|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| C:\_Hochschule Heilbronn\6_AG MCI\4_Organisation\0_Corporate Design\1_Logo\UniTyLab_Logo.jpg |  | D:\Desktop\HHN Original (Vektor).emf |

Bachelor

Thesis

**Konzeption und Evaluation von Benutzerkonditionierung**

**in Virtual Reality**

|  |  |
| --- | --- |
| **Autor** | Robert Zlomke |
| **Studiengang** | Angewandte Informatik  Hochschule Heilbronn |
| **Matrikel-Nr.** | 193045 |
| **Abgabe** | 15.04.2021 |
| **Referent** | Prof. Dr.-Ing. Gerrit Meixner |
| **Korreferent:** | Philip Schäfer |

* 1. Danksagung
  2. Abstract

Virtuelle Umgebungen zu Fuß zu erkunden ist die realistischste und natürlichste Schnittstelle. Zeitgleich ist dies auch technisch und logistisch am anspruchsvollsten.

Allgemein wurden in bisherigen Arbeiten sich auf die Fortbewegung in übereinstimmenden oder leeren Umgebungen konzentriert. Weniger wurde darauf geachtet, wie sich eine Änderung der Nichtübereinstimmung zwischen der physischen Umgebung und ihrer virtuellen Darstellung auf die Benutzer auswirkt.

**Schlagwörter**: Wissenschaftliche Arbeit, Dokumentvorlage, Hochschule

## Inhaltsverzeichnis

[I. Danksagung 2](#_Toc69823349)

[II. Abstract 3](#_Toc69823350)

[1 Inhaltsverzeichnis 4](#_Toc69823351)

[2 Einleitung 6](#_Toc69823352)

[2.1 Unterpunkt 1 6](#_Toc69823353)

[3 Stand der Technik 7](#_Toc69823354)

[3.1 Konditionierung 7](#_Toc69823355)

[3.1.1 Klassische Konditionierung 8](#_Toc69823356)

[3.1.2 Operante Konditionierung 8](#_Toc69823357)

[3.1.3 Kontextkonditionierung 8](#_Toc69823358)

[3.1.4 Konditionierung in Virtual Reality 9](#_Toc69823359)

[3.1.5 Studienlage 12](#_Toc69823360)

[3.2 Virtual Reality 16](#_Toc69823361)

[3.2.1 Natural Walking 17](#_Toc69823362)

[3.2.2 Redirected Walking 18](#_Toc69823363)

[*3.2.2.1* Subtile kontinuierlicheRepositionierung 19](#_Toc69823364)

[3.2.2.2 Subtilediskrete Repositionierung 20](#_Toc69823365)

[3.2.2.3 Offene kontinuierliche Repositionierung 20](#_Toc69823366)

[3.2.2.4 Offene diskrete Repositionierung 20](#_Toc69823367)

[3.2.2.5 Offene kontinuierliche Neuausrichtung 20](#_Toc69823368)

[3.2.2.6 Subtile kontinuierliche Neuausrichtung 21](#_Toc69823369)

[3.2.2.7 Offene diskrete Neuausrichtung 22](#_Toc69823370)

[3.2.2.8 Subtile diskrete Neuausrichtung 22](#_Toc69823371)

[3.2.3 Walking-In-Place 23](#_Toc69823372)

[3.2.3.1 Physikalische Schnittstellen 24](#_Toc69823373)

[3.2.3.2 Motion Tracking 24](#_Toc69823374)

[3.2.4 Abstahierte Schnittstellen des Gehens 26](#_Toc69823375)

[3.2.4.1 Joystick 26](#_Toc69823376)

[3.2.4.2 Teleport 26](#_Toc69823377)

[3.2.4.3 Point & Teleport 28](#_Toc69823378)

[3.2.4.4 Arm basierte Bewegungserfassung 29](#_Toc69823379)

[3.2.4.5 Neigungsbasierte Fortbewegung 30](#_Toc69823380)

[3.2.5 Laufbänder 32](#_Toc69823381)

[3.2.5.1 Omnidirektionale Laufband 33](#_Toc69823382)

[3.2.6 Bewegungsverhalten 35](#_Toc69823383)

[4 Problemstellung, Zielsetzung und Vorgehensweise 37](#_Toc69823384)

[4.1 Problemstellung 37](#_Toc69823385)

[4.2 Zielsetzung 37](#_Toc69823386)

[4.3 Vorgehensweise 37](#_Toc69823387)

[4.4 Technologien 37](#_Toc69823388)

[4.4.1 Unity 3D 37](#_Toc69823389)

[4.4.2 Oculus Quest 38](#_Toc69823390)

[4.4.3 Visual Studio 38](#_Toc69823391)

[4.4.4 Programmiersprache C# 39](#_Toc69823392)

[4.4.5 Git Versionskontrolle 39](#_Toc69823393)

[5 Umsetzung 40](#_Toc69823394)

[5.1 Einbinden der Oculus Quest in Unity 3D 40](#_Toc69823395)

[5.2 Entwicklung des Malus 41](#_Toc69823396)

[5.3 Entwicklung der Szenarien 41](#_Toc69823397)

[5.4 Datenerfassung 43](#_Toc69823398)

[5.5 Evaluation 47](#_Toc69823399)

[6 Zusammenfassung, Bewertung und Ausblick 48](#_Toc69823400)

[7 Anhang 49](#_Toc69823401)

[7.1 Abkürzungsverzeichnis 49](#_Toc69823402)

[7.2 Abbildungsverzeichnis 50](#_Toc69823403)

[7.3 Literaturverzeichnis 51](#_Toc69823404)

[7.4 Eidesstattliche Erklärung 55](#_Toc69823405)

## Einleitung

### Unterpunkt 1

Die Erkundung virtueller Umgebungen (VE) durch Gehen ist die realistischste und natürlichste

Schnittstelle für VR-Systeme (Virtual Reality), in denen Benutzer anthropomorphe Charaktere

verkörpern [1]. Es ist auch die technisch anspruchsvollste Schnittstelle aufgrund von

Hardwareproblemen (Tracking-Systeme, zu tragende Instrumente) und Umweltproblemen

(Ungleichheit zwischen den Ausmaßen des VE und dem verfügbaren physischen Raum,

Vorhandensein von physikalischen Elementen, die in der Simulation nicht vorhanden sind).

Obwohl verschiedene Lösungen für diese Probleme vorgestellt wurden, sind diese

nicht immer an häusliche Umgebungen wie Wohnungen, Büros und andere Orte anpassbar, die

nicht explizit als VR-Labor konzipiert sind. [2]

Wir sind der Meinung, dass die inländische VR ein grundlegendes Sprungbrett für ihre breite Akzeptanz darstellt. Diese Umgebungen bieten jedoch unterschiedliche andere Herausforderungen im Vergleich zu VR-Labors: in Häusern, Möbeln schränkt den navigierbaren Raum ein. Stattdessen sind VR-Labore normalerweise groß und leere Räume. Das Einbeziehen von Objekten aus der unmittelbaren physischen Umgebung des Benutzers in die Simulation durch Ersetzen durch nicht übereinstimmende virtuelle Gegenstücke bietet das Potenzial, ein überzeugendes VR-Erlebnis zu bieten. Wenn sich frühere Arbeiten jedoch auf die Bewegung in übereinstimmenden Umgebungen [3] oder leeren Umgebungen konzentrierten [4], wurde weniger darauf geachtet, ob sich eine Änderung der Nichtübereinstimmung zwischen der physischen Umgebung und ihrer virtuellen Darstellung auf das Bewegungsverhalten der Benutzer auswirkt. Wenn ja, gibt es bestimmte Änderungen, die wirksamer sind als andere?

