Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Fakultät Information und Digitale Gesellschaft

Studiengang Digital Reality (M. Sc.)

Masterarbeit

Implementierung und Evaluation von Cross-Reality Transitionen anhand eines spielbasierten Prototyps

Verfasser: Jakob Pflesser

Matrikelnummer: [redacted]

Erstprüfer: Prof. Dr. Eike Langbehn

Zweitprüfer: Simon Dewert

Abgabe: Hamburg, den 16.09.2026

Abstract Deutsch

Die zunehmende Verbindung von virtuellen und realen Umgebungen eröffnet neue Möglichkeiten für interaktive VR-Anwendungen. Besonders im spielerischen Bereich können solche Anwendungen durch den Wechsel zwischen verschiedenen Realitäten neue Formen der Interaktion ermöglichen. Dabei stellt sich die Frage, wie dieser Wechsel gestaltet werden sollte. Ausgehend von diesem Interesse entstand die Idee, verschiedene Cross-Reality Transitionsmethoden in einem spielbasierten VR-Szenario miteinander zu vergleichen. Ziel der Arbeit war es, zu untersuchen, welchen Einfluss die Gestaltung des Übergangs auf die wahrgenommene Immersion, das Wohlbefinden und die Usability hat. Hierzu wurde ein spielbasierter VR-Prototyp mit den drei Transitionsmethoden Fade, Beam und Portal entwickelt und im Rahmen einer Benutzerstudie untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass sich die Wahrnehmung der Methoden unterscheidet. Besonders der Beam wurde über die untersuchten Dimensionen hinweg positiv bewertet. Hinsichtlich des Wohlbefindens und der Usability konnten die erwarteten Unterschiede zwischen den Methoden hingegen nicht eindeutig bestätigt werden Die Untersuchung zeigt damit, dass die Gestaltung einer Transition einen relevanten Bestandteil des Nutzungserlebnisses einer Cross-Reality Anwendung darstellen kann.

Abstract English

The increasing connection between virtual and real environments creates new possibilities for interactive VR applications. Especially in gaming, such applications can enable new forms of interaction by allowing users to switch between different realities. This raises the question of how such transitions should be designed. Based on this interest, the idea emerged to compare different cross-reality transition methods within a game-based VR scenario. The aim of this thesis was to investigate how the design of a transition affects perceived immersion, well-being, and usability. For this purpose, a game-based VR prototype implementing three transition methods, Fade, Beam, and Portal, was developed and evaluated in a user study. The results show differences in how the transition methods are perceived. Beam was particularly positively rated across the investigated dimensions. In contrast, the expected differences between the methods regarding well-being and usability could not be clearly confirmed. The study therefore indicates that the design of a transition can be an important part of the user experience in a cross-reality application.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung 1
2. Stand der Forschung 3
2.1. Gestaltung von Transitionsmethoden 4
2.2. Auswirkungen von Transitionsmethoden 5
2.3. Weitere Perspektiven auf Transitionen 7
2.4. Übersicht bisherige Forschung 8
2.5. Ableitung für die vorliegende Untersuchung 9
2.5.1. Ableitung der Hypothesen 9
3. Methodik 11
3.1. Ziel der Studie 11
3.2. Studiendesign 11
3.2.1. Versuchsablauf 12
3.2.2. Testpersonen 13
3.2.3. Fragebogen 13
3.2.4. Datenauswertung 15
4. Implementierung des VR-Prototyps 16
4.1. Anforderungen und Zielsetzung 16
4.2. Hard- und Software 17
4.3. Aufbau 17
4.3.1. Aufgaben & Interaktionen 19
4.4. Transitionsmethoden 23
4.4.1. Fade 24
4.4.2. Beam 25
4.4.3. Portal 25
5. Ergebnisse 27
5.1. Stichprobe 27
5.2. Deskriptive Ergebnisse 28
5.2.1. Immersion 28
5.2.2. Wohlbefinden 29
5.2.3. Usability 30
5.3. Statistische Analyse & Hypothesentests 31
5.3.1. Testvoraussetzungen 32
5.3.2. ANOVA 33
5.3.3. Hypothesentests 34
5.4. Weitere Ergebnisse 35
6. Diskussion 38
6.1. Interpretation der Ergebnisse 39
6.1.1. Immersion 39
6.1.2. Wohlbefinden 39
6.1.3. Usability 41
6.1.4. Weitere Erkenntnisse 43
6.2. Reflexion & Aussicht 45
7. Fazit 46
Literaturverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Übersicht über das Kontrollzentrum des VR-Prototyps 18
Abbildung 2: Hauptmonitor des Kontrollzentrums 18
Abbildung 3: Energiezelle 19
Abbildung 4: Sockets für Energiezellen 19
Abbildung 5: Kontrollpanel im Raumschiff 20
Abbildung 6: Hologrammerde im Raumschiff 21
Abbildung 7: Fade Verlauf von virtueller Umgebung zu Passthrough 24
Abbildung 8: Beam Verlauf von virtueller Umgebung zu Passthrough 25
Abbildung 9: Beides Seitens des Portals 26

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht Stichprobe 27
Tabelle 2: Mittelwerte und Standardabweichungen der Aussagen zur Immersion 28
Tabelle 3: Mittelwerte und Standardabweichungen der Aussagen zum Wohlbefinden 29
Tabelle 4: Mittelwerte und Standardabweichungen der Aussagen zur Usability 30
Tabelle 5: Freiheitsgrade, p-Werte und Effektgrößen der Messwiederholungs-ANOVA 33
Tabelle 6: Paarvergleiche der Transitionsmethoden hinsichtlich Immersion, Wohlbefinden und Usability 34
Tabelle 7: Durchschnittliche Zeiten und Mediane pro Transitionsmethode nach Durchlauf 35
Tabelle 8: Gesamtzeiten und VR-Vorerfahrung nach Testpersonen 36
Tabelle 9: Anzahl Nennungen von Präferenzen der Testpersonen pro Kategorie 37

1. Einleitung

Auf Knopfdruck oder mit nur einem Schritt in eine andere Realität? Auch wenn das nach dem Inhalt eines Science-Fiction-Films klingt, ist dies mit modernen Virtual-Reality-Systemen (VR) bereits möglich. Durch die stetige Weiterentwicklung von Head-Mounted Displays (HMD) und insbesondere der Passthrough-Technik verschwimmen die Grenzen zwischen virtueller und realer Umgebung. Passthrough ermöglicht es modernen HMDs, die reale Umgebung über die Kameras des Headsets darzustellen. Dadurch können reale und virtuelle Umgebungen miteinander verbunden werden, was auch den Wechsel zwischen diesen ermöglicht. Solche Übergänge zwischen unterschiedlichen Realitäten werden als Cross-Reality Transitionen bezeichnet.

Insbesondere im Bereich des Entertainments und in spielerischen Anwendungen ergeben sich dadurch viele Möglichkeiten und Interaktionen. Generell stieg die Nutzung von Augmented Reality laut einer deutschen Studie von 19 Prozent im Jahr 2023 auf 50 Prozent im Jahr 2025. Bei Nutzenden mit VR-Brillen wurden Computer- und Videospiele mit 95 Prozent als häufigster Anwendungsbereich festgelegt (Bitkom, 2025). Daher gewinnt die Art und Gestaltung des Übergangs dabei zunehmend an Bedeutung. Einerseits muss die Transition dabei ihre technische Funktion erfüllen und einen Wechsel zwischen Umgebungen ermöglichen, andererseits wird die Transition selbst Teil des Nutzungserlebnisses. Übergänge können dabei in allen möglichen Formen und Intervallen mit verschiedenen Interaktionsmöglichkeiten umgesetzt werden. Die Wahl der Transitionsmethode kann somit einen Einfluss haben, wie eine Anwendung erlebt und bewertet wird.

Auch die bisherige Forschung zeigt bereits, dass die Wahrnehmung von VR-Anwendungen durch verschiedene Faktoren beeinflusst wird. In einer Studie zur Akzeptanz und Nutzung von VR-Spielen zeigte sich, dass insbesondere spielerische Aspekte und Freude eine wichtige Rolle für unter anderem die wahrgenommene Immersion spielen. Außerdem wurde deutlich, dass auch die Benutzerfreundlichkeit einen wichtigen Faktor in Spielen darstellt (Kari & Kosa, 2023). Das zeigt, dass bei VR-Anwendungen neben technischen Funktionen und gesundheitlichem Wohlbefinden auch das Nutzungserlebnis und die verständliche Bedienbarkeit von Bedeutung sind.

Diese Aspekte spielen bei der Gestaltung von Transitionsmethoden eine Rolle. In einer bisherigen Studie zu Transitionen zwischen virtuellen Umgebungen wurde bereits gezeigt, dass sich diese hinsichtlich wahrgenommener Presence und Usability unterscheiden (Husung & Langbehn, 2019). Unter Presence wird das subjektive Empfinden verstanden, sich in einer virtuellen Umgebung tatsächlich „anwesend“ zu fühlen. Auch bei Übergängen zwischen virtueller und augmentierter Realität wurden Unterschiede in der wahrgenommenen Attraktivität und Usability festgestellt (Pointecker et al., 2022). Dabei wurden unter anderem einfache Überblendungen und interaktivere Übergänge wie Portale miteinander verglichen.

Vor diesem Hintergrund beschäftigt sich die vorliegende Arbeit mit dem Einfluss verschiedener Cross-Reality Transitionsmethoden auf die Wahrnehmung einer VR-Anwendung. Der Anwendungskontext wird dabei aufgrund der aktuellen Bedeutung von VR im Gaming auf ein spielerisches Szenario festgelegt. Dazu werden die drei Transitionsmethoden **Fade**, **Beam** und **Portal** untersucht. Diese sollen miteinander verglichen werden, da sie sich gestalterisch voneinander unterscheiden und sie zuvor teilweise in anderen Kontexten untersucht wurden. Untersucht wird, wie sich diese hinsichtlich der wahrgenommenen Immersion, des Wohlbefindens und der Usability unterscheiden.

Ziel der Arbeit ist es, einen Vergleich zwischen den drei Transitionsmethoden zu ermöglichen und deren Einfluss auf die Wahrnehmung einer spielbasierten VR-Anwendung zu untersuchen. Dafür wird zunächst ein Prototyp einer VR-Anwendung als spielerisches Szenario entwickelt, welcher die Studienumgebung darstellen wird. Mit Hilfe einer Benutzerstudie soll herausgefunden werden, ob bestimmte Transitionsmethoden hinsichtlich Immersion, Wohlbefinden und Usability Vorteile gegenüber anderen Methoden aufweisen. Daraus ergibt sich folgende Forschungsfrage:

Wie beeinflussen verschiedene Cross-Reality Transitionsmethoden die wahrgenommene Immersion, das Wohlbefinden und die Usability in einem spielbasierten VR-Prototyp?

2. Stand der Forschung

Mit der zunehmenden Verbreitung neuer Technologien wie Virtual Reality und Augmented Reality entstehen Anwendungen, in denen Nutzer zwischen unterschiedlichen virtuellen und realen Umgebungen wechseln können. Diese Übergänge zwischen verschiedenen Umgebungen stellen einen relevanten Bestandteil immersiver Anwendungen dar. In der bisherigen Forschung wurden unterschiedliche Ansätze untersucht, um den Wechseln zwischen der physischen und der virtuellen Umgebung sowie zwischen mehreren virtuellen Szenen zu gestalten.

Die Gestaltung von Übergängen zwischen unterschiedlichen Realitätsstufen stellt einen eigenen Bereich innerhalb der Forschung zu Mixed Reality dar. Eine Grundlage bildet hierfür das von Milgram und Kishino entwickelte Reality-Virtuality-Kontinuum. Es beschreibt ein Kontinuum, das von einer vollkommen realen Umgebung bis zu einer vollkommen virtuellen Umgebung reicht und dazwischen verschiedene Mischformen von realen und virtuellen Inhalten einordnet (Milgram & Kishino, 1994). Skarbez, Smith und Whitton (2021) griffen dieses Modell neu auf und argumentieren, dass das ursprüngliche Kontinuum aufgrund der technologischen Entwicklung neu betrachtet werden muss. Einerseits erklären sie, dass auch vollkommen virtuelle Umgebungen in der realen Welt stattfinden, was die Grenzen verschwimmen lässt, andererseits stellen sie die Nutzererfahrung mehr in den Mittelpunkt (Skarbez, Smith & Whitton, 2021). Dadurch soll die Einordnung von Mixed-Reality-Erfahrungen nicht mehr nur anhand technologischer Eigenschaften erfolgen, sondern um weitere Dimensionen wie Immersion und Kohärenz erweitert werden. Daher sind subjektive Eigenschaften wie Immersion, Wahrnehmung und Nutzererfahrung ebenfalls relevante Faktoren für die Bewertung einer Transitionsmethode.

Auf dieser Grundlage lassen sich Transitionen nicht ausschließlich als Wechsel zwischen zwei klar voneinander getrennten Zuständen verstehen. Stattdessen können während eines Übergangs verschiedene Teile der realen und virtuellen Umgebungen wahrgenommen werden. Für die Gestaltung solcher Übergänge ergeben sich daher verschiedene Möglichkeiten, beispielsweise durch eine schrittweise Veränderung der Darstellung oder durch unmittelbaren Wechsel zwischen den Szenen.

2.1. Gestaltung von Transitionsmethoden

Die Gestaltung von Transitionen kann demnach variieren, da es verschiedene Möglichkeiten gibt, was daher zu unterschiedlichen Nutzererfahrungen führen kann. George et al. (2020) haben beispielsweise mehrere Konzepte für bidirektionale Übergänge zwischen virtueller und Mixed-Reality-Umgebung untersucht. Mithilfe eines "Sky Portals" und einem "Virtual Phone" gab es zwei Ansätze, die einerseits über eine räumliche Verbindung und andererseits über ein virtuelles Interaktionsobjekt umgesetzt wurden und schrittweise Übergänge ermöglichten, indem Teile der jeweils anderen Umgebung eingebaut wurden. Die Ergebnisse zeigten, dass solche Übergänge auch Interaktionen zwischen der realen und der virtuellen Umgebung ermöglichen können, gleichzeitig aber auch, dass Transitionsmethoden Auswirkungen auf Aufgabenbearbeitungen haben können (George et al., 2020). Beim Einsatz des "Sky Portals" wurde für eine Aufgabe mehr Zeit benötigt und es entstanden mehr Kollisionen der physischen Umgebung. Der Kontext, indem eine Transitionsmethode eingesetzt wird, hat also wesentlichen Einfluss auf ihr Design.

Ein anderer Bereich der Gestaltung von Transitionsmethoden ist der Wechsel zwischen zwei virtuellen Szenen. Die Gestaltung kann dabei unterschiedlichste visuelle Effekte annehmen. Husung und Langbehn (2019) haben hierzu verschiedene Transitionsmethoden verglichen. Untersucht wurden direkte Szenenwechsel wie "Cut", "Fade" und "Dissolve" sowie VR-spezifische Szenenwechsel, welche Interaktionen erfordern. Diese nannten sie "Transformation", "Portal" und "Orb". Bereits die in dieser Studie verglichenen Verfahren verdeutlichen die große Bandbreite möglicher Gestaltungsformen von Transitionsmethoden. Die Transitionen wurden dabei auf Presence, Nutzerfreundlichkeit auf Kontinuität getestet. Der Fokus lag hierbei auf dem Aspekt der Kontinuität. Die Ergebnisse zeigten, dass interaktive sowie vorhersehbare und weniger abrupte Übergänge positivere Bewertungen hinsichtlich Presence und Kontinuität erhielten. Besonders „Portal“ und „Orb“ wurden hinsichtlich Presence, Kontinuität und Präferenz am besten bewertet, ohne Nachteile bei der Usability zu zeigen (Husung & Langbehn, 2019).

Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass die konkrete Gestaltung einer Transitionsmethode einen Einfluss auf die wahrgenommene Immersion und die

Nutzerbewertung haben kann. Allerdings wurden diese Transitionen ausschließlich zwischen virtuellen Szenen und kontextunabhängig untersucht, weshalb die Autoren kontextabhängige Studien für die Zukunft empfahlen (Husung & Langbehn, 2019).

