollständig zu verarbeiten. Die häufigsten Bewertungen lagen bei **0**, was darauf hindeutet, dass viele Probanden die Komplexität der Aufgabe und der neuen Interaktionsmöglichkeiten als herausfordernd empfanden. Höhere Bewertungen (**1 bis 3**) wurden nur von wenigen Teilnehmern vergeben, was darauf schließen lässt, dass diese Probanden ein besseres Verständnis der Aufgabe und der virtuellen Umgebung entwickeln konnten. Insgesamt zeigt sich, dass das Verständnis der Situation für viele Teilnehmer durch die VR-Umgebung und die Art der Aufgabe erschwert wurde (siehe Abbildung 23).

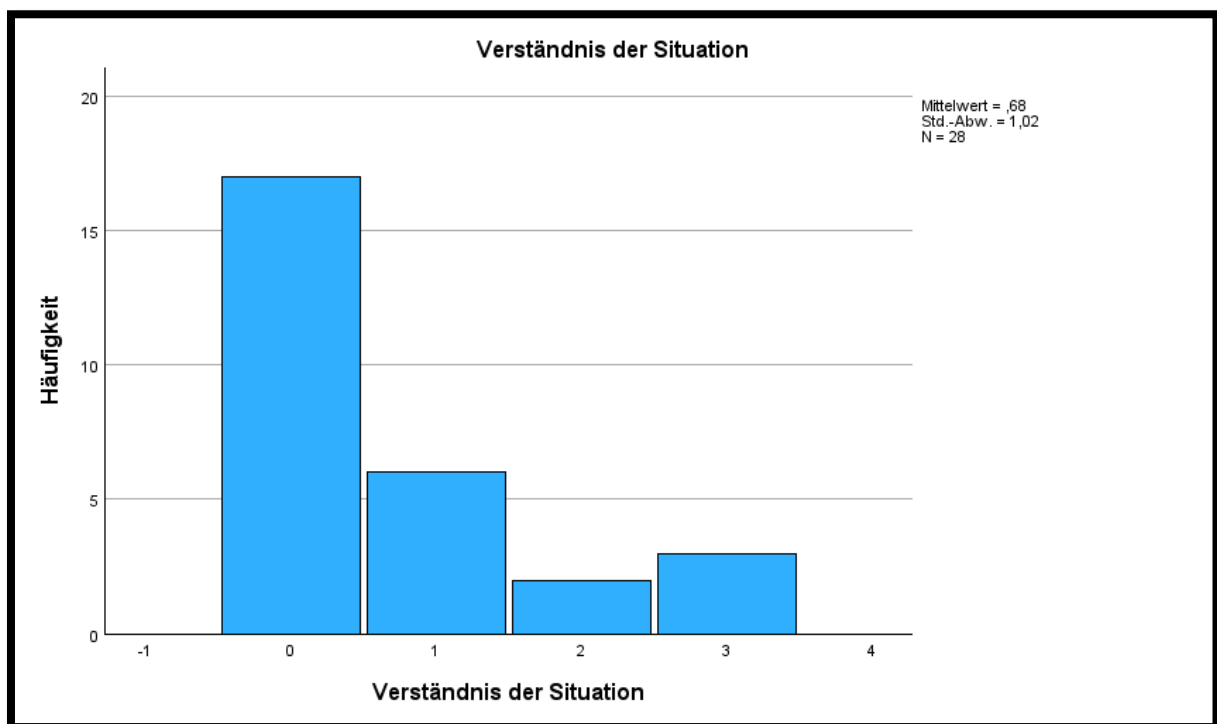


Abbildung 23: Histogramm (SART) Verständnis der Situation

SART Gesamtscore

Der SART Gesamtscore fasst die drei Dimensionen zusammen und bietet eine Gesamtbewertung des Situationsbewusstseins. Die meisten Probanden erzielten Werte zwischen **-1** und **1**, was auf ein durchschnittliches Situationsbewusstsein hindeutet. Dies bedeutet, dass die Mehrheit der Teilnehmer ein ausgewogenes Verhältnis zwischen den Anforderungen, der Verfügbarkeit von Ressourcen und ihrem Verständnis der Situation wahrnahm. Es gab jedoch auch einige Teilnehmer mit extremen Scores, was auf stärkere Herausforderungen oder eine ausgeprägte kognitive Belastung hinweist (siehe Abbildung 24).

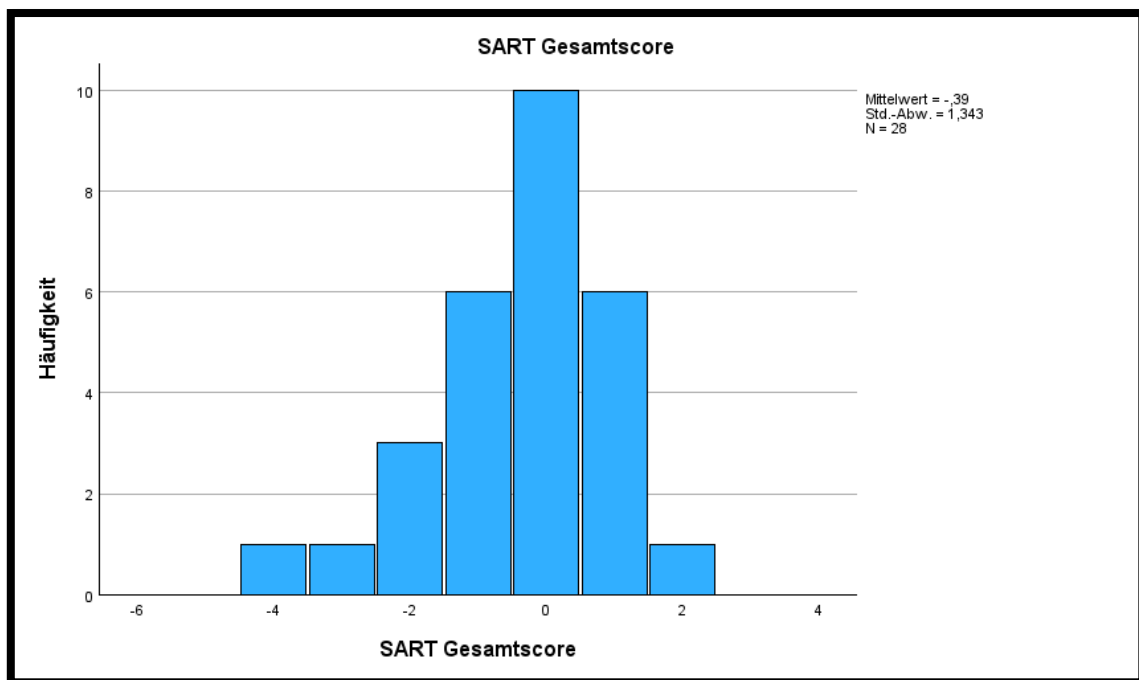


Abbildung 24: SART Gesamtscore Häufigkeitsverteilung

Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse der SART-Analyse deuten darauf hin, dass viele Probanden die VR-Umgebung als kognitiv fordernd empfanden, insbesondere in Bezug auf die Verfügbarkeit von Ressourcen und das Verständnis der Aufgabe. Obwohl die Aufgaben erfolgreich bewältigt wurden, spiegeln die Bewertungen eine erhöhte kognitive Belastung wider, die auf die ungewohnte Interaktionsweise und die Komplexität der virtuellen Umgebung zurückzuführen ist. Zukünftige Optimierungen könnten darauf abzielen, die kognitive Belastung durch bessere Unterstützung und klarere Informationen zu reduzieren, um das Situationsbewusstsein der Nutzer weiter zu verbessern.

7.4 Analyse der Zusammenhänge zwischen SSQ, SART und SUS

Um die Zusammenhänge zwischen den erhobenen Variablen **SART_Gesamt**, **SUS_Score** und **Total_SSQ_Score** zu untersuchen, wurde eine Pearson-Korrelationsanalyse mittels SPSS (Statistical Package for the Social Sciences)¹⁹ durchgeführt. Dieses Verfahren wurde gewählt, da es die linearen Beziehungen zwischen zwei metrischen Variablen darstellt und es ermöglicht, zu bestimmen, ob und in welcher Richtung ein Zusammenhang besteht. Diese Analyse ist für die Zielsetzung der Arbeit relevant, da sie Aufschluss darüber gibt, ob und inwiefern die Benutzerfreundlichkeit (SUS), die

¹⁹ IBM: SPSS Statistics, <https://www.ibm.com/de-de/products/spss-statistics>

Aufmerksamkeitsleistung (SART) und die Bewegungskrankheit (SSQ) in einem VR-Animations-Tool in Beziehung zueinanderstehen.

Ergebnisse der Korrelationsanalyse (siehe Abbildung 25)

- **SART_Gesamt und SUS_Score:** Die Pearson-Korrelation zwischen **SART_Gesamt** (Aufmerksamkeit) und **SUS_Score** (Benutzerfreundlichkeit) beträgt $r=0,322$ ($p = 0,101$). Dies weist auf eine schwache positive Korrelation hin, wobei der Zusammenhang statistisch nicht signifikant ist. Das Konfidenzintervall reicht von $-0,072$ bis $0,622$. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass eine höhere Aufmerksamkeitsleistung möglicherweise mit einer besseren Wahrnehmung der Benutzerfreundlichkeit assoziiert sein könnte, wobei aufgrund der fehlenden Signifikanz Vorsicht bei der Interpretation geboten ist.
- **SART_Gesamt und Total_SSQ_Score:** Zwischen **SART_Gesamt** und **Total_SSQ_Score** (Bewegungskrankheit) ergibt sich eine negative Korrelation von $r=-0,377$ ($p = 0,053$). Diese Korrelation nähert sich der statistischen Signifikanz an, was darauf hindeuten könnte, dass eine bessere Aufmerksamkeitsleistung tendenziell mit weniger Bewegungskrankheitssymptomen verbunden ist. Das 95 %-Konfidenzintervall reicht von $-0,658$ bis $0,011$, was einen möglichen, aber nicht endgültig bestätigten Zusammenhang andeutet. Diese Beziehung ist besonders relevant für die Zielstellung der Arbeit, da eine Reduktion von Bewegungskrankheit ein wichtiger Aspekt für das Benutzererlebnis bei der Arbeit mit VR-basierten Tools darstellt.
- **SUS_Score und Total_SSQ_Score:** Der Zusammenhang zwischen **SUS_Score** (Benutzerfreundlichkeit) und **Total_SSQ_Score** ist mit $r=-0,229$ ($p = 0,251$) schwach negativ und statistisch nicht signifikant. Das Konfidenzintervall reicht von $-0,557$ bis $0,170$. Diese Ergebnisse legen nahe, dass in dieser Stichprobe kaum ein Zusammenhang zwischen der Benutzerfreundlichkeit des VR-Tools und den Symptomen der Bewegungskrankheit besteht.

Relevanz der Ergebnisse

Die Korrelationsanalyse liefert wertvolle Informationen für die Entwicklung des VR-Animations-Tools, insbesondere in Bezug auf die Benutzerfreundlichkeit und das physische Wohlbefinden der Nutzer. Ein schwacher Zusammenhang zwischen der Aufmerksamkeitsleistung und der Benutzerfreundlichkeit weist darauf hin, dass Verbesserungen in der Aufmerksamkeit möglicherweise zu einem effizienteren und angenehmeren Nutzungserlebnis beitragen könnten. Der nahezu signifikante negative Zusammenhang zwischen Aufmerksamkeitsleistung und Bewegungskrankheitssymptomen hebt hervor, dass ein besonderes Augenmerk auf die Minimierung von Ablenkungen und eine bessere Fokussierung der Nutzer gelegt werden sollte, um Bewegungskrankheit zu reduzieren.

Zusammenfassend deutet die Analyse darauf hin, dass Aufmerksamkeitsleistung und Bewegungskrankheit wichtige Faktoren sind, die bei der weiteren Optimierung des Tools berücksichtigt werden sollten. Da die Benutzerfreundlichkeit in den Ergebnissen keine starke Korrelation mit den anderen Variablen zeigt, könnten zusätzliche Faktoren, wie die visuelle Darstellung oder Interaktionsmechanismen, einen größeren Einfluss auf die Nutzungserfahrung haben. Diese Ergebnisse liefern eine Grundlage für zukünftige Optimierungen, die darauf abzielen, die Arbeitsabläufe bei der Erstellung von Animationen zu verbessern und ein komfortableres Nutzererlebnis in VR zu ermöglichen.

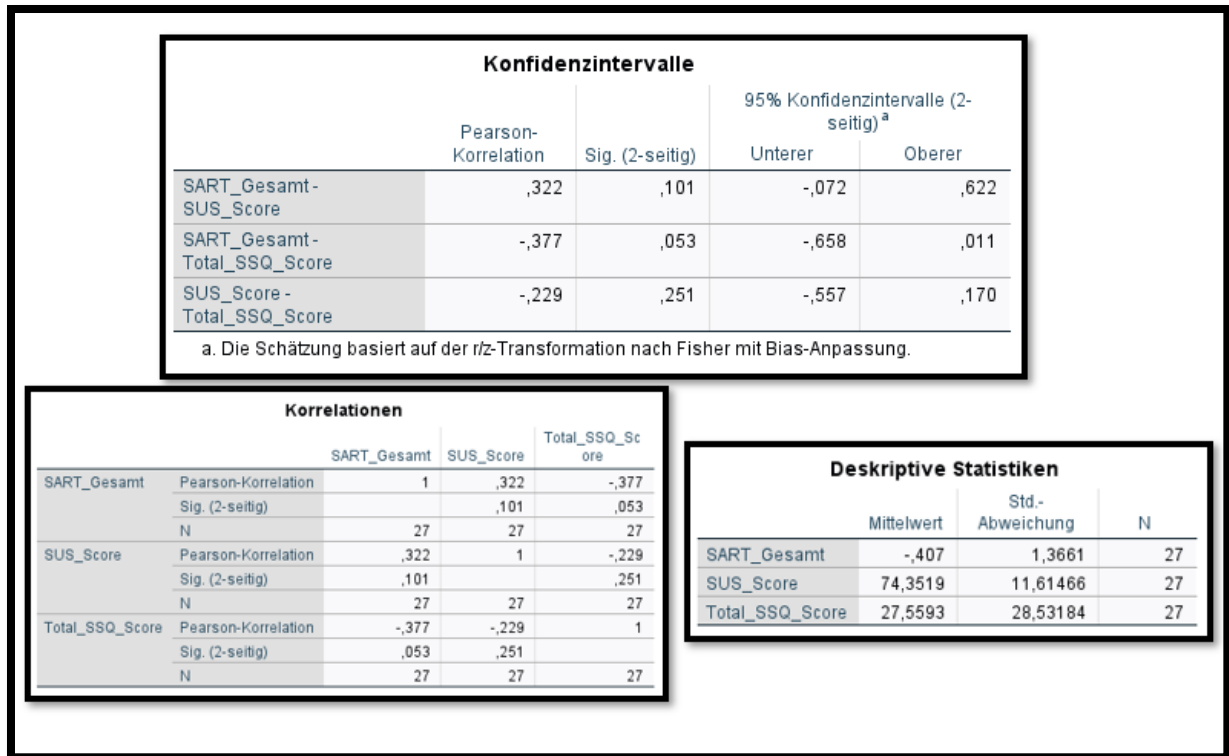


Abbildung 25: Deskriptive Statistiken und Konfidenzintervalle der Korrelationen von SSQ, SUS & SART

Schlussfolgerung

Die Analyse der Korrelationen zwischen SART, SUS und SSQ deutet darauf hin, dass die Aufmerksamkeitsleistung der Probanden tendenziell mit weniger Bewegungskrankheitssymptomen verbunden ist. Ein direkter Zusammenhang zwischen der Benutzerfreundlichkeit und der Bewegungskrankheit konnte nicht nachgewiesen werden. Dies legt nahe, dass zur weiteren Optimierung des VR-Tools neben der Benutzerfreundlichkeit auch Faktoren wie die visuelle Darstellung und die kognitive Beanspruchung berücksichtigt werden sollten, um sowohl die Effizienz als auch das Wohlbefinden der Nutzer zu steigern.