## Stand der Technik

### Konditionierung

Mowrer 1953, Mineka und Zinbarg 2006). Basierend auf der klassischen Konditionierung (Pavlov 1927) wird ein zuvor neutraler Reiz mit einem aversiven unkonditionierten Reiz (UCS, z. B. schmerzhafter Reiz) assoziiert, der neutrale Reiz erhält die emotionalen Eigenschaften des UCS und wird so zu einem konditionierten Reiz (CS), der Angst auslöst. Zusätzlich zur klassischen Konditionierung schlug die Zwei-Faktoren-Theorie von Mowrer (1947) vor, dass operantes Konditionieren für die Aufrechterhaltung von Angst wesentlich ist, da Vermeidungsverhalten die Löschung der Angstkonditionierung verhindert. Diese frühen Konditionierungsmodelle wurden im Laufe der Jahre modifiziert und erweitert. Evolutionär vorbereitete aversive Assoziationen erklären die hohe Prävalenz einiger spezifischer Phobien (z.B. Spinnenphobie) (O¨ hman et al. 2001) und eine verstärkte Konditionierbarkeit (Orr et al. 2000) könnte einen Grund andeuten, warum bestimmte Menschen anfälliger für Angststörungen sind als andere. Eine Metaanalyse von Lissek et al. (2005) bestätigte, dass Patienten mit Angststörungen durch eine verstärkte Furchtkonditionierung charakterisiert sind, die sich in der Geschwindigkeit des Erwerbs und der Stärke der konditionierten Reaktionen widerspiegelt. Darüber hinaus haben Tiermodelle der Furchtkonditionierung unser Verständnis der neuronalen Prozesse, die Furcht und Angst zugrunde liegen, stark erweitert (siehe z.B. Davis et al. 1997). Die klassische Konditionierung stellt ein gutes Modell für die Entwicklung von Angststörungen dar, die durch Furcht, ausgelöst durch spezifische Reize, gekennzeichnet sind (d.h. Phobien), aber sie erklärt nicht länger anhaltende Angstreaktionen (z.B. bei der posttraumatischen Belastungsstörung, siehe Grillon et al. 1998). Tiermodelle legen nahe, dass diese Zustände durch eine Kontextkonditionierung anstelle einer konditionierten Furchtkonditionierung verursacht werden, so dass der Organismus im konditionierten Kontext mit anhaltender Angst reagiert (Davis 1998).

(Die Pawlowsche Konditionierung ist ein wertvolles Labor Modell, um den Erwerb, die Ausprägung, die Generalisierung und die Hemmung von bedrohungsbezogenem Verhalten bei verschiedenen Spezies zu untersuchen4-6. Zwei pawlowsche Konditionierungsparadigmen haben als Arbeitsgrundlage gedient, um die Mechanismen zu verstehen, die der erlernten Bedrohung und der Rolle der kontextuellen Prozesse zugrunde liegen: die operante Konditionierung und die Kontextkonditionierung [5].)

#### Klassische Konditionierung

Bei der aversiven Pawlowschen Konditionierung lernt eine Versuchsperson, dass ein neutraler Stimulus in der Umgebung, den konditionierten Stimulus CS (z.B. ein Ton oder ein Bild) das Auftreten eines aversiven Ereignisses, den unkonditionierter Stimulus US (z.B. ein elektrischer Schock) vorhersagt. Sobald die Versuchsperson die CS-US-Assoziation erlernt hat, löst die Präsentation des CS allein bedrohungsbezogene Abwehrreaktionen aus, wie z. B. Erstarren und erhöhte sympathische Erregung. Die Methode der operanten Konditionierung ist leicht von Versuchstieren auf den Menschen übertragbar, wo einfache sensorische Reize wie Töne und Lichter oder komplexere Reize wie Gesichter und Objektkategorien als CSs dienen können. Die pawlowsche Bedrohungskonditionierung dient nach wie vor als wertvolles und nachvollziehbares Modell für Psychopathologien, die durch akute oder phasische Bedrohungsreaktionen gekennzeichnet sind, die durch diskrete Reize ausgelöst werden, wie z.B. Zwangsstörungen, Phobien und Symptomcluster der PTBS, die Abwehrreaktionen auf Trauma-Erinnerungen beinhalten [5].

#### Operante Konditionierung

#### Kontextkonditionierung

Kontextbezogene Informationen spielen eine wichtige Rolle bei der Entwicklung, Aufrechterhaltung und Behandlung von Angst- und stressbedingten Störungen1-3. Vieles von dem, was wir über die Rolle des Kontexts beim emotionalen Lernen und Erinnern wissen, beruht auf der Pawlowschen Konditionierungsforschung, vor allem bei Nagetieren.

Bei der pawlowschen Kontextkonditionierung wird der US ausgelöst, während sich die Versuchsperson in einer bestimmten Umgebung befindet, aber nicht durch einen diskreten CS signalisiert wird. Der Begriff "Kontext" kann in der Forschung zum assoziativen Lernen sehr weit gefasst werden und von den sensorischen Details der Umgebung (Sehen, Gerüche, Geräusche usw.) bis hin zu Zeitwahrnehmungen reicht. Die Kontextkonditionierung bietet ein geeigneteres Modell für Psychopathologien, die durch anhaltende oder "freischwebende" Angst gekennzeichnet sind, wenn es keinen eindeutigen bedrohungsauslösenden Stimulus in der Umgebung gibt8, wie z.B. bei der Generalisierten Angststörung oder der posttraumatischen Belastungsstörung, die hyperarousal in Abwesenheit von bedrohungsauslösenden Hinweisen beinhalten.

Diese Kontextkonditionierung tritt insbesondere dann auf, wenn ein eindeutiger Hinweis zur Vorhersage der UCS fehlt. Der Kontext interagiert auch mit der operanten Konditionierung. Zum Beispiel könnte ein CS, der den US in einem Kontext vorhersagt, dann ohne den US in einem anderen Kontext präsentiert werden. Das Testen des CS im ersten (d.h. Akquisitions-), zweiten (d.h. Extinktionskontext) oder einem neuen Kontext kann zeigen, welche CS-Assoziation die Testperson abruft. Die Forschung der neurologischen Verhaltensweisen hat gezeigt, wie der Kontext die Ausprägung von assoziativen CS-US-Erinnerungen beeinflusst. Die vom Hinweis ausgelöste Reaktionen kann bei einem späteren Test im Extinktionskontext reduziert werden oder im Akquisitions- oder neuen Kontext wieder auftauchen.

Trotz der zunehmenden Anzahl von Studien zu kontextuellen Prozessen bei Versuchstieren gibt es bis heute nur wenige systematische Untersuchungen zur Kontextkonditionierung beim Menschen. Dies ist größtenteils auf die Herausforderung zurückzuführen, einen räumlich-zeitlichen Kontext zu schaffen, der mit einem US gekoppelt werden kann. Bei Versuchstieren wird der Kontext manipuliert, indem der physische Ort des Tieres (z. B. eine andere Konditionierungsbox) oder der Raum (z. B. Veränderung der Wandfarben, der Bodenbeschaffenheit und/oder des Geruchs) verändert wird. Das offensichtlichste Analogon zur Konditionierungskammer für menschliche Probanden ist der Laborversuchsraum. Obwohl der Raum der vorherrschende Kontext ist, ist er oft nicht das Ziel der Kontextkonditionierung. Anders als in der Labor Tierforschung beabsichtigt der Experimentator in Studien zur Konditionierung von Menschen im Allgemeinen nicht, dass die Versuchsperson eine Assoziation zwischen der physischen Umgebung des Testraums (bestehend aus bestimmter Beleuchtung, Möbeln, Computern, Forschungsgeräten usw.) und der USA herstellt [5].

#### Konditionierung in Virtual Reality

Die immersive Virtual Reality Technologie hat sich in den letzten Jahren deutlich verbessert und bietet eine relativ unkomplizierte Methodik, um die Rolle des Kontexts auf Lernen, Gedächtnis und Emotionen zu untersuchen, ohne die experimentelle Kontrolle zu verlieren.