Einen weiteren Ansatz von Transitionsmethoden verfolgten Pointecker et al. (2022), die visuelle Übergänge zwischen Virtual Reality und Augmented Reality untersuchten. Hierbei wurden die Methoden "Fade", "SimpleCut", "TeleportBeam" und "Portal" anhand von fünf Kriterien wie unter anderem Visibility, Distraction und Interactivity ausgewählt. In einer Workflow-Umgebung wurden die Transitionen auf Motion Sickness, Kontinuität und Nutzererfahrung untersucht. Die Ergebnisse zeigten, dass insbesondere "Fade" eine hohe Kontinuität und eine positive Nutzererfahrung ermöglichte, während "Portal" stärker durch seine Interaktivität und visuelle Gestaltung auffiel, jedoch den Arbeitsablauf stärker unterbrechen konnte. Hinsichtlich der Motion Sickness zeigten sich keine deutlichen Unterschiede zwischen den Methoden (Pointecker et al., 2022).

Diese Studie testete die Transitionsmethoden in einer professionellen Umgebung und zeigt, dass die Eignung auch von der Anwendung abhängen kann. So bewerteten die Autoren den „TeleportBeam“ zwar als weniger geeignet für professionelle Anwendungen, sahen ihn jedoch als mögliche Option für spielerische Umgebungen (Pointecker et al., 2022). Bei der Bewertung wurde die wahrgenommene Immersion nicht als eigenständiger Untersuchungsaspekt betrachtet. Für Anwendungen, bei denen das Eintauchen in das Szenario eine zentrale Rolle spielt, kann dieser Aspekt jedoch von Bedeutung sein**.** Dies ist auch für die vorliegende Untersuchung relevant, da neben Wohlbefinden und Usability insbesondere die wahrgenommene Immersion der verschiedenen Transitionsmethoden betrachtet wird.

2.2. Auswirkungen von Transitionsmethoden

Neben der subjektiven Wahrnehmung einer Transitionsmethode wurde auch untersucht, inwiefern sich unterschiedliche Übergänge auf die Nutzung einer Anwendung und die Bearbeitung von Aufgaben auswirken. Feld et al. (2024) untersuchten hierzu verschiedene Transitionsmethoden in einem aufgabenorientierten Cross-Reality-Szenario. Hierbei wurde eine kognitive Aufgabe in den Fokus gerückt, welche die Testpersonen unter Nutzung der Transitionsmethoden lösen mussten. Dabei zeigte sich

sowohl für rein virtuelle als auch für Cross-Reality Übergänge eine Präferenz für kurze und effiziente Transitionen gegenüber interaktiven Transitionen. Gleichzeitig wird von den Autoren angenommen, dass eine gut gewählte Transitionsmethode die negativen Auswirkungen visueller Unstimmigkeiten zwischen zwei Umgebungen mindern kann (Feld et al., 2024).

Die Ergebnisse zeigen, dass die Gestaltung eines Übergangs großen Einfluss auf unterschiedlichste Aspekte der Nutzererfahrung haben kann. So führt eine aufwendigere Transition nicht zwangsläufig zu einer besseren Nutzererfahrung, besonders bei aufgabenorientierten Anwendungen. Auch bei der vorliegenden Arbeit ist die Untersuchung aufgabenorientiert, findet jedoch in einem spielerischen Szenario statt. Zusätzlich werden Bearbeitungszeiten erfasst, um mögliche Auswirkungen auf die Aufgabenbearbeitung zu berücksichtigen.

Neben der Aufgabenbearbeitung können Transitionen auch die räumliche Wahrnehmung und das Wohlbefinden beeinflussen. Auch Feld et al. (2024) vermuten in ihren Ergebnissen bereits, dass Transitionsmethoden die negativen Auswirkungen von visueller Inkonsistenz nach einem Übergang zwischen zwei Umgebungen mindern können. Um die Auswirkungen verschiedener Übergangsformen auf die räumliche Wahrnehmung und das Wohlbefinden zu untersuchen, wurden bei einer Studie Wechsel zwischen unterschiedlichen virtuellen Standpunkten verglichen (Moghadam, Banigan & Ragan, 2020). Dabei zeigte sich, dass animierte Übergänge eine bessere räumliche Wahrnehmung ermöglichten, gleichzeitig jedoch hinsichtlich des Wohlbefindens am schlechtesten bewertet wurden. Zudem waren Übergänge, bei denen sich Position und Rotation gleichzeitig veränderten, schwieriger nachzuverfolgen als Übergänge mit ausschließlich einer dieser Veränderungen (Moghadam, Banigan & Ragan, 2020).

Auch hier zeigt sich, dass Transitionsmethoden unterschiedliche Bereiche der Nutzererfahrung beeinflussen können. Bei ihrer Gestaltung sollten daher sowohl die räumliche Orientierung als auch mögliche Auswirkungen auf die Motion Sickness berücksichtigt werden.

2.3. Weitere Perspektiven auf Transitionen

Während ein Großteil der bisherigen Forschung den Übergang in virtuellen oder gemischten Umgebungen betrachtet, wurde auch der Wechsel zurück in die physische Umgebung untersucht. Einige sogenannte "Outro-Transitions" für kurze VR-Erfahrungen wurden in einer Studie verglichen (Horst et al., 2024). Das sind Übergänge unmittelbar vor dem Absetzen des HMD. Hierfür wurden acht verschiedene Übergangstechniken untersucht, darunter ein „Teleporter“, „Fade to Black“ und „Fade to Cam“. Dabei zeigte sich eine grundsätzliche Präferenz für nicht-interaktive Übergänge, wobei insbesondere kurze und wenig störende Verfahren positiv bewertet wurden (Horst et al., 2024). Dies verdeutlicht, dass ein höherer Grad an Komplexität oder Interaktion einer Transitionsmethode nicht zwangsläufig zu einer besseren Bewertung führt.

Im Kontrast dazu verfolgten Pointecker et al. (2024) einen Ansatz, bei dem sie einen schrittweisen Übergang von der realen in eine vollständig virtuelle Umgebung untersuchten. Dabei wurde eine digitale Repräsentation der realen Umgebung verwendet, die während des Übergangs zunehmend durch virtuelle Inhalte ersetzt wurde. Die Untersuchung zeigte, dass diese Repräsentation insbesondere die räumliche Orientierung und die kognitive Verarbeitung des Übergangs unterstützen kann. Damit wird deutlich, dass Transitionen nicht nur als visuelle Szenenwechsel gestaltet werden können, sondern auch dazu dienen können, die Verbindung zwischen realer und virtueller Umgebung während des Übergangs aufrechtzuerhalten. Außerdem wurden unterschiedliche visuelle Effekte durch die Übergänge getestet, welche unterschiedlich wahrgenommen wurden. "Fade" wurde als einfach und effektiv, teilweise jedoch als langweilig bewertet, während "Translate" als visuell interessant, aber auch als unangenehm oder bedrohlich wahrgenommen wurde (Pointecker et al., 2024). Damit zeigt sich, dass Transitionen oftmals sowohl positive als auch negative Eigenschaften aufweisen können.

2.4. Übersicht bisherige Forschung

Einen breiteren Überblick auf die bisherige Forschung zu Transitionen zwischen Realitäten gaben Pavavimol et al. (2025) in einer Literaturübersicht. Die Autoren analysierten 38 wissenschaftliche Arbeiten und ordneten diese nach den Forschungsschwerpunkten, den Anwendungskontexten sowie den untersuchten Bestandteilen von Extended Reality (XR) Transitionen. Ziel der Review war es, den bislang fragmentierten Forschungsstand zusammenzuführen (Pavavimol et al., 2025).

Die Auswertung zeigt, dass sich die bisherige Forschung vor allem mit Transitionskonzepten, Transitionssystemen, Transitionstechniken und Transitionsprozessen beschäftigt hat. Besonders häufig wurden dabei konkrete Transitionstechniken entwickelt oder miteinander verglichen. Für deren Evaluation wurden überwiegend Aspekte der Usability und der Nutzerwahrnehmung sowie die Präferenzen der Testpersonen untersucht. Damit erfolgte die Bewertung von Transitionsmethoden in der bisherigen Forschung bereits über mehrere Aspekte der Nutzererfahrung und war nicht auf technische Eigenschaften beschränkt. Darüber hinaus wurde betrachtet, welche Bestandteile einer Transition im Fokus der Untersuchungen standen. Dabei lag der Schwerpunkt am häufigsten auf der Umgebung, gefolgt von Objekten und XR-Geräten sowie schließlich dem Subjekt bzw. der nutzenden Person (Pavavimol et al., 2025).

Auch hinsichtlich der Anwendungskontexte liefert die Review einen Überblick. Die Autoren stellen fest, dass viele Veröffentlichungen keinen konkreten Einsatzbereich definieren. Unter den Arbeiten mit einem spezifizierten Anwendungsszenario liegt der größte Schwerpunkt jedoch auf Games und Entertainment. Gleichzeitig sehen die Autoren hier eine Forschungslücke, da andere Bereiche wie Gesundheit, Zusammenarbeit oder kulturelle Anwendungen bislang deutlich seltener untersucht wurden und zukünftig stärker berücksichtigt werden sollten. Die Autoren bemängelten weiterhin das Fehlen von einheitlichen Begrifflichkeiten und benannten eine Forschungslücke durch zu eindimensionale Studien. Es wird daher empfohlen, mehrere Aspekte von Transitionen innerhalb einer Untersuchung gemeinsam zu betrachten, um ein besseren Gesamteinfluss erfassen zu können.

2.5. Ableitung für die vorliegende Untersuchung

Zusammenfassend zeigt der Stand der Forschung, dass die Gestaltung von Transitionsmethoden einen wesentlichen Einfluss auf unterschiedliche Aspekte der Nutzererfahrung haben kann. Dabei wurden unter anderem Presence bzw. Immersion, Kontinuität, Usability, Wohlbefinden und subjektive Präferenz als relevante Bewertungskriterien identifiziert. Gleichzeitig zeigen die bisherigen Untersuchungen, dass die Bewertung einer Transition von ihrer konkreten Gestaltung und dem jeweiligen Anwendungskontext abhängen kann. Zudem wird deutlich, dass verschiedene Transitionsmethoden bislang häufig anhand einzelner Aspekte untersucht werden. Für die vorliegende Untersuchung ergibt sich daraus die Schlussfolgerung, mehrere relevante Aspekte der Nutzererfahrung gemeinsam zu betrachten. Daher werden die Transitionsmethoden **Fade**, **Beam** und **Portal** innerhalb eines spielerischen VR-Szenarios hinsichtlich Immersion, Wohlbefinden, Usability und subjektiver Präferenz verglichen. Zusätzlich werden die Bearbeitungszeiten erfasst, um mögliche Auswirkungen der Transitionsmethoden auf die Aufgabenbearbeitung zu berücksichtigen. Zum besseren Verständnis werden die drei Transitionsmethoden im Folgenden kurz erläutert, um die im weiteren Verlauf verwendeten Bezeichnungen **Fade**, **Beam** und **Portal** eindeutig zu definieren. Bei der **Fade**-Transition wird der Sichtbereich kurzzeitig ausgeblendet, bevor die Umgebung gewechselt wird und die Sicht wieder eingeblendet wird. Die **Beam**-Transition nutzt eine räumliche Übergangsfläche, die die Testperson betreten muss, um den Wechsel zu aktivieren und einen visuellen Strahl erscheinen zu lassen. Bei der **Portal**-Transition erfolgt der Wechsel durch das Durchqueren eines sichtbaren **Portals**, durch das bereits die jeweils andere Umgebung betrachtet werden kann.

2.5.1. Ableitung der Hypothesen

Bisherige Forschungen zeigen positive Bewertungen für den Immersionsgrad von interaktiven und visuell ansprechend gestalteten Transitionen. Während Husung und Langbehn (2019) für die **Portal**-Transition eine besonders hohe Presence feststellten, erzielte diese auch bei Pointecker et al. (2022) die höchste Bewertung hinsichtlich der hedonischen Qualität. Die hedonische Qualität beschreibt dabei, inwieweit eine Transition als ansprechend, unterhaltsam und angenehm wahrgenommen wird. Auf

Grundlage der Ergebnisse wird erwartet, dass die **Portal**-Transition auch hinsichtlich der wahrgenommenen Immersion positiver bewertet wird als **Fade**. Abgeleitet von diesen Untersuchen wurden für die vorliegende Arbeit drei Hypothesen aufgestellt:

H1: *Die Transitionsmethode Portal führt zu einer höheren wahrgenommenen Immersion als Fade*.

Hinsichtlich des Wohlbefindens zeigen die bisherigen Studien unterschiedliche Ergebnisse. Während animierte Übergänge teilweise mit einer höheren Belastung verbunden waren, konnten andere Untersuchungen keine deutlichen Unterschiede hinsichtlich der Motion Sickness feststellen. Daher wird angenommen, dass sich die untersuchten Transitionsmethoden hinsichtlich des wahrgenommenen Wohlbefindens unterscheiden.

H2: *Das wahrgenommene Wohlbefinden unterscheidet sich zwischen den Transitionsmethoden Fade, Beam und Portal*.

Für die Usability zeigen bisherige Untersuchungen, dass aufwendigere und interaktivere Transitionen nicht zwangsläufig einen Vorteil gegenüber einfachen Verfahren bieten. Insbesondere **Fade** wurde als einfach und effektiv beschrieben, weshalb erwartet wird, dass diese Methode hinsichtlich der Usability besser bewertet wird als die interaktiveren Verfahren.

H3: *Die Transitionsmethode Fade wird hinsichtlich der Usability besser bewertet als Beam und Portal*.

3. Methodik

3.1. Ziel der Studie

Das Ziel der Studie war es, den Einfluss von Cross-Reality Transitionen auf die Wahrnehmung von Nutzenden zu untersuchen. Innerhalb eines spielerischen Prototyps sollte die Auswirkung unterschiedlicher Transitionsmethoden auf die Immersion und das Wohlbefinden der Testpersonen erforscht werden.

Dafür wurde ein VR-Prototyp entwickelt, welcher den Wechsel zwischen einer vollständig virtuellen Umgebung und der realen Umgebung mittels Passthrough ermöglicht. Innerhalb dieser Umgebung wurden drei verschiedene Transitionsmethoden untereinander verglichen und auf Immersion, Wohlbefinden und Benutzerfreundlichkeit getestet.

3.2. Studiendesign

Zur Umsetzung der Ziele wurde bereits folgende Forschungsfrage erarbeitet:

"*Wie beeinflussen verschiedene Cross-Reality Transitionsmethoden die wahrgenommene Immersion, das Wohlbefinden und die Usability in einem spielbasierten VR-Prototyp?*"

Folgende drei abgeleitete Hypothesen wurden aufgestellt:

H1: *Die Transitionsmethode Portal führt zu einer höheren wahrgenommenen Immersion als Fade.*

H2: *Das wahrgenommene Wohlbefinden unterscheidet sich zwischen den Transitionsmethoden Fade, Beam und Portal.*

H3: *Die Transitionsmethode Fade wird hinsichtlich der Usability besser bewertet als Beam und Portal.*

Die Beantwortung der Leitfrage und die Überprüfung der Hypothesen wurde mit Hilfe einer Within-Subjects-Studie durchgeführt. Dabei testete jede Testperson alle drei implementierten Transitionsmethoden nacheinander. Die Reihenfolge, in welcher die Testpersonen die unterschiedlichen Methoden testeten, war zufällig. Dadurch sollten eventuelle Lerneffekte oder allgemein eine veränderte Bewertung aufgrund vorheriger Erfahrungen reduziert werden. So wurden die drei Transitionsmethoden von den

Testpersonen in unterschiedlichen Reihenfolgen getestet, sodass jede Methode mehrfach an allen Positionen evaluiert werden konnte. Das ermöglichte einen direkten Vergleich der Transitionsmethoden und reduzierte individuelle Unterschiede zwischen den Testpersonen.

Die unabhängige Variable der Untersuchung war die verwendete Transitionsmethode. Die drei Varianten wurden dabei auf **Fade**, **Beam** und **Portal** festgelegt. Der **Fade** war eine Controller-basierte Transition, die auf Knopfdruck ausgelöst wurde. Der **Beam** basierte auf einer statischen Fläche, die als Auslöser für die Transition fungierte. Und das **Portal** war eine offene Art Tür zum Hindurchgehen in die jeweils andere Realität. Es wurden diese drei Transitionsmethoden gewählt, um unterschiedliche Ansätze von Funktion und Gestaltung des Wechsels zwischen Realitäten vergleichen zu können. Die Auswahl dieser drei Methoden ermöglichte somit einen Vergleich zwischen einem direkten, einem ortsgebundenen und einem räumlich-visuell gestalteten Übergang. Die genaue Umsetzung der Transitionen wird in *Kapitel 4 Implementierung des VR-Prototyps* noch genau erläutert. Als abhängige Variable wurden verschiedene Aspekte der Wahrnehmung betrachtet. Dazu gehörten das allgemeine, subjektive Wohlbefinden, die wahrgenommene Immersion und auch die Benutzerfreundlichkeit der Transitionsmethode. Zur Untersuchung der abhängigen Variablen wurde ein Fragebogen verwendet. Außerdem wurde die Zeit bei jedem Durchlauf gestoppt, um Effizienz und Verständlichkeit der Transitionsmethode ebenfalls untersuchen zu können. Die Zeitmessung fließt nicht in die statistische Auswertung mit ein, sondern wird separat betrachtet.