7.5 Der AnimVRig-Evaluationsfragebogen

Ziel des AnimVRig Evaluationsfragebogen war es, ein detailliertes Bild der Benutzerfreundlichkeit und Funktionalität des VR-Animations-Tools zu gewinnen, um mögliche Schwachstellen und Optimierungspotenziale zu identifizieren. Im Fokus standen die Intuitivität der Benutzeroberfläche, die Bedienbarkeit und die technische Leistungsfähigkeit, die in den folgenden Kapiteln ausführlich ausgewertet werden.

Zunächst wird die **Benutzerfreundlichkeit** von AnimVRig analysiert, gefolgt von der Auswertung der **Funktionalität**, in der spezifische Funktionen des Tools und deren Übereinstimmung mit den Erwartungen der Nutzenden betrachtet werden. Daraufhin werden die Aspekte **Interaktivität und Immersion** besprochen, die maßgeblich zum Nutzungserlebnis in der virtuellen Umgebung beitragen.

Ein weiterer Schwerpunkt liegt auf der **technischen Leistung** der Anwendung, einschließlich Stabilität, Performance und Ladezeiten. Anschließend wird die **allgemeine Zufriedenheit** der Nutzenden bewertet, um ein ganzheitliches Verständnis der Nutzererfahrungen zu gewinnen.

Neben den positiven Aspekten werden auch die **hilfreichen Funktionen** untersucht, die von den Nutzenden als besonders nützlich hervorgehoben wurden. Daraufhin folgt die Analyse des **Anwendungspotenzials**, um mögliche Einsatzfelder von AnimVRig in verschiedenen Branchen zu identifizieren.

Abschließend werden **technische Probleme, Verbesserungen** und **Schwierigkeiten** ausgewertet, die während der Nutzung aufgetreten sind. Diese Ergebnisse sind entscheidend, um Bereiche zu erkennen, in denen das Tool weiter optimiert werden kann, und bilden die Grundlage für die zukünftige Weiterentwicklung von AnimVRig.

7.5.1 Der Benutzerfreundlichkeit

Intuitivität der Benutzeroberfläche

Die Mehrheit der Nutzenden empfand die Benutzeroberfläche von AnimVRig als intuitiv gestaltet. Insgesamt stimmten **78,6 %** (22 von 28 Teilnehmenden) der Aussage zu oder voll zu, dass die Benutzeroberfläche intuitiv ist. Davon stimmten **50,0 %** (14 Personen) zu und **28,6 %** (8 Personen) stimmten voll zu. Nur **7,1 %** (2 Personen) stimmten wenig zu, und **14,3 %** (4 Personen) stimmten teilweise zu.

Diese Zahlen zeigen, dass die Gestaltung der Benutzeroberfläche weitgehend den Erwartungen der Nutzenden entspricht und ihnen ermöglicht, sich schnell zurechtzufinden. Die hohe Zustimmung unterstreicht die Effektivität des Designs und die klare Strukturierung, was wesentlich dazu beiträgt, dass Nutzende sich auf ihre kreativen Aufgaben konzentrieren können, ohne durch komplexe Menüs abgelenkt zu werden.

Navigation durch Menüs und Funktionen

Die Navigation innerhalb der Anwendung wurde von **67,9 %** (19 von 28 Teilnehmenden) als einfach empfunden, wobei **25,0 %** (7 Personen) zustimmten und **42,9 %** (12 Personen) voll zustimmten. Allerdings stimmten **14,3 %** (4 Personen) teilweise zu, **14,3 %** (4 Personen) stimmten wenig zu, und **3,6 %** (1 Person) stimmte überhaupt nicht zu.

Diese Verteilung zeigt, dass zwar eine Mehrheit die Navigation positiv bewertet, jedoch auch ein signifikanter Anteil von **32,1 %** (9 Personen) die Navigation als weniger einfach empfand. Dies deutet darauf hin, dass es für einige Nutzende Herausforderungen bei der Bedienung der Menüs und Funktionen gab. Um ein einheitlich positives Navigationserlebnis zu bieten, könnte es sinnvoll sein, die Menüführung weiter zu optimieren und mögliche Unklarheiten zu beseitigen.

Verständlichkeit der Anleitung

Die bereitgestellte Anleitung wurde von **82,1 %** (23 von 28 Teilnehmenden) als verständlich und hilfreich bewertet, wobei **35,7 %** (10 Personen) zustimmten und **46,4 %** (13 Personen) voll zustimmten. Die restlichen **17,9 %** (5 Personen) stimmten teilweise zu.

Dieses Ergebnis zeigt, dass die Anleitung für die meisten Nutzenden eine effektive Unterstützung darstellt. Die klare Sprache und die praxisorientierte Darstellung der Inhalte wurden positiv hervorgehoben. Dennoch signalisiert der Anteil von **17,9 %**, der nur teilweise zustimmte, dass einige Nutzende sich zusätzliche oder ausführlichere Informationen wünschten. Die Ergänzung der Anleitung um weitere Beispiele oder interaktive Tutorials könnte hier hilfreich sein.

Auffindbarkeit und Bedienbarkeit von Animationen

Bei der Frage nach der Auffindbarkeit und Bedienbarkeit von Animationen stimmten **75,0 %** (21 von 28 Teilnehmenden) zu oder voll zu, wobei **28,6 %** (8 Personen) zustimmten und **46,4 %** (13 Personen) voll zustimmten. Ein Viertel der Teilnehmenden **25,0 %** (7 Personen) stimmte teilweise zu.

Während die Mehrheit die Animationen als leicht auffindbar und einfach zu bedienen empfand, deutet der Anteil von **25,0 %** darauf hin, dass es für einige Nutzende Schwierigkeiten gab. Dies könnte darauf hindeuten, dass die Implementierung zusätzlicher Filter- oder Suchfunktionen sinnvoll wäre, um die Auffindbarkeit weiter zu verbessern und den unterschiedlichen Bedürfnissen der Nutzenden gerecht zu werden.

Struktur des Bindings-Menüs

Das Bindings-Menü, das zur selektiven Steuerung einzelner Körperteile dient, wurde von **82,2 %** (23 von 28 Teilnehmenden) als logisch strukturiert wahrgenommen. Dabei stimmten **28,6 %** (8 Personen) zu und **53,6 %** (15 Personen) voll zu. **14,3 %** (4 Personen) stimmten teilweise zu, und **3,6 %** (1 Person) stimmte wenig zu.

Die hohe Zustimmung zeigt, dass die klare Anordnung der Optionen und die intuitive Bedienung des Bindings-Menüs den Nutzenden ermöglichten, präzise Anpassungen vorzunehmen und ihre Animationen effektiv zu steuern. Die geringe Anzahl negativer Bewertungen weist darauf hin, dass das Menü größtenteils den Erwartungen entspricht.

Zuverlässigkeit der Gestensteuerung

Die Geste zum Öffnen des Hauptmenüs, bei der Daumen und Zeigefinger zusammengeführt werden, wurde von **82,1 %** (23 von 28 Teilnehmenden) als zuverlässig empfunden. Dabei stimmten **25,0 %** (7 Personen) zu und **57,1 %** (16 Personen) voll zu. **14,3 %** (4 Personen) stimmten teilweise zu, und **3,6 %** (1 Person) stimmte wenig zu.

Die hohe Zufriedenheit mit der Gestensteuerung spricht für eine präzise technische Umsetzung und ein gutes Verständnis der Nutzerbedürfnisse. Die natürliche Interaktionsmöglichkeit in der virtuellen Umgebung trägt wesentlich zu einem positiven Nutzungserlebnis bei.

Interpretation der Ergebnisse

Die Benutzerfreundlichkeit von AnimVRig wurde insgesamt positiv bewertet. Die Mehrheit der Nutzenden empfand die Benutzeroberfläche als intuitiv, was die Nutzererfahrung erleichtert und die kreative Arbeit unterstützt. Trotz der positiven Rückmeldungen zur Navigation und der Verständlichkeit der Anleitung gab es dennoch einen signifikanten Anteil von Teilnehmenden, die kleinere Schwierigkeiten bei der Navigation oder dem Auffinden von Funktionen angaben. Diese Unterschiede in der Wahrnehmung könnten auf individuelle Erfahrungen oder unterschiedliche Vorkenntnisse der Teilnehmenden zurückzuführen sein. Es besteht Potenzial, die Menüstruktur und die Unterstützung durch die Anleitung weiter zu optimieren, um die Zufriedenheit auf ein einheitlich hohes Niveau zu bringen.

Fazit

Die Benutzeroberfläche und Navigation von AnimVRig erfüllen weitgehend die Erwartungen der Nutzenden. Es zeigt sich jedoch, dass es noch Raum für Verbesserungen gibt, insbesondere bei der Navigation durch Menüs und Funktionen sowie bei der Auffindbarkeit von Animationen. Die Implementierung zusätzlicher Filter oder Suchfunktionen könnte das Nutzungserlebnis weiter optimieren. Insgesamt trägt die benutzerfreundliche Gestaltung wesentlich zur positiven Wahrnehmung und Akzeptanz des Tools bei.

7.5.2 Funktionalität

Übereinstimmung der Funktionen mit den Erwartungen

Die Mehrheit der Nutzenden gab an, dass die Funktionen von AnimVRig ihren Erwartungen entsprechen. Insgesamt stimmten **82,1 %** (23 von 28 Teilnehmenden) der Aussage zu oder voll zu, wobei **57,1 %** (16 Personen) zustimmten und **25,0 %** (7 Personen) voll zustimmten. **14,3 %** (4 Personen) stimmten teilweise zu, während nur **3,6 %** (1 Person) wenig zustimmte.

Diese Zahlen zeigen, dass AnimVRig die Anforderungen der meisten Nutzenden erfüllt und die bereitgestellten Funktionen ihren Erwartungen entsprechen. Die hohe Zustimmung deutet darauf hin, dass die Anwendung im Hinblick auf die angebotenen Werkzeuge und Möglichkeiten den Bedürfnissen der Nutzenden gerecht wird.

Präzise Auswahl der Körperteile durch das Bindings-Menü

Das Bindings-Menü, das eine präzise Auswahl der anzusteuern Körperteile ermöglicht, wurde von **78,6 %** (22 von 28 Teilnehmenden) positiv bewertet. Dabei stimmten **39,3 %** (11 Personen) zu und weitere **39,3 %** (11 Personen) stimmten voll zu. **14,3 %** (4 Personen) stimmten teilweise zu, und **7,1 %** (2 Personen) stimmten wenig zu.

Die hohe Zustimmung zeigt, dass das Bindings-Menü effektiv gestaltet ist und den Nutzenden ermöglicht, spezifische Körperteile gezielt anzusteuern. Allerdings signalisiert der Anteil von **21,4 %** (6 Personen), die nur teilweise oder wenig zustimmten, dass es für einige Nutzende Verbesserungsbedarf gibt. Möglicherweise könnte die Benutzeroberfläche des Menüs weiter optimiert werden, um die Präzision und Benutzerfreundlichkeit zu erhöhen.

Nützlichkeit der Funktion zum Wechseln von Modellen

Die Funktion zum Wechseln von Modellen wurde von **85,7 %** (24 von 28 Teilnehmenden) als nützlich empfunden. **21,4 %** (6 Personen) stimmten zu, und **64,3 %** (18 Personen) stimmten voll zu. **14,3 %** (4 Personen) stimmten teilweise zu.

Diese hohe Zustimmung unterstreicht die Bedeutung dieser Funktion für die Nutzenden. Die Möglichkeit, Modelle innerhalb der Anwendung zu wechseln, scheint ein wesentliches Feature zu sein, das den Arbeitsablauf erleichtert und Flexibilität bietet.

Nützlichkeit der Funktion zum Wechseln von Varianten

Die Funktion zum Wechseln von Varianten wurde von **78,5 %** (22 von 28 Teilnehmenden) positiv bewertet, wobei **21,4 %** (6 Personen) zustimmten und **57,1 %** (16 Personen) voll zustimmten. **14,3 %** (4 Personen) stimmten teilweise zu, und **7,1 %** (2 Personen) stimmten wenig zu.

Die Mehrheit der Nutzenden sieht in dieser Funktion einen Mehrwert, da sie ermöglicht, verschiedene Varianten eines Modells oder einer Animation auszuprobieren. Die Tatsache, dass **21,4 %** (6 Personen) nur teilweise oder wenig zustimmten, könnte darauf hindeuten, dass die Funktionalität oder die Benutzerführung in diesem Bereich weiter verbessert werden kann.

Einsatz des Transformer-Werkzeugs

Das Transformer-Werkzeug, das die präzise Positionierung und Rotation von Modellen im 3D-Raum erleichtert, wurde von **77,7 %** (21 von 27 gültigen Antworten) positiv bewertet. **37,0 %** (10 Personen) stimmten zu, und **40,7 %** (11 Personen) stimmten voll zu. **14,8 %** (4 Personen) stimmten teilweise zu, und **7,4 %** (2 Personen) stimmten wenig zu.

Die hohe Zustimmung zeigt, dass das Transformer-Werkzeug für die meisten Nutzenden ein hilfreiches Tool ist, um Modelle präzise zu positionieren und zu rotieren. Der Anteil der Nutzenden, die nur

teilweise oder wenig zustimmten beträgt **22,2 %** (6 Personen) und deutet darauf hin, dass es für einige Nutzende Verbesserungsmöglichkeiten gibt, beispielsweise in der Benutzerfreundlichkeit oder Genauigkeit des Werkzeugs.

Praktikabilität der Option zum Speichern von Animationen direkt in der Entwicklungsumgebung

Die Möglichkeit, Animationen direkt in der Entwicklungsumgebung zu speichern, wurde von **82,2 %** (23 von 28 Teilnehmenden) als praktisch empfunden. **14,3 %** (4 Personen) stimmten zu, und **67,9 %** (19 Personen) stimmten voll zu. **17,9 %** (5 Personen) stimmten teilweise zu.

Die überwiegende Mehrheit der Nutzenden sieht diese Funktion als praktischen Vorteil, der den Workflow verbessert und Zeit spart. Die Tatsache, dass **17,9 %** (5 Personen) nur teilweise zustimmten, könnte darauf hinweisen, dass es Optimierungspotenzial in Bezug auf die Bedienung oder Zuverlässigkeit dieser Funktion gibt.

Interpretation der Ergebnisse

Die Funktionalität von AnimVRig wurde von den meisten Teilnehmenden positiv bewertet, insbesondere die präzise Auswahl von Körperteilen und das Wechseln von Modellen und Varianten. Diese Funktionen unterstützen die Nutzenden bei der Erstellung von Animationen und scheinen den Erwartungen weitgehend zu entsprechen. Ein geringer Anteil der Nutzenden äußerte allerdings Verbesserungsvorschläge, insbesondere im Bereich der Benutzeroberfläche des Bindings-Menüs und der Nützlichkeit bestimmter Funktionen. Diese Rückmeldungen zeigen, dass das Tool zwar effektiv ist, aber in der Benutzerführung und Präzision noch weiter verfeinert werden könnte.

Fazit

AnimVRig bietet eine umfassende Funktionalität, die den Bedürfnissen der meisten Nutzenden entspricht. Besonders die Möglichkeit, zwischen Modellen und Varianten zu wechseln, wird als nützlich empfunden. Dennoch gibt es Bereiche, in denen die Präzision und Benutzerführung weiter verbessert werden könnten, um die Benutzerfreundlichkeit und Effizienz weiter zu steigern. Die Funktionalität des Tools trägt zu einer positiven Arbeitsumgebung bei, jedoch sollte auf die Bedürfnisse der wenigen kritischen Nutzenden eingegangen werden.

7.5.3 Interaktivität und Immersion

Die folgenden Ergebnisse geben Einblick in die Wahrnehmung der Nutzenden hinsichtlich der Reaktionsgeschwindigkeit, der Feedback-Schleife, der Gestensteuerung und der Qualität der Animationen.

Reaktionsgeschwindigkeit des Systems

Die Aussage *"Die Reaktion des Systems auf meine Bewegungen war schnell und präzise."* wurde von den Teilnehmenden überwiegend positiv bewertet. Insgesamt stimmten **89,2 %** (25 von 28) der Befragten zu oder voll zu, wobei **57,1 %** (16 Personen) zustimmten und **32,1 %** (9 Personen) voll zustimmten. Nur **3,6 %** (1 Person) stimmte überhaupt nicht zu und ebenso viele stimmten wenig zu. Weitere **3,6 %** (1 Person) stimmte teilweise zu.