Die Technologie der virtuellen Realität kann genutzt werden, um kontextuelle Stimuli zu optimieren und die Chance zu erhöhen, dass die Konditionierung kontextuelle Lernsysteme im Gehirn aktiviert. In erster Linie kann VR ein starkes Gefühl der "Präsenz" hervorrufen, bei dem Menschen denken, sich verhalten, fühlen und das Gefühl haben, sich im virtuellen Raum und nicht in der realen Welt zu befinden. Ein entscheidendes Merkmal von VR ist das Head-Mounted -Display, das dazu beiträgt, den sensorischen Input von der äußeren Umgebung zu reduzieren und zusätzlich ermöglicht, dass Kopfbewegungen in visuelle Rotationen übersetzt werden, wodurch eine Bewegungsparallaxe für den Teilnehmer entsteht, wodurch das Gefühl verstärkt wird, in eine virtuelle Umgebung vertieft zu sein und vom gegenwärtigen physischen Ort entfernt zu sein - dies wird als "Immersion" bezeichnet. Bis heute haben nur eine Handvoll Studien zur Kontextkonditionierung VR-Headsets eingesetzt. VR war bisher nicht weit verbreitet, da frühe Systeme kostspielig waren und in einigen Fällen viel Platz benötigten. Mit der kommerziellen Freigabe von VR-Headsets ist die Möglichkeit, die Forschung zur Konditionierung zu erweitern, nun in Reichweite von fast jedem Forschungslabor, das bereits menschliche Konditionierung mit psychophysiologischer Ausrüstung untersucht. Zugängliche und validierte Protokolle für kommerziell erhältliche VR-Systeme werden sich zunehmend als nützlich für die Untersuchung von Kontextkonditionierung beim Menschen erweisen [5].

Glotzbach et al [6] verwendeten ein Paradigma zur kontextuellen Angstkonditionierung in der virtuellen Realität, um den Zusammenhang zwischen expliziten Konditionierungseffekten und nachfolgendem Vermeidungsverhalten zu untersuchen. Leichte Elektroschocks wurden in einem Kontext (Angstkontext) verabreicht, jedoch nie in einem zweiten Kontext (Sicherheitskontext). Das anschließende Vermeidungsverhalten wurde bewertet, indem die Teilnehmer gebeten wurden, zwei von drei Kontexten (ein neutraler Kontext wurde hinzugefügt) zu wählen, die sie erneut besuchen wollten. Die Teilnehmer vermieden den Angstkontext, zogen aber den Sicherheitskontext nicht dem neutralen Kontext vor. Die Konditionierungseffekten spiegelten sich in erhöhten Valenz-, Erregungs- und Angstbewertungen wider. In dieser Studie konnte ein Zusammenhang zwischen Kontextkonditionierungseffekten und späterem Vermeidungsverhalten nachweisen und replizieren frühere Studien, die zeigen, dass ein Kontext, der mit einer unvorhersehbaren Bedrohung verbunden ist, am häufigsten vermieden wird (Grillon, 2002b; Grillon et al., 2006).

Kroes et al [5] führten eine Studie durch mit dem Ziel, ein zuverlässiges, neuartiges Kontextkonditionierungsparadigma unter Verwendung eines kommerziell erhältlichen iVR-Headsets und einer freien, plattformübergreifenden Spiele-Engine zu entwickeln.

Die Umgebung bestand aus einem virtuellen Wohnzimmer und einer Küche/Esszimmer, die über einen Flur verbunden waren. Vor der Kontextkonditionierung wurde es den Probanden erlaubt, die Räume mit einem Game-Controller frei zu erkunden. Dies ermöglichte es den Probanden, vor der Konditionierung eine Repräsentation der Umgebung zu kodieren, was, wie die Tierforschung zeigt, für den Erwerb der Bedrohung durch den Kontext entscheidend ist [siehe Ref. 49]. Während der Kontextkonditionierungsaufgabe wurden die Teilnehmer passiv auf einem kontinuierlichen, vordefinierten Pfad durch die beiden Räume geführt. Die Probanden konnten den Kopf frei bewegen und das Blickfeld drehen, wurden aber gebeten, weitgehend still zu stehen, um Bewegungsartefakte auf die physiologischen Geräte zu reduzieren. Der Weg begann im Flur, führte dann durch einen Raum, zurück in den Flur, in einen Raum, zurück in den Flur, usw. Es wurden einzigartige Pfade geschaffen, so dass die Versuchspersonen im Laufe des Experiments subtil unterschiedliche Fahrten durch die Räume erlebten. Bei mehreren Fahrten durch den Flur drehte sich der Weg um 180 Grad und die Versuchspersonen kehrten in den Raum zurück, den sie gerade verlassen hatten. Der Zweck dieser "Rückfahrten" war es, die Teilnehmer daran zu hindern, den nächsten Raum mit völliger Sicherheit vorherzusagen. Eine solche Pseudo-Randomisierung von CS-Versuchen ist Routine in der Forschung zur differentiellen Konditionierung. Schocks wurden nur in einem Raum (CTX+) verabreicht, nicht aber im anderen Raum (CTX-) oder auf dem Flur. Der Elektroschock war ein kurzer, vorher kalibrierter Impuls, der über vorgeklebte Einwegelektroden, welche an das rechte Handgelenk abgegeben wurde. Die Ergebnisse zeigten, dass das Kontextkonditionierungsprotokoll gut vertragen wurde und zu einem zuverlässigen Erwerb von subjektiver Bedrohung (Erregungs- und Valenzmaße), bedrohungsbedingten Abwehrreaktionen sowie einem expliziten Bedrohungsgedächtnis (Wissen darüber, wo und wie viele Schocks ungefähr gegeben wurden) führte. Diese Ergebnisse zeigen, dass VR ein effektives und zugängliches Werkzeug zur Untersuchung von kontextuellen Prozessen beim Menschen ist [siehe Ref. 56]. Die Entwicklung von leicht zugänglichen VR-Protokollen zur Kontextkonditionierung ist ein entscheidender Schritt zur Überbrückung einer seit langem bestehenden translationalen Lücke zwischen Nagetier- und Humanforschung zur Rolle kontextueller Prozesse. Bei Nagetieren bieten Kontextkonditionierungsprotokolle eine Fülle von Einblicken in kontextuelle Prozesse bei erlernter Bedrohung. Die Verwendung von VR ermöglicht es Forschern nun, menschliche Teilnehmer in verschiedene Umgebungen zu versetzen und dabei die experimentelle Kontrolle beizubehalten, ähnlich wie bei der Kontextkonditionierungsforschung mit Nagetieren.

Huff et al [7] testeten die Kontextspezifität der Konditionierung von konditionierter Angst mit Hilfe von Virtual Reality. Während des Akquisitionstrainings navigierten gesunde Teilnehmer durch virtuelle Umgebungen mit dynamischen Schlangen- und Spinnenkonditionierungsreizen (CSs), von denen einer mit elektrischer Handgelenksstimulation gepaart war. Während eines 24-stündigen verzögerten Testes kehrte eine Gruppe in denselben Kontext wie beim Akquisitionstraining zurück, während eine andere Gruppe die CSs in einem neuen Kontext erlebte. Die Bewertungen der unkonditionierten Stimulus Erwartung wurden während des Furchterwerbs als Index des Kontingenzbewusstseins ermittelt. Hautleitfähigkeitsreaktionen waren das abhängige Maß der konditionierten Furcht und waren ein Index der Kontextfurcht. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Teilnehmer zu Beginn des Akquisitions-Trainings sowohl Kontingenz-Bewusstsein als auch differentielle kontextuelle Furcht ausdrücken, wohingegen differentielle operante Furcht erst später in der Akquisition auftrat. Während des Retentionstests war die Beibehaltung der ausgelösten Angst in der Gruppe, die zum gleichen Kontext wie beim Akquisitionstraining zurückkehrte, im Vergleich zur Kontextwechselgruppe verbessert. Die Ergebnisse unterstützen die Verwendung von VR als neuartiges Werkzeug in der kognitiven Neurowissenschaft.

#### Studienlage

Dies steht insbesondere im Einklang mit Mowrer (1953), der feststellte, dass die durch klassische Konditionierung erworbene Erfahrung von Angst Vermeidungsverhalten hervorruft, und Lau et al. (2008), die zeigten, dass hohe Furchtbewertungen von CS\_ kontextuelles Vermeidungsverhalten vorhersagten.

In einem nächsten Schritt könnte man zusätzlich einen vorhersagbaren Kontext einbeziehen, bei dem der US mit einem diskreten Cue gepaart ist. Es konnte gezeigt werden, dass ein Kontext, in dem ein unvorhersehbarer US auftrat, größere explizite Angst und Vermeidungsverhalten induzierte als ein Kontext, in dem der US vorhersehbar war (Grillon et al., 2006). Es wäre interessant zu untersuchen, ob der Zusammenhang zwischen expliziten Bewertungen des Kontextes und der späteren Vermeidung für den unvorhersehbaren Kontext stärker ist als für den vorhersehbaren Kontext.