3.2.1. Versuchsablauf

Die Studie wurde in einem Studio am Standort Finkenau der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg durchgeführt. Einerseits war das notwendig, damit die Testpersonen genug Raum zur freien Bewegung hatten, andererseits war ein thematisch passender Raum für das spielerische Szenario ebenfalls von Vorteil.

Vor dem Start der Durchläufe wurde jeder Testperson eine kurze Einführung in die VR-Hardware, den Ablauf der Untersuchung, sowie das spielerische Szenario gegeben. Außerdem wurden demografische Daten jeder Testperson gesammelt. Anschließend

durchlief jede Testperson den Prototypen in einer zufälligen Reihenfolge mit allen drei Transitionsmethoden. Jeweils nach einem Durchlauf wurde ein Fragebogen beantwortet. Nach Abschluss des letzten Durchlaufs wurden zusätzlich zwei weitere Abschlussfragen gestellt, um eine direkte Bewertung der Transitionsmethoden zu ermöglichen.

Jeder Durchlauf bestand aus den Interaktionen des spielerischen Prototyps. Es mussten drei Aufgaben bewältigt werden, welche den Wechsel zwischen Realität und VR-Umgebung erzwungen. So sollte eine mehrfache Benutzung der integrierten Transitionsmethoden sichergestellt werden. Erst nach Absolvierung der drei Aufgaben, war ein Durchlauf beendet. Die Aufgaben im Prototyp waren jeden Durchgang identisch, hatten allerdings unterschiedliche Lösungen, sodass es keine reine Wiederholung war und auch im letzten Durchlauf noch zwischen Realität und VR-Umgebung gewechselt werden musste. In *Kapitel 4 Implementierung des VR-Prototyps* wird der genaue Aufbau des Prototyps inklusive der Aufgaben beschrieben.

3.2.2. Testpersonen

An der Studie nahmen insgesamt 19 Personen teil. Die Personen wurden grundsätzlich als Gelegenheitsstichprobe ausgewählt. Nach einigen Durchläufen wurde dies aber auf eine Quotenstichprobe erweitert, sodass die demografischen Daten der Testpersonen möglichst ausgeglichen sind. Dadurch sollte sichergestellt werden, dass die Stichprobe eine möglichst ausgewogene Verteilung der demografischen Merkmale und Vorerfahrungen aufweist. Insbesondere sollte vermieden werden, dass beispielsweise Personen eines bestimmten Geschlechts oder Personen mit ähnlichem Erfahrungsniveau im Umgang mit VR-Anwendungen, überrepräsentiert sind.

3.2.3. Fragebogen

Zur Erfassung der Wahrnehmung der Testpersonen wurde ein selbst entwickelter Fragebogen eingesetzt. Der Fragebogen, welcher nach jedem Durchlauf beantwortet wurde, bestand aus zwölf Aussagen, welche verschiedene Aspekte der Immersion, des Wohlbefindens und der Benutzerfreundlichkeit erfassten. Die Bewertung erfolgte mittels einer siebenstufigen Likert-Skala. So konnten Testpersonen einen Wert angeben, um den Aussagen zuzustimmen oder abzulehnen. Die zwölf Aussagen waren nach jedem

Durchlauf identisch. Nach dem dritten Durchlauf wurden abschließend zwei Abschlussfragen gestellt. Erstens wurde dort verglichen, welche Transitionsmethode der Testperson in Bezug auf verschiedene Bewertungskriterien subjektiv am besten gefallen hat, zweitens hatten die Testpersonen dort die Möglichkeit zu erläutern, welche der Transitionsmethoden sie bevorzugen und warum.

Es wurde sich dagegen entschieden etablierte und vorgefertigte Fragebögen zu verwenden, sondern sich lediglich daran zu orientieren. Der selbstentwickelte Fragebogen wurde mit Hilfe von mehreren bekannten Fragebögen zusammengestellt. Um die Immersion zu bewerten, wurden Fragen aus dem Slater-Usoh-Steed (SUS) Presence Questionnaire (Slater et al., 1994) auf das Szenario abgewandelt. Für die Usability wurde sich an der System Usability Scale (SUS) (Brooke, 1996), sowie am User Experience Questionnaire (UEQ) (Laugwitz, Held & Schrepp, 2008) orientiert. Das Wohlbefinden wurde durch zwei modifizierte Fragen des NASA Task Load Index (NASA-TLX) (Hart & Staveland, 1988) und der Fast Motion Sickness Scale (FMS) (Keshavarz & Hecht, 2011) untersucht. Die FMS war die einzige Frage, welche auf einer einundzwanzigstufigen Skala bewertet wurde.

Der Fragebogen inklusive demografischer Datenabfrage ist in *Anhang 1* - Fragebogen dargestellt.

3.2.4. Datenauswertung

Die erhobenen Antworten wurden zunächst numerisch abgewandelt. Dabei wurden den Likert-Skala-Werten jeweils ein entsprechender Zahlenwert von eins bis sieben und den FMS-Daten Zahlenwerte von null bis zwanzig zugeordnet. Negativ formulierte Aussagen wurden rekodiert, sodass höhere Werte jeweils eine positivere Ausprägung widerspiegeln. Anschließend wurden für die drei Transitionsmethoden die Mittelwertscores für Immersion, Wohlbefinden und Usability gebildet und miteinander verglichen. Die Ergebnisse der FMS wurden aufgrund ihrer abweichenden Antwortskala separat erfasst.

Für die statistische Analyse wurden zunächst die Voraussetzungen für eine Messwiederholungs-ANOVA geprüft. Zur Prüfung der Normalverteilungsannahme wurden die paarweisen Differenzen zwischen den Transitionsmethoden mittels Shapiro-Wilk-Test untersucht. Der Mauchly-Test wurde zur Prüfung der Sphärizität verwendet. Anschließend wurden für die abhängigen Variablen Immersion, Wohlbefinden und Usability jeweils Messwiederholungs-ANOVAs mit der Transitionsmethode als Within-Subjects-Faktor durchgeführt. Zur Bestimmung der Unterschiede zwischen den einzelnen Methoden wurden anschließend gepaarte t-Tests mit Holm-Korrektur eingesetzt. Als Signifikanzniveau wurde $\alpha = 0{,}05$ festgelegt. Die statistischen Auswertungen wurden mit Python durchgeführt.

4. Implementierung des VR-Prototyps

4.1. Anforderungen und Zielsetzung

Das Ziel für die Implementierung des Prototyps war es, eine spielbasierte Cross-Reality Anwendung zu erstellen, welche den Wechsel zwischen einer virtuellen Umgebung und der realen Welt mit Passthrough ermöglicht. Der Prototyp sollte die Grundlage für die anschließende Evaluation sein.

Um die anschließende Untersuchung einwandfrei zu ermöglichen, musste der Prototyp also primär zwei Anforderungen kombinieren. Einerseits musste es eine immersive, spielerische Umgebung geben, welche der Testperson ein Szenario vorgibt und sinnvolle Interaktionen bietet. Andererseits mussten die Transitionsmethoden überzeugend und gleichzeitig klar voneinander unterscheidbar implementiert werden. Außerdem musste eine Testumgebung geschaffen werden, welche reproduzierbar ist und den mehrfachen Wechsel zwischen Realitäten garantiert. Dadurch sollte sichergestellt werden, dass alle Testpersonen vergleichbare Bedingungen vorfinden und die Transitionsmethoden ausreichend nutzen.

Eine weitere Anforderung war es, die vorhandenen Interaktionen möglichst intuitiv zu gestalten, damit auch VR-unerfahrene Testpersonen in der Umgebung zurechtkommen und sich so auf die Transitionen fokussieren können. Dafür waren ebenfalls eine verständliche Erklärung sowie eine einfache Steuerung in der Anwendung notwendig.

Die visuelle Gestaltung des Prototyps sowie die optimale technische Umsetzung aller Funktionalitäten standen nicht im Fokus dieser Arbeit. Dennoch musste die Anwendung eine ausreichende visuelle und technische Qualität aufweisen, um ein immersives Erlebnis zu ermöglichen und störende Einflüsse zu vermeiden. Die Gestaltung der virtuellen Umgebung sollte das Szenario unterstützen, während alle relevanten Interaktionen zuverlässig funktionieren mussten.

Die genannten Anforderungen bildeten somit die Grundlage für die anschließende Umsetzung des Prototyps.

4.2. Hard- und Software

Für die Entwicklung und Durchführung der Studie wurde ein Meta Quest 3 Head-Mounted Display (Meta Platforms, o. J.) verwendet. Neben der Darstellung der virtuellen Umgebung konnte durch das moderne Passthrough-Feature mit Farbkameras auch die Passthrough-Umgebung gut integriert werden. Zum Headset wurden zugehörige Controller verwendet. Die Nutzung von Controller wurde eingebaut, da eine Transitionsmethode über Controller-Interaktion ausgelöst wurde. Die Fortbewegung innerhalb des Prototyps war lediglich über tatsächliches Gehen möglich.

Die Entwicklung des Prototyps erfolgte auf einem PC mithilfe der Game Engine *Unity* (Unity Technologies, o. J.). Für die Anbindung des XR-Systems wurde *OpenXR* (Khronos Group, o. J.) verwendet mit Verwendung des *Unity OpenXR Meta*-Package. Die Implementierung der Interaktionen wurde mit dem *XR Interaction Toolkit* umgesetzt. Die darüber hinaus benötigten Funktionalitäten wurden größtenteils selbst implementiert. Um die reale Umgebung einzubinden, wurde die AR Camera Manager Komponente der *AR Foundation* von Unity verwendet. Für die Durchführung der Studie wurde der fertige Prototyp anschließend für die Meta Quest 3 kompiliert und auf das Gerät übertragen.

4.3. Aufbau

Der entwickelte Prototyp basiert auf einem spielerischen Szenario. In diesem Szenario startet die Testperson in einer Art Kontrollzentrum eines Raumschiffs. Das Raumschiff ist vor der Erde gestrandet und aufgrund verschiedener Aspekte nicht mehr einsatzfähig. Ziel der Testperson ist es, das Raumschiff wieder flugfähig zu machen, indem alle benötigten Ressourcen und Informationen gesammelt werden. Dafür gibt es die Transitionsmethoden. Durch eine der drei Methoden kann die Testperson zwischen dem virtuellen Raumschiff und der Erde, also der realen Umgebung wechseln. Auf der Erde findet man die Lösungen, um die im Raumschiff gestellten Aufgaben zu bewältigen. Nachdem alle Aufgaben erfolgreich abgeschlossen wurden, ist das Raumschiff wieder einsatzbereit und der Durchlauf ist beendet.

Der grundlegende Aufbau des Prototyps basiert auf dem Ablauf des Szenarios und wird im Folgenden näher beschrieben. Die meisten Funktionen und Interaktionen befinden sich in der virtuellen Umgebung. Im Zentrum des genannten Raumschiffs befindet sich

ein Hauptmonitor, der zur Erklärung des Szenarios und zur Beschreibung der Steuerung dient. Mithilfe von Texten und einer Visualisierung der Controller erhielt die Testperson zunächst eine Einführung in die Anwendung. Eine Übersicht über den Raum und den Hauptmonitor sind in *Abbildung 1 & 2* dargestellt. Die Fortbewegung innerhalb der Anwendung erfolgt ausschließlich durch tatsächliches Gehen der Testpersonen. Dennoch hält die Testperson zwei Controller in den Händen, die für das Greifen und Interagieren mit Objekten, Menüinteraktionen und zum Auslösen von einer der Transitionsmethoden verwendet werden. Nachdem die grundlegenden Informationen mitgeteilt wurden, lässt sich über den Monitor das Szenario starten und die Testperson erhält die erste der drei zu lösenden Aufgaben.



Abb. 1: Übersicht über das Kontrollzentrum des VR-Prototyps

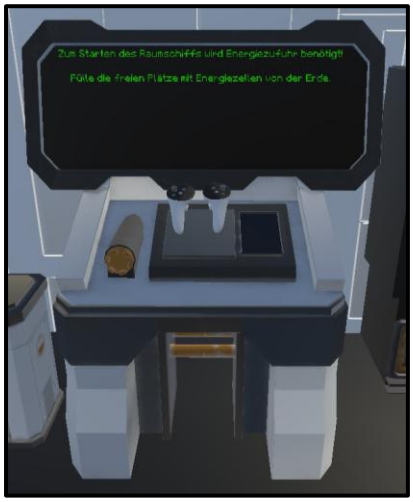


Abb. 2: Hauptmonitor des Kontrollzentrums

4.3.1. Aufgaben & Interaktionen

Die erste Aufgabe ist es, eine Energiequelle für das Raumschiff von der Erde zu holen. Die Aufgabe wurde so gewählt, weil sie für den Einstieg einfach verständlich ist und direkt den Wechsel zwischen beiden Realitäten erfordert. Dafür muss die jeweils aktive Transitionsmethode verwendet werden und drei Energiezellen ins Raumschiff getragen werden. Diese Energiezellen werden dann in die leeren Zellen des Raumschiffs gepackt. In *Abbildung 3 & 4* sind eine Energiezelle sowie die freien Plätze für die Zellen dargestellt. Um exzessives Wechseln zwischen Realitäten insbesondere bei wiederholten Durchläufen zu verhindern, wurde ein Inventarsystem eingebaut. Auf Hüfthöhe befindet sich eine Art Gürtel mit drei Inventarplätzen. Die Energiezellen können dort zwischengelagert werden, wodurch alle drei benötigten Energiezellen gleichzeitig transportiert werden können. Sobald alle drei Energiezellen in ihrem Platz auf dem Raumschiff sind, ist die erste Aufgabe abgeschlossen. Nach jeder abgeschlossenen Aufgabe wird ein Sound abgespielt. Dieser soll Erfolg symbolisieren und der Testperson mitteilen, dass die Aufgabe erledigt ist.



Abb. 3: Energiezelle



Abb. 4: Sockets für Energiezellen

Aufgabe zwei schließt dann an Aufgabe eins an. Um die Energiezellen verwenden zu können, müssen drei Parameter im Raumschiff korrekt eingestellt werden. Dafür steht im Raumschiff ein Kontrollpanel zu Verfügung. Das Kontrollpanel ist in *Abbildung 5*

dargestellt. Dieses befindet sich links vom Hauptmonitor und besitzt ebenfalls einen Bildschirm. Auf diesem Bildschirm werden drei Parameter und deren Werte angezeigt: Spannungslevel, Kühlungsgrad und der Leistungsmodus. Alle Parameter lassen sich über Interaktionen verändern. Für das Einstellen des Spannungslevel wurde ein Griff als Schieberegler implementiert. Dieser ist für die Testperson greifbar und kann zwischen zwei Grenzen bewegt werden. Je nachdem wo sich der Regler befindet, wird ein Wert von null bis eintausend angezeigt. Der Kühlungsgrad kann über zwei Knöpfe angepasst werden, die jeweils den Kühlungsgrad erhöhen oder senken. Diese Knöpfe lassen sich nur durch Controllerberührung einpressen und damit aktivieren. Der letzte Parameter, der Leistungsmodus, lässt sich ebenfalls über solche Druckknöpfe einstellen. Es gibt dort vier Knöpfe, die jeweils einem Leistungsmodus zugeordnet sind. Wird dort ein Knopf gedrückt, wird dieser Modus ausgewählt und der Knopf leuchtet grün. Sobald alle Parameter auf dem Kontrollpanel korrekt eingestellt sind, ist Aufgabe zwei auch erledigt.