Diese hohe Zustimmung zeigt, dass AnimVRig in der Lage ist, Bewegungen der Nutzenden schnell und präzise zu erkennen und umzusetzen. Die geringe Anzahl negativer Bewertungen deutet darauf hin, dass es nur vereinzelt zu Verzögerungen oder Ungenauigkeiten gekommen ist.

Echtzeit-Feedback-Schleife

Auf die Aussage *"Die Echtzeit-Feedback-Schleife zwischen meiner Bewegung und der Animation war flüssig und verzögerungsfrei."* antworteten **78,6 %** (22 von 28) der Teilnehmenden mit Zustimmung

oder voller Zustimmung. Dabei stimmten **35,7 %** (10 Personen) zu und **42,9 %** (12 Personen) voll zu. **17,9 %** (5 Personen) stimmten teilweise zu, und **3,6 %** (1 Person) stimmte wenig zu.

Die Mehrheit der Nutzenden empfand die Feedback-Schleife als flüssig, was für eine hohe Performance des Systems spricht. Allerdings zeigt der Anteil von **21,5 %** (6 Personen), die nicht voll zustimmten, dass es gelegentlich zu leichten Verzögerungen oder Unregelmäßigkeiten gekommen sein könnte.

Einfluss der Handgestensteuerung auf die Immersion

Die Möglichkeit, das System durch Handgesten zu steuern, wurde von den Teilnehmenden unterschiedlich wahrgenommen. Auf die Aussage *"Die Möglichkeit, durch Handgesten das System zu steuern, erhöht das Gefühl der Immersion."* stimmten **74,0 %** (20 von 27 gültigen Antworten) zu oder voll zu. Davon stimmten **33,3 %** (9 Personen) zu und **40,7 %** (11 Personen) voll zu. **11,1 %** (3 Personen) stimmten teilweise zu, während **14,8 %** (4 Personen) wenig oder überhaupt nicht zustimmten.

Diese Ergebnisse zeigen, dass die Mehrheit der Nutzenden die Gestensteuerung als bereichernd für das Immersionserlebnis empfindet. Allerdings gibt es einen bemerkenswerten Anteil von **25,9 %** (7 Personen), der dieser Aussage nicht voll zustimmt, was darauf hindeutet, dass die Gestensteuerung für einige Nutzende nicht den erwarteten Mehrwert bietet oder möglicherweise Verbesserungen in der Erkennungsgenauigkeit oder Benutzerfreundlichkeit erforderlich sind.

Präferenz für Steuerung mit Controllern vs. Händen

Die Frage nach der bevorzugten Steuerungsmethode ergab, dass **81,5 %** (22 von 27 gültigen Antworten) der Teilnehmenden es vorziehen, das System mit den Händen zu steuern statt mit Controllern. Dabei stimmten **55,6 %** (15 Personen) überhaupt nicht zu und **25,9 %** (7 Personen) stimmten wenig zu der Aussage *"Ich würde lieber mit Controllern das System steuern als mit Händen."* Nur **14,8 %** (4 Personen) stimmten dieser Aussage zu oder voll zu.

Diese deutliche Präferenz für die Handsteuerung unterstreicht die Bedeutung einer intuitiven und natürlichen Interaktionsmöglichkeit in virtuellen Umgebungen. Die meisten Nutzenden empfinden die direkte Steuerung mit den Händen als angenehmer und immersiver als die Verwendung von Controllern.

Qualität der Animationen im Kontext einer kostengünstigen Body-Tracking-Lösung

Die Qualität der Animationen wurde von den Teilnehmenden überwiegend positiv bewertet. Auf die Frage *"Wie gut entspricht die Qualität der Animationen Ihren Erwartungen an eine kostengünstige Body-Tracking-Lösung?"* stimmten **85,7 %** (24 von 28) zu oder voll zu. **28,6 %** (8 Personen) stimmten zu und **57,1 %** (16 Personen) stimmten voll zu. **10,7 %** (3 Personen) stimmten teilweise zu, und nur **3,6 %** (1 Person) stimmte wenig zu.

Diese hohe Zustimmung zeigt, dass die Nutzenden die Qualität der Animationen als gut bis sehr gut einschätzen, insbesondere im Hinblick auf die Kosteneffizienz der Lösung. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass AnimVRig in der Lage ist, qualitativ hochwertige Animationen zu erzeugen, die den Erwartungen der Nutzenden entsprechen.

Interpretation der Ergebnisse

Die Ergebnisse zeigen, dass die Interaktivität und das Immersionserlebnis von AnimVRig weitgehend positiv bewertet wurden. Die Reaktionsgeschwindigkeit und die Echtzeit-Feedback-Schleife wurden von der Mehrheit als schnell und flüssig wahrgenommen. Die Handgestensteuerung wurde von vielen Nutzenden als immersiv erlebt, doch es gab auch eine signifikante Gruppe, die diese Steuerungsmethode als weniger hilfreich empfand oder Controller bevorzugte. Dies deutet darauf hin, dass die Immersion und Interaktion in der VR-Umgebung von den individuellen Präferenzen und Erwartungen der Nutzenden abhängt.

Fazit

AnimVRig bietet eine immersive und interaktive Erfahrung, die von den meisten Nutzenden geschätzt wird, insbesondere in Bezug auf die schnelle Reaktionsgeschwindigkeit und die präzise Gestensteuerung. Für einige Nutzende wäre jedoch eine weitere Optimierung der Handgestensteuerung sinnvoll, um die Immersion weiter zu erhöhen. Die Möglichkeit, sowohl Handgesten als auch Controller zur Steuerung anzubieten, könnte die Nutzerzufriedenheit zusätzlich steigern.

7.5.4 Technische Leistung

Die Befragung gibt Aufschluss über die Stabilität, Performance und Reaktionsfähigkeit der Software.

Stabilität der Anwendung

Die Mehrheit der Nutzenden bewertete die Stabilität von AnimVRig positiv. **53,6 %** (15 von 28 Teilnehmenden) stimmten der Aussage *"Die Anwendung lief stabil und ohne technische Probleme."* zu oder voll zu. Dabei stimmten **25,0 %** (7 Personen) zu und **28,6 %** (8 Personen) voll zu. Allerdings gaben **35,7 %** (10 Personen) an, nur teilweise zuzustimmen, und **10,7 %** (3 Personen) stimmten wenig zu.

Diese Verteilung zeigt, dass zwar über die Hälfte der Nutzenden mit der Stabilität zufrieden ist, jedoch ein signifikanter Anteil von **46,4 %** (13 Personen) zumindest teilweise technische Probleme erlebte. Dies deutet darauf hin, dass es gelegentlich zu Abstürzen oder unerwarteten Fehlermeldungen gekommen sein könnte, was die Nutzererfahrung beeinträchtigt.

Ladezeiten von Funktionen und Modellen

Die Ladezeiten der verschiedenen Funktionen und Modelle wurden überwiegend als akzeptabel empfunden. **96,4 %** (27 von 28 Teilnehmenden) stimmten der Aussage zu oder voll zu, wobei **25,0 %** (7 Personen) zustimmten und **71,4 %** (20 Personen) voll zustimmten. Lediglich **3,6 %** (1 Person) stimmte teilweise zu.

Diese hohe Zustimmung zeigt, dass AnimVRig in Bezug auf Ladezeiten effizient arbeitet und die Nutzenden nicht durch lange Wartezeiten beeinträchtigt werden. Schnelle Ladezeiten tragen wesentlich zu einem flüssigen Arbeitsfluss und einer positiven Nutzererfahrung bei.

Performance während des Animierens

Die Performance der Anwendung beim Animieren wurde von **92,9 %** (26 von 28 Teilnehmenden) positiv bewertet. **39,3 %** (11 Personen) stimmten zu und **53,6 %** (15 Personen) stimmten voll zu, dass die Performance auch beim Animieren flüssig blieb. **7,1 %** (2 Personen) stimmten wenig zu.

Die hohe Zufriedenheit in diesem Bereich unterstreicht die Leistungsfähigkeit von AnimVRig bei ressourcenintensiven Aufgaben wie dem Animieren. Die flüssige Performance ermöglicht es den Nutzenden, ohne Unterbrechungen oder Verzögerungen zu arbeiten, was für kreative Prozesse essentiell ist.

Verzögerungen beim Bearbeiten von Animationen

Auf die Aussage *"Es traten keine Verzögerungen auf, während ich Animationen bearbeitet habe."* stimmten **78,6 %** (22 von 28 Teilnehmenden) zu oder voll zu. **39,3 %** (11 Personen) stimmten zu und **39,3 %** (11 Personen) voll zu. **21,4 %** (6 Personen) stimmten weniger positiv, wobei **10,7 %** (3 Personen) teilweise zustimmten und **10,7 %** (3 Personen) wenig zustimmten.

Während die Mehrheit keine Verzögerungen erlebte, deutet der Anteil von **21,4 %** darauf hin, dass es bei einigen Nutzenden zu Latenzen oder Verzögerungen kam. Dies könnte auf unterschiedliche Hardware-Konfigurationen oder Optimierungspotenziale innerhalb der Software hinweisen.

Reaktionsgeschwindigkeit auf Eingaben und Befehle

Die Anwendung reagierte nach Meinung von **92,9 %** (26 von 28 Teilnehmenden) schnell auf Eingaben und Befehle. **39,3 %** (11 Personen) stimmten zu und **53,6 %** (15 Personen) stimmten voll zu. **7,1 %** (2 Personen) stimmten teilweise zu.

Die nahezu einhellige Zustimmung zeigt, dass AnimVRig eine hohe Reaktionsgeschwindigkeit aufweist, was für ein reibungsloses und effizientes Arbeiten unerlässlich ist. Die schnelle Verarbeitung von Nutzereingaben trägt maßgeblich zur Benutzerfreundlichkeit und Zufriedenheit bei.

Interpretation der Ergebnisse

Die technische Leistung von AnimVRig wurde größtenteils als stabil und reaktionsschnell bewertet, obwohl ein beachtlicher Anteil der Nutzenden vereinzelt technische Probleme erlebte. Diese traten vor allem in Form von Instabilität und gelegentlichen Verzögerungen beim Bearbeiten von Animationen auf. Dennoch wurde die Ladezeit der Funktionen und die allgemeine Performance während des Animierens überwiegend als sehr positiv bewertet, was auf eine gute technische Umsetzung hinweist.

Fazit

Die technische Leistung von AnimVRig wird von den meisten Nutzenden als zuverlässig und flüssig wahrgenommen, wobei jedoch eine Optimierung der Stabilität notwendig ist, um gelegentliche Probleme zu beheben. Eine Verbesserung der Zuverlässigkeit könnte das Nutzererlebnis weiter verbessern und den Arbeitsfluss reibungsloser gestalten. Die positive Rückmeldung zur Performance und Reaktionsgeschwindigkeit zeigt, dass die grundlegenden technischen Aspekte gut umgesetzt wurden.

7.5.5 Allgemeine Zufriedenheit

Die allgemeine Zufriedenheit der Nutzenden mit AnimVRig wurde anhand von fünf zentralen Aussagen ermittelt. Die Ergebnisse zeigen eine überwältigend positive Resonanz, was auf eine erfolgreiche Erfüllung der Nutzererwartungen und eine hohe Akzeptanz der Anwendung hindeutet.

Gesamtzufriedenheit mit der Benutzererfahrung

Auf die Aussage "**Ich bin insgesamt zufrieden mit der Benutzererfahrung von AnimVRig.**" stimmten **92,9 %** (26 von 28 Teilnehmenden) zu oder voll zu. Davon stimmten **42,9 %** (12 Personen) zu und **50,0 %** (14 Personen) stimmten voll zu. Nur **7,1 %** (2 Personen) stimmten teilweise zu, während niemand wenig oder überhaupt nicht zustimmte.

Diese hohe Zustimmung unterstreicht, dass AnimVRig eine positive Benutzererfahrung bietet, die den Erwartungen der meisten Nutzenden entspricht. Die Tatsache, dass kein Teilnehmender unzufrieden war, spricht für die Qualität der Benutzeroberfläche und die Nutzerfreundlichkeit der Anwendung.

Erfüllung der Erwartungen an ein VR-Animationstool

Die Aussage "**AnimVRig hat meine Erwartungen an ein Animationstool für VR erfüllt.**" wurde von **96,5 %** (27 von 28 Teilnehmenden) positiv bewertet. **28,6 %** (8 Personen) stimmten zu, und **67,9 %** (19 Personen) stimmten voll zu. Lediglich **3,6 %** (1 Person) stimmte teilweise zu, während niemand wenig oder überhaupt nicht zustimmte.

Diese Ergebnisse zeigen, dass AnimVRig die Anforderungen und Erwartungen der Nutzenden nicht nur erfüllt, sondern in vielen Fällen übertroffen hat. Die hohe Rate an voller Zustimmung (**67,9 %**) deutet darauf hin, dass die Anwendung in Bezug auf Funktionalität, Leistung und Benutzerfreundlichkeit überzeugt.

Bereitschaft zur zukünftigen Nutzung

Auf die Aussage "**Ich würde AnimVRig in zukünftigen Projekten einsetzen.**" antworteten **89,3 %** (25 von 28 Teilnehmenden) mit Zustimmung oder voller Zustimmung. **28,6 %** (8 Personen) stimmten zu, und **60,7 %** (17 Personen) stimmten voll zu. **10,7 %** (3 Personen) stimmten teilweise zu.

Die hohe Bereitschaft, AnimVRig in zukünftigen Projekten einzusetzen, zeigt das Vertrauen der Nutzenden in die Anwendung und ihre Nützlichkeit für zukünftige Arbeiten. Dies ist ein starker Indikator für die langfristige Akzeptanz und den Erfolg der Software im professionellen Umfeld.

Weiterempfehlung an andere

Die Aussage "**Ich würde AnimVRig anderen Entwicklern oder Anwendern empfehlen.**" wurde von **89,3 %** (25 von 28 Teilnehmenden) positiv beantwortet. **17,9 %** (5 Personen) stimmten zu, und **71,4 %** (20 Personen) stimmten voll zu. **10,7 %** (3 Personen) stimmten teilweise zu.

Die hohe Bereitschaft zur Weiterempfehlung ist ein starkes Zeichen für die Zufriedenheit der Nutzenden. Empfehlungen sind ein wichtiger Faktor für die Verbreitung einer Software und spiegeln das Vertrauen wider, das die Nutzenden in AnimVRig setzen.

Gesamtbewertung der Zufriedenheit

Auf die Frage "**Wie würden Sie Ihre Gesamtzufriedenheit mit AnimVRig auf einer Skala von 1 bis 5 bewerten?**" vergaben **96,3 %** (26 von 27 gültigen Antworten) eine Bewertung von 4 oder 5. **59,3 %** (16 Personen) vergaben die Note 4, und **37,0 %** (10 Personen) vergaben die Höchstnote 5. Nur **3,7 %** (1 Person) vergab die Note 3. Es gab **3,6 %** (1 Person) fehlende Antworten.

Der durchschnittliche Mittelwert lag bei **4,43**, mit einem Median von **4,50**, was eine sehr hohe Gesamtzufriedenheit widerspiegelt. Die geringe Standardabweichung von **0,634** zeigt, dass die Bewertungen einheitlich waren und es kaum Ausreißer gab.

Interpretation der Ergebnisse

Die allgemeine Zufriedenheit mit AnimVRig ist sehr hoch. Die meisten Nutzenden gaben an, mit der Benutzererfahrung und der Erfüllung ihrer Erwartungen sehr zufrieden zu sein. Die Bereitschaft zur zukünftigen Nutzung sowie die hohe Rate an Weiterempfehlungen unterstreichen die Akzeptanz und den Erfolg der Anwendung im professionellen Umfeld. Der einzige Bereich, der Verbesserungspotenzial andeutet, sind kleinere technische und funktionale Aspekte, die vereinzelt als störend empfunden wurden.