Darüber hinaus ist die Untersuchung von Vermeidungsreaktionen auf einen spezifischen Cue auch für die spezifische Phobie sehr relevant. Unseres Wissens nach gibt es keine Humanstudien, die das Vermeidungsverhalten gegenüber einem bedrohlichen Reiz im Vergleich zu einem bedrohlichen Kontext direkt vergleichen. In einer Tierstudie wurde ein verstärktes Vermeidungsverhalten sowohl gegenüber einem bedrohlichen Hinweis als auch gegenüber einem bedrohlichen Kontext berichtet, d.h. das Ausmaß des Vermeidungsverhaltens unterschied sich nicht zwischen den Bedingungen (Blanchard, Yang, Li, Gervacio, & Blanchard, 2001). Basierend auf diesem tierexperimentellen Befund und den klinischen Symptomen eines starken Vermeidungsverhaltens bei spezifischer Phobie würde man erwarten, dass die Cue-Konditionierung auch zur Vermeidung eines Angst-Cues führt und dass sich Cue- und Kontextkonditionierung nicht im Ausmaß des Vermeidungsverhaltens unterscheiden. Möglicherweise unterscheiden sie sich in der Vermeidungsdauer, da die kontextuelle Konditionierung als Modell für anhaltende und chronische Angst und die Cue-Bedingung als Modell für phasische und kurze Furchtreaktionen angesehen wird (Grillon, 2002a, 2008). Es werden jedoch weitere Studien benötigt, die die Vermeidung eines Cues versus eines Kontextes in Ausmaß und Dauer direkt vergleichen.

Darüber hinaus fanden wir einen Zusammenhang zwischen Harm Avoidance und Konditionierungseffekten in Erregungs- und Angstbewertungen. Schadensvermeidung wird als die Tendenz betrachtet, zu lernen, Bestrafungen, Nicht-Belohnungen und Neuartiges zu vermeiden. Darüber hinaus wird angenommen, dass Probanden mit hohen Werten bei der Schadensvermeidung leicht konditionierte Reaktionen auf aversive Stimuli erwerben und als ängstlich und besorgt charakterisiert werden (Cloninger, 1986). Zur Unterstützung dieser Idee fanden wir heraus, dass je höher die Teilnehmer bei der Schadensvermeidung punkteten, desto höher war ihre Differenz zwischen Angst- und Sicherheitskontext bei den Erregungs- und Angstbewertungen, d.h. sie zeigten größere kontextuelle Angstkonditionierungseffekte. Dieses Ergebnis repliziert auch frühere Befunde, die zeigen, dass Schadensvermeidung mit erhöhtem assoziativem Lernen unter Verwendung einer aversiven, aber nicht einer appetitiven US (Corr, Pickering, & Gray, 1995) und erhöhten Schreckreaktionen auf negative Bilder (Corr, Kumari, Wilson, Checkley, & Gray, 1997) verbunden ist. Leider fanden wir in den Fragebogendaten keine signifikanten Gruppenunterschiede (ängstliche vs. Sicherheitskontextvermeider), was möglicherweise auf eine kleine Stichprobengröße zurückzuführen ist. Weitere Studien könnten größere Stichprobengrößen beinhalten, um interindividuelle Unterschiede im Vermeidungsverhalten weiter aufzuklären. Die Tatsache, dass die Vermeidung des Angstkontextes in der aktiven Wahlstudie nicht so stark war wie in der passiven Wahlstudie, könnte auf die geringere Bedrohung durch den Schock zurückzuführen sein. In der passiven Aufgabe erwarteten die Teilnehmer den gleichen Weg oder das gleiche Verfahren wie in der Akquisitionsphase, was die Kontexteffekte verstärkt und die Teilnehmer an die Kontingenz zwischen Kontext und Schock erinnert haben könnte. Zusätzlich wurden die Teilnehmer in den Instruktionen für die passive Aufgabe daran erinnert, dass sie Elektroschocks erhalten könnten. Zusammengenommen könnten in Experiment 1 (passive Aufgabe) weniger prozedurale Änderungen von der Akquisitions- zur Verhaltenstestphase (d.h. der gleiche Weg durch den Kontext während der Akquisitions- und Verhaltenstestphase) und die Schockinstruktionen entscheidend gewesen sein, um die Erwartung, Elektroschocks im Angstkontext zu erhalten, zu erhöhen und Vermeidungsverhalten zu induzieren. Darüber hinaus gibt es Hinweise darauf, dass unterschiedliche neuronale Strukturen an verschiedenen Navigationsaufgaben beteiligt sind.

Yoshida und Ishii (2006) fanden heraus, dass eine aktive Zielsuchaufgabe eine stärkere Aktivierung des dorsolateralen präfrontalen Kortex, des anterioren cingulären Kortex und der Basalganglien erforderte, verglichen mit einer geführten visuomotorischen Aufgabe, bei der die Teilnehmer lediglich angewiesen wurden, einem vorgegebenen Pfad zu folgen. Die Beteiligung verschiedener neuronaler Strukturen kann also auch für die Unterschiede in den Verhaltensreaktionen verantwortlich sein. Die vorliegenden Studien sind die ersten, die einen neutralen Kontext als Kontrollbedingung einschließen, um hemmende Effekte des Sicherheitskontextes zu testen. Unsere Hypothesen bezüglich des Annäherungsverhaltens an den Sicherheitskontext waren weniger eindeutig. Einerseits stellten wir die Hypothese auf, dass die Teilnehmer den Sicherheitskontext im Vergleich zum neutralen Kontext bevorzugen würden, weil sie gelernt hatten, dass im Sicherheitskontext keine US auftreten würden. Andererseits nahmen wir an, dass die Teilnehmer zuerst den neutralen Kontext und dann den Sicherheitskontext wählen würden, weil der Sicherheitskontext mit der aversiven Furchtkonditionierung assoziiert wurde, während der neutrale Kontext während der Furchtkonditionierung nicht präsentiert wurde. In beiden Studien fanden wir heraus, dass die meisten Teilnehmer zuerst den neutralen Kontext und nicht den Sicherheitskontext wählten, was unsere letztere Annahme bestätigte. Wie oben erwähnt, könnte dies auf eine Generalisierung vom Angstkontext zum Sicherheitskontext zurückzuführen sein, die durch den aversiven Lernprozess in den Akquisitionsphasen verursacht wurde. Der Angst- und der Sicherheitskontext wurden beide einer Furchtkonditionierung unterzogen, der neutrale Kontext jedoch nicht. Daher könnte der Sicherheitskontext immer noch mit einem negativen Ergebnis assoziiert gewesen sein und negative Eigenschaften erworben haben, auch wenn die Teilnehmer explizit gelernt haben, dass in diesem Kontext nichts aversives passiert. Zusätzlich könnte der neutrale Kontext eine höhere Attraktivität erlangt haben, weil die Teilnehmer mit diesem Kontext während des Experiments weniger vertraut waren. Man könnte auch in Betracht ziehen, dass neue Kontexte in Videospielen oft mit Belohnung verbunden sind. Eine weitere Erklärung, warum wir keinen hemmenden Effekt des Sicherheitskontextes im Vergleich zum neutralen Kontext finden konnten, bezieht sich auf Studien zur Cue-Konditionierung, in denen höhere Schreckstärken als Reaktion auf einen CS\_ im Vergleich zum ITI beobachtet wurden, was bedeutet, dass der CS\_ möglicherweise als negativer verarbeitet wird als der ITI (Hamm et al., 1993; Weike, Schupp, & Hamm, 2008). Weike et al. (2008) interpretierten diesen Befund im Sinne einer schnellen Aktivierung des Furchtsystems sowohl durch den CS\_ als auch durch den CS\_. Die durch den CS\_ ausgelöste Furchtreaktion muss während des Lernprozesses gehemmt werden, aber dieser Hemmungsprozess ist möglicherweise nicht ausreichend, um zu einer reduzierten Reaktion auf den CS\_ im Vergleich zum ITI zu führen. Zusätzlich deuten die Verhaltensdaten, die ein starkes Annäherungsverhalten an den neutralen Kontext in beiden Experimenten zeigen, darauf hin, dass der neutrale Kontext sogar als positiver erlebt wurde als der Sicherheitskontext. Man könnte argumentieren, dass der neutrale Kontext nicht wirklich neutral war, weil die Teilnehmer ihn während der Präakquisitionsphase als sicher erlebten. Es könnte also vermutet werden, dass der neutrale Kontext als zusätzlicher Sicherheitskontext empfunden wurde. Leider haben wir die Bewertungen nach dem Verhaltenstest nicht ausgewertet, um zu klären, ob der neutrale Kontext gleich oder sogar als positiver als der Sicherheitskontext erlebt wurde.