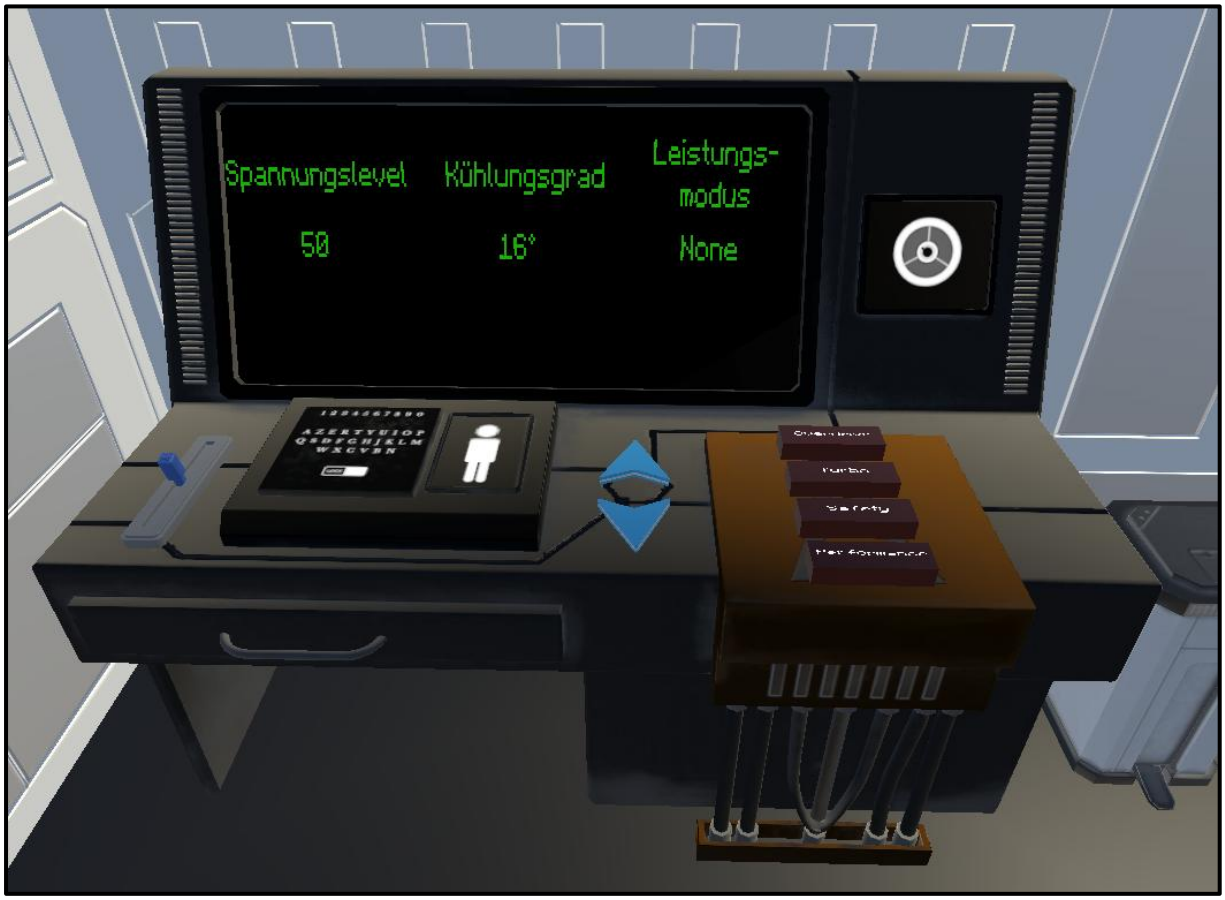


Abb. 5: Kontrollpanel im Raumschiff

Um jedoch die korrekten Parameter herauszufinden, muss man erneut durch eine Transitionsmethode auf die Erde gelangen. Dort befindet sich in der Nähe der

Energiezellen eine Art Anleitung für die Nutzung der Energiezellen. In dieser Anleitung befinden sich alle Informationen für die Parameter. Spannungslevel und Kühltemperatur werden dort vorgegeben. Der Leistungsmodus ist allerdings abhängig von den anderen beiden Parametern. Je nachdem, ob das Spannungslevel und der Kühlungsgrad über oder unter einem bestimmten Wert liegen, ist ein bestimmter Modus korrekt zu Anwendung. Ein Zettel für die Anleitung ist in *Anhang 4 - Anleitung Energiezellen* dargestellt.

Nach dem korrekten Einstellen der Parameter fehlt nur noch die dritte Aufgabe. Dabei muss die Orientierung des Raumschiffs eingestellt werden, um so die Orbitberechnung und den Start beginnen zu können. Dafür befindet sich in der Mitte des Raumschiffs ein Hologrammmodell der Erde. Dieses wird in *Abbildung 6* veranschaulicht.

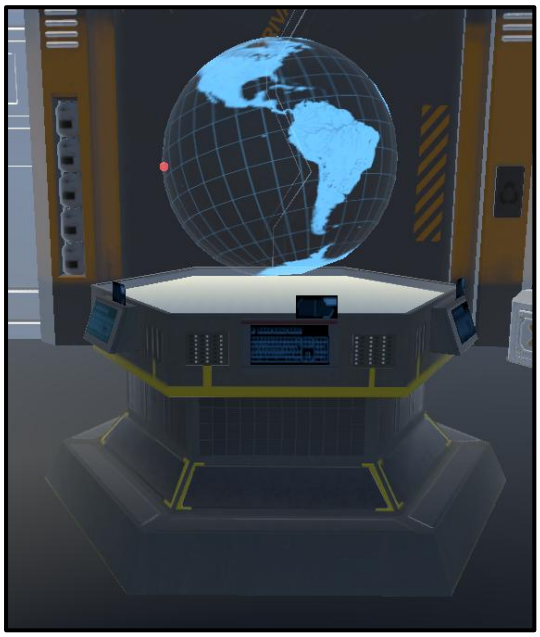


Abb. 6: Hologrammerde im Raumschiff

An einem Punkt dieser Hologrammerde befindet sich ein roter Marker. Die Testperson erhält über den Hauptmonitor die Aufgabenstellung und die aktuellen Koordinaten des Raumschiffs. Mithilfe einer Landkarte in der realen Umgebung müssen diese Koordinaten zunächst einer Position auf der Erde zugeordnet werden. Die Landkarte ist in *Anhang 5 - Landkarte* dargestellt. Anschließend wird die entsprechende Position auf die Hologrammerde übertragen, indem die Erde durch Greifen gedreht wird. Sobald die Hologrammerde korrekt ausgerichtet ist und die ermittelte Position mit dem vorgegeben

Marker übereinstimmt, ist Aufgabe drei ebenfalls bewältigt und das Raumschiff ist wieder einsatzbereit. Ein Durchlauf ist damit beendet.

Da jede Testperson drei Durchläufe des Szenarios mit jeweils unterschiedlichen Transitionsmethoden durchlief, wurden zwei weitere Lösungsvarianten für die Aufgaben implementiert. Aufgabe eins, das Einsammeln der Energiezellen, war in jedem Durchlauf identisch. Die anderen beiden Aufgaben hatten jedoch verschiedene Parameter, damit das Wechseln zwischen den Realitäten trotz wiederholter Durchläufe erzwungen wird. So hatte jede Transitionsmethode unterschiedliche Werte für das Einstellen der Parameter der Energienutzung und abweichende Koordinaten zur Positionsbestimmung. Dadurch wird der Lerneffekt leicht reduziert und sichergestellt, dass die Übergänge in jedem Durchlauf genutzt werden müssen.

Zusammenfassend befinden sich im Raumschiff zum Bewältigen der Aufgaben ein Hauptmonitor, Plätze für Energiezellen, das Kontrollpanel, die Hologrammerde und gegeben falls eine Transitionsmethode, also das **Portal** oder die Übergangsfläche des **Beams**. In der realen Umgebung befinden sich das passende Gegenstück der Transitionsmethode, drei Energiezellen, eine Anleitung und eine große Landkarte. Neben den wesentlichen Objekten wurden im Raumschiff weitere Dekorationsgegenstände integriert, um den Immersionsgrad zu erhöhen und den Raum zu füllen. Darunter befinden sich u.a. ein Roboterarm, zwei Gastanks und Lagerkisten. Außerdem wurde ein Umgebungssound für das Raumschiff eingefügt, der an einen Maschinen- oder Kontrollraum erinnert. So wirken die Szene und der Raum nicht zu leer und lebendiger.

Zusätzlich zu beiden Umgebungen wurde noch ein Menü für die Konfiguration des jeweiligen Szenarios und zur Durchführung der Studie implementiert. Das Menü war kein Teil eines Durchlaufes, es dient allerdings zur Auswahl der Transitionsmethode, dem Zurücksetzen der Anwendung und dem Anpassen der Umgebung an das Studio, in dem die Studie durchgeführt wurde. Die Größe des Raumschiffs war an die Größe des tatsächlichen Raums angepasst und musste so vor Start korrekt kalibriert werden. Die Reihenfolge der Transitionsmethoden wurde immer zufällig ausgewählt. Die Implementierung der Methoden wird im kommenden Kapitel beschrieben.

4.4. Transitionsmethoden

Die drei Transitionsmethoden bilden den zentralen Untersuchungsgegenstand dieser Arbeit. Das gesamte spielerische Szenario wurde so gestaltet, dass der Fokus auf der Nutzung der Transitionsmethoden liegt. Es wurde sich für folgende drei Methoden entschieden: **Fade**, **Beam** und **Portal**.

Die technische Grundlage für jede Transitionsmethode beruht auf einem Umschalten der verwendeten Culling Mask der Hauptkamera. Durch die Culling Mask wird gesteuert, welche Layer, also welche Objekte, von der Kamera gerendert werden. Dafür wurden mehrere Culling Masks definiert. Für die virtuelle Umgebung werden alle Objekte des Raumschiffs dargestellt, während diese in der Passthrough-Umgebung ausgeblendet werden und dafür nur die wenigen vorgesehenen Objekte angezeigt werden. Die Objekte für die Transitionsmethoden und das Inventar, sind in beiden Culling Masks vorhanden und sind so immer sichtbar. Außerdem wurde eine Funktionalität implementiert, die das Transportieren von Energiezellen zwischen den beiden Umgebungen ermöglicht. Während eines Wechsels zwischen den Realitäten wird überprüft, ob sich eine Energiezelle in der Hand der Testperson oder im Inventar befindet. Ist dies der Fall, wird der Layer der entsprechenden Zelle an die neue Umgebung angepasst. Dadurch bleibt die Energiezelle auch nach dem Wechsel sichtbar und kann in die jeweils andere Umgebung mitgenommen werden.

Gleichzeitig wird beim Wechsel zwischen den Realitäten der Kamerahintergrund angepasst. Beim Wechsel in die Passthrough-Umgebung wird der Hintergrund auf eine transparente Farbe gesetzt, wodurch die reale Umgebung über das Passthrough sichtbar wird. Darüber hinaus werden die Kollisionsbeziehungen zwischen einigen Objekten angepasst, sodass sich die Interaktionen und die Fortbewegung entsprechend der aktuellen Umgebung verhalten und man beispielweise nicht mit Objekten aus der anderen Realität kollidieren kann.

Dieses Grundprinzip kommt bei allen drei Transitionsmethoden zum Einsatz. Sie unterscheiden sich insbesondere in der Art und Weise, wie der Übergang ausgelöst und für die Testperson dargestellt wird. Außerdem wurde bei allen Methoden haptisches und auditives Feedback genutzt, um den Immersionsgrad zu steigern. Während des

Wechsels vibrieren die Controller leicht und es wird ein Sound abgespielt. Dieser unterscheidet sich je nach Transitionsmethode und soll die Art des Teleportierens unterstützen.

4.4.1. Fade

Der **Fade** ist die einfachste der drei implementierten Transitionsmethoden. Die Transition wird durch einen Knopfdruck am Controller ausgelöst. Die Transition erfolgt mithilfe von Überblendung. Nach Aktivierung beginnt eine schwarze Blende über das gesamte Sichtfeld. Sobald das Sichtfeld komplett verdeckt ist, wird der Wechsel und damit die Umgebung geändert. Anschließend wird das schwarze Sichtfeld wieder ausgeblendet. Der eigentliche Wechsel zwischen den Umgebungen erfolgt somit, während das Sichtfeld verdeckt ist, wodurch verhindert wird, dass die Änderung der Umgebung unmittelbar sichtbar ist und die Illusion der Realitäten bleibt. Für die Überblendung wurde eine simple Bildebene verwendet, die als schwarze Fläche dargestellt wird und ihre Transparenz während des Übergangs verändert. Der gesamte Verlauf inklusive Ein- und Ausblenden dauert zwei Sekunden. Der Verlauf ist in *Abbildung 7* dargestellt. Die dargestellte Passthrough-Umgebung entspricht dabei bei allen kommenden Abbildungen nicht der Umgebung, die während der Studie verwendet wurde.



Abb. 7: Fade Verlauf von virtueller Umgebung zu Passthrough

4.4.2. Beam

Der **Beam** basiert auf einer räumlichen Übergangsfläche. Es befindet sich ein flaches, rundes Podest im Raumschiff, welches als Kollisionstrigger dient. Betritt die Testperson dieses Podest, wird der Übergang ausgelöst. Zunächst wird eine unsichtbare Wand aktiviert, was verhindert, dass die Testperson das **Beam**-Feld verlassen kann. Gleichzeitig beginnen Partikeleffekte sichtbar zu werden. Ähnlich zum **Fade** wird auch hier die Intensität der Partikeleffekte schrittweise erhöht, bis eine komplette Fläche als Zylinder um die Testperson herum sichtbar ist. Dadurch wird der direkte Wechsel der Umgebungen erneut nicht visuell wahrgenommen, da er stattfindet, während die Partikelfläche vollständig undurchsichtig ist. Nach dem Wechsel werden die Partikeleffekte wieder nach und nach ausgeblendet und schließlich die unsichtbare Wand wieder entfernt. Der **Beam** ist somit statisch im Raum und dauert ebenfalls insgesamt zwei Sekunden. Die Transition ist in *Abbildung 8* dargestellt. Das mittlere Bild zeigt dabei die Außenansicht der Transition und dient zur Verdeutlichung des Übergangs.

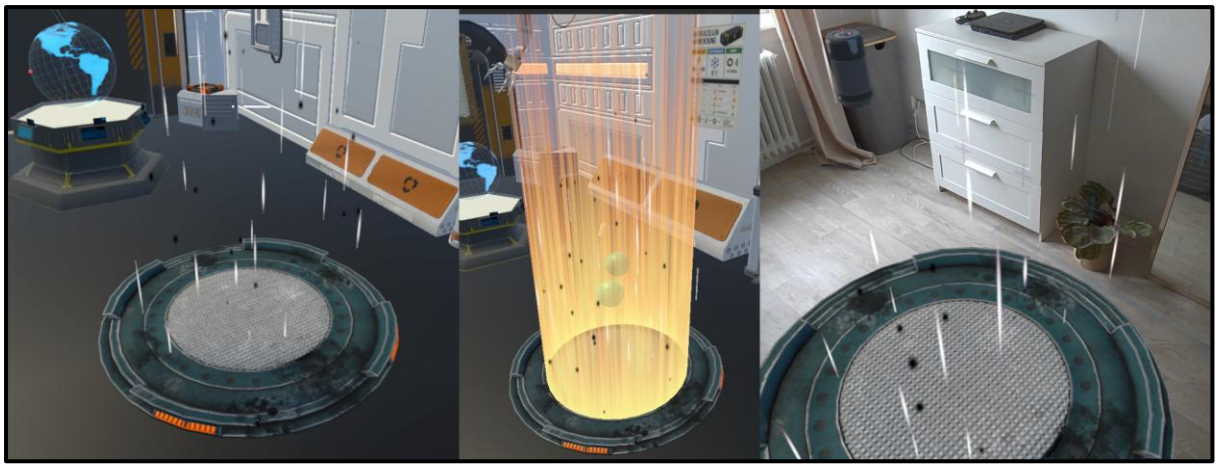


Abb. 8: Beam Verlauf von virtueller Umgebung zu Passthrough

4.4.3. Portal

Als dritte Transitionsmethode gibt es das **Portal**. Das **Portal** ist ebenfalls statisch im Raum und ist eine Art Tür zur anderen Realität. Hierbei ist der Prozess des Übergangs nicht im Fokus. Auch hier wird der Wechsel durch eine Kollisionsabfrage zwischen der Testperson und der Portalfläche ausgelöst. Der Wechsel ist allerdings direkt und passiert beim Durchgehen durch das **Portal**.

Beim **Portal** ist die visuelle Darstellung im Fokus. Es erlaubt der Testperson von einer Realität in die andere Realität zu blicken. Dafür wurden zwei Materialien erstellt, die

jeweils für eine Realität aktiv sind und auf der Portalfläche sichtbar sind. Beim Übergang wird das Material gewechselt, welches die Darstellung und Eigenschaften der Oberfläche festlegt. Während die Testperson sich im Raumschiff befindet, ist das erste Material aktiv. Dieses besteht aus einem selbst erstellten Shader, der nur im Bereich der Portalfläche die Passthrough-Umgebung rendert. Das ist möglich, in dem auch hier der Hintergrund auf eine transparente Farbe gesetzt wird. Die Darstellung von Objekten der Passthrough-Umgebung auf dem **Portal** wurde im Rahmen der Implementierung nicht umgesetzt. Diese Objekte sieht man erst, sobald man in die Umgebung gewechselt ist.