Fazit

Die allgemeine Zufriedenheit mit AnimVRig ist überwältigend positiv. Die hohe Akzeptanz und Weiterempfehlungsrate zeigen, dass das Tool die Erwartungen der Nutzenden erfüllt und ein wertvolles Werkzeug im Bereich der VR-Animation darstellt. Zukünftige Optimierungen sollten sich auf die Behebung kleinerer technischer Unzulänglichkeiten konzentrieren, um die bereits positive Nutzererfahrung weiter zu verbessern und ein Höchstmaß an Zufriedenheit zu gewährleisten.

7.5.6 Hilfreiche Funktionen

Im Rahmen der Nutzerbefragung wurden die Teilnehmenden gefragt, welche spezifischen Funktionen von AnimVRig sie als hilfreich empfanden. Die Ergebnisse dieser Befragung liefern wertvolle Einblicke in die Stärken der Anwendung sowie Bereiche, in denen Verbesserungen vorgenommen werden können.

Positionieren und Rotieren

- **Ja:** 18 Teilnehmende (**64,3 %**)
- **Nein:** 10 Teilnehmende (**35,7 %**)

Die Funktion zum **Positionieren und Rotieren** von Modellen wurde von der Mehrheit der Nutzenden als hilfreich wahrgenommen. Dies unterstreicht die Bedeutung dieser grundlegenden Funktion für die Arbeit in 3D-Umgebungen. Die Möglichkeit, Modelle präzise im Raum zu positionieren und zu orientieren, ist essenziell für die Erstellung realistischer Animationen. Allerdings empfanden **35,7 %** der Teilnehmenden diese Funktion nicht als hilfreich, was auf mögliche Schwierigkeiten in der Bedienung oder im Verständnis der Funktion hinweisen könnte.

Modell wechseln

- **Ja:** 16 Teilnehmende (**57,1 %**)
- **Nein:** 12 Teilnehmende (**42,9 %**)

Die Funktion zum **Wechseln von Modellen** wurde von etwas mehr als der Hälfte der Nutzenden als hilfreich bewertet. Dies zeigt, dass die Möglichkeit, zwischen verschiedenen Modellen zu wechseln, für viele Nutzende von Bedeutung ist, um unterschiedliche Szenarien oder Charaktere zu animieren. Der relativ hohe Anteil von **42,9 %**, die diese Funktion nicht als hilfreich empfanden, könnte darauf hindeuten, dass der Prozess des Modellwechsels nicht intuitiv genug gestaltet ist oder dass die Auswahl an verfügbaren Modellen nicht den Erwartungen entspricht.

Variante wechseln

- **Ja:** 6 Teilnehmende (**21,4 %**)
- **Nein:** 22 Teilnehmende (**78,6 %**)

Die Funktion zum **Wechseln von Varianten** wurde nur von **21,4 %** der Teilnehmenden als hilfreich angesehen. Dies ist der niedrigste Wert unter den abgefragten Funktionen und deutet auf erheblichen Verbesserungsbedarf hin. Mögliche Gründe könnten sein:

- Unklarheit über den Nutzen oder die Anwendung der Funktion.
- Eingeschränkte oder nicht relevante Varianten für die Nutzenden.
- Schwierigkeiten bei der Bedienung oder Zugänglichkeit der Funktion.

Körperteile zuweisen

- **Ja:** 19 Teilnehmende (**67,9 %**)
- **Nein:** 9 Teilnehmende (**32,1 %**)

Die Möglichkeit, **Körperteile zuzuweisen**, wurde von fast zwei Dritteln der Nutzenden als hilfreich empfunden. Diese Funktion erlaubt es, bestimmte Körperteile gezielt zu steuern oder zu animieren, was für die Erstellung detaillierter und individueller Animationen wichtig ist. Der Anteil von **32,1 %**, die

diese Funktion nicht als hilfreich ansahen, könnte darauf hindeuten, dass die Bedienung komplex ist oder dass die Funktion nicht ausreichend erklärt wird.

Animationen aufnehmen

- **Ja:** 21 Teilnehmende (75,0 %)
- **Nein:** 7 Teilnehmende (25,0 %)

Die Funktion zum **Aufnehmen von Animationen** wurde von drei Vierteln der Teilnehmenden als hilfreich bewertet. Dies zeigt, dass die Aufnahmefunktion den Anforderungen der meisten Nutzenden entspricht und wahrscheinlich intuitiv und effektiv gestaltet ist. Ein Viertel der Nutzenden empfand die Funktion jedoch nicht als hilfreich, was auf mögliche technische Probleme oder Bedienungsschwierigkeiten hinweisen könnte.

Animationen abspielen

- **Ja:** 16 Teilnehmende (57,1 %)
- **Nein:** 12 Teilnehmende (42,9 %)

Die Funktion zum **Abspielen von Animationen** wurde von einer knappen Mehrheit als hilfreich empfunden. Der hohe Anteil von **42,9 %**, die diese Funktion nicht als hilfreich ansahen, ist bemerkenswert und könnte darauf hindeuten, dass das Abspielen von Animationen nicht reibungslos funktioniert oder dass die Benutzeroberfläche in diesem Bereich optimiert werden muss.

Interpretation der Ergebnisse

Die Befragung zur Nützlichkeit spezifischer Funktionen von AnimVRig zeigt, dass einige zentrale Werkzeuge von der Mehrheit der Nutzenden als hilfreich empfunden werden, während andere Funktionen eher gemischtes Feedback erhalten haben. Besonders die Funktionen zum Positionieren und Rotieren von Modellen, das Zuweisen von Körperteilen und das Aufnehmen von Animationen wurden positiv bewertet. Diese Ergebnisse unterstreichen die Bedeutung dieser Funktionen für den kreativen Arbeitsprozess und die Erstellung von Animationen in einer VR-Umgebung. Gleichzeitig deuten die hohen negativen Bewertungen bei Funktionen wie "Variante wechseln" und "Modell wechseln" auf Schwierigkeiten in der Benutzerfreundlichkeit oder auf mangelnde Relevanz dieser Funktionen für die Nutzenden hin.

Fazit

Die Untersuchung der hilfreichen Funktionen zeigt, dass AnimVRig in den Bereichen "Animationen aufnehmen", "Körperteile zuweisen" und "Positionieren und Rotieren" gut auf die Bedürfnisse der Nutzenden abgestimmt ist. Diese Funktionen sollten als Stärken der Anwendung betrachtet und weiter unterstützt werden. Gleichzeitig besteht bei Funktionen wie "Variante wechseln", "Modell wechseln" und "Animationen abspielen" erheblicher Optimierungsbedarf. Besonders die geringe Nützlichkeit der Funktion zum Wechseln von Varianten deutet darauf hin, dass entweder der Nutzen dieser Funktion nicht klar genug kommuniziert wird oder dass die Funktion nicht den Anforderungen der Nutzenden entspricht. Es empfiehlt sich, diese Funktionen zu überarbeiten, um ihre Relevanz und Benutzerfreundlichkeit zu verbessern und so das Gesamtprodukt weiter zu optimieren.

7.5.7 Anwendungspotenzial

Die Erhebung der Nutzereinschätzungen zum Anwendungspotenzial von AnimVRig liefert wertvolle Hinweise auf die möglichen Einsatzbereiche der Software in verschiedenen Branchen und Disziplinen. Von den insgesamt **28** Teilnehmenden der Befragung haben **19** Personen (67,9 %) gültige Angaben zu

potenziellen Anwendungsfeldern gemacht, während 9 Teilnehmende (32,1 %) keine Angabe machten (siehe Abbildung 26). Dabei wurden individuellen Angaben kategorisiert und zusammengefasst.

Verteilung der Nennungen auf verschiedene Anwendungsbereiche

Die Teilnehmenden konnten aus verschiedenen vorgegebenen Bereichen wählen, in denen sie das größte Potenzial für den Einsatz von AnimVRig sehen. Die Ergebnisse verteilen sich wie folgt:

- **Industrie & Design:** 6 Nennungen (31,6 % der gültigen Antworten)
- **Entertainment & Gaming:** 5 Nennungen (26,3 % der gültigen Antworten)
- **Bildung & Lehre:** 4 Nennungen (21,1 % der gültigen Antworten)
- **Medizin & Therapie:** 2 Nennungen (10,5 % der gültigen Antworten)
- **Social Media & Metaverse:** 1 Nennung (5,3 % der gültigen Antworten)
- **Sonstiges:** 1 Nennung (5,3 % der gültigen Antworten)

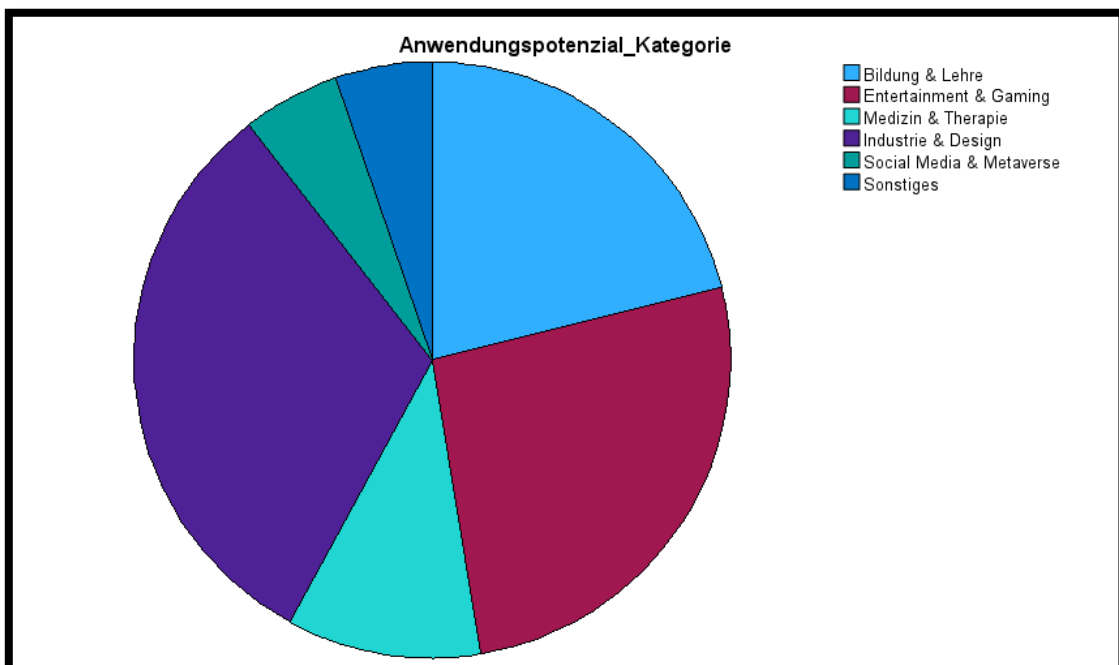


Abbildung 26: Tortendiagramm AnimVRig Anwendungspotenzial

Industrie & Design

Mit 31,6 % der gültigen Antworten ist Industrie & Design der am häufigsten genannte Anwendungsbereich. Dies deutet darauf hin, dass AnimVRig insbesondere in professionellen Kontexten wie Produktentwicklung, Prototyping und industriellem Design als wertvolles Werkzeug angesehen wird. Die Möglichkeit, Modelle in virtueller Realität zu animieren und zu manipulieren, kann den Designprozess beschleunigen und die Zusammenarbeit in interdisziplinären Teams fördern.

Entertainment & Gaming

Der Bereich Entertainment & Gaming erhielt 26,3 % der gültigen Nennungen. Die hohe Relevanz in diesem Sektor ist naheliegend, da AnimVRig durch die immersive Animationserstellung neue Möglichkeiten für Spieleentwickler und kreative Köpfe bietet. Die intuitive Bedienung und die

Möglichkeit, Bewegungen in Echtzeit zu erfassen, können die Entwicklungsprozesse für Spiele und interaktive Medien deutlich effizienter gestalten.

Bildung & Lehre

Mit **21,1 %** der gültigen Antworten wird Bildung & Lehre als ein weiterer wichtiger Anwendungsbereich identifiziert. AnimVRig kann im Bildungssektor dazu beitragen, komplexe Inhalte durch interaktive und visuelle Darstellungen verständlicher zu machen. In der Lehre können Studierende durch die Nutzung von VR-Technologien praktische Erfahrungen sammeln und ihre Kreativität entfalten.

Medizin & Therapie

Der Bereich Medizin & Therapie wurde von **10,5 %** der Teilnehmenden genannt. Hier bietet AnimVRig Potenzial für die Visualisierung medizinischer Daten, die Simulation chirurgischer Eingriffe oder therapeutische Anwendungen wie Rehabilitation durch virtuelle Bewegungsübungen. Die präzise Erfassung und Wiedergabe von Bewegungen kann in therapeutischen Kontexten von großem Nutzen sein.

Social Media & Metaverse

Mit **5,3 %** der gültigen Antworten wurde Social Media & Metaverse weniger häufig genannt. Dennoch zeigt die Nennung, dass AnimVRig auch im Kontext von sozialen Plattformen und virtuellen Welten Anwendung finden kann. Die Erstellung von personalisierten Avataren und Animationen könnte die Interaktion in digitalen Gemeinschaften bereichern.

Sonstiges

Ein Teilnehmender (**5,3 %**) schrieb fällt mit seiner Antwort: „Definitiv ja, ich kann aber nicht erklären warum“ unter die Kategorie Sonstiges.

Interpretation der Ergebnisse

Die Verteilung der Nennungen zeigt, dass AnimVRig in vielfältigen Bereichen Potenzial hat, wobei Industrie & Design sowie Entertainment & Gaming als die prominentesten Einsatzfelder identifiziert wurden. Dies unterstreicht die Flexibilität und Anpassungsfähigkeit der Software an unterschiedliche Anforderungen und Branchen.

Die häufige Nennung im industriellen Kontext legt nahe, dass AnimVRig dazu beitragen kann, Arbeitsabläufe zu optimieren und Innovationen zu fördern. Im Entertainment-Sektor kann die Software kreative Prozesse unterstützen und die Entwicklung interaktiver Inhalte erleichtern.

Die Relevanz für Bildung und Medizin zeigt, dass AnimVRig nicht nur in kommerziellen, sondern auch in gemeinnützigen oder bildungsorientierten Kontexten einen Mehrwert bieten kann. Die Anwendung in der Lehre und Therapie eröffnet neue Möglichkeiten für interaktive Lernmethoden und patientenorientierte Ansätze.

Fazit

Die Analyse des Anwendungspotenzials von AnimVRig zeigt ein breites Spektrum an möglichen Einsatzbereichen, mit besonderem Schwerpunkt auf Industrie & Design sowie Entertainment & Gaming. Die Ergebnisse unterstreichen die Vielseitigkeit der Software und das Interesse der Nutzenden an einer Anwendung in verschiedenen Branchen. Durch eine gezielte Weiterentwicklung und Anpassung an die spezifischen Bedürfnisse dieser Bereiche kann AnimVRig seine Marktposition stärken und neue Nutzergruppen erschließen.

7.5.8 Technische Probleme

Im Rahmen der Nutzerbefragung wurden die Teilnehmenden gebeten, etwaige technische Probleme zu benennen, die sie bei der Nutzung von AnimVRig erfahren haben. Die Aussagen wurden kategorisiert und in 5 Kategorien aufgeteilt. Von den insgesamt 28 Teilnehmenden gaben 15 Personen (**53,6 %**) an, technische Probleme erlebt zu haben, während 13 Personen (**46,4 %**) keine Probleme meldeten (siehe Abbildung 27).