Zukünftige Experimente könnten auch physiologische Variablen (z.B. Schreckreflex oder Hautleitwert) aufzeichnen, um den neutralen Kontext und den Sicherheitskontext zu vergleichen. Unsere beiden Studien zeigten, dass die explizite negative Bewertung eines Kontextes notwendig sein kann, um Vermeidungsverhalten dieses Kontextes zu induzieren. Es wurde gezeigt, dass evaluative Konditionierung nicht empfindlich auf Extinktion reagiert (Vansteenwegen, Crombez, Baeyens, & Eelen, 1998) und dass Angststörungspatienten sogar eine ausgeprägtere Resistenz gegenüber Extinktion zeigen als gesunde Kontrollpersonen (Michael, Blechert, Vriends, Margraf, & Wilhelm, 2007; Wessa & Flor, 2007). Daher können die chronische Antizipation aversiver Ereignisse und übertriebene und lang anhaltende negative Bewertungen von Kontexten exzessives Vermeidungsverhalten bei klinischer Angst antreiben. Der Pfad zwischen Kognitionen und Verhalten kann bei Angststörungen entscheidend und schwer zu verändern sein, was seinen möglichen Beitrag zur Entwicklung und Aufrechterhaltung von Angststörungen unterstreicht. Daher denken wir, dass es von besonderem Interesse wäre, unser Paradigma auf ein klinisches Setting zu übertragen. Unterschiede zwischen Panikstörungspatienten und gesunden Kontrollen in der Kontextkonditionierung und dem anschließenden Vermeidungsverhalten sind zu erwarten, obwohl es kontroverse Theorien über das Sicherheitsverhalten und die Sicherheitssignale bei Panikstörungspatienten gibt. Nach Rachman (1984) wird die Panikstörung von dem Wunsch getrieben, Sicherheit zu suchen und ängstliche Situationen zu vermeiden, was zu der Hypothese führt, dass Panikstörungspatienten zuerst den Sicherheitskontext wählen und den Angstkontext stark vermeiden würden. Im Gegensatz dazu haben mehrere Studien gezeigt, dass Patienten mit Panikstörungen Defizite bei der Verarbeitung von Sicherheitssignalen haben (z.B. Lissek et al., 2009), was darauf hindeutet, dass Patienten mit Panikstörungen möglicherweise nicht an einem überaktivierten Furchtnetzwerk leiden, sondern eher an einem veränderten inhibitorischen System, das durch eine Übergeneralisierung von Furcht über Stimuli hinweg angetrieben wird (Lissek et al., 2009, 2010). Da bei Patienten mit Panikstörung eine starke kontextuelle Angstkonditionierung vermutet wird, die sich im angstpotenzierten Startle widerspiegelt (Grillon et al., 2008), könnten sie auch eine stärker ausgeprägte evaluative Konditionierung zeigen, die zu einem stärkeren Vermeidungsverhalten führen könnte. Dennoch spielen neben assoziativen Lernprozessen auch attributive Prozesse eine wichtige Rolle bei der Entstehung und Aufrechterhaltung von Angststörungen (Beck, Emery, & Greenberg, 2005). Weitere Studien sollten auch Attributionen berücksichtigen und ihre Beiträge zur Entwicklung einer PTBS oder Panikstörung entschlüsseln [6].

### Virtual Reality

Die Technologie der Virtual Reality ermöglicht es den Benutzer, komplett in eine virtuelle Umgebung einzutauchen und mit dieser zu interagieren. Ein großer wichtiger Teil ist die Fortbewegung in der virtuellen Welt und ist einer der wichtigsten Komponente der Erkundung. In den letzten Jahren hat sich die Technologie der VR immer weiter verbessert und der Einzug des Gebrauchs in privaten Haushalten hat begonnen. Der Grund ist die kommerzielle Veröffentlichung von VR Hardware wie die Playstation VR, Oculus Go, Quest 1 und 2. Diese ermöglichen eine immersive virtuelle Erfahrung ohne die Notwendigkeit eines großen Labors oder eines aufwendigen Tracking Systems. Die Suche nach der besten und effizientesten Methode der Fortbewegung bzw. Lokomotion stellt sich dadurch jedoch neuen großen Herausforderungen und ist einer der wichtigsten Fragen, da sie direkten Einfluss auf Faktoren wie Spaß, Präsenz oder auch Probleme wie Bewegungskrankheit oder Ermüdung hat. Aus diesem Grund ist dieser Bereich in den letzten Jahren die Grundlagen vieler durchgeführten Studien [8].

Chernie et al [8] veröffentlichten ein selbst durchgeführtes Literatur Review über die verschiedenen Techniken von Lokomotion in Virtual Reality vor. Auf dieser Grundlage erstellen sie eine Taxonomie, um die vielen unterschiedlichen und aktuell verfügbaren Techniken der Fortbewegung Kategorisieren zu können. Die drei grundlegende Unterscheidung findet auf der obersten Ebene zwischen Methoden statt, ob der Fokus auf den Körper des Benutzers besteht, eine externe Peripherie genutzt wird, oder beides. Unter jeder dieser drei Kategorien gibt es zwei weitere Ebenen, die weitere Unterkategorien darstellen.



Abb. : Eine Taxonomie der Fortbewegungstechniken

In den nachfolgenden Unterkapiteln werden die unterschiedlichen Methoden der Fortbewegung in virtuellen Umgebungen und dessen Stand der Technik genauer beschrieben.

#### Natural Walking

Das sogenannte Natural Walking handelt es sich um die natürlichste Art der Fortbewegung in virtuellen Umgebungen. Hier bewegt sich der Nutzer physisch durch das Gehen fort, wobei ein Schritt in der realen Welt ein Schritt in der VR von gleicher Länge bedeutet. Grundvoraussetzung für die Umsetzung ist, dass der physische Raum mindestens genauso groß, wie der virtuelle Raum ist [2]. Es ist jedoch mit verschiedenen Techniken ebenso möglich, wenn der physische Raum kleiner als die virtuelle Umgebung ist. Auf diese Thematik wird im nachfolgenden Kapitel 3.2.2 Redirected Walking genauer eingegangen.

Laut Usoh et al ist das natürliche Gehen in virtuellen Umgebungen natürlich, leicht und unkompliziert. Dies kann den Gründen zu Schulden liegen, das diese Schnittstelle im Vergleich mit Walking-in-Place und Fliegen das größte Gefühl der Präsenz erzeugt und am wenigsten körperliches Unbehagen auslöst [9]. Ruddle et al führten eine Studie anhand einer Navigationsaufgabe zu, wo Ziele gesucht werden mussten. Diese hat gezeigt, dass natürliches Gehen im Vergleich zu nicht Körper basierter Fortbewegung durch die höhere und feinmotorischere Beweglichkeit der Personen zu weniger Kollisionen mit Hindernissen führt [10]. Ebenso zeigten Ruddle et al mit einer Navigationsaufgabe im Vergleich zur Fortbewegung mit einem Joystick, einem Laufband und echtem Gehen, das eine natürliche Schnittstelle des Gehens weniger Trainingszeit benötigt und die Aufgaben ohne Training schneller absolviert wurde, und dies unabhängig von der Schwierigkeit der virtuellen Umgebung [11].

Whitton et al benutzen drei Metriken um die Leistung von Bewegungsschnittstellen zu Bewerten. Diese wurden genutzt, um zu bewerten, wie die Bewegungspfade waren, die Qualität der Aufgabenleistung und die Zeit bis zu Kollisionen mit Hindernissen. Die Ergebnisse zeigten, dass die Bahnkurven bei der Schnittstelle des realen Gehens mit der Fortbewegung in der realen Welt überwiegend übereinstimmen [12].