Das zweite Material ist das Passthrough-Material, was aktiviert ist, sobald die Testperson sich in der Passthrough-Umgebung befindet. Das Material funktioniert über eine Render Texture, welche das gerenderte Bild einer Kamera speichern und auf einer Oberfläche darstellen kann. Dafür wurde ebenfalls ein eigener Shader erstellt. Diese Render Texture wird auf die Portalfläche projiziert und ständig aktualisiert. Mithilfe einer zweiten Kamera, die dem Spieler folgt, wird ständig die virtuelle Umgebung gerendert und auf der Portfläche angezeigt. Das erlaubt es, beide Realitäten aus den jeweils anderen Perspektiven zu sehen und grenzt das **Portal** nochmal deutlich von den anderen Transitionsmethoden ab. In *Abbildung 9* ist das Portal jeweils aus beiden Umgebungen dargestellt.



Abb. 9: Beide Seiten des Portals

5. Ergebnisse

Im Rahmen der durchgeführten Studie wurde der Prototyp von den Testpersonen durchlaufen. Dabei hat jede Testperson jeweils einen Durchgang mit jeder Transitionsmethode **Fade**, **Beam** und **Portal** durchlaufen. Nach jedem Durchlauf wurde der Fragebogen zur Bewertung der Erfahrung der Transitionsmethode ausgefüllt. Im Folgenden werden zunächst die erhobenen Daten dargestellt.

5.1. Stichprobe

An der Studie nahmen insgesamt 19 Personen teil. Die Stichprobe setzte sich aus zehn Frauen und neun Männern zusammen. Das Alter der Testpersonen lag zwischen 23 und 32 Jahren und das Durchschnittsalter betrug 26,47 Jahre. Die beruflichen Tätigkeiten der Testpersonen teilten sich auf mehrere Felder auf, wobei Studenten und Studentinnen am häufigsten vertreten waren. Auch die bisherige Erfahrung mit VR-Anwendungen ergab eine größere Verteilung. Der Großteil gab jedoch an keine bis wenig VR-Vorerfahrung zu besitzen. 14 Testpersonen fielen in diese Gruppe. Zwei Personen gaben etwas VR-Vorerfahrung an, während drei Testpersonen mit viel VR-Vorerfahrung die Studie durchliefen. Eine Übersicht ist in *Tabelle 1* dargestellt, wobei die Werte die jeweilige Anzahl der Testpersonen angeben.

Durch das Studiendesign wurden also insgesamt 57 Fragebögen in den einzelnen Durchläufen erhoben, was 19 Messungen pro Transitionsmethode entspricht. Mit zwölf Fragen auf einem Bogen und zwei weiteren Abschlussfragen wurden daher 798 einzelne Datenwerte erhoben.

Geschlecht		**Alter**			**VR-Vorerfahrung**			
männlich	weiblich	23-25 Jahre	26-28 Jahre	29-32 Jahre	keine	wenig	etwas	viel
9	10	4	13	2	6	8	2	3

Tabelle 1: Übersicht Stichprobe

5.2. Deskriptive Ergebnisse

Wie in *Kapitel 3 Methodik* beschrieben, bewerteten die Testpersonen Aussagen auf dem Fragenbogen anhand einer siebenstufigen Likert-Skala. Für die Auswertung wurden die Antworten zuerst numerisch erfasst. Je nach Ausrichtung der Aussagen wurden die Antwortwerte gegebenenfalls umgekehrt, sodass höhere Werte bei allen Aussagen eine bessere Ausprägung des Merkmals darstellen. Der maximale Wert bei den Aussagen eins bis elf betrug sieben und der Minimalwert eins. Die Aussagen des Fragebogens waren in unterschiedlichen Bereichen unterteilt und bezogen sich auf Immersion, Wohlbefinden und Usability. Alle Rohdaten der Studie sind in *Anhang 2 - Studie Rohdaten* zu finden.

5.2.1. Immersion

Für die Erfassung der wahrgenommenen Immersion wurden vier Aussagen des Fragenbogens herangezogen. Diese sind A1, A2, A3 und A9. Für die Auswertung wurden die Antworten der Testpersonen für jede Transitionsmethode getrennt betrachtet. Die jeweiligen numerischen Mittelwerte inklusive Standardabweichungen sind in *Tabelle 2* dargestellt. Die Ergebnisse werden als Mittelwert (M) ± Standardabweichung (SD) dargestellt. Der Mittelwert gibt dabei die durchschnittliche Bewertung der Testpersonen auf der jeweiligen Likert-Skala an, während die Standardabweichung die Streuung der Antworten um diesen Mittelwert beschreibt. Die Aussage A3 war ursprünglich negativ formuliert und die Werte wurden hier bereits umkodiert, sodass höhere Werte immer positiv zu bewerten sind.

Aussage	**Fade (M ± SD)**	**Beam (M ± SD)**	**Portal (M ± SD)**
A1. Die Übergangsmethode unterstützte mein Eintauchen in die Erfahrung.	4,26 ± 1,37	6,42 ± 0,69	5,42 ± 1,17
A2. Ich hatte das Gefühl, zwischen zwei Realitäten hin- und herzuwechseln.	4,74 ± 1,45	6,32 ± 0,67	5,79 ± 1,40
A3. Der Übergang unterbrach mein Gefühl, dort zu sein.	4,84 ± 1,21	6,53 ± 0,84	5,58 ± 1,26
A9. Die Übergangsmethode hat mir gefallen.	4,32 ± 1,73	6,21 ± 0,92	5,16 ± 1,74

Tabelle 2: Mittelwerte und Standardabweichungen der Aussagen zur Immersion

Diese Tabelle zeigt die Unterschiede in den Bewertungen der einzelnen Aussagen zwischen den drei Transitionsmethoden. Die höchsten Mittelwerte wurden bei allen vier

Aussagen jeweils für die **Beam**-Transition beobachtet. Es zeigte sich über alle Aussagen hinweg eine konsistente Abstufung zwischen den drei Transitionsmethoden. Während die Werte für die **Fade**-Transition am niedrigsten ausfielen, lagen die Mittelwerte der **Portal**-Transition zwischen den Werten von **Fade** und **Beam**. Je höher der Mittelwert, desto positiver wurden die Aussage bewertet und desto höher war die wahrgenommene Immersion. Die Standardabweichungen lagen bei diesen Aussagen zwischen 0,67 und 1,74. Die geringsten Streuungen zeigten sich dabei bei der **Beam**-Transition, während sich die Bewertungen für **Fade** und **Portal** teilweise stärker verteilten.

5.2.2. Wohlbefinden

Auch für die Untersuchung des wahrgenommenen Wohlbefindens der Testpersonen wurden vier Aussagen des Fragebogens verwendet. Hierzu zählen A7, A10, A11 sowie A12, die abschließende Einschätzung des Wohlbefindens mittels der Fast Motion Sickness Scale (FMS). Die Auswertung erfolgte analog zur Auswertung der Immersion und wird in *Tabelle 3* im gleichen Muster dargestellt. Hierbei waren alle Aussagen negativ formuliert und wurden für die Auswertung bereits umkodiert. Eine Ausnahme bildet A12, welche auf einer höherstufigen Likert-Skala von null bis zwanzig bewertet wurde. Hier spiegeln niedrige Werte ein besseres Gefühl des Wohlbefindens wider.

Aussage	**Fade (M ± SD)**	**Beam (M ± SD)**	**Portal (M ± SD)**
A7. Die Übergangsmethode verursachte bei mir Unwohlsein.	6,58 ± 0,77	6,47 ± 0,90	4,84 ± 1,86
A10. Die Nutzung der Übergangsmethode erforderte viel Konzentration.	5,79 ± 1,58	6,26 ± 0,65	5,68 ± 1,60
A11. Die Nutzung der Übergangsmethode war körperlich anstrengend.	6,58 ± 0,61	6,47 ± 0,70	6,53 ± 0,61
A12. (FMS) Wie unwohl fühlen Sie sich momentan durch die VR-Erfahrung? (z. B. Übelkeit, Schwindel)	1,21 ± 1,75	1,89 ± 2,79	3,16 ± 3,59

Tabelle 3: Mittelwerte und Standardabweichungen der Aussagen zum Wohlbefinden

Die Tabelle zeigt die Bewertungen des wahrgenommenen Wohlbefindens für die drei Transitionsmethoden. Für die Aussage A7 wurden die höchsten Mittelwerte für die **Fade** und **Beam**-Transition beobachtet, während das **Portal** mit einem niedrigeren Wert ausfiel. Bei A10 erzielte der **Beam** den höchsten Mittelwert, gefolgt von der **Fade**-Transition und schließlich dem **Portal**. Die Bewertungen von A11 lagen alle auf einem

ähnlich hohen Niveau. Bei diesen drei Aussagen entsprechen höhere Mittelwerte einer positiveren Bewertung und damit einem geringen wahrgenommenen Unwohlsein bzw. einer geringeren Belastung. Die Mittelwerte der FMS stiegen von **Fade** über **Beam** bis **Portal** an. Der Anstieg fiel zwischen **Fade** und **Beam** geringer aus als zwischen **Beam** und **Portal**. Niedrigere FMS-Werte entsprachen dabei einem besseren Wohlbefinden. Der niedrigste Wert wurde beim **Fade** beobachtet und der höchste beim **Portal**. Die **Beam**-Transition lag dabei zwischen den anderen Methoden. Die Standardabweichung der FMS verhielt sich ebenfalls aufsteigend von **Fade** über den **Beam** bis hin zum **Portal** und stieg von 1,75 beim **Fade** auf 3,59 beim **Portal**. Hier war die Streuung am höchsten, während sie bei den andere drei Aussagen meist unter einem Wert von eins blieb. Auch bei A7 und A10 lagen die Standardabweichungen für **Fade** und **Portal** teilweise über 1, während die Bewertung von A11, sowie alle Werte vom **Beam** eine geringere Streuung aufwiesen.

5.2.3. Usability

Als dritten Untersuchungsparameter wurde die Usability betrachtet. Dafür wurden ebenfalls vier Aussagen des Fragebogens verwendet. Diese sind A4, A5, A6 und A8. Die Ergebnisse werden erneut als Mittelwert ± Standardabweichung in *Tabelle 4* dargestellt. Alle Aussagen waren dabei positiv formuliert, weswegen keine Umkodierung nötig war und ein höherer Mittelwert einer positiveren Bewertung der Usability entspricht.

Aussage	**Fade (M ± SD)**	**Beam (M ± SD)**	**Portal (M ± SD)**
A4. Die Nutzung der Übergangsmethode war leicht verständlich.	6,16 ± 1,42	6,68 ± 0,58	6,68 ± 0,58
A5. Die Übergangsmethode funktionierte zuverlässig.	6,74 ± 0,65	6,79 ± 0,71	6,58 ± 0,77
A6. Ich würde die Übergangsmethode häufig wiederverwenden.	5,00 ± 1,80	6,37 ± 0,76	4,32 ± 1,70
A8. Die Übergangsmethode wirkte effizient.	6,32 ± 0,89	5,84 ± 1,07	5,74 ± 0,93

Tabelle 4: Mittelwerte und Standardabweichungen der Aussagen zur Usability

Die Tabelle zeigt die Bewertungen der Usability für die drei Transitionsmethoden. Bei A4 erzielten **Beam** und **Portal** die höchsten Mittelwerte, wobei die **Fade**-Transition dennoch positiv bewertet wurde mit einem Mittelwert über sechs. Auch bei A5 wurde die Usability positiv bewertet. Alle Transitionsmethoden haben ähnlich hohe Mittelwerte erzielt. Bei

A6 zeigte sich jedoch eine stärkere Abstufung. Hier wurde der **Beam** am besten bewertet, gefolgt von **Fade**, während das **Portal** den niedrigsten Wert aufwies. Der **Fade** wurde allerdings bei A8 am höchsten beurteilt, wohingegen der **Beam** und das **Portal** leicht niedrigere Mittelwerte erlangten. Insgesamt lagen die Mittelwerte der vier Aussagen bei alle Transitionsmethoden auf einem hohen Niveau. Die Standardabweichungen bewegten sich im Bereich von 0,58 bis 1,80. Die niedrigste Streuung zeigte sich bei A4 bei **Beam** und **Portal**, während der **Fade** eine größere Streuung aufwies. Bei A6 zeigten der **Fade** und das **Portal** eine größere Streuung der Antworten.

5.3. Statistische Analyse & Hypothesentests

Für die statistische Auswertung wurden die Items zunächst den drei untersuchten Dimensionen Immersion, Wohlbefinden und Usability zugeordnet. Negativ formulierte Aussagen wurden vor der weiteren Auswertung rekodiert, sodass höhere Werte immer positiv angesehen wurden. Anschließend wurde für jedes Konstrukt ein Mittelwertscore über die zugehörigen Items gebildet.

Für die Dimension Immersion wurden die Items A1, A2, A3 und A9 zusammengefasst. Die Usability wurde anhand der Items A4, A5, A6 und A8 erfasst. Für das Wohlbefinden wurden zunächst die Items A7, A10 und A11 zu einem gemeinsamen Score zusammengefasst. Die Frage A12 wurde aufgrund der abweichenden Antwortskala separat als FMS-Wert betrachtet. Die wahrgenommene Immersion erlangte folgende Mittelwerte:

Fade = 4,54 | **Beam** = 6,37 | **Portal** = 5,49

Damit lag das **Portal** bereits über **Fade**, was der in H1 formulierten Erwartung entspricht. Für das Wohlbefinden zeigten sich diese Mittelwerte:

Fade = 6,32 | **Beam** = 6,40 | **Portal** = 5,68

Damit zeigte sich nur geringe Unterschiede zwischen den drei Methoden, wobei das **Portal** den niedrigsten Wert aufwies, sodass die in H2 erwarteten Unterschiede nicht eindeutig bestätigt werden. Hinsichtlich der Usability wurden folgende Mittelwerte erzielt:

Fade = 6,05 | **Beam** = 6,42 | **Portal** = 5,83

Damit zeigte sich entgegen der in H3 formulierten Erwartung kein eindeutiger Vorteil von **Fade** gegenüber den anderen Methoden.

5.3.1. Testvoraussetzungen

Zur Überprüfung, ob die beobachteten Unterschiede statistisch signifikant sind, wurde zunächst geprüft, ob die Voraussetzungen für die Durchführung einer Messwiederholungs-ANOVA erfüllt sind. Hierzu wurde die Normalverteilung mithilfe des Shapiro-Wilk-Tests sowie die Sphärizität mithilfe des Mauchly-Tests überprüft. Auf Grundlage dieser Ergebnisse wurde anschließend das geeignete statistische Verfahren für die Hypothesenprüfung bestimmt.

Mit der Durchführung des Shapiro-Wilk-Tests in Python wurden die paarweisen Differenzen zwischen den drei Transitionsmethoden für alle drei untersuchten Dimensionen untersucht. Für die Immersion zeigten sich bei allen drei Vergleichen keine signifikanten Abweichungen von der Normalverteilung (Fade-Beam: $p = .145$; Fade-Portal: $p = .593$; Beam-Portal: $p = .219$). Beim Wohlbefinden und der Usability zeigte sich jeweils nur für ein Paar (Fade-Beam & Beam-Portal) eine signifikante Abweichung ($p = .028$ & $p = .047$), während die übrigen Vergleiche unauffällig waren.

Anschließend wurde die Sphärizität der Daten mithilfe des Mauchly-Tests ebenfalls in Python überprüft. Für keine der drei untersuchten Dimensionen zeigte sich eine signifikante Verletzung der Sphärizitätsannahme (Immersion: $p = .248$; Wohlbefinden: $p = .070$; Usability: $p = .601$). Die Voraussetzung der Sphärizität war somit für alle drei Dimensionen erfüllt.

Aufgrund des Studiendesigns, bei dem jede Testperson alle drei Transitionsmethoden bewertete, wurde zur Untersuchung der Unterschiede zwischen den Methoden eine

Messwiederholungs-ANOVA (Repeated-Measures-ANOVA) durchgeführt. Die Sphärizitätsannahme war für alle drei Dimensionen erfüllt. Zwar zeigten sich beim Shapiro-Wilk-Test für jeweils eine Differenz beim Wohlbefinden und bei der Usability signifikante Abweichungen von der Normalverteilung, aber da die übrigen Differenzen die Normalverteilungsannahme erfüllten und die Abweichung gering war, wurde die Messwiederholungs-ANOVA für die weitere Analyse verwendet.