Verteilung der gemeldeten technischen Probleme

Die gemeldeten technischen Probleme verteilen sich wie folgt:

- **Keine Probleme:** 13 Teilnehmende (**46,4 %**)
- **Software-Fehler:** 9 Teilnehmende (**32,1 %**)
- **Bedienungsprobleme:** 3 Teilnehmende (**10,7 %**)
- **Performance-Probleme:** 1 Teilnehmender (**3,6 %**)
- **Tracking-Probleme:** 2 Teilnehmende (**7,1 %**)

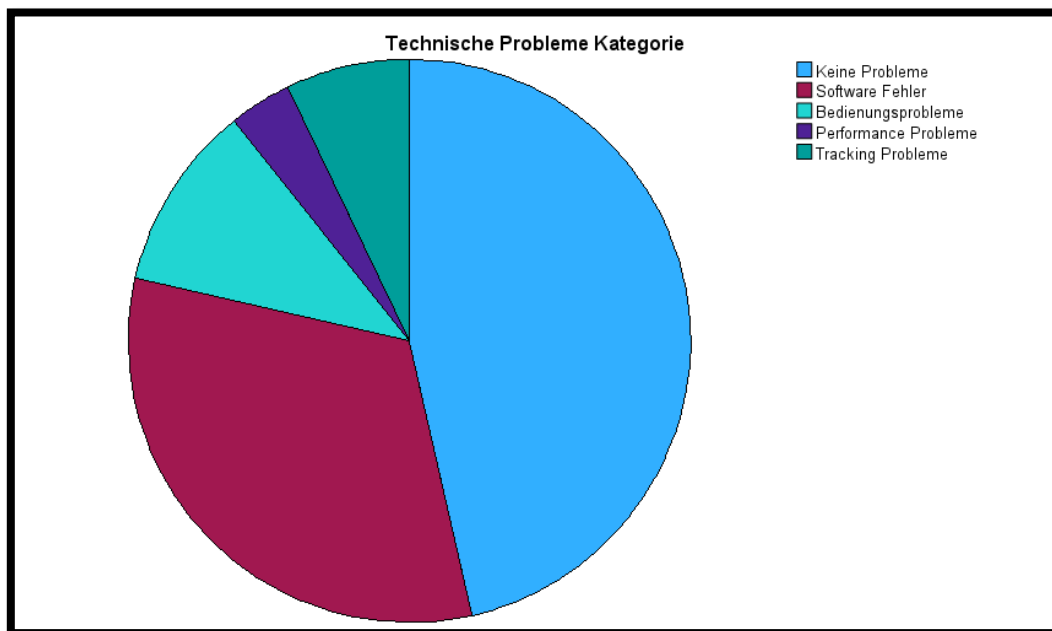


Abbildung 27: Tortendiagramm: AnimVRig Technische Probleme

Software-Fehler

Software-Fehler wurden von **32,1 %** der Teilnehmenden gemeldet. Diese Kategorie umfasst Abstürze der Anwendung, Fehlermeldungen oder unerwartetes Verhalten der Software. Die hohe Anzahl an Meldungen weist auf Stabilitätsprobleme hin, die die Nutzererfahrung erheblich beeinträchtigen können.

Mögliche Auswirkungen:

- Unterbrechung des Arbeitsflusses durch Abstürze oder Neustarts
- Verlust von nicht gespeicherten Arbeiten oder Fortschritten
- Frustration und reduzierte Zufriedenheit der Nutzenden

Bedienungsprobleme

10,7 % der Teilnehmenden berichteten von **Bedienungsproblemen**. Diese beziehen sich auf Schwierigkeiten bei der Nutzung der Software, die nicht unbedingt auf technische Fehler zurückzuführen sind, sondern auf die Benutzeroberfläche oder die Interaktionskonzepte.

Mögliche Ursachen:

- Unklare oder unintuitive Menüführung
- Fehlende oder unzureichende Hilfestellungen und Anleitungen
- Komplexe Funktionen ohne ausreichende Erläuterungen

Auswirkungen:

- Erhöhte Lernkurve und längere Einarbeitungszeit
- Fehlerhafte Bedienung und ineffiziente Arbeitsprozesse
- Verminderte Produktivität und Nutzerzufriedenheit

Tracking-Probleme

Tracking-Probleme wurden von 7,1 % der Teilnehmenden angegeben. Diese Probleme betreffen die Erfassung und Umsetzung der Bewegungen der Nutzenden durch das System.

Mögliche Ursachen:

- Limitierte Hardware oder unzureichende Sensoren
- Softwareseitige Verzögerungen oder Fehler in der Bewegungserkennung
- Umgebungsfaktoren wie schlechte Beleuchtung oder Interferenzen

Auswirkungen:

- Ungenaue oder fehlerhafte Animationen
- Frustration durch mangelnde Kontrolle über die Modelle
- Beeinträchtigung des Immersionserlebnisses

Performance-Probleme

3,6 % der Teilnehmenden gaben **Performance-Probleme** an. Diese äußern sich in Form von Verzögerungen, niedrigen Bildraten oder langsamen Reaktionszeiten.

Mögliche Ursachen:

- Hohe Systemanforderungen der Software
- Nicht optimierte Code-Strukturen oder ineffiziente Algorithmen
- Hardware-Limitierungen auf Seiten der Nutzenden

Auswirkungen:

- Unterbrechung des Arbeitsflusses
- Verminderte Effizienz bei der Erstellung von Animationen
- Frustration und reduzierte Nutzerzufriedenheit

Interpretation der Ergebnisse

Die Tatsache, dass mehr als die Hälfte der Teilnehmenden technische Probleme meldete, zeigt, dass es signifikante Herausforderungen in Bezug auf Stabilität und Benutzerfreundlichkeit von AnimVRig gibt. Besonders die hohe Anzahl an Software-Fehlern weist auf dringenden Verbesserungsbedarf hin. Bedienungsprobleme und Tracking-Probleme tragen ebenfalls zur Beeinträchtigung der Nutzererfahrung bei, auch wenn sie weniger häufig gemeldet wurden.

Fazit

Die gemeldeten technischen Probleme zeigen, dass es in verschiedenen Bereichen, insbesondere bei der Stabilität der Software und der Genauigkeit des Trackings, Verbesserungsbedarf gibt. Die häufigen Software-Fehler deuten darauf hin, dass Stabilitätsupdates und Bugfixes notwendig sind, um die Zuverlässigkeit zu erhöhen. Bedienungs- und Tracking-Probleme könnten durch bessere Benutzerführung und optimiertes Tracking-Feedback weiter minimiert werden. Insgesamt sind gezielte Optimierungen erforderlich, um die Nutzerzufriedenheit langfristig zu gewährleisten.

7.5.9 Verbesserungen

Im Rahmen der Nutzerbefragung wurden die Teilnehmenden gebeten, mögliche Verbesserungen für AnimVRig zu benennen. Von den insgesamt 28 Teilnehmenden gaben 21 Personen (**75,0 %**) konkrete Vorschläge, während 7 Personen (**25,0 %**) keine Verbesserungsvorschläge hatten (siehe Abbildung 28).

Die vorgeschlagenen Verbesserungen verteilen sich auf die folgenden Kategorien:

- **UI Bedienbarkeit:** 8 Nennungen (**28,6 %** der Gesamtteilnehmenden)
- **Neue Features & Funktionen:** 6 Nennungen (**21,4 %**)
- **Steuerung & Tracking:** 5 Nennungen (**17,9 %**)
- **Performance & Stabilität:** 2 Nennungen (**7,1 %**)
- **Keine Vorschläge:** 7 Nennungen (**25,0 %**)

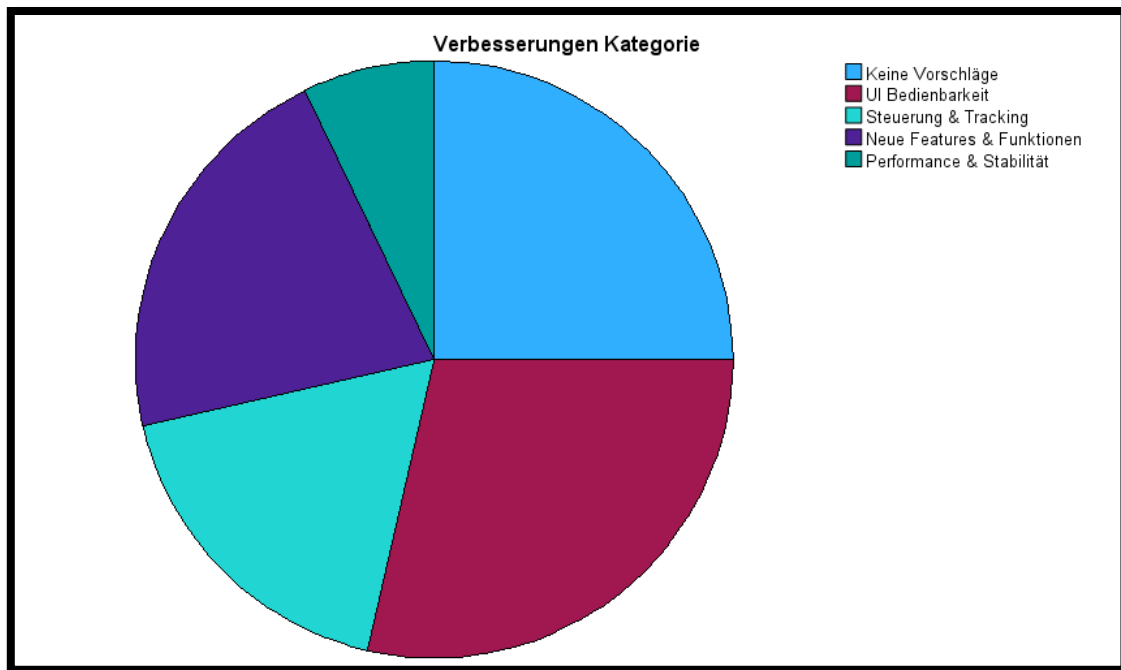


Abbildung 28: Tortendiagramm: AnimVRig Verbesserungsvorschläge

UI-Bedienbarkeit

Die meisten Verbesserungsvorschläge bezogen sich auf die **Bedienbarkeit der Benutzeroberfläche (UI)**, mit **28,6 %** der Teilnehmenden, die in diesem Bereich Optimierungspotenzial sehen. Die Nutzenden wünschten sich eine intuitivere und benutzerfreundlichere Gestaltung der Benutzeroberfläche. Mögliche Anliegen umfassen:

- **Vereinfachung der Menüstruktur:** Reduzierung der Komplexität und klare Hierarchien, um die Navigation zu erleichtern.
- **Verbesserte Symbolik und Beschriftungen:** Einsatz eindeutiger Symbole und klarer Beschriftungen, um die Funktionen besser verständlich zu machen.
- **Anpassbare Benutzeroberfläche:** Möglichkeit für Nutzende, die UI nach ihren Präferenzen zu konfigurieren.

Die Fokussierung auf die Verbesserung der UI deutet darauf hin, dass trotz der vorhandenen Funktionalität die Zugänglichkeit und Benutzerfreundlichkeit für einige Nutzende nicht optimal ist.

Neue Features & Funktionen

21,4 % der Teilnehmenden äußerten den Wunsch nach **neuen Features und Funktionen**. Dies zeigt, dass die Nutzenden Potenzial für die Erweiterung von AnimVRig sehen. Vorgeschlagene Ergänzungen könnten beinhalten:

- **Erweiterte Animationswerkzeuge:** Zusätzliche Werkzeuge zur Feinjustierung von Animationen oder zur Erstellung komplexerer Bewegungsabläufe.
- **Integration mit anderen Softwarelösungen:** Möglichkeit, AnimVRig mit gängigen 3D-Modellierungs- oder Animationsprogrammen zu verbinden.
- **Zusätzliche Modell- und Variantenbibliotheken:** Bereitstellung einer größeren Auswahl an vorgefertigten Modellen und Animationen.

Die Nachfrage nach neuen Funktionen spiegelt das Interesse der Nutzenden wider, AnimVRig in einem breiteren Spektrum von Projekten einzusetzen und ihre kreativen Möglichkeiten zu erweitern.

Steuerung & Tracking

17,9 % der Teilnehmenden wiesen auf Verbesserungsbedarf bei **Steuerung und Tracking** hin. Die Nutzenden bemängelten hier möglicherweise:

- **Präzision des Trackings:** Verbesserung der Genauigkeit bei der Erfassung von Bewegungen.
- **Reaktionsfähigkeit der Steuerung:** Reduzierung von Latenzzeiten und Erhöhung der Responsivität.
- **Alternative Steuerungsmethoden:** Bereitstellung zusätzlicher Eingabemöglichkeiten, z. B. Unterstützung von Controllern oder Sprachsteuerung.

Diese Vorschläge deuten darauf hin, dass einige Nutzende Schwierigkeiten mit der aktuellen Steuerung haben oder das Tracking nicht als ausreichend präzise empfinden.

Performance & Stabilität

Mit 7,1 % der Teilnehmenden, die Verbesserungen bei **Performance und Stabilität** anregten, ist dieser Bereich weniger häufig genannt, aber dennoch relevant. Anliegen könnten hier sein:

- **Reduzierung von Abstürzen und Fehlern:** Erhöhung der Zuverlässigkeit der Software.
- **Optimierung der Systemressourcen:** Verbesserung der Performance, insbesondere auf weniger leistungsstarken Systemen.
- **Schnellere Ladezeiten:** Beschleunigung von Ladeprozessen für Modelle und Funktionen.

Die Nennung dieses Bereichs zeigt, dass es trotz allgemein guter Bewertungen in der technischen Leistung vereinzelt Probleme gibt, die adressiert werden sollten.

Interpretation der Ergebnisse

Die Mehrheit der Teilnehmenden äußerte konkrete Verbesserungsvorschläge für AnimVRig, wobei die Bedienbarkeit der Benutzeroberfläche den größten Anteil der Vorschläge ausmachte. Die Nutzenden wünschen sich eine benutzerfreundlichere und intuitivere UI, was auf die Notwendigkeit hindeutet, die Komplexität der Oberfläche zu reduzieren und die Navigation zu vereinfachen. Ebenso wurde der Wunsch nach neuen Features und Funktionen deutlich, was zeigt, dass das Tool Potenzial zur Erweiterung hat, um den Nutzenden mehr kreative Freiheiten zu bieten. Verbesserungen in der Steuerung und beim Tracking wurden ebenfalls von mehreren Teilnehmenden angesprochen, was auf Optimierungsmöglichkeiten bei der Präzision und Reaktionsfähigkeit hinweist. Performance und Stabilität wurden weniger häufig genannt, bleiben jedoch weiterhin wichtige Aspekte, um die Gesamtleistung der Software zu optimieren.

Fazit

Die Verbesserungsvorschläge der Nutzenden konzentrieren sich hauptsächlich auf die Bedienbarkeit der Benutzeroberfläche und die Erweiterung der Funktionen. Dies zeigt, dass das Tool zwar funktional ist, jedoch durch eine intuitivere Gestaltung und neue Features weiter verbessert werden kann. Verbesserungen bei der Steuerung und dem Tracking könnten das Nutzungserlebnis ebenfalls optimieren. Obwohl Performance und Stabilität von weniger Nutzenden angesprochen wurden, bleiben sie wesentliche Faktoren, die für eine reibungslose und zuverlässige Nutzung gesichert werden müssen. Zukünftige Updates sollten sich daher auf eine benutzerzentrierte Optimierung und die Erweiterung der Funktionalitäten fokussieren.

7.5.10 Schwierigkeiten

Im Rahmen der Nutzerbefragung wurden die Teilnehmenden gebeten, etwaige Schwierigkeiten zu benennen, die sie bei der Nutzung von AnimVRig erfahren haben. Von den insgesamt 28 Teilnehmenden berichteten 20 Personen (**71,4 %**) von Schwierigkeiten, während 8 Personen (**28,6 %**) angaben, keine Schwierigkeiten erlebt zu haben.

Verteilung der gemeldeten Schwierigkeiten

Die gemeldeten Schwierigkeiten verteilen sich auf folgende Kategorien:

- **UI-Probleme (Benutzeroberflächenprobleme):** 10 Nennungen (**35,7 %** der Gesamtteilnehmenden)
- **Steuerungsprobleme:** 9 Nennungen (**32,1 %** der Gesamtteilnehmenden)
- **Technische Störungen:** 1 Nennung (**3,6 %** der Gesamtteilnehmenden)
- **Keine Schwierigkeiten:** 8 Nennungen (**28,6 %** der Gesamtteilnehmenden)

UI-Probleme

Die meisten Schwierigkeiten wurden im Bereich der **Benutzeroberfläche (UI)** berichtet, mit **35,7 %** der Teilnehmenden, die UI-Probleme angaben. Diese Probleme können Aspekte wie komplizierte oder unübersichtliche Menüs, schwer verständliche Symbole oder allgemeine Schwierigkeiten bei der Navigation durch die Anwendung umfassen.

Mögliche Ursachen:

- **Komplexität der Benutzeroberfläche:** Zu viele Funktionen oder Optionen, die nicht klar strukturiert oder intuitiv zugänglich sind.
- **Unklare Beschriftungen oder Symbole:** Fehlende oder missverständliche Bezeichnungen können die Bedienung erschweren.
- **Mangelnde Konsistenz:** Uneinheitliches Design oder wechselnde Interaktionsmuster können Verwirrung stiften.