All diese Studien stimmen als Ergebnis überein, das die Schnittstelle des Natural Walking die natürlichste Schnittstelle ist, die größte Präsenz beim Benutzer erzeugt und die Erreichung des Ziels bei zielsuchenden Aufgaben am schnellsten und einfachsten erreicht wird.

#### Redirected Walking

Wenn die virtuelle Umgebung erheblich größer ist als der physisch verfügbare Raum, stößt das natürliche Gehen schnell an seine Grenzen. Um das Problem lösen zu können, wurden in den letzten einige Techniken zum Lösen dieses Problems entwickelt und vorgeschlagen. Diese werden unter dem Begriff Redirected Walking kategorisieren. Die Route beim Fortbewegen des Benutzers in der virtuellen Umgebung wird manipuliert, ohne dass dieser dies im besten Falle bemerkt. Jedoch gibt es auch Techniken, die eine nicht subtile Lösung bieten. So hat er Benutzer die Möglichkeit, sich durch natürliches Gehen in großen virtuellen Umgebungen fortzubewegen, auch wenn der physische Raum erheblich kleiner ist [13] [2].

Suma et al. [14] stellten eine Taxonomie von Umleitungstechniken vor (siehe Abb. 1: Eine Taxonomie für Umleitungstechniken). Die Arbeit basiert und erweitert eine frühere Arbeit von Steinicke et al [15]. Sie ermöglicht diese vielfältigen Techniken anhand verschiedener Kriterien auszuwählen, die zum Szenario der virtuellen Umgebung passen, auf die sie angewendet werden soll. Die Kategorisierung basiert zum einen darauf, ob die Manipulation auf die Translation oder Rotation Einfluss hat. Weitere Unterteilungen finden statt, ob die Veränderung dabei diskret oder kontinuierlich ist und für den Benutzer subtil oder auffällig [2].



Abb. : Eine Taxonomie für Umleitungstechniken

##### Subtile kontinuierliche Repositionierung

Hier wird die Repositionierung subtil angewendet, sodass der Benutzer dies nicht wahrnehmen kann. Eine Studie von Williams et al. [16] untersuchten das Erkunden virtueller Umgebungen mit unterschiedlich skalierten Übersetzungen im Vergleich zum natürlichen Gehen in der realen Welt. Bewegt sich der Benutzer in eine bestimmte Richtung, wird eine Verstärkung der Translation angewendet. Die Gehbewegung wird somit skaliert und kann eine größere Entfernung, als es im rein physischen Raum möglich wäre, zurückgelegt werden. Die Ergebnisse zeigen, dass dies eine praktikable Technik ist, um die Erkundung großer virtueller Welten zu ermöglichen [14].

Steinicke et al. führten mehrere analysierten über die menschliche Sensibilität gegenüber diesen Manipulationen durch [17] [18]. Die Ergebnisse zeigen, dass diese Technik vom Benutzer unerkannt bleibt, solange die Skalierung klein genug ist. Genauer gesagt können gelaufene Distanzen können im physischen Raum um 14% herunter- und um 26% hochskaliert werden, ohne erkannt zu werden. Dies deckt sich mit Erkenntnissen von Interrante et al. [19] und Bruder et al. [20], dass bei Benutzer das Phänomen auftritt, dass Distanzen in einer virtuellen Umgebung, durch Faktoren wie die Auflösung und Latenz, unterschätzt werden und Entfernungen in einer virtuellen Umgebung als komprimiert wahrnehmen [21] [14].

##### Subtile diskrete Repositionierung

Bei der subtilen und diskreten Repositionierung findet die Veränderung der Position abrupt statt, um den visuellen Raum zu vergrößern. Jedoch müssen Techniken zum Einsatz kommen, dass die Verschiebung für den Benutzer unauffällig bleibt und nicht bemerkt wird.

Bruder et al. Haben in Experimenten in einer Studie herausgefunden, dass ein optischer Fluss bzw. Selbstbewegungsillusionen am Rande des Blickfelds des Benutzers verwendet werden können, um abrupte Verschiebungen der Translation zu nutzen, ohne das die Benutzer dies signifikant merken [20] [14].

##### Offene kontinuierliche Repositionierung

Hier findet eine kontinuierliche Verschiebung der virtuellen Umgebung um den Benutzer verschoben. Das diese Technik der Repositionierung für den Benutzer desorientierend wirken kann, können Objekte wie Aufzüge und Autos als Navigationshilfen genutzt werden [14].

##### Offene diskrete Repositionierung

Die diskrete Neupositionierung ist hier nicht unauffällig, der Benutzer nimmt sie also bewusst wahr. Die Umsetzung dieser Technik wird durch die abrupte Teleportation an eine neue Position umgesetzt. Für den Benutzer kann es jedoch desorientierend wirken, wenn er dies nicht erwartet. Aus diesem Grund werden Portale eingesetzt, die vor allem aus Science-Fiction und Fantasy bekannt sind. Dies sind Objekte wie ein Spiegel, ein Tor oder ein magischer Wirbel aus Energie, die zwei orte miteinander verbinden. Steinicke et al. [22] führten eine Studie durch, um in Erfahrung zu bringen welche Auswirkungen ein Portal hat, um den Benutzer einen schrittweisen Übergang in die virtuelle Umgebung zu ermöglichen. Die Benutzer bestätigten nach der Durchführung des Experiments, das ein höheres Gefühl der Präsenz wahrzunehmen war und die Fähigkeit Distanzen korrekt zu schätzen verbessert war [14].

##### Offene kontinuierliche Neuausrichtung

Sobald der Benutzer eine Grenze der physischen Umgebung erreicht hat, z.B. durch eine Wand, wird dieser zurückgesetzt. Dabei wird der optische Fluss so manipuliert, dass die Position in der virtuellen Umgebung gleichbleibt, sich der Benutzer aber vom physischen Hindernis entfernt. Williams et al. stellten die sogenannte „2:1-Turn“ Methode vor. Sobald der Benutzer eine Grenze des physischen Raums erreicht hat, wird dieser angewiesen sich zu drehen. Dabei erfolgt die Drehung physisch um 180 Grad, während die Orientierung nach dieser Drehung gleich ist. Bei dieser Technik wird die Stärkung der virtuellen Drehung verdoppelt, d.h. die Drehung um 180 Grad im physischen Raum bedeutet eine 360 Grad Drehung in der virtuellen Umgebung. Die Rotationsverstärkung ist für den Benutzer nicht erkennbar, jedoch die Aufforderung zur Drehung. [23] [14].

##### Subtile kontinuierliche Neuausrichtung

Bewegt sich der Benutzer durch die virtuelle Welt, wird diese kontinuierlich um diese gedreht. So kann der Benutzer auf seinem virtuellen Pfad bleiben, bewegt sich aber ständig auf die physisch auf die Wand oder das Hindernis mit der größten Entfernung. Ist die Rotationsverzerrung klein genug, merkt der Benutzer diese nicht und nimmt sie als Eigenbewegung wahr. Hier muss ein Kompromiss gefunden werden, denn je größer die Rotationsverzerrung ausfällt, desto kleiner muss der physisch vorhandene Raum sein und desto größer kann die virtuelle Umgebung ausfallen. Jedoch besteht dann auch eine höhere Gefahr, dass der Benutzer diese dann bemerkt. Steinicke et al. [21] untersuchten in einer Studie die Erkennbarkeit von Rotationsverstärkungen von Kopf und Körper. Die Ergebnisse zeigten, dass der Benutzer, der sich in einer virtuellen Umgebung bewegt, körperlich um 49% mehr und 20% weniger gedreht werden können, ohne dies zu bemerken. Der Nachteil ist jedoch, dass dies ebenso einen großen viel größeren physischen Raum im Vergleich zu anderen Techniken voraussetzt. Razzaque et al. [13] testeten die Anwendung der Rotationsverzerrung in einer Studie. In einer virtuellen Feuerwehrübung. In dieser mussten sie einen Raum durchqueren und dabei an mehrerer Wegpunkte vorbei. Die virtuelle Umgebung war dabei doppelt so groß als der physische Raum. Die Ergebnisse zeigen, dass der benötigte physische Raum verkleinert werden kann, wenn mit strategischen Wegpunkte gearbeitet wird. Dies stellt jedoch auch eine Einschränkung dar, da man diese Technik nur zu bestimmten Aufgabenstellungen eignet. Die nachfolgende Abbildung (siehe Abb. 3: Redirected Walking) zeigt, wie der Benutzer sich ein einer Zickzack Bewegung durch die virtuelle Umgebung fortbewegt, aber sich physischen Raum hin und her bewegt [14].