5.3.2. ANOVA

Die Messwiederholungs-ANOVA wurde ebenfalls in Python durchgeführt, um zu überprüfen, ob sich die drei Transitionsmethoden hinsichtlich der drei untersuchten Parameter unterscheiden. Die Ergebnisse sind in *Tabelle 5* dargestellt. Die Tabelle stellt die Freiheitsgrade (F(2, 36)), p-Werte und Effektgrößen (η^2G) der drei durchgeführten Messwiederholungs-ANOVAs dar.

Dimension	**F(2, 36)**	**p**	**η^2G**
Immersion	18,66	< .001	.422
Wohlbefinden	6,38	.004	.116
Usability	3,34	.047	.097

Tabelle 5: Freiheitsgrade, p-Werte und Effektgrößen der Messwiederholungs-ANOVA

Für alle drei untersuchten Dimensionen zeigte sich ein signifikanter Effekt der Transitionsmethode. Für die Immersion ergab sich mit F(2, 36) = 18,66, $p < .001$ der deutlichste Effekt. Auch für das Wohlbefinden wurde ein signifikanter Unterschied festgestellt, F(2, 36) = 6,38, $p = .004$. Für die Usability zeigte sich ebenfalls ein signifikanter Effekt, F(2, 36) = 3,34, $p = .047$. Die Effektgrößen zeigen dabei den stärksten Effekt für die Immersion (.422), gefolgt von Wohlbefinden (.116) und Usability (.097).

5.3.3. Hypothesentests

Die Messwiederholungs-ANOVA hat gezeigt, dass sich die Transitionsmethoden insgesamt voneinander unterscheiden. Allerdings gibt es jedoch keine Auskunft darüber, zwischen welchen konkreten Methoden diese Unterschiede bestehen. Da für die Überprüfung der Hypothesen die konkreten Beziehungen zwischen den Methoden benötigt wurde, wurden zur Bestimmung der Unterschiede daher anschließend paarweise Vergleiche zwischen **Fade**, **Beam** und **Portal** durchgeführt. Hierfür wurden gepaarte t-Tests verwendet. Für jede Dimension wurden diese drei möglichen Paare miteinander verglichen: Fade-Beam, Fade-Portal und Beam-Portal. Hierfür wurden gepaarte *t*-Tests durchgeführt. Für die Hypothesenprüfung wurden anschließend nur die jeweils relevanten Vergleiche herangezogen. Als Signifikanzniveau wurde $\alpha = .05$ festgelegt und aufgrund der mehrfachen Vergleiche wurden die *p*-Werte mit Hilfe der Holm-Korrektur angepasst. Die Ergebnisse sind in *Tabelle 6* aufgelistet.

Dimension	**Vergleich**	**t(18)**	**p(Holm)**	**signifikant**
Immersion	Fade - Portal	-2,73	.014	Ja
Wohlbefinden	Fade - Beam	0,43	.669	Nein
	Fade - Portal	2,34	.062	Nein
	Beam- Portal	4,06	.002	Ja
Usability	Fade - Beam	1,46	.321	Nein
	Fade - Portal	0,95	.357	Nein

Tabelle 6: Paarvergleiche der Transitionsmethoden hinsichtlich Immersion, Wohlbefinden und Usability

Die paarweisen Vergleiche zeigen, dass sich hinsichtlich der Immersion ein signifikanter Unterschied zwischen **Fade** und **Portal** ergibt (.014). Damit wird die in H1 formulierte Annahme, dass **Portal** zu einer höheren wahrgenommenen Immersion als **Fade** führt, bestätigt.

Für das Wohlbefinden konnte hingegen nicht für alle drei Methodenpaare ein signifikanter Unterschied festgestellt werden. **Beam** unterschied sich signifikant vom **Portal** (.002), die jeweiligen Vergleiche mit **Fade** erreichten jedoch keine statistische Signifikanz. Der Vergleich zwischen **Fade** und **Portal** (.062) lag zwar nur knapp oberhalb

des Signifikanzniveaus von α = .05, ohne Holm-Korrektur wäre der ursprüngliche p-Wert von .031 allerdings signifikant. Dennoch können so die in H2 erwarteten Unterschiede zwischen allen drei Transitionsmethoden nicht statistisch bestätigt werden.

Auch für die Usability zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen **Fade** und den beiden anderen Methoden. Hierbei lagen die p-Werte von Fade-Beam (.321) und Fade-Portal (.357) deutlich über dem Signifikanzniveau. So konnte die in H3 aufgestellte Aussage, dass **Fade** hinsichtlich der Usability besser bewertet wird als **Beam** und **Portal**, nicht statistisch nachgewiesen werden. Insgesamt wird damit H1 bestätigt, während H2 und H3 nicht bestätigt werden.

5.4. Weitere Ergebnisse

Neben den zwölf Aussagen des Fragebogens wurden noch weitere Parameter betrachtet. Zusätzlich zum Fragebogen wurde die benötigte Zeit für jeden Durchlauf erfasst. Die Zeiten wurden nicht nur für die drei Transitionsmethoden getrennt betrachtet, sondern auch in Abhängigkeit davon, an welcher Position der jeweilige Durchlauf stattgefunden hat. Dadurch lässt sich die Verteilung der Bearbeitungszeiten über die Durchläufe hinweg beschreiben. Neben den Mittelwertenwurden zusätzlich auch die Mediane dargestellt, um die Tendenzen der Zeiten weniger empfindlich gegenüber einzelnen Ausreißern zu betrachten. Die Ergebnisse sind in *Tabelle 7* dargestellt.

Durchlauf	**Fade**	**Fade Median**	**Beam**	**Beam Median**	**Portal**	**Portal Median**
1. Durchlauf	09:18 min	07:45 min	07:18 min	06:30 min	07:44 min	07:40min
2. Durchlauf	04:03 min	03:45 min	04:05 min	04:10 min	05:27 min	03:30 min
3. Durchlauf	02:30 min	02:20 min	03:01 min	02:20 min	02:39 min	02:30 min
Mittelwert	05:28 min		04:43 min		04:58 min	

Tabelle 7: Durchschnittliche Zeiten und Mediane pro Transitionsmethode nach Durchlauf

Die Mittelwerte der Bearbeitungszeiten lagen bei allen drei Transitionsmethoden hinweg im ersten Durchlauf am höchsten und waren absteigend zur erhöhten Anzahl der Durchläufe. Die Zeiten waren im zweiten Durchlauf schon deutlich geringer als noch im

ersten. Zum dritten Durchgang hin wurden die Zeiten erneut leicht geringer und befanden sich zwischen 2:20 und 3:01 Minuten. Auch die Medianwerte verhalten sich nach einem ähnlichen Muster wie die Mittelwerte. Eine größere Abweichung von Median zum Mittelwert gab es im ersten Durchlauf beim **Fade** und im zweiten Durchlauf beim **Portal**. Im Vergleich der Transitionsmethoden erzielte der **Beam** insgesamt die durchschnittlich niedrigste Bearbeitungszeit, knapp gefolgt vom **Portal**. Die **Fade**-Transition wies dabei deutlich den höchsten Mittelwert auf.

Zusätzlich wurde die Gesamtbearbeitungszeit der einzelnen Testpersonen erfasst und der angegebenen VR-Vorerfahrung gegenübergestellt. Dadurch werden individuelle Unterschiede in der Bearbeitungsdauer dargestellt. Die Gesamtzeiten der Testpersonen lagen zwischen 9 und 34 Minuten. Die entsprechenden Angaben zur VR-Vorerfahrung sind in *Tabelle 8* dargestellt (Testperson = TP).

	TP 1	**TP 2**	**TP 3**	**TP 4**	**TP 5**	**TP 6**	**TP 7**	**TP 8**	**TP 9**	**TP 10**
Gesamtzeit	34:30 min	11:20 min	13:10 min	10:50 min	12:10 min	16:50 min	14:30 min	17:10 min	09:30 min	15:20 min
VR-Vorerfahrung	keine	etwas	keine	wenig	wenig	wenig	wenig	wenig	etwas	keine
	TP 11	**TP 12**	**TP 13**	**TP 14**	**TP 15**	**TP 16**	**TP 17**	**TP 18**	**TP 19**	
Gesamtzeit	14:10 min	22:00 min	19:00 min	13:40 min	10:50 min	10:10 min	18:10 min	12:30 min	11:50 min	
VR-Vorerfahrung	wenig	keine	keine	keine	wenig	viel	wenig	viel	viel	

Tabelle 8: Gesamtzeiten und VR-Vorerfahrung nach Testpersonen

Die Gesamtzeiten zeigten deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Testpersonen. Die kürzeste Gesamtzeit betrug 9:30 Minuten und wurde von einer Testperson mit etwas VR-Vorerfahrung erreicht. Die längste Gesamtzeit betrug 34:30 Minuten und wurde ohne VR-Vorerfahrung erzielt. Insgesamt zeigten sich bei Testpersonen mit wenig oder keiner VR-Vorerfahrung tendenziell längere Gesamtzeiten als bei Testpersonen mit viel VR-Vorerfahrung.

Ein weiterer Aspekt, der in der Studie erfasst wurde, war die subjektive Präferenz. Dafür diente eine der Abschlussfragen auf dem Fragenbogen, welche nach Abschluss der drei Durchläufe beantwortet wurde. Dabei wurden fünf Kategorien abgefragt, um herauszufinden, welche Transitionsmethode in welchen Aspekten bevorzugt wurde. Die

Ergebnisse der Testpersonen sind in *Tabelle 9* dargestellt, indem die Anzahl der Nennungen aufgeführt wird. Durch zwei Mehrfachnennungen kann die Anzahl der Nennungen pro Kategorie 19 übersteigen.

Kategorie	**Fade**	**Beam**	**Portal**
Angenehmste	8	10	2
Einfachste zu bedienen	13	4	2
Spaßigste	1	14	5
Natürlichste	1	13	5
Effizienteste	17	1	1

Tabelle 9: Anzahl Nennungen von Präferenzen der Testpersonen pro Kategorie

Die Verteilung der subjektiven Präferenz unterschied sich zwischen den einzelnen Kategorien, wobei in den meisten Kategorien eine klare Präferenz zu erkennen war. Als angenehmste Transitionsmethoden wurde am häufigsten der **Beam** genannt, dicht gefolgt von der **Fade**-Transition. Bei den übrigen Kategorien zeigten sich deutlichere Unterschiede in der Präferenz. Die **Fade**-Transition erhielt am meisten Nennungen für die am einfachsten zu bedienende Transition sowie für die effizienteste Transitionsmethode. Als spaßigste und natürlichste Methode wurde der **Beam** am häufigsten gewählt. Insgesamt wurden **Beam** und **Fade** von den Testpersonen in den verschiedenen Kategorien bevorzugt, während das **Portal** in keiner Kategorie am häufigsten genannt wurde.

6. Diskussion

Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse in allen drei untersuchten Dimensionen eine Tendenz auf. Hinsichtlich der Immersion wurde **Beam** am positivsten und **Fade** am negativsten bewertet, während das **Portal** zwischen beiden Methoden lag. Beim Wohlbefinden zeigten **Fade** und **Beam** ähnliche Bewertungen, wohingegen das **Portal** schlechter abschnitt. Auch bei der FMS wurde das **Portal** am schlechtesten bewertet. Bei der Usability wurde **Beam** am besten bewertet, während **Fade** und **Portal** dahinter lagen. Dieser Eindruck wurde auch bei der erfassten subjektiven Präferenz bestätigt, in denen das **Portal** in keiner Kategorie der Favorit war, während **Fade** und **Beam** ähnlich gut abschnitten.

Auch die Bearbeitungszeiten der Studie zeigten Unterschiede zwischen den drei Transitionsmethoden, sowie in Abhängigkeit der VR-Vorerfahrung der Testpersonen. Dabei benötigte die **Fade** Transition durchschnittlich überraschenderweise die längste Zeit, während das **Portal** und vor allem **Beam** kürzere Zeiten aufwiesen. Bezüglich der VR-Vorerfahrung wiesen die unerfahrenen Testpersonen tendenziell längere Bearbeitungszeiten auf als Testpersonen mit mehr VR-Vorerfahrung.

Die statistischen Analysen bestätigten signifikante Unterschiede zwischen den Transitionsmethoden für alle drei untersuchten Dimensionen. Die anschließenden paarweisen Vergleiche zeigten jedoch, dass diese Unterschiede nicht in allen Fällen zwischen denselben Methoden bestanden. Während der in H1 erwartete Unterschied zwischen **Fade** und **Portal** hinsichtlich der Immersion bestätigt werden konnte, ließen sich die in H2 und H3 formulierten Erwartungen nicht statistisch bestätigen. Insgesamt zeigte sich damit insbesondere für **Beam** eine positive Bewertung über mehrere Dimensionen hinweg, während **Portal** vor allem beim Wohlbefinden schlechter bewertet wurde.

6.1. Interpretation der Ergebnisse

6.1.1. Immersion

Die Ergebnisse zur wahrgenommenen Immersion bestätigten die in H1 formulierte Erwartung. Der Vergleich zwischen **Fade** und **Portal** zeigte einen signifikanten Unterschied zugunsten des **Portals**. Gleichzeitig wurde **Beam** am besten bewertet, sodass das **Portal** keinen generellen Vorteil gegenüber allen untersuchten Transitionsmethoden aufweist. Dennoch lässt sich aus der Untersuchung schließen, dass interaktivere und visuell ansprechendere Transitionsmethoden einen höheren Grad an Immersion hervorrufen können als einfachere Überblendungen.

Das passt auch zum bisherigen Forschungsstand. So haben Husung und Langbehn (2019) bereits gute Bewertungen der Presence von **Portal**-Transitionen erforscht. Auch Pointecker et al. (2022) kamen zu ähnlichen Ergebnissen. In deren Untersuchung wurden Transitionen mit höherer Attraktivität besser als praktische Transitionen bewertet. Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass Transitionen in spielerischen Szenarien oftmals einen höheren Immersionsgrad erlangen, wenn sie interaktiv und spannend in die Umgebung eingebaut sind, anstatt rein pragmatisch zu funktionieren.

Die Gestaltung von Transitionen scheint also einen signifikanten Einfluss auf die wahrgenommene Immersion zu haben. Während **Fade** den Wechsel primär durch Überblendung vermittelt, wird der Übergang beim **Portal** und **Beam** in die Umgebung integriert. Dadurch könnte der Wechsel für die Testpersonen als fließender Übergang wahrgenommen worden sein, anstatt lediglich als Unterbrechung zweier Zustände. Dass der **Beam** trotz seiner geringeren visuellen Einbindung die höchsten Immersionswerte erzielte, zeigt jedoch, dass nicht allein der Grad der visuellen oder interaktiven Gestaltung entscheidend ist.

6.1.2. Wohlbefinden

Die in H2 formulierte Annahme, dass sich die Transitionsmethoden hinsichtlich ihres wahrgenommenen Wohlbefindens unterscheiden, konnte zwar nicht statistisch eindeutig belegt werden, dennoch kann man einige Erkenntnisse daraus gewinnen. So zeigte die Messwiederholungs-ANOVA einen signifikanten Unterschied zwischen den

Transitionsmethoden, in den anschließenden Paarvergleichen zeigte sich jedoch lediglich zwischen zwei Transitionsmethoden ein signifikanter Unterschied. **Beam** und **Portal** unterschieden sich signifikant, wobei der Paarvergleich zwischen **Fade** und **Portal** auch nur minimal über dem Signifikanzniveau lag. Damit wurde das **Portal** insgesamt eindeutig am schlechtesten bewertet, was auch die Ergebnisse der FMS widerspiegeln.

Ein Grund dafür lag vermutlich an der technischen Umsetzung des **Portals**. Von beiden Seiten des **Portals** konnte man in die jeweilige andere Dimension blicken, die Implementierung unterschied sich allerdings. Während die Sicht in die Passthrough-Umgebung reibungslos mit einem Cutout-Shader funktionierte, musste für die Sicht in die virtuelle Umgebung eine Render-Texture verwendet werden. Dadurch wurde die virtuelle Umgebung von der Perspektive her nicht immer perfekt dargestellt, was für Irritierung bei Testpersonen sorgen konnte. Das haben einige Testpersonen auch in ihren Anmerkungen bemerkt:

TP 5: "...*Das Portal war auch toll, aber bei der Transition in das Raumschiff ist es etwas seltsam, wenn sich das Portal-Bild mit POV bewegt*..."