Auswirkungen:

- **Verlängerte Einarbeitungszeit:** Nutzende benötigen mehr Zeit, um sich mit der Anwendung vertraut zu machen.
- **Frustration:** Schwierigkeiten bei der Bedienung können die Nutzerzufriedenheit mindern.
- **Fehlerhafte Bedienung:** UI-Probleme können zu Fehlbedienungen führen, die den Arbeitsprozess beeinträchtigen.

Steuerungsprobleme

32,1 % der Teilnehmenden berichteten von **Steuerungsproblemen**. Diese beziehen sich auf Schwierigkeiten bei der Interaktion mit der Anwendung, beispielsweise bei der Verwendung von Gestensteuerung oder anderen Eingabemethoden.

Mögliche Ursachen:

- **Unpräzise Steuerung:** Die Gesten- oder Bewegungssteuerung reagiert nicht zuverlässig auf Eingaben.

- **Fehlende oder unzureichende Rückmeldung:** Mangelndes Feedback auf Nutzereingaben erschwert die Bedienung.
- **Komplexe Steuerungsmechanismen:** Eingabemethoden sind möglicherweise zu kompliziert oder nicht intuitiv.

Auswirkungen:

- **Beeinträchtigung der Produktivität:** Effizientes Arbeiten wird durch Steuerungsprobleme erschwert.
- **Vermindertes Immersionserlebnis:** Probleme bei der Steuerung können das Gefühl der Immersion in der virtuellen Umgebung reduzieren.
- **Frustration und Unzufriedenheit:** Wiederholte Schwierigkeiten führen zu negativer Nutzererfahrung.

Technische Störungen

Nur 3,6 % der Teilnehmenden (1 Person) gaben **technische Störungen** als Schwierigkeit an. Dies weist darauf hin, dass schwerwiegende technische Probleme weniger verbreitet sind.

Mögliche Ursachen:

- **Einzelfälle von Softwarefehlern:** Möglicherweise spezifische Probleme auf bestimmten Systemen oder Konfigurationen.
- **Hardware-Inkompatibilitäten:** Schwierigkeiten könnten durch nicht unterstützte Hardware oder Treiber verursacht sein.

Auswirkungen:

- **Unterbrechung des Arbeitsflusses:** Technische Störungen können zu Abstürzen oder Funktionsausfällen führen.
- **Datenverlust:** Im schlimmsten Fall könnten nicht gespeicherte Arbeiten verloren gehen.

Interpretation der Ergebnisse

Die Ergebnisse zeigen, dass trotz der insgesamt positiven Bewertung von AnimVRig ein signifikanter Anteil der Nutzenden Schwierigkeiten bei der Anwendung hatte. Insbesondere die hohen Nennungen von UI-Problemen und Steuerungsproblemen deuten darauf hin, dass es Herausforderungen in der Benutzerfreundlichkeit und Bedienbarkeit gibt.

Fazit

Die Analyse der Schwierigkeiten bei der Nutzung von AnimVRig zeigt, dass trotz der positiven Gesamtbewertung Verbesserungsbedarf in den Bereichen Benutzeroberfläche und Steuerung besteht. Die Umsetzung der genannten Empfehlungen kann dazu beitragen, die Benutzerfreundlichkeit zu erhöhen und die Nutzerzufriedenheit weiter zu steigern.

Durch eine nutzerzentrierte Weiterentwicklung und die kontinuierliche Anpassung an die Bedürfnisse der Nutzenden kann AnimVRig sein Potenzial als führendes Tool im Bereich der virtuellen Animation voll ausschöpfen.

7.5.11 Qualitative Analyse der Zusammenhänge

Die Analyse der Kapitel 6.5.1 bis 6.5.10 offenbart interessante Zusammenhänge zwischen den Kategorien Benutzerfreundlichkeit, technischer Leistung, Immersion und Interaktivität. Diese Zusammenhänge lassen sich anhand der in den einzelnen Kapiteln erhobenen Daten darstellen und liefern wertvolle Erkenntnisse über die Bereiche, in denen das AnimVRig-Tool seine Stärken zeigt und wo es Verbesserungspotenziale gibt.

Benutzerfreundlichkeit und Technische Leistung

In Kapitel 6.5.1 wurde die Benutzerfreundlichkeit überwiegend positiv bewertet. Eine Mehrheit der Teilnehmer gab an, dass die Bedienung des Tools intuitiv sei, wobei besonders Einsteiger das Interface als einfach zu navigieren empfanden. Diese Bewertung korrespondiert mit der Funktionalität des Tools (Kapitel 6.5.2), wo 85,7 % der Teilnehmer angaben, dass sie die Funktionen des AnimVRig-Tools als ausreichend für ihre Zwecke empfanden.

Dennoch wurden in Kapitel 6.5.8 technische Probleme, insbesondere Verzögerungen bei der Bewegungserfassung, thematisiert. Diese technischen Herausforderungen beeinträchtigten bei 25 % der Nutzer die Nutzungserfahrung. Ein direkter Zusammenhang zwischen technischer Leistung und Benutzerfreundlichkeit ist hier nicht offensichtlich, da die Bewertungen zur Benutzerfreundlichkeit trotz der technischen Schwierigkeiten relativ hoch blieben. Dies könnte darauf hindeuten, dass die Nutzer die grundsätzliche Bedienbarkeit des Tools als positiv wahrnahmen, auch wenn die technische Leistung in bestimmten Aspekten unzureichend war.

Immersion und Technische Probleme

Die Bewertungen zur Immersion (Kapitel 6.5.3) waren überwiegend positiv. 89,2 % der Teilnehmer gaben an, dass sie sich stark in die virtuelle Umgebung eingebunden fühlten, insbesondere aufgrund der Möglichkeit, ihre Bewegungen in Echtzeit im Tool wiederzuerkennen. Diese Ergebnisse stehen jedoch in einem gewissen Spannungsverhältnis zu den Rückmeldungen in Kapitel 6.5.8, wo technische Probleme wie Verzögerungen oder Fehler im Tracking erwähnt wurden.

Es lässt sich hier ein interessanter Zusammenhang feststellen: Teilnehmer, die keine oder nur geringe technische Probleme erfuhren, bewerteten die Immersion deutlich höher als jene, die von Verzögerungen berichteten. Es scheint, dass technische Stabilität eine zentrale Rolle für die Aufrechterhaltung der Immersion spielt, da jene Teilnehmer, die mit Tracking-Problemen konfrontiert waren, gleichzeitig eine reduzierte immersive Erfahrung berichteten.

Interaktivität und Immersion

Kapitel 6.5.3 und 6.5.5 zeigen, dass eine klare Verbindung zwischen Interaktivität und Immersion besteht. 85,7 % der Teilnehmer gaben an, dass sie die Interaktion mit dem AnimVRig-Tool als flüssig und reaktionsschnell empfanden. Diese positive Bewertung spiegelt sich in den hohen Immersionswerten wider. Die Möglichkeit, Animationen direkt durch eigene Bewegungen zu beeinflussen, wurde als ein entscheidender Faktor für das Eintauchen in die virtuelle Welt wahrgenommen.

Allerdings zeigten einige Teilnehmer in Kapitel 6.5.8 auf, dass technische Probleme, insbesondere Verzögerungen bei der Bewegungserfassung, die Interaktivität beeinträchtigten. Teilnehmer, die solche Verzögerungen erlebten, berichteten von einem verminderten Gefühl der Kontrolle und Interaktion mit dem System, was sich negativ auf die Immersion auswirkte. Somit lässt sich eine direkte Korrelation zwischen der Interaktivität und der Immersion feststellen, die von der technischen Stabilität abhängig ist.

Technische Probleme und Allgemeine Zufriedenheit

Die allgemeine Zufriedenheit mit dem AnimVRig-Tool wurde in Kapitel 6.5.5 analysiert, wobei 92,9 % der Teilnehmer insgesamt zufrieden waren. Es zeigt sich, dass die Zufriedenheit der Nutzer trotz einiger technischer Probleme relativ hoch bleibt. Dies könnte darauf hindeuten, dass die positiven Aspekte des Tools, wie Benutzerfreundlichkeit und Immersion, für viele Teilnehmer schwerwiegendere technische Probleme ausgleichen. Allerdings gaben die Nutzer, die mit signifikanten technischen Problemen konfrontiert waren, eine geringere Zufriedenheit an, was zeigt, dass die technische Leistung dennoch einen nicht zu unterschätzenden Einfluss auf das Gesamturteil hat.

Zusammenfassung

Die qualitative Analyse der Kapitel 6.5.1 bis 6.5.10 zeigt interessante Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Aspekten der Nutzererfahrung. Besonders auffällig ist, dass technische Probleme wie Verzögerungen bei der Bewegungserfassung die Immersion und Interaktivität negativ beeinflussen (siehe Kapitel 6.5.3 und 6.5.8), während die Benutzerfreundlichkeit des Tools im Allgemeinen hoch bewertet wird (siehe Kapitel 6.5.1). Es zeigt sich, dass die positive Benutzererfahrung in Bereichen wie der Bedienbarkeit (siehe Kapitel 6.5.1) oder Immersion (siehe Kapitel 6.5.3) nicht zwangsläufig durch technische Probleme zerstört wird (siehe Kapitel 6.5.4 und 6.5.8). Jedoch sind technologische Verbesserungen nötig, um das volle Potenzial des Tools auszuschöpfen und eine durchgängig positive Nutzungserfahrung zu gewährleisten (siehe Kapitel 6.5.8 und 6.5.10).

8 Fazit und Ausblick

In dieser Arbeit wurde ein VR-Animations-Tool entwickelt, das durch die Integration von Hand- und Bodytracking innerhalb von Unity den Animationsprozess für humanoide Modelle optimieren soll. Mit dem Fokus auf eine intuitive Bedienbarkeit und kostengünstige Umsetzbarkeit zielte das Projekt darauf ab, den Workflow für Animationen in der virtuellen Realität effizient zu gestalten.

8.1 Wissenschaftlicher Beitrag

Das Ziel dieser Arbeit bestand nicht darin, das entwickelte Tool mit bestehenden, etablierten Motion-Capture- oder Animationstechnologien zu vergleichen. Der Grund dafür ist das Fehlen direkter Alternativen, die in einer ähnlichen Preisklasse und mit vergleichbaren Funktionen operieren. Im Gegensatz zu den meisten herkömmlichen Tools und Systemen, die häufig auf teure externe Sensorik oder spezifische Software angewiesen sind, setzt AnimVRig auf die Meta Quest 3, ein kostengünstiges Standalone-Headset. Es gibt derzeit keine VR-Lösung auf dem Markt, die eine ähnliche Kombination aus Flexibilität, Echtzeit-Bodytracking und direkter Integration in Unity bietet, ohne dass zusätzliche Hardware oder komplizierte Setups erforderlich sind.

Viele bestehende Systeme, wie professionelle Motion-Capture-Systeme, erfordern die Verwendung separater Tracking-Anzüge oder externer Kameras. Diese Systeme sind nicht nur kostspielig, sondern auch in ihrer Integration mit Software wie Unity komplex und zeitaufwendig. Sie erfordern oft zusätzliche Middleware oder Plugins, um Animationen auf digitale Charaktere zu übertragen. Der Vorteil von AnimVRig liegt darin, dass es direkt in Unity integriert ist und auf gängige VR-Hardware zugreift, wodurch der Animationsprozess erheblich vereinfacht wird.

Der Mangel an vergleichbaren Technologien ist ein wesentliches Merkmal dieser Arbeit und unterstreicht die Pionierarbeit, die hier geleistet wurde. Es gibt in der Tat keine bestehenden Tools, die eine derart reibungslose und kosteneffiziente Lösung zur Bearbeitung und Wiederverwendung von Animationen innerhalb der Unity Engine in Echtzeit mittels Bodytracking bieten. Da die meisten Technologien in diesem Bereich entweder auf spezialisierte Hardware angewiesen sind oder durch externe Programme ergänzt werden müssen, stellt AnimVRig eine neue Möglichkeit dar, die digitale Animation in der VR zugänglicher und benutzerfreundlicher zu gestalten.

Die Tatsache, dass kein Vergleich mit anderen Technologien vorgenommen wurde, ist daher kein Mangel, sondern vielmehr eine bewusste Entscheidung, die die Einzigartigkeit und den innovativen Charakter dieses Projekts hervorhebt. Das Ziel war es, ein Tool zu schaffen, das sich durch seine einfache Bedienbarkeit und Kosteneffizienz von bestehenden Lösungen abhebt. Diese Arbeit schafft die Grundlagen für zukünftige Vergleiche, indem sie eine neue Technologie auf den Markt bringt, die noch nicht durch andere Systeme herausgefordert wurde. In der Zukunft könnte AnimVRig als Referenz für die Weiterentwicklung von kostengünstigen VR-Animationstools dienen, an denen sich andere Technologien messen lassen können.

Durch die Entscheidung, auf einen Vergleich zu verzichten, umgeht die Arbeit das Problem, dass aktuelle Alternativen entweder in völlig anderen Preisklassen angesiedelt sind oder auf zusätzlichen Software- und Hardwarekomponenten basieren, die nicht mit der hier verfolgten Philosophie der Integration und Einfachheit übereinstimmen. Diese Arbeit legt daher einen Grundstein, auf dem zukünftige Entwicklungen aufbauen können, sei es durch Erweiterungen der Funktionalitäten oder durch das Hervorbringen neuer, vergleichbarer Technologien. AnimVRig bietet einen praktischen Ansatz, um Animationen in der virtuellen Realität zu erstellen, der nicht nur für erfahrene Entwickler, sondern auch für Einsteiger attraktiv ist.

Die Bedeutung dieser Arbeit liegt also nicht in einem direkten Vergleich mit bestehenden Tools, sondern in der Schaffung eines neuen Paradigmas in der VR-Animation: einer benutzerfreundlichen,

kostengünstigen Lösung, die direkt in einer der gängigsten Entwicklungsumgebungen (Unity) arbeitet und dabei auf zusätzliche komplexe Systeme verzichtet. Dies markiert einen wichtigen Fortschritt in der VR-Entwicklung und kann als Basis für zukünftige wissenschaftliche Arbeiten und technologische Innovationen in diesem Bereich dienen.

8.2 Fazit im Kontext zur der VR-Animation

Die Auswertung der Studie zu AnimVRig Version 2.0 zeigt eine Vielzahl von wertvollen Erkenntnissen über die Benutzerfreundlichkeit, die technische Leistung sowie die Wirkung auf die Immersion und Interaktivität. Im Folgenden werden die wichtigsten Ergebnisse im Detail betrachtet und hinsichtlich ihrer Bedeutung für die VR-Animation eingeordnet.

8.2.1 System Usability Scale (SUS)

Die Bewertung des Systems anhand des SUS-Fragebogens ergab einen überdurchschnittlichen Score von 74,35, was auf eine hohe Benutzerfreundlichkeit des Prototyps hindeutet. Dieser Wert liegt deutlich über der 68er-Marke, die als durchschnittliche Benutzerfreundlichkeit gilt. Dies deutet darauf hin, dass das AnimVRig-Tool insgesamt als intuitiv und effizient in der Bedienung wahrgenommen wurde. Besonders positiv hervorgehoben wurde die einfache Steuerung und die Möglichkeit, Animationen in Echtzeit anzupassen.

Gleichwohl zeigen die detaillierten Kommentare der Nutzer, dass einige Herausforderungen im Bereich der Menünavigation und der Anpassungsoptionen bestehen. Nutzer wiesen darauf hin, dass die Zugänglichkeit zu erweiterten Funktionen wie der Modellvarianten-Änderung und der feinen Steuerung der Körperteile im aktuellen Interface noch verbessert werden könnte. Diese Rückmeldungen liefern wertvolle Hinweise auf potenzielle Optimierungen, die durch eine verbesserte Benutzerführung und kontextabhängige Hilfestellungen realisiert werden könnten.