Abb. : Redirected Walking

##### Offene diskrete Neuausrichtung

Williams et al [23] stellten neben der offenen kontinuierlichen Neuausrichtung (siehe Kapitel 3.2.2.5) auch Technik zur offenen diskreten Neuausrichtung zum Zurücksetzen des Benutzers vor.

Bei der „Freeze-and-Turn“ Methode wird dem Benutzer sobald die Grenze des physischen Bereichs erreicht wird signalisiert, dass eine Drehung notwendig ist. Das gesamte Display und somit auch die Ausrichtung wird eingefroren und wieder fortgesetzt, sobald der Benutzer die 180 Grad Drehung weg vom physischen Hindernis vollendet wurde. Nun kann sich der Benutzer wieder frei in der virtuellen Umgebung bewegen. Da die Immersion und Präsenz durch die Unterbrechung erheblich gestört werden kann, ist diese Technik für die meisten Szenarien nicht geeignet und dient lediglich als Notfall Lösung [23] [14].

##### Subtile diskrete Neuausrichtung

Für eine subtile und diskrete Neuorientierung wurde die Technik "Change Blindness Redirection" von Suma et al [24] vorgeschlagen. Diese sagt, das Änderungen außerhalb des Gesichtsfeldes eines Benutzers nicht wahrgenommen werden kann. Die Grundlage dafür basiert auf die Veränderungsblindheit bei Menschen. Der erste Eindruck einer Umgebung wird von der veränderten Umgebung überschrieben, ohne dies zu merken. Für die Umsetzung der diskreten Neuorientierung werden die Position und Ausrichtung von architektonischen Merkamel, vor allem Türen, verändert. Dies geschieht, sobald der Benutzer in eine andere Richtung schaut. In nachfolgender Abbildung (siehe Abb. 4: Diskreter Szenenwechsel) wird ein Beispiel eines Szenenwechsels veranschaulicht. Sobald der Benutzer wegschaut, wird die Türe um 90 Grad gedreht. Somit verlässt der Benutzer den Raum in eine andere Richtig als beim Betreten des Raums. Es ist keine Unterbrechung für die Neuorientierung notwendig, was das Gefühl der Präsenz beibehalten kann. Die Ergebnisse der Studie zeigt, das nur einer der insgesamt 77 Testpersonen die Neuorientierung in der virtuellen Umgebung erkannt hat. Jedoch ist der Einsatz nur in Szenen geeignet und einsetzbar, sich dich in Innenräumen befinden und nicht für große und freie Umgebungen [14] [25].



Abb. : Diskreter Szenenwechsel

#### Walking-In-Place

Walking-in-Place ist eine Kategorie von einer Bewegungsschnittstelle, bei der das natürliche Gehen imitiert wird. Anstatt dem natürlichen Gehen, wie in Kapitel 3.2.1 und 3.2.2 erläutert wird, wird ein stationärer Gang an Ort und Stelle genutzt, ohne sich tatsächlich physisch fortzubewegen. Eine oft genutzte und traditionelle Geste für die Eingabe ist eine Schrittgeste, die das Treppen steigen ähnelt. Dies wird in der virtuellen Umgebung mit zusätzlicher Verschiebung der Blickrichtung in eine Gehbewegung umgesetzt, um diese erkunden zu können [2] [8] [26].

Allgemein können die Techniken zur Umsetzung von Walking-in-Place in zwei Kategorien unterteilt werden. Zum einen wird die Manipulation einer physischen Schnittstelle, wie z.B. das Wii Balance Board, für die Schritterkennung genutzt. Zum anderen gibt es Techniken, die eine Bewegungserfassung bzw. Motion Tracking zum Erfassen von Position oder Geschwindigkeit von Körperteilen verwendet [26].

##### Physikalische Schnittstellen

Die WIP-Techniken, die sich auf physikalische Schnittstellen stützen, verwenden fast ausnahmslos eine indirekte Abbildung zwischen der Schrittgeste und der Verschiebung des Blickpunkts. Viele von ihnen nutzen die Kräfte, die beim Kontakt eines Fußes mit dem Boden auftreten, um zu erkennen, dass ein Schritt gemacht wurde. [26]

Als Beispiel wurde die Möglichkeit der Fortbewegung auf einem Wii Balance Board umgesetzt, welches mit vier Drucksensoren ausgestattet ist. Der WIP-Wii-Algorithmus erkennt, wie schnell der Benutzer Gewicht auf die einzelnen Ecken des Boards ausübt, und verschiebt den Blickwinkel entsprechend. Der Orientierungssensor wird verwendet, um die Fahrtrichtung zu bestimmen. Für den privaten Verbraucher bietet das eine leicht verfügbare und kostengünstige Möglichkeit und eine durch die eigene körperliche Bewegung zu einer besseren räumlichen Wahrnehmung im Vergleich zur Fortbewegung mit dem Joystick. Die Verwendung einer Art von Orientierungssensor ist jedoch notwendig, um die Neigung, das Drehen und das Wanken des Benutzers zu aktualisieren [26] [27].

Der Wizdish (34) stellt ein Beispiel dar, bei dem eine direkte Abbildung zwischen virtueller Fortbewegung und Interaktion mit einer physischen Schnittstelle besteht. Streng genommen ist der Wizdish keine physische Schnittstelle, da er auf einem Motion-Capture-System zur Erkennung der Bewegung des Benutzers beruht. Die Interaktion ist jedoch davon abhängig, dass die Geste über den Wizdish selbst ausgeführt wird. Die Oberfläche des Wizdish ist konkav und fast kugelförmig. Benutzer, die ein Paar Schuhe mit geringer Reibung tragen, können Schritte machen, indem sie gleichzeitig einen Fuß nach vorne und den anderen nach hinten schieben, ohne den Kontakt mit der Oberfläche der Schale zu unterbrechen. Das Ausmaß der Gehbewegung basiert dann auf der Vorwärtsbewegung der Füße.

##### Motion Tracking

Slater et al (26) beschreiben eine der frühesten Implementierungen einer WIP-Technik, die ursprünglich als "Virtual Treadmill" (29) bezeichnet wurde. Diese Technik basiert nicht explizit auf der Verfolgung von Beinbewegungen. Stattdessen erkennt sie über ein neuronales Netzwerk, das Muster in der verfolgten Kopfbewegung erkennt, ob der Benutzer an Ort und Stelle geht.

Eine weitere Implementierung, die sich ebenfalls auf die Kopfbewegung stützt, ist die sogenannte Shake-Your-Head-Technik, die von Terziman et al. (35) vorgeschlagen wurde. Anstatt jedoch die Kopfbewegungen zu detektieren, die aus dem Gehen an Ort und Stelle resultieren, verlässt sich diese Technik auf explizitere Kopfgesten, wie z. B. die seitliche Kopfschwingung beim Gehen und die seitliche Kopfbewegung beim Springen. Eine interessante Implikation davon ist, dass die Technik auch von sitzenden Benutzern verwendet werden kann. [26]

Von Zielinski et al wurde Shadow Walking vorgestellt, einer Technik zur Fortbewegung mit Hilfe von Unterflurprojektion. Durch die Nutzung von Schattenverfolgungsfunktionen ermöglicht das Gehen an Ort und Stelle und Sidestep-Gesten für die virtuelle Fortbewegung. Im Gegensatz zu früheren Implementierungen müssen beim Shadow Walking keine Anbauteile getragen werden. Dadurch ist es kostengünstig und einfach zu implementieren und erfordert keine Benutzerkalibrierung. Allerdings ist es auf Unterflur-Projektionssysteme, wie z.B. eine sechseckige CAVE, beschränkt. [28]

Darüber hinaus auch neue Varianten dieser Methode entwickelt, welche unter zusätzlicher Verwendung verschiedener Gesteneingaben arbeiten. Bei dem sogenannten Tapping-In-Place heben die Benutzer abwechselnd jede Ferse vom Boden ab, während die Zehen in Kontakt mit dem Boden bleiben. Im Vergleich zu den anderen Methoden ist die Fortbewegung Tapping die natürlichste ist die wahrgenommene körperliche Anstrengung denen beim realen Gehen ähnlich erscheinen. [26]

Es wurde berichtet, dass WIP weniger realistisch ist als natürliches Gehen und zu Problemen im Zusammenhang mit Latenz und mangelnder Geschmeidigkeit während der Bewegung führt [6]. [2]

Viele Studien wurden durchgeführt, um diese Methode mit anderen Lokomotionsmethoden zu vergleichen (Bozgeyikli et al., 2016b, 2016a; McCullough et al., 2015). Die Ergebnisse der Studien, die diese Fortbewegungsmethode mit anderen Methoden wie Armschwingen, Point & Teleport, lehnungsbasierte Methoden, Joystick usw. verglichen, zeigten, dass Walking-in-Place die meisten dieser Techniken übertrifft.