TP 11: "...*Das Portal war sehr ähnlich zum Beam, jedoch hat mich die Darstellung des Portals genervt, da es grafisch nicht ganz einwandfrei war*..."

TP 16: "...*Portal passt thematisch gut, könnte jedoch besser umgesetzt sein*..."

Grundsätzlich zeigen diese Anmerkungen, dass das **Portal** als Transitionsmethode an sich beliebt war, aber technisch nicht optimal umgesetzt war. Alle vollständigen Anmerkungen der Testpersonen befinden sich in *Anhang 3 - Antworten*. In den Aussagen fallen dennoch teils positive Aussagen zum **Portal**, was weitere Anmerkungen bestätigen:

TP 3: "*Portal oder Beam. Wenn man die Parameter durch das Portal sehen könnte, wäre die Immersion noch besser.*"

TP 10: "*Ich bevorzuge das Portal, da es mir am meisten Freude bereitet und mir am ehesten das Gefühl gegeben hat, in die Spielwelt einzutauchen*..."

TP 19: "*Mir gefiel der Beam und das Portal am besten [...] Der Beam ist noch etwas besser, weil er sich flüssig angefühlt hat und am besten umgesetzt war.*"

Auch die positiv wahrgenommene Immersion des **Portals** unterstützt diese Aussagen. Allerdings muss die technische Umsetzung bei der Interpretation der Ergebnisse des **Portals** berücksichtigt werden. Es liegt nahe, dass die Darstellungsprobleme die Bewertung des Wohlbefindens negativ beeinflusst haben. Eine bessere technische Umsetzung hätte so möglicherweise zu positiveren Ergebnissen geführt. Gleichzeitig zeigen die positiven Rückmeldungen, dass die Idee des **Portals** grundsätzlich gut angenommen wurde. Daher kann man vermuten, dass nicht das Konzept des **Portals** für die schlechtere Bewertung verantwortlich war.

6.1.3. Usability

Die Limitierungen des **Portals** könnten jedoch nicht nur die Bewertung des Wohlbefindens beeinflusst haben, sondern auch für die wahrgenommene Usability relevant sein. Nicht vollständig reibungslose Interaktionen könnten dazu führen, dass eine Transition als weniger benutzerfreundlich wahrgenommen wird. Gleichzeitig ist nicht direkt davon auszugehen, dass die technischen Einschränkungen zwangsläufig die Usability beeinflusst haben, da die Bewertung auch von anderen Aspekten abhängt.

Grundsätzlich wurde das **Portal** jedoch am negativsten bewertet, wobei keine der Ergebnisse eine schlechte Bewertung darstellen. Auch gegenüber der in H3 formulierten Erwartung zeigte sich kein signifikanter Vorteil für die **Fade**-Transition. Der **Beam** wurde dabei sogar am besten bewertet. Das schlechtere Abschneiden des **Portals** könnte teilweise mit dem beschriebenen Problem zusammenhängen, aber auch schlichtweg auf die Funktionsweise zurückzuführen sein. Da das **Portal** statisch ist, muss man zum Wechseln der Dimensionen immer einen bestimmten Weg gehen, wodurch die Benutzerfreundlichkeit negativ beeinflusst sein könnte. Auf der anderen Seite widerspricht das der positiven Bewertung des **Beams**, welcher nicht nur ebenfalls statisch ist, sondern auch noch eine kurze Zeit für den Übergang beansprucht. Ebenso ist die praktische Umsetzung der **Fade**-Transition, die jederzeit an jedem Ort ausgelöst werden kann, nicht als die benutzerfreundlichste Transition eingestuft worden. Das deutet darauf hin, dass nicht jede nützliche einfache Umsetzung automatisch mit einer

höheren Usability gleichzusetzen ist und auch aufwendigere Transitionen benutzerfreundlich sein können. Die Bewertung bleibt dabei oft subjektiv und vor allem kontextabhängig, was ein Grund dafür sein kann, dass der interaktivere **Beam** hier am besten bewertet wurde. Ein ähnliches Bild wird auch durch die Anmerkungen deutlich, wobei es unterschiedliche Meinungen gibt:

TP4: "*Beam war für mich eine gute Mischung aus immersiv und praktikabel. Passte gut uns Raumschiff Setting. Wirkte 'clean' + gut umgesetzt.*"

TP7: "*Ich bevorzuge Beam, weil sie für mich am natürlichsten ins Spiel integriert wirkte und die Illusion am besten dargestellt hat.*"

TP8: "*Ich bevorzuge den Fade, weil man dort an Ort und Stelle stehen bleiben kann und visuell nicht überreizt wird*"

TP9: "*Ich bevorzuge die Beam-Variante bei spielerischen Aufgaben und die Fade-Variante bei Leistungsoptimierten Aufgaben...*"

Auch der bisherige Forschungsstand zeigt unterschiedliche Ergebnisse hinsichtlich der Usability komplexerer Transitionen. Während Husung und Langbehn (2019) keinen negativen Einfluss der höheren Komplexität wie vom **Portal** feststellten, bewerteten Feld et al. (2023) diese Transitionen signifikant schlechter als einfache Übergänge. Die unterschiedlichen Ergebnisse zeigen, dass die Usability nicht allein von der Komplexität einer Transition abhängt, sondern auch kontextabhängig ist, solange die Umsetzung nicht unnötig komplex ist. Dies steht im Einklang mit den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung, in der der interaktivere **Beam** trotz zusätzlicher Interaktion besser bewertet wurde als die einfachere **Fade**-Transition.

6.1.4. Weitere Erkenntnisse

Insgesamt konnte also nur eine Hypothese statistisch belegt werden und die von der bisherigen Forschung abgeleiteten Annahmen konnten nicht klar bestätigt werden. So unterschieden sich die Bewertungen in den einzelnen Dimensionen nicht erwartungsgemäß, was darauf hinweist, dass die Testpersonen eine Transitionsmethode eher in ihrer Gesamtheit wahrnehmen, anstatt die einzelnen Vor- oder Nachteile. So wurde der **Beam** in jeder Dimension positiv bewertet und erzielte dort auch den höchsten Mittelwert, auch wenn die Unterschiede nicht überall signifikant ausfielen. Der **Beam** scheint hier als besonders ausgewogene Methode zwischen Gestaltung und Nutzung angenommen worden zu sein. Eine gute Transition kann so also ein Kompromiss zwischen verschiedenen Anforderungen darstellen.

Dennoch zeigen die subjektiven Präferenzen aus der Abschlussfrage des Fragebogens klare Favoriten in den vorgegebenen Kategorien. So wurde der **Fade** mit großer Mehrheit als effizienteste und am einfachsten zu bedienende Transition gewählt, während der **Beam** als angenehmste, spaßigste und natürlichste Transition gewählt wurde. Das **Portal** konnte dabei wenig überzeugen, erlangte aber einige Stimmen für Spaß und Natürlichkeit. Die Ergebnisse sind wenig überraschend, da einfache Übergänge wie der **Fade** oftmals effizient genutzt werden können und der **Fade** bereits bei Pointecker et al. (2022) die höchste Bewertung der pragmatischen Qualität erzielte. So unterscheiden die Testpersonen doch sehr eindeutig hinsichtlich bestimmter Kategorien, wobei die Gewichtung der Kategorien nicht immer gleich ausgelegt ist und sich somit Unterschiede in der Gesamtbewertung ergeben können. Dies verdeutlicht, dass die Bewertung von Transitionen nicht ausschließlich anhand einzelner Dimensionen betrachtet werden sollte, sondern auch anhand der subjektiven Gesamtpräferenz. Diese beiden Aspekte gehen nicht zwangsläufig auseinander hervor, wie auch in dieser Studie erkenntlich wurde. Obwohl **Fade** subjektiv als effizienteste und einfachste Methode bewertet wurde, erzielte der **Beam** die höchste Bewertung bezüglich der Usability.

Ein weiterer interessanter Aspekt in der Untersuchung sind die Bearbeitungszeiten in Bezug auf die VR-Vorerfahrung der Testpersonen. Erstens war es zu erwarten, dass die Bearbeitungszeiten sich je nach Durchgang unterscheiden und absteigend fallen. Das

lässt sich durch den Lerneffekt erklären, da die Testpersonen dieselben Aufgaben nur mit neuen Parametern lösen müssen. Zweitens ist sehr allerdings auffällig, dass die **Fade**-Transition die längste durchschnittliche Bearbeitungszeit aufwies. Die auffällig lange durchschnittliche Bearbeitungszeit der **Fade**-Transition lässt sich dabei wesentlich auf einen Ausreißer zurückführen. Eine Testperson ohne VR-Vorerfahrung hatte generell große Probleme den Durchlauf zu beenden, weshalb dieser Durchlauf 20 Minuten dauerte und sich somit stark von allen anderen Zeiten abhob. Ohne den Ausreißer wäre der Mittelwert leicht unter dem des **Beams** anzusiedeln. Demnach liegen die Bearbeitungszeiten der drei Transitionsmethoden insgesamt in einem ähnlichen Bereich, sodass keine großen Unterschiede zwischen den Transitionen erkennbar sind. Der stationäre Nachteil von **Beam** und **Portal** scheint somit keinen wesentlichen Einfluss zu haben.

Hinsichtlich der VR-Vorerfahrung zeigt sich eine Tendenz zu kürzeren Bearbeitungszeiten bei Testpersonen mit mehr VR-Erfahrung. Die Testpersonen mit etwas oder viel VR-Erfahrung wiesen insgesamt kurze Bearbeitungszeiten auf, während die unerfahrenen Testpersonen tendenziell länger für die Durchführung benötigten. Auch das ist naheliegend, da erfahrenere Testpersonen bereits mehr mit Interaktionen und der Steuerung vertraut sind und so schneller die Aufgabenbearbeitung beginnen können. Die Ergebnisse sprechen somit dafür, dass eine höhere VR-Vorerfahrung die effiziente Durchführung der Aufgaben begünstigen kann. Da die Vorerfahrung jedoch nicht als Versuchsvariable untersucht wurde, sollte dieser Zusammenhang eher als Tendenz interpretiert werden. Bezogen auf die Bewertung der Dimensionen konnte kein eindeutiger Zusammenhang mit der VR-Vorerfahrung festgestellt werden. Lediglich die Bewertung des Wohlbefindens viel bei allen erfahrenen Testpersonen positiv aus, allerdings hatten auch unerfahrene Testpersonen kaum Probleme mit dem Unwohlsein. Die wenigen schlechten Bewertungen bezüglich des Wohlbefindens wurden jedoch von unerfahrenen Testpersonen abgegeben. Auch hier lässt sich eher eine Tendenz feststellen, die aber mit Vorsicht zu bewerten ist.

6.2. Reflexion & Aussicht

Bei der Interpretation der Ergebnisse müssen auch einige Limitationen der Untersuchung berücksichtigt werden. Mit 19 Testpersonen war die Stichprobe klein, wodurch die Aussagekraft der statistischen Ergebnisse und die Übertragbarkeit auf eine größere Population eingeschränkt sind. Zudem könnte die technische Umsetzung des **Portals** die Ergebnisse beeinflusst haben. Insbesondere die perspektivischen Darstellungsprobleme der Render-Texture wurden von mehreren Testpersonen wahrgenommen und könnten sich negativ auf die Bewertung des Wohlbefindens und möglicherweise auch der Usability ausgewirkt haben. Die Ergebnisse des **Portals** sollten daher mit entsprechender Vorsicht interpretiert werden. Eine technisch optimierte Umsetzung könnte in einer zukünftigen Untersuchung zu anderen Ergebnissen führen.

Eine weitere Einschränkung stellt die Beschränkung auf lediglich drei Transitionsmethoden dar. Die Ergebnisse lassen sich daher nicht ohne Weiteres auf andere Arten von Transitionen übertragen. Darüber hinaus wurden die verwendeten Items des Fragebogens teilweise aus bestehenden Messinstrumenten übernommen und an das konkrete Szenario angepasst. Dadurch konnten zwar die untersuchten Dimensionen gezielt erfasst werden, aber eine direkte Vergleichbarkeit mit Untersuchungen, die die ursprünglichen Fragebogen verwendeten, ist jedoch nur eingeschränkt gegeben. Schließlich ist auch der konkrete Anwendungskontext zu berücksichtigen. Die Untersuchung fand in einem spielerischen VR-Szenario statt, weshalb die Ergebnisse nicht zwangsläufig auf andere Einsatzbereiche von VR übertragbar sind. Zukünftige Untersuchungen könnten daher eine größere Stichprobe, weitere Transitionsmethoden und unterschiedliche Anwendungsszenarien einbeziehen, um die gewonnenen Erkenntnisse weiter zu überprüfen und besser einordnen zu können.

7. Fazit

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, zu untersuchen, wie verschiedene Cross-Reality Transitionsmethoden die wahrgenommene Immersion, das Wohlbefinden und die Usability in einem spielbasierten VR-Prototyp beeinflussen. Hierzu wurden die drei Transitionsmethoden **Fade**, **Beam** und **Portal** miteinander verglichen und hinsichtlich dieser drei Dimensionen bewertet.

Hinsichtlich der Immersion konnte die in H1 formulierte Annahme bestätigt werden, da das **Portal** gegenüber **Fade** signifikant besser bewertet wurde. Gleichzeitig erzielte **Beam** insgesamt die höchsten Immersionswerte. Für das Wohlbefinden zeigte sich zwar ein signifikanter Unterschied zwischen den Transitionsmethoden, die paarweisen Vergleiche konnten die in H2 erwarteten Unterschiede zwischen allen drei Methoden jedoch nicht bestätigen. Insbesondere **Portal** wurde hinsichtlich des Wohlbefindens schlechter bewertet, wobei die technische Umsetzung der Transition als mögliche Ursache berücksichtigt werden muss. Auch H3 konnte nicht bestätigt werden. Entgegen der Erwartung wurde **Fade** hinsichtlich der Usability nicht besser als **Beam** bewertet. Nur das **Portal** hatte eine schlechtere Bewertung.

Zusammenfassend lässt sich die Forschungsfrage dahingehend beantworten, dass die Wahl der Cross-Reality Transitionsmethode die wahrgenommene Immersion, das Wohlbefinden und die Usability unterschiedlich beeinflussen. Während die interaktiven Transitionen wie das **Portal** gegenüber **Fade** einen Vorteil hinsichtlich der Immersion zeigten, wurde die Methode gleichzeitig beim Wohlbefinden und bei der Usability weniger positiv bewertet. Der **Beam** erzielte dagegen über alle drei Dimensionen hinweg hohe Bewertungen und wurde insgesamt besonders positiv wahrgenommen. **Fade** überzeugte vor allem durch seine einfache und effiziente Nutzung, konnte sich jedoch nicht bei der Usability eindeutig gegenüber den anderen Methoden durchsetzen. Für den untersuchten spielbasierten VR-Prototyp deutet dies darauf hin, dass insbesondere eine ausgewogene Kombination aus immersiver Gestaltung und einfacher Nutzung relevant für die Wahrnehmung einer Transition ist.

Für zukünftige Untersuchungen wäre es interessant, die Ergebnisse mit einer größeren Stichprobe und weiteren Transitionsmethoden zu überprüfen. Insbesondere eine

optimierte Umsetzung des **Portals** könnte zeigen, ob die schlechtere Bewertung tatsächlich auf technische Mängel oder doch auf das Konzept zurückzuführen ist. Darüber hinaus könnte untersucht werden, ob sich die Ergebnisse auch in anderen Szenarien bestätigen lassen. Ein weiterer spannender Ansatz könnte es sein, die gleichen Transitionsmethoden innerhalb einer Studie in unterschiedlichen Kontexten zu untersuchen und dadurch direkte Vergleiche zu ermöglichen.

Eigenständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

Alle sinngemäß und wörtlich übernommenen Textstellen aus fremden Quellen wurden kenntlich gemacht.

Erklärung zur Nutzung generativer KI

Während der Erstellung dieser Arbeit hat der Autor ChatGPT von OpenAI (OpenAI, 2026) zur sprachlichen Optimierung und Unterstützung bei der Strukturierung einzelner Textabschnitte verwendet. Nach der Nutzung dieses Tools hat der Autor die generierten Vorschläge überprüft und bei Bedarf bearbeitet. Der Autor übernimmt die volle Verantwortung für den Inhalt der Arbeit.