8.2.2 Simulator Sickness Questionnaire (SSQ)

Ein wesentlicher Aspekt der Evaluation war die Bewertung der VR-Nutzung in Hinblick auf Simulator Sickness. Die Auswertung des SSQ zeigte, dass zwar einige Probanden leichte bis moderate Symptome der Bewegungskrankheit erlebten, der Medianwert von 24,77 jedoch im vertretbaren Bereich liegt. Dies zeigt, dass das System in der Regel keine signifikanten Beschwerden verursacht, allerdings für einen Teil der Nutzer weiterhin Optimierungsbedarf besteht.

Interessant war die Beobachtung, dass bestimmte Aufgaben im AnimVRig-System, wie das häufige Wechseln der Modelle und das Arbeiten mit schnellen Animationen, das Potenzial für eine erhöhte Belastung durch Simulator Sickness aufwiesen. Dies deutet darauf hin, dass insbesondere während intensiver Interaktionsphasen, in denen Nutzer zwischen verschiedenen Modellen, Animationen und UI-Menüs wechseln, zusätzliche Stabilitäts- und Komfortverbesserungen erforderlich sind. Ein möglicher Lösungsansatz könnte die Einführung dynamischer Komfortmodi sein, die sich an die individuelle Empfindlichkeit des Nutzers anpassen, wobei das UI beispielsweise nicht an das linke Handgelenk des Nutzers gebunden wäre.

8.2.3 Situational Awareness Rating Technique (SART)

Im Bereich des Situationsbewusstseins lieferte die SART-Bewertung wichtige Einsichten in die kognitive Belastung und die Anforderungen, die das System an die Nutzer stellte. Die Probanden bewerteten die Aufgabenanforderungen als moderat bis hoch, insbesondere in Bezug auf das Verständnis der Interaktionslogiken und die exakte Steuerung der Animationen. Dabei lag der Fokus

vor allem auf der Navigation und der Feinjustierung von Bewegungen, die in Echtzeit umgesetzt werden mussten.

Die Verfügbarkeit kognitiver Ressourcen wurde als relativ gering eingestuft, was auf eine erhöhte mentale Anstrengung während der Interaktionen hindeutet. Nutzer fühlten sich in einigen Fällen überfordert von der Menge an Funktionen und Optionen, die ihnen gleichzeitig zur Verfügung standen. Hier könnte eine gestaffelte Lernkurve oder die Einführung von Tutorial-Elementen dazu beitragen, den Nutzern eine flüssigere Einarbeitung zu ermöglichen und gleichzeitig die kognitive Last zu reduzieren.

8.2.4 Technische Leistung und Interaktivität

Ein weiterer wichtiger Aspekt der Evaluation war die technische Leistung des Systems. Die Probanden gaben insgesamt positive Rückmeldungen zur Stabilität der Tracking-Technologie sowie zur Responsivität des AnimVRig-Prototyps. Besonders die Möglichkeit, Modelle in Echtzeit zu wechseln und dabei die Animationen nahtlos zu übernehmen, wurde als innovativ und effektiv hervorgehoben. Die Performance des Systems, insbesondere in Bezug auf das Meta Movement SDK und die Integration des Unity-Toolkits, wurde als flüssig wahrgenommen, jedoch zeigten einige Tests leichte Verzögerungen beim Wechseln von Modellen, was gelegentlich die Immersion unterbrach.

Ein Bereich, der jedoch noch Verbesserungspotenzial bietet, ist das vollständig immersive Full-Body-Tracking. Während das Tracking des Oberkörpers sehr präzise funktioniert, bleibt das Beintracking bei Meta noch eine Herausforderung. Aktuell wird das Tracking der Beine über KI-gesteuerte Algorithmen realisiert, die auf Schätzungen beruhen. Diese Methode führt zwar zu brauchbaren Ergebnissen, aber es fehlt noch an der Präzision, die für eine realistische Nachbildung aller Körperbewegungen nötig ist. Es bleibt abzuwarten, wie Meta das Beintracking in Zukunft optimieren wird. Insbesondere die Kombination mit Face-Tracking könnte das immersive Potenzial weiter steigern und eine noch genauere Darstellung von Bewegungen ermöglichen.

8.2.5 Benutzerfreundlichkeit und Zufriedenheit

Abschließend lässt sich sagen, dass die allgemeine Zufriedenheit der Nutzer mit dem AnimVRig-System als hoch eingestuft werden kann. Die meisten Nutzer empfanden die Möglichkeit, Animationen in Echtzeit zu erstellen und zu modifizieren, als sehr spannend und sahen großes Potenzial für den Einsatz in der professionellen Animation, insbesondere in den Bereichen Bildung, Simulation und Training. Dennoch wurde mehrfach angemerkt, dass die Komplexität des Systems in einigen Fällen zu einer steilen Lernkurve führte, die durch eine simplifizierte Benutzeroberfläche und zusätzliche Hilfestellungen abgemildert werden könnte.

8.3 Ausblick

Die Entwicklung des AnimVRig-Tools hat gezeigt, dass die Kombination aus Hand- und Bodytracking in einer VR-Umgebung das Potenzial besitzt, den Animationsprozess für rigged humanoide Modelle deutlich zu vereinfachen. Auch wenn das System bereits erste vielversprechende Ergebnisse hinsichtlich der Benutzerfreundlichkeit und Effizienz geliefert hat, sind noch einige Herausforderungen und Möglichkeiten für zukünftige Entwicklungen offen.

Ein zentraler Bereich für zukünftige Forschung und Weiterentwicklung liegt in der Verbesserung der technischen Performance des Tools. In der vorliegenden Arbeit wurden potenzielle Schwachstellen im Hinblick auf die Stabilität der Bewegungserfassung identifiziert. Künftige Versionen des Systems sollten sich auf die Optimierung dieser Faktoren konzentrieren, um die Interaktion mit digitalen Modellen noch reibungsloser und natürlicher zu gestalten.

Darüber hinaus könnte die Erweiterung des Tools auf zusätzliche Anwendungsbereiche ein spannendes Forschungsthema sein. Während sich die vorliegende Arbeit auf Animationserstellung fokussierte, könnten auch andere Domänen wie die Aus- und Weiterbildung, therapeutische Anwendungen oder die Zusammenarbeit in virtuellen Umgebungen von einem solchen VR-basierten Animationssystem profitieren. Hier könnten weiterführende Studien untersuchen, wie unterschiedliche Nutzergruppen, beispielsweise Personen ohne Animationserfahrung, von der intuitiven VR-Steuerung profitieren können.

Ein weiterer vielversprechender Schritt wäre die Integration erweiterter Tracking-Technologien in kostengünstige HMDs, etwa für die Erfassung feinmotorischer Bewegungen oder Gesichtsausdrücke, wie sie durch das Face-Tracking der Meta Quest Pro bereits ermöglicht wird, die jedoch aktuell selbst kein Bodytracking unterstützt. Dies würde die Einsatzmöglichkeiten von AnimVRig erheblich erweitern und noch präzisere Animationen ermöglichen. Auch die Nutzung fortschrittlicher KI-gestützter Algorithmen könnte dazu beitragen, Bewegungen in Echtzeit vorherzusagen und so noch natürlicher wirken zu lassen.

Schließlich bietet die weitere Verbreitung von kostengünstigen VR-Systemen wie der Meta Quest 3 oder der Pico 4 viel Raum für künftige Entwicklungen und Experimente. Da VR-Technologie zunehmend zugänglicher wird, könnte AnimVRig eine wichtige Rolle in der Demokratisierung und Verbreitung von Animationswerkzeugen spielen. Die Ergebnisse dieser Arbeit könnten als Grundlage für weitere Forschung dienen und Inspiration für die Weiterentwicklung von VR-Tools im Bereich der Animation sein.

Insgesamt eröffnet die Arbeit vielfältige Möglichkeiten für zukünftige Forschung und technologische Innovationen, die sowohl die VR-Animation als auch angrenzende Disziplinen beeinflussen könnten. AnimVRig stellt dabei nur den Anfang dar und könnte durch fortschreitende technologische Entwicklungen und weitere Forschung erheblich ausgebaut und optimiert werden.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Unity's Animator Komponente.....	9
Abbildung 2: Unity's Animation Window im Editor	10
Abbildung 3: Nutzungsstatistiken für die Game-Engine Unity nach (Chu 2023) & (Unity Technologies 2021).....	16
Abbildung 4: AnimVRig Version 1 – Editor Ansicht	18
Abbildung 5: AnimVRig Version 1 – VR UI.....	19
Abbildung 6: AnimVRig handgetracktes UI.....	34
Abbildung 7: AnimVRig Bindings-Menü	35
Abbildung 8: Beispiel Nutzung von Schichtanimationen anhand der „T-Pose“-Animation.	36
Abbildung 9: Beispiel Nutzung von Schichtanimationen anhand der „Winken“-Animation.	38
Abbildung 10: Unity Editor Layermask Zuweisungen.....	39
Abbildung 11: AnimVRig Transformer-Werkzeug	41
Abbildung 12: Alle vier Modelle des Prototyps: oben links den X-Bot, oben rechts den Alien, unten links Mia und unten rechts den Bauarbeiter.	42
Abbildung 13: Auswahl der grünen X-Bot Variante im "Switch Variant" Menü.	43
Abbildung 14: Das X-Bot-Modell wird im Passthrough-Modus samt AnimVRig UI dargestellt.	44
Abbildung 15: Kreisdiagramm der VR-Nutzungshäufigkeit.....	52
Abbildung 16: Boxplot der SUS-Scores der 27 Probanden	53
Abbildung 17: SSQ Desorientierung Häufigkeitsverteilung	54
Abbildung 18: SSQ Okulomotorik Häufigkeitsverteilung	55
Abbildung 19: SSQ Übelkeit Häufigkeitsverteilung	56
Abbildung 20: Boxplot des SSQ Gesamtscores	57
Abbildung 21: Histogramm (SART) Anforderungen an das Situationsbewusstsein	58
Abbildung 22: Histogramm (SART) Verfügbarkeit von Ressourcen	58
Abbildung 23: Histogramm (SART) Verständnis der Situation	59
Abbildung 24: SART Gesamtscore Häufigkeitsverteilung	60
Abbildung 25: Deskriptive Statistiken und Konfidenzintervalle der Korrelationen von SSQ, SUS & SART.....	62
Abbildung 26: Tortendiagramm AnimVRig Anwendungspotenzial.....	73
Abbildung 27: Tortendiagramm: AnimVRig Technische Probleme.....	75
Abbildung 28: Tortendiagramm: AnimVRig Verbesserungsvorschläge	78

Literaturverzeichnis

Brooke, John (1995): SUS - A quick and dirty usability scale. Redhatch Consulting Ltd. United Kingdom. Online verfügbar unter https://www.researchgate.net/publication/228593520_SUS_A_quick_and_dirty_usability_scale.

Capece, Nicola; Erra, Ugo; Romaniello, Giuseppe (2018): A Low-Cost Full Body Tracking System in Virtual Reality Based on Microsoft Kinect. In: Lucio Tommaso de Paolis und Patrick Bourdot (Hg.): Augmented reality, virtual reality, and computer graphics. 5th International Conference, AVR 2018, Otranto, Italy, Bd. 10851. Cham, Schweiz: Springer (10850-10851), S. 623–635. Online verfügbar unter <https://www.researchgate.net/publication/326372342>, zuletzt geprüft am 24.08.2024.

Caserman, Polona; Garcia-Agundez, Augusto; Gobel, Stefan (2020): A Survey of Full-Body Motion Reconstruction in Immersive Virtual Reality Applications. In: *IEEE transactions on visualization and computer graphics* 26 (10). DOI: 10.1109/TVCG.2019.2912607.

Chu, Shirley (2023): Unity Gaming Report 2023 Highlights the Resilience of the Gaming Industry. Hg. v. Unity Technologies. San Francisco. Online verfügbar unter <https://investors.unity.com/news/news-details/2023/Unity-Gaming-Report-2023-Highlights-the-Resilience-of-the-Gaming-Industry/default.aspx>.

Cossich, Victor R. A.; Carlgren, Dave; Holash, Robert John; Katz, Larry (2023): Technological Breakthroughs in Sport: Current Practice and Future Potential of Artificial Intelligence, Virtual Reality, Augmented Reality, and Modern Data Visualization in Performance Analysis. In: *Applied Sciences* 13 (23). DOI: 10.3390/app132312965.

Dai, Xiaokun; Zhang, Zhen; Zhao, Shuting; Liu, Xueli; Chen, Xinrong (2024): Full-body pose reconstruction and correction in virtual reality for rehabilitation training. In: *Front. Neurosci.* 18, Artikel 1388742, S. 1388742. DOI: 10.3389/fnins.2024.1388742.

Endsley, Mica R. (1995): Measurement of Situation Awareness in Dynamic Systems. Hg. v. Human Factors and Ergonomics Society (HFES) (1). Online verfügbar unter <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1518/001872095779049499>.

Izani, M.; Aishah; Eshaq, A. R.; Norzaiha (2003): Keyframe animation and motion capture for creating animation: a survey and perception from industry people. In: SCORED 2003. Proceedings. Student Conference on Research and Development SCORED 2003. Proceedings. Putrajaya, Malaysia, 25-26 Aug. 2003. Piscataway, NJ: IEEE, S. 154–159. Online verfügbar unter <https://www.researchgate.net/publication/4153541>, zuletzt geprüft am 24.08.2024.

Javvaji, Chaitanya Kumar; Reddy, Harshitha; Vagha, Jayant D.; Taksande, Amar; Kommareddy, Anirudh; Reddy, Naramreddy Sudheesh (2024): Immersive Innovations: Exploring the Diverse Applications of Virtual Reality (VR) in Healthcare. In: *Cureus* 16 (3). DOI: 10.7759/cureus.56137.

Kennedy, Robert S.; Lane, Norman E.; Berbaum, Kevin S.; Lilienthal, Michael G. (1993): Simulator Sickness Questionnaire: An Enhanced Method for Quantifying Simulator Sickness. In: *The International Journal of Aviation Psychology* 3 (3), S. 203–220. DOI: 10.1207/s15327108ijap0303_3.

Lamberti, Fabrizio; Cannavo, Alberto; Montuschi, Paolo (2020): Is Immersive Virtual Reality the Ultimate Interface for 3D Animators? In: *Computer* 53 (4), S. 36–45. DOI: 10.1109/MC.2019.2908871.

LaValle, Steven Michael (2023): Virtual reality. Cambridge: Cambridge University Press. Online verfügbar unter <https://lavalle.pl/vr/>, zuletzt geprüft am 24.08.2024.

LaViola, Joseph J.: 3D user interfaces : theory and practice: Addison-Wesley.