Vorteile Walking-in-Place kann den Platzbedarf für die Bewegung durch die virtuelle Umgebung reduzieren. Ebenso entsteht während der Fortbewegung bei den Benutzern weniger Simulationskrankheit.

Nachteile Allerdings weist es auch Schwachstellen und Grenzen auf. Die erste Einschränkung bezieht sich auf die Tatsache, dass in vielen Fällen viele Sensoren am Körper des Benutzers angebracht werden müssen. Einige Studien versuchten, diese Probleme zu lösen, indem sie andere Parameter zur Erkennung des Gehens verwendeten, wie z. B. die Position und Ausrichtung des Head Mounted Displays [29].

Darüber hinaus ist die stehende Position nicht immer geeignet, um die virtuelle Umgebung zu erkunden. Die zweite Einschränkung ist, dass diese Technik möglicherweise nicht geeignet ist, um eine signifikant große virtuelle Umgebung zu erkunden, da dies erhebliche Zeit und körperliche Energie erfordern würde. So könnte Walking-in-Place zur Erkundung eines Ortes oder einer Stadt anstrengend sein. Der Schwachpunkt ist, dass der Immersionsgrad der Benutzer durch die Tatsache, dass die Benutzer das Gehen imitieren, ohne tatsächlich zu gehen, und durch die Schwierigkeit der erforderlichen Gesten reduziert wird. [8]

#### Abstahierte Schnittstellen des Gehens

„Virtuelles Fliegen“ ist eine weit verbreitete Technik, die vor allem von VR Spielen auf Spielekonsolen oder am PC, Verwendung findet. Ebenso ist die „Point & Teleport“ eine weit verbreitete Methode, wenn sich die Fortbewegung überwiegend auf das natürliche Gehen konzentriert, der physische Raum jedoch zu wenig Platz bietet [2]

##### Joystick

Es bestehen zwei Möglichkeiten, sich mit Hilfe eines Joysticks bzw. Controller in einer virtuellen Umgebung fortzubewegen. Oft wird der Joystick nur zur Steuerung der Translation verwendet, die die Rotation des HDM die Richtung vorgibt. Es kommt aber auch oft die Möglichkeit zum Einsatz, mit Hilfe des Joysticks die Translation und auch Rotation zu steuern. Dies ist vor allem im Bereich Gaming bekannt, um sich durch die großen komplexen Spielwelten zu bewegen.

Buttussi et al untersuchten die Auswirkungen von Joystick-, Teleport- und Leaning-Techniken für die Fortbewegung an Ort und Stelle. Die Ergebnisse zeigten, dass die Fortbewegung mit dem Joystick im Vergleich zum Teleportieren signifikant langsamer ist, weniger Benutzerfreundlich ist und bei den Benutzern mehr Übelkeit verursachen kann. Jedoch waren keine Unterschiede der Präsenz festzustellen [30].

##### Teleport

Teleportation ist eine der häufigsten, nicht natürlichen genutzten Techniken zur Fortbewegung, die vor allem im Gaming Bereich bekannt ist. Der Einsatz bietet sich vor allem dann an, wenn der physische Bereich deutlich kleiner ist als die virtuelle Umgebung. Durch den Einzug von VR in den privaten Haushalten, ist dies meist der Fall. Ebenso stieg die Popularität durch ein kostenloses Plugin von Steam für Unity 3D und der Unreal Engine, mit dem diese Fortbewegungstechnik einfach verwendet werden kann. Im Vergleich zu Point & Teleport (siehe Kapitel 3.2.4.3), wird die Fortbewegung in den meisten Fällen mit einem Joystick bzw. Controller gesteuert. Das gewünschte Ziel wird durch Zeigen mit dem Controller mit Hilfe eines sichtbaren Markers ausgewählt und bestätigt und so die Position in der Umgebung geändert. Dabei fehlt jegliche Art von Selbstbewegungshinweisen. Ziele können frei wählbar sein oder feste vordefinierte Teleportpunkte in der Umgebung, die zur Auswahl stehen [2] [8] [30] [31] [32].



Abb. : Teleport mit Hilfe des Controllers

Habgood et al. [33] verglichen in einer Studie Point & Teleport, kontinuierliches Gehen mit einem Controller und einer neuen Variante des Points & Teleport, bei der die Knotenpunkte zur Fortbewegung vordefiniert sind. Die Benutzer hatten die Aufgabe, durch ein virtuelles Haus zu navigieren. Die Ergebnisse zeigten, dass bei der Navigation mit dem Point & Teleport die Kollisionen verringert waren und weniger Bewegungskrankheit bei den Benutzern auftrat.

Buttussi et al. [30] führten einen Vergleich zwischen der Fortbewegung mit Hilfe eines Joysticks, Teleport und Leaning durch. Benutzer mussten in einer offenen virtuellen Umgebung in einer vorgegebenen Reihenfolge verschiedene Fässer, die verteilt aufgestellt wurden, erreichen. Dadurch kamen Sie zu dem Schluss, dass die Fortbewegung mit Point & Teleport schneller war, weniger Übelkeit bei den Benutzern auftrat und die Schnittstelle im Vergleich benutzerfreundlicher ist. Sie kann jedoch auch desorientierender wirken und somit Auswirkungen auf Präsenz und Immersion haben.

##### Point & Teleport

Im Vergleich zu der Teleport Methode (siehe 3.2.4.2), wo die Fortbewegung mit Hilfe eines Controllers funktioniert, kann bei der Point & Teleport Technik der Arm des Benutzers zur Steuerung der Bewegung genutzt. Der Arm wird verwendet, um auf den Ort zu zeigen, zu dem er sich bewegen mag. Hier können die Ziele wie bei der Teleportation mit dem Controller ebenso frei wählbar oder als Zielort fest vordefiniert sein. Das Ziel wird dann meist durch einen Tastendruck oder durch das längere Zeigen auf das Ziel ausgeführt und durch ein visuelles oder auditives Feedback bestätigt wird [8] [32]



Abb. : Point & Teleport Technik basierend auf die Armbewegungen [8]

Bozgeyikli et al. Verglichen die Techniken Point & Teleport, Walking-in-Place und die klassische Steuerung mit dem Joystick miteinander. Nach 2 Sekunden zeigen auf einen Zielort wird die Teleportation ausgelöst und gesenkte Arme des Benutzers macht die Technik inaktiv. Die Aufgabe der Benutzer war, 10 Ziele nacheinander abzulaufen, ohne Kollisionen mit Hindernissen zu verursachen. Die Auswertungen zeigten, dass Point & Teleport die beiden anderen Technik übertraf, da die Zielpunkte schneller erreicht werden konnten und weniger Kollisionen mit den Objekten verursacht wurden. Jedoch war die Fortbewegung mit dem Joystick einfacher zu verstehen, weniger anstrengend, erzeugte weniger Ermüdungserscheinungen und die Benutzer hatten eine bessere Kontrolle [8] [34]

##### Arm basierte Bewegungserfassung

Eine weitere Möglichkeit zur Fortbewegung besteht darin, die Arme in Form von Schwingen zu nutzen. Dadurch kann