_____ _____

Ort, Datum **Unterschrift**

Literaturverzeichnis

- **Bitkom e.V. (2025)**: *Die Zukunft der Consumer Technology 2025. Studienbericht*. DOI: 10.64022/2025-consumer-technology.
- **Brooke, J. (1996)**: SUS: *A "Quick and Dirty" Usability Scale*. DOI: 10.1201/9781498710411-35.
- **Feld, N. / Bimberg, P. / Weyers, B. / Zielasko, D. (2023)**: *Keep it simple? Evaluation of Transitions in Virtual Reality*. DOI: 10.1145/3544549.3585811.
- **Feld, N. / Bimberg, P. / Weyers, B. / Zielasko, D. (2024)**: *Simple and Efficient? Evaluation of Transitions for Task-Driven Cross-Reality Experiences*. DOI: 10.1109/TVCG.2024.3356949.
- **George, C. / Ngo Tien, A. / Hussmann, H. (2020)**: *Seamless, Bi-directional Transitions along the Reality-Virtuality Continuum: A Conceptualization and Prototype Exploration*. DOI:10.1109/ISMAR50242.2020.00067
- **Hart, S. G. / Staveland, L. E. (1988)**: *Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research*. DOI: 10.1016/S0166-4115(08)62386-9.
- **Horst, R. / Naraghi-Taghi-Off, R. / Rau, L. / Dörner, R. (2024)**: *Back to reality: Transition techniques from short HMD-based virtual experiences to the physical world*. DOI: 10.1007/s11042-021-11317-w.
- **Husung, M. / Langbehn, E. (2019)**: *Of Portals and Orbs: An Evaluation of Scene Transition Techniques for Virtual Reality*. DOI: 10.1145/3340764.3340779.
- **Kari, T. / Kosa, M. (2023)**: *Acceptance and use of virtual reality games: an extension of HMSAM*. DOI: 10.1007/s10055-023-00749-4.
- **Keshavarz, B. / Hecht, H. (2011)**: *Validating an Efficient Method to Quantify Motion Sickness*. DOI: 10.1177/0018720811403736.
- **Khronos Group (o. J.)**: *OpenXR*. URL: https://www.khronos.org/openxr/ [Letzter Aufruf: 04.09.2026].
- **Laugwitz, B. / Held, T. / Schrepp, M. (2008)**: *Construction and Evaluation of a User Experience Questionnaire*. DOI: 10.1007/978-3-540-89350-9_6.

- **Meta Platforms, Inc. (o. J.)**: *Meta Quest 3*. URL: https://www.meta.com/quest/quest-3/ [Letzter Aufruf: 04.09.2026].
- **Milgram, P. / Kishino, F. (1994)**: *A taxonomy of mixed reality visual displays*. DOI: 10.1587/e77-d.12.1321
- **Moghadam, K. / Banigan, C. / Ragan, E. D. (2020)**: *Scene Transitions and Teleportation in Virtual Reality and the Implications for Spatial Awareness and Sickness*. DOI: 10.1109/TVCG.2018.2884468.
- **OpenAI (2026)**: *ChatGPT*. URL: https://chatgpt.com/ [Letzter Aufruf: 14.09.2026].
- **Pavavimol, T. / Ometov, A. / Valkama, M. / Thibault, M. (2025)**: *Transitions between Realities: A Systematic Review on the Usage of XR Systems for Bridging Reality and Virtuality*. DOI: 10.1145/3706370.3727858.
- **Pointecker, F. / Friedl, J. / Schwajda, D. / Jetter, H.-C. / Anthes, C. (2022)**: *Bridging the Gap Across Realities: Visual Transitions Between Virtual and Augmented Reality*. DOI: 10.1109/ISMAR55827.2022.00101.
- **Pointecker, F. / Friedl-Knirsch, J. / Jetter, H.-C. / Anthes, C. (2024)**: *From Real to Virtual: Exploring Replica-Enhanced Environment Transitions along the Reality-Virtuality Continuum*. DOI: 10.1145/3613904.3642844.
- **Skarbez, R. / Smith, M. / Whitton, M. C. (2021)**: *Revisiting Milgram and Kishino's Reality-Virtuality Continuum*. DOI: 10.3389/frvir.2021.647997.
- **Slater, M. / Usoh, M. / Steed, A. (1994)**: Depth of Presence in Virtual Environments. DOI: 10.1162/pres.1994.3.2.130.
- **Unity Technologies (o. J.)**: *Unity Engine*. URL: https://unity.com [Letzter Aufruf: 04.09.2026].

Anhang

Anhang 1 – Fragebogen

Person: Durchgang: Transition: Zeit:

Cross-Reality Transitionen – Fragebogen

Alter :
Geschlecht :
Beruf :
VR-Vorerfahrung
(Keine, Wenig, Etwas, Viel) :

Bitte beantworten Sie alle Fragen basierend auf der Erfahrung der eben durchlaufenden Anwendung. Alle Antworten erfolgen auf einer 7-stufigen Skala von „stimme gar nicht zu“ bis „stimme voll zu“.

1. Die Übergangsmethode unterstützte mein Eintauchen in die Erfahrung.						
stimme gar nicht zu						stimme voll zu

2. Ich hatte das Gefühl, zwischen zwei Realitäten hin- und herzuwechseln.						

3. Der Übergang unterbrach mein Gefühl, dort zu sein.						

4. Die Nutzung der Übergangsmethode war leicht verständlich.						

5. Die Übergangsmethode funktionierte zuverlässig.						

6. Ich würde die Übergangsmethode häufig wiederverwenden.						

7. Die Übergangsmethode verursachte bei mir Unwohlsein.						

Anhang 1 – Fragebogen

8. Die Übergangsmethode wirkte effizient.						

9. Die Übergangsmethode hat mir gefallen.						

10. Die Nutzung der Übergangsmethode erforderte viel Konzentration.						

11. Die Nutzung der Übergangsmethode war körperlich anstrengend.						
stimme gar nicht zu						stimme voll zu

12. Wie unwohl fühlen Sie sich momentan durch die VR-Erfahrung? (z. B. Übelkeit, Schwindel)																			
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0 = keine Symptome																			20 = starke Übelkeit	

Abschlussfragen

Welche Übergangsmethode war...	Beam	Fade	Portal
am angenehmsten?			
am einfachsten zu bedienen?			
am spaßigsten?			
am natürlichsten?			
am effizientesten?			

Welche Übergangsmethode bevorzugen Sie und warum?

Anhang 2 – Studie Rohdaten

Test-person ID	Methode	Durchlauf-Nr.	Zeit (in min)	F1 (1-7)	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12 (0-20)
1	Fade	1	00:20:00	4	4	4	5	5	2	4	4	3	4	7	6
1	Portal	2	00:09:30	6	3	2	5	4	2	5	5	7	2	1	11
1	Beam	3	00:05:00	5	6	4	6	6	5	4	5	5	2	1	11
2	Portal	1	00:06:00	7	6	2	7	7	7	1	4	6	1	1	0
2	Fade	2	00:03:20	5	5	3	6	7	6	1	7	2	1	1	0
2	Beam	3	00:02:00	7	7	1	5	4	5	1	3	4	2	1	0
3	Beam	1	00:07:00	7	5	1	7	7	7	1	6	6	1	1	2
3	Fade	2	00:03:10	2	3	2	7	7	7	1	7	2	1	1	0
3	Portal	3	00:03:00	6	7	2	7	7	6	1	6	7	2	2	0
4	Beam	1	00:06:00	7	6	1	6	7	7	1	7	7	1	1	0
4	Fade	2	00:02:30	4	3	5	7	7	5	1	7	4	1	1	0
4	Portal	3	00:02:20	5	3	5	7	7	3	2	6	6	1	1	0
5	Beam	1	00:05:50	7	7	2	7	7	7	1	6	7	1	1	0
5	Fade	2	00:03:50	3	4	4	7	7	2	1	6	2	1	1	0
5	Portal	3	00:02:30	7	7	1	7	7	6	4	7	6	1	1	1
6	Portal	1	00:08:20	6	7	2	7	7	6	5	6	6	4	2	12
6	Fade	2	00:04:00	5	5	2	4	7	5	2	6	6	2	2	5
6	Beam	3	00:04:30	6	6	2	7	7	6	2	6	5	2	2	6
7	Portal	1	00:09:20	2	7	3	6	6	5	2	5	6	3	1	3
7	Beam	2	00:02:50	5	6	3	7	7	6	1	7	7	1	1	1
7	Fade	3	00:02:20	3	6	3	7	7	5	1	6	5	2	1	1
8	Fade	1	00:09:20	6	5	3	7	7	7	2	7	7	4	2	2
8	Beam	2	00:05:30	6	6	1	7	7	5	3	7	5	3	3	5
8	Portal	3	00:02:20	6	7	1	7	7	3	6	6	3	3	2	7
9	Beam	1	00:04:00	6	5	2	7	7	7	2	5	6	3	2	0
9	Fade	2	00:03:40	5	5	3	7	6	5	2	7	4	5	1	0
9	Portal	3	00:01:50	6	7	1	6	6	2	2	5	6	6	2	0
10	Portal	1	00:07:40	5	6	2	6	7	5	2	7	7	5	1	2
10	Fade	2	00:04:40	6	4	4	3	7	7	2	7	6	6	1	2
10	Beam	3	00:03:00	7	6	1	7	7	7	1	7	7	2	2	2
11	Fade	1	00:08:30	6	7	2	7	7	5	2	6	6	2	1	3
11	Portal	2	00:03:30	5	6	3	6	7	3	6	4	3	1	2	4
11	Beam	3	00:02:10	6	6	1	7	7	7	1	7	7	1	2	2

12	Beam	1	00:12:00	6	7	1	6	7	6	1	7	7	1	1	1
12	Fade	2	00:06:00	5	7	2	7	7	6	1	7	6	2	1	1
12	Portal	3	00:04:00	6	6	2	7	7	4	3	7	2	1	1	3
13	Portal	1	00:11:30	6	4	2	7	7	6	1	7	6	1	1	0
13	Beam	2	00:04:40	7	6	1	7	7	7	1	6	7	1	1	0
13	Fade	3	00:02:50	2	3	6	5	5	2	1	5	2	4	1	0
14	Fade	1	00:06:30	4	5	3	7	7	7	1	6	6	1	1	1
14	Beam	2	00:04:50	6	7	1	7	7	6	2	6	6	2	2	1
14	Portal	3	00:02:20	6	7	2	7	7	3	6	6	4	2	2	5
15	Portal	1	00:05:30	5	6	1	7	7	7	1	5	7	1	1	0
15	Fade	2	00:03:00	5	4	5	7	7	5	1	7	4	1	1	0
15	Beam	3	00:02:20	7	7	1	7	7	7	1	5	7	2	1	0
16	Fade	1	00:04:30	4	6	2	7	7	5	1	5	5	1	1	1
16	Beam	2	00:03:00	7	7	2	7	7	6	1	5	6	2	2	1
16	Portal	3	00:02:40	4	4	5	7	6	4	2	6	5	1	1	1
17	Beam	1	00:09:00	6	6	1	7	7	7	1	6	6	2	1	1
17	Fade	2	00:06:20	2	2	3	3	7	2	1	6	2	1	1	1
17	Portal	3	00:02:50	5	5	4	7	6	2	5	6	2	5	2	5
18	Fade	1	00:07:00	6	7	2	7	7	7	1	7	6	2	1	0
18	Portal	2	00:03:20	6	7	2	7	7	3	4	5	3	2	3	3
18	Beam	3	00:02:10	7	7	1	7	7	6	3	5	6	2	3	3
19	Portal	1	00:05:50	4	5	4	7	6	5	2	6	6	2	1	3
19	Beam	2	00:03:40	7	7	1	6	7	7	1	5	7	2	1	0
19	Fade	3	00:02:20	4	5	2	7	7	5	1	7	4	1	1	0

Anhang 3 – Antworten

Testperson ID	Anmerkung
1	/
2	Portal, weil einfach zu bedienen und wirkt "echt".
3	Portal oder Beam. Wenn man die Parameter durch das Portal sehen könnte, wäre die Immersion noch besser.
4	Beam war für mich eine gute Mischung aus immersiv und praktikabel. Passte gut uns Raumschiff Setting. Wirkte "clean" + gut umgesetzt.
5	Ich finde die Beam-Methode am besten. Das ist was, was in echt nicht geht, aber trotzdem voll verständlich ist und einfach zu bedienen. Man wird auch dazu gebracht, sich im Raum zu bewegen, anstatt viel üer Controller zu machen. Das Portal war auch toll, aber bei der Transition in das Raumschiff ist es etwas seltsam, wenn sich dasz Portal-Bild mit POV bewegt - in die echte Welt war es statisch und nur nach meiner Perspektive, aber nicht von meiner Kamera abhänig?
6	Das Beamen (Anm.: Fade gemeint), da man da sehr effektiv in den Welten hin und her switchen kann. Und es hat den Vorteil, dass man von jedem Ort im Raum in die andere Welt wechseln kann.
7	Ich bevorzuge Beam, weil sie für mich am natürlichsten ins Spiel integriert wirkte und die Illusion am besten dargestellt hat.
8	Ich bevorzuge den Fade, weil man dort an Ort und Stelle stehen bleiben kann und visuell nicht überreizt wird. Das Portal hat mir leichtes Unwohlsein bereitet.
9	Ich bevorzuge die Beam-Variante bei spielerischen Aufgaben und die Fade-Variante bei Leistungsoptimierten Aufgaben. Die Beam-Variante fühlte sich für mich natürlicher an, die Fade-Variante fühlte sich am effizientesten an. Das Portal wirkte unnatürlich und als würde man gegen eine Wand laufen.
10	Ich bevorzuge das Portal, da es mir am meisten Freude bereitet und mir am ehesten das Gefühl gegeben hat, in die Spielwelt einzutauchen. Zudem wirkte die Sicht und die echte Welt am ehesten wie ein Blick in eine andere Welt, ebenso umgekehrt die Sicht in die virtuelle Welt.
11	Ich bevorzuge den beam, da er am spaßigsten war und der Übergang sich sehr natürlich angefühlt hat. Der Fade war okay und am einfachsten, aber dafür hatte er einen geringen Spaßfaktor. Das Portal war sehr ähnlich zum Beam, jedoch hat mich die Darstellung des Portals genervt, da es grafisch nicht ganz einwandfrei war und ich somit das Gefühl hatte ich würde mit dem Portal kollidieren.
12	Beam, da es am meisten Spaß gemacht hat udn am besten zum Szenario gepasst hat.
13	Ich bevorzuge Beam, weil es sich am meisten so angefühlt hat, als wäre man in einer anderen Realität.
14	Fade, wirkte realistischer und hat nicht für Schwindel oder orientierungsverlust gesorgt.
15	Ich bevorzuge den Beam, weil es sich im Spielverlauf natürlich angefühlt, über diesen zwischen den zwei Welten zu wechseln. Obwohl es den Spielverlauf kurz unterbricht, da man gezielt zurückl zum Beam laufen muss, fühlt sich dieser am spaßigsten und natürlichsten an.
16	Beam am besten, da es spielerisch gut passt. Portal passt thematisch gut, könnte jedoch besser umgesetzt sein (Kamera bewegt sich mit Kopfbewegung mit, wirkt komisch, wenn man durch das Portal gehen möchte), deshalb gefiel es mir am wenigsten. Fade ist am "langweiligsten", würde denke ich aber gut funktionieren, wenn man es in Verbindung mit einem Effekt nutzen würde. Ingesamt 3 gute Lösungen :)
17	Der Beam verlieh der Anwendung einen charmanten Charakter. Als anwendende Person hatte man nicht das Gefühl aus dem Spiel herausgerissen zu werden. Der Fade passierte zu schnell und ohne Übergang. Beim Portal hatte ich kein angenehmes Gefühl hindurchzugehen.
18	Der Fade hat mir am besten gefallen, da er die geringste körperliche Reaktion bei mir auslöste und am effizientesten war. Insbesonders weil man von jeder Position im Raum schnell rüberwechseln konnte.
19	Mir gefiehl der Beam und das Portal am besten, da die beiden Methoden gut in das spielerische Szenario passten. Der Beam ist noch etwas besser, weil er sich flüssig angefühlt hat und am besten umgesetzt war.

Anhang 4 - Anleitung Energiezellen

ENERGIEZELLEN ANWENDUNG



SPANNUNGSLEVEL	KÜHLTEMPERATUR	MODUS
800 – 900 VOLT	8 °C	4 OPTIONEN

MODUSWAHL

SPANNUNG	KÜHLGRAD	MODUS	SYMBOL
< 500 V	> 10 °C	→ OVERDRIVE	
< 500 V	≤ 10 °C	→ TURBO	
> 500 V	> 10 °C	→ SAFETY	
> 500 V	≤ 10 °C	→ PERFORMANCE	

→ → → →

PARAMETER BEACHTEN – SICHER BETREIBEN!

Anhang 5 – Landkarte