- LaViola, Joseph J.; Kruijff, Ernst; Riecke, Bernhard E. (2018): 3D user interfaces for virtual reality and games. In: ACM SIGGRAPH 2018 Courses. SIGGRAPH '18: Special Interest Group on Computer Graphics and Interactive Techniques Conference. Vancouver British Columbia Canada, 12 08 2018 16 08 2018. New York, NY: ACM (ACM Conferences), S. 1–94. Online verfügbar unter <https://www.researchgate.net/publication/326760602>.
- Li, Xiu; Fan, Zhen; Liu, Yebin; Li, Yipeng; Dai, Qionghai (2019): 3D Pose Detection of Closely Interactive Humans Using Multi-View Cameras. In: *Sensors* 19 (12), S. 2831. DOI: 10.3390/s19122831.
- Lopez-Nava, Irvin Hussein; Munoz-Melendez, Angelica (2016): Wearable Inertial Sensors for Human Motion Analysis: A Review. In: *IEEE Sensors J.* 16 (22). DOI: 10.1109/JSEN.2016.2609392.
- Maraffi, Chris (2004): Maya character creation. Modeling and animation controls. Boston, Indianapolis, London: New Riders Publishing. Online verfügbar unter <https://www.pearson.de/maya-character-creation-modeling-and-animation-controls-9780132798235>.
- Menache, Alberto (2011): Understanding Motion Capture for Computer Animation. Second edition. Amsterdam, Boston, Heidelberg, London, New York, Oxford, Paris, San Diego, San Francisco, Singapore, Sydney, Tokyo: Morgan Kaufmann Publishers (Morgan Kaufmann Series in Computer Graphics). Online verfügbar unter <https://www.perlego.com/search?query=Understanding%20Motion%20Capture>.
- Meta (Hg.) (2024). Online verfügbar unter <https://developer.oculus.com/documentation/unity/move-overview/>, zuletzt aktualisiert am 16.04.2024, zuletzt geprüft am 16.04.2024.
- Meta Quest 3. SAFETY AND WARRANTY GUIDE. Online verfügbar unter <https://www.manualpdf.in/meta/quest-3/manual>, zuletzt geprüft am 24.08.2024.
- Mine, Mark R. (1995): Virtual Environment Interaction Techniques. Hg. v. University of North Carolina. Department of Computer Science. Online verfügbar unter <https://www.researchgate.net/publication/2812583>, zuletzt geprüft am 24.08.2024.
- Monica, Riccardo; Aleotti, Jacopo (2022): Evaluation of the Oculus Rift S tracking system in room scale virtual reality. In: *Virtual Reality* 26 (4), S. 1335–1345. DOI: 10.1007/s10055-022-00637-3.
- Nagymáté, Gergely; M. Kiss, Rita (2018): Application of OptiTrack motion capture systems in human movement analysis (1). Online verfügbar unter <https://www.researchgate.net/publication/326168325>.
- Nielsen, Jakob; Landauer, Thomas K. (1993): A mathematical model of the finding of usability problems. In: Bert Arnold und Stacey Ashlund (Hg.): CHI '93: Proceedings of the INTERACT '93 and CHI '93 conference on Human factors in computing systems: ACM, S. 206-213. Online verfügbar unter <https://dl.acm.org/doi/10.1145/169059.169166>.
- Parent, Rick (2012): Computer animation. Algorithms and techniques, third edition. 3. Auflage. Waltham, Mass.: Morgan Kaufmann. Online verfügbar unter <https://www.amazon.de/-/en/Rick-Parent-Ph-D/dp/0124158420>.
- Ponton, Jose Luis; Yun, Haoran; Aristidou, Andreas; Andujar, Carlos; Pelechano, Nuria (2024): SparsePoser: Real-time Full-body Motion Reconstruction from Sparse Data. In: *ACM Trans. Graph.* 43 (1), S. 1–14. DOI: 10.1145/3625264.
- Richter, Thomas (2024): Motion-Capturing in Echtzeit - ohne Marker. MoveLive. Hg. v. channelunit GmbH. Online verfügbar unter <https://www.slashcam.de/news/single/Motion-Capturing-in-Echtzeit---ohne-Marker-18671.html>.

Sanocki, Tom; Burke, Natalie; Lucka, Jonathan; Collins, Jonathen; Berninger, Trevor; Cadogan, Milton (2017): Limitless VR creative environment. SIGGRAPH '17: ACM SIGGRAPH 2017. Online verfügbar unter <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3098333.3098336>, zuletzt geprüft am 24.08.2024.

Shringi, Ankit; Arashpour, Mehrdad; Golafshani, Emadaldin Mohammadi; Rajabifard, Abbas; Dwyer, Tim; Li, Heng (2022): Efficiency of VR-Based Safety Training for Construction Equipment: Hazard Recognition in Heavy Machinery Operations. In: *Buildings* 12 (12), S. 2084. DOI: 10.3390/buildings12122084.

Soumya, Paul; Mohler, Betty (2015): Animated self-avatars in immersive virtual reality for studying body perception and distortions. Hg. v. IEEE Virtual Reality. Institut für Neurowissenschaften und Medizin. Arles France. Online verfügbar unter <https://www.researchgate.net/publication/284437866>.

Thalmann, Daniel; Nedel, Luciana; Molet, Tom (1999): Animation of Virtual Human Bodies Using Motion Capture Device. Hg. v. 2nd Brazilian Workshop on Virtual Reality - WRV'99. Marília, São Paulo, Brazil. Online verfügbar unter <https://www.researchgate.net/publication/37444486>.

Unity Technologies (Hg.) (2021): 2021 Gaming Report. Online verfügbar unter <https://create.unity.com/2021-game-report>.

van Gumster, Jason (2020): Blender For Dummies. 4te Edition. Boston, MA: For Dummies; Safari. Online verfügbar unter <https://www.amazon.de/Blender-Dummies-Computer-Tech/dp/1119616964>.

Venkatesh, Viswanath; Bala, Hillol (2008): Technology Acceptance Model 3 and a Research Agenda on Interventions (2). Online verfügbar unter <https://www.researchgate.net/publication/247644487>.

Vogel, Daniel; Lubos, Paul; Steinicke, Frank: AnimationVR - Interactive Controller-based Animating in Virtual Reality. In: 2018 IEEE 1st Works1sthop 2018, S. 1–6. Online verfügbar unter <https://ieeexplore.ieee.org/document/8587268>.

Xu, Zheng; Zheng, Nan (2021): Incorporating Virtual Reality Technology in Safety Training Solution for Construction Site of Urban Cities. In: *Sustainability* 13 (1). DOI: 10.3390/su13010243.

Yong, Jiu; Lei, Xiaomei; Dang, Jianwu; Wang, Yangping (2024): A Robust CoS-PVNet Pose Estimation Network in Complex Scenarios. In: *Electronics* 13 (11), S. 2089. DOI: 10.3390/electronics13112089.

Zeng, Qiang; Zheng, Gang; Liu, Qian (2024): DTP: learning to estimate full-body pose in real-time from sparse VR sensor measurements. In: *Virtual Reality* 28 (2). DOI: 10.1007/s10055-024-01011-1.

Anhang A: Repository

GIT: <https://github.com/WilliGerner/Thesis-AnimVRig.git>

Anhang B: Fragebögen

Simulator Sickness Questionnaire (SSQ)

Der Simulator Sickness Questionnaire (SSQ) ist ein standardisierter Fragebogen der verwendet wird um Symptome von Simulator-Krankheit (auch bekannt als "VR-Krankheit" oder "Motion Sickness") zu bewerten. Der SSQ erfragt 16 Symptome, die die Teilnehmer bewerten müssen. Jeder Teilnehmer gibt an in welchem Ausmaß er oder sie jedes Symptom während oder nach der Nutzung des Simulators erlebt hat. Die Skala reicht dabei von 0 (leicht) bis 3 (stark).

Tabelle 1: Simulator Sickness Questionnaire Symptome

Symptom

- | | |
|-------------------------------------|---|
| 1. Allgemeines Unwohlsein | 9. Konzentrationsschwierigkeiten |
| 2. Müdigkeit | 10. Druckgefühl im Kopf |
| 3. Kopfschmerzen | 11. Verschwommene Sicht |
| 4. Augenbelastung | 12. Schwindel (mit offenen Augen) |
| 5. Schwierigkeiten beim Fokussieren | 13. Schwindel (mit geschlossenen Augen) |
| 6. Erhöhter Speichelfluss | 14. Schwindelgefühl |
| 7. Schwitzen | 15. Magenschmerzen |
| 8. Übelkeit | 16. Aufstoßen |

Die Bewertung der Symptome wird zu einem Gesamtscore und spezifischen Scores für die drei Kategorien addiert, um den Grad der Simulator-Krankheit zu quantifizieren. Dieser Fragebogen ist ein wichtiges Werkzeug um die Verträglichkeit und das potenzielle Unwohlsein der Nutzer bei der Verwendung von VR-Systemen zu bewerten (Kennedy et al. 1993).

System Usability Scale (SUS)

Der **System Usability Scale (SUS)** besteht aus 10 standardisierten Fragen die darauf abzielen die Benutzerfreundlichkeit eines Systems zu bewerten. Die Fragen wechseln dabei zwischen positiven und negativen Formulierungen um ein ausgewogenes Bild der Nutzererfahrung zu erhalten. Hier sind die genauen Fragen des SUS:

1. Ich denke, dass ich dieses System gerne häufig benutzen würde.
2. Ich fand das System unnötig komplex.
3. Ich fand das System einfach zu benutzen.
4. Ich denke, dass ich die Hilfe einer technisch versierten Person benötigen würde um dieses System benutzen zu können.
5. Ich fand die verschiedenen Funktionen in diesem System gut integriert.
6. Ich fand, dass es in diesem System zu viele Inkonsistenzen gab.
7. Ich kann mir vorstellen, dass die meisten Menschen den Umgang mit diesem System sehr schnell erlernen würden.
8. Ich fand das System sehr umständlich zu benutzen.
9. Ich fühlte mich bei der Nutzung des Systems sicher.
10. Ich musste viele Dinge lernen bevor ich mit diesem System effektiv arbeiten konnte.

Die Teilnehmer bewerten jede Aussage auf einer Skala von 1 (stimme überhaupt nicht zu) bis 5 (stimme voll und ganz zu). Diese Bewertungen werden anschließend in eine Gesamtpunktzahl umgewandelt die die Benutzerfreundlichkeit des Systems quantifiziert. Der SUS ist ein weithin anerkanntes Werkzeug zur Bewertung der Benutzererfahrung und liefert wertvolle Erkenntnisse darüber wie intuitiv und effektiv ein System in der Praxis eingesetzt werden kann (Brooke 1995).

Situational Awareness Rating Technique (SART)

Der **Situational Awareness Rating Technique (SART)** ist ein Werkzeug zur Bewertung des Situationsbewusstseins (Situational Awareness, SA) einer Person während der Durchführung einer Aufgabe. Der SART besteht aus einer Reihe von Fragen, die in drei Hauptkategorien unterteilt sind:

1. Anforderungen an das Situationsbewusstsein
2. Verfügbarkeit von Ressourcen
3. Verständnis der Situation

Bewertung

1. Anforderungen an das Situationsbewusstsein

- | | |
|---|---------------|
| 1.1. Wie viel Aufmerksamkeit erfordert die Situation? | 1 2 3 4 5 6 7 |
| 1.2. Wie hoch ist der Grad an Konzentration, den die Situation erfordert? | 1 2 3 4 5 6 7 |
| 1.3. Wie komplex war die Situation? | 1 2 3 4 5 6 7 |

2. Verfügbarkeit von Ressourcen

- | | |
|---|---------------|
| 2.1. Wie aufmerksam sind Sie während der Aufgabe? | 1 2 3 4 5 6 7 |
| 2.2. Wie viel mentale Kapazität haben Sie zur Verfügung, um die Situation zu verarbeiten? | 1 2 3 4 5 6 7 |
| 2.3. Wie stark können Sie die Situation kontrollieren? | 1 2 3 4 5 6 7 |

3. Verständnis der Situation

- | | |
|--|---------------|
| 3.1. Wie gut haben Sie die Situation verstanden? | 1 2 3 4 5 6 7 |
| 3.2. Wie viel Informationen müssen Sie verarbeiten? | 1 2 3 4 5 6 7 |
| 3.3. Wie klar und verständlich sind die Informationen, die Ihnen zur Verfügung stehen? | 1 2 3 4 5 6 7 |

Gesamtbewertung

Bitte geben Sie eine Gesamteinschätzung Ihres Situationsbewusstseins in der beschriebenen Situation:

Gesamteinschätzung des Situationsbewusstseins | 1 2 3 4 5 6 7 |

Jede Dimension wird von den Teilnehmern auf einer Skala von 1 (niedrig) bis 7 (hoch) bewertet. Diese Bewertungen werden dann verwendet, um ein Profil des Situationsbewusstseins der Teilnehmer zu erstellen das die Anforderungen, Ressourcen und das Verständnis der Situation reflektiert.

Der SART ist ein vielseitiges Werkzeug, das in vielen Bereichen von der Luftfahrt über die Medizin bis hin zur VR-Forschung eingesetzt wird um das Situationsbewusstsein zu bewerten und die kognitiven Anforderungen einer Aufgabe zu verstehen (Endsley 1995).

AnimVRig Evaluationsfragebogen

Abschnitt 1: Benutzerfreundlichkeit

1. Die Benutzeroberfläche (UI) von AnimVRig ist intuitiv* gestaltet.
1 2 3 4 5
2. Die Navigation durch die verschiedenen Menüs und Funktionen war einfach.
1 2 3 4 5
3. Die Anleitung zur Nutzung von AnimVRig war verständlich und hilfreich.
1 2 3 4 5
4. Animationen waren einfach zu finden und zu bedienen.
1 2 3 4 5
5. Das Bindings-Menü zur selektiven Steuerung einzelner Körperteile ist logisch strukturiert.
1 2 3 4 5
6. Die Geste zum Öffnen des Hauptmenüs (Daumen und Zeigefinger zusammenführen) funktionierte zuverlässig.
1 2 3 4 5

* Intuitiv: Bezeichnet die Fähigkeit etwas ohne bewusste Überlegung oder analytisches Denken zu verstehen oder anzuwenden. Intuitive Handhabung bedeutet, dass eine Benutzeroberfläche oder ein System ohne umfangreiche Anleitungen oder Erklärungen leicht erfasst und bedient werden kann.

Abschnitt 2: Funktionalität

1. Die Funktionen von AnimVRig entsprechen
2. meinen Erwartungen.
1 2 3 4 5
3. Das Bindingsmenü ermöglicht eine präzise Auswahl der anzusteuernenden Körperteile.
1 2 3 4 5
4. Die Funktion zum Wechseln von Modellen ist nützlich.
1 2 3 4 5
5. Die Funktion zum Wechseln von Varianten ist nützlich.
1 2 3 4 5
6. Das Transformer-Werkzeug erleichtert die präzise Positionierung und Rotation von Modellen im 3D-Raum.
1 2 3 4 5
7. Die Option, Animationen direkt in der Entwicklungsumgebung zu speichern, ist praktisch.
1 2 3 4 5

Abschnitt 3: Interaktivität und Immersion

1. Die Reaktion des Systems auf meine Bewegungen war schnell und präzise.
1 2 3 4 5
2. Die Echtzeit-Feedback-Schleife zwischen meiner Bewegung und der Animation war flüssig und verzögerungsfrei.
1 2 3 4 5
3. Die Möglichkeit, durch Handgesten das System zu steuern erhöht das Gefühl der Immersion.
1 2 3 4 5
4. Ich würde lieber mit Controllern das System steuern als mit Händen.
1 2 3 4 5
5. Wie gut entspricht die Qualität der Animationen Ihren Erwartungen an eine kostengünstige Body-Tracking-Lösung?.
1 2 3 4 5

Abschnitt 4: Technische Leistung

1. Die Anwendung lief stabil und ohne technische Probleme.
1 2 3 4 5
2. Die Ladezeiten der verschiedenen Funktionen und Modelle waren akzeptabel.
1 2 3 4 5
3. Die Performance der Anwendung blieb auch beim Animieren flüssig.
1 2 3 4 5
4. Es traten keine Verzögerungen auf während ich Animationen bearbeitet habe.
1 2 3 4 5
5. Die Anwendung reagierte schnell auf meine Eingaben und Befehle.
1 2 3 4 5

Abschnitt 5: Allgemeine Zufriedenheit

1. Ich bin insgesamt zufrieden mit der Benutzererfahrung von AnimVRig.
1 2 3 4 5
2. AnimVRig hat meine Erwartungen an ein Animationstool für VR erfüllt.
1 2 3 4 5
3. Ich würde AnimVRig in zukünftigen Projekten einsetzen.
1 2 3 4 5
4. Ich würde AnimVRig anderen Entwicklern oder Anwendern empfehlen.
1 2 3 4 5

Abschnitt 6: Offene Fragen

1. Welche Funktionen von AnimVRig fanden Sie besonders hilfreich? Bitte kreuzen Sie zutreffendes an.

- Positionieren & Rotieren
 Modell wechseln
 Variante wechseln
 Einzelne Körperteile zuweisen
 Animationen aufnehmen
 Animationen abspielen

2. Gab es Funktionen oder Aspekte, die Ihnen Schwierigkeiten bereitet haben? Wenn ja, welche und warum?
3. Welche Verbesserungsvorschläge haben Sie für zukünftige Versionen von AnimVRig? Gibt es Funktionen, die Sie hinzufügen oder ändern würden?
4. Sind während der Nutzung technische Probleme aufgetreten (z.B. Abstürze, Verzögerungen)? Bitte beschreiben Sie diese und wie sie Ihre Arbeit beeinträchtigt haben.
5. Sehen Sie Potenzial für die Anwendung von AnimVRig in anderen Bereichen oder für andere Aufgaben? Wenn ja, welche?
6. Wie würden Sie Ihre Gesamtzufriedenheit mit AnimVRig auf einer Skala von 1 bis 5 bewerten?
1 2 3 4 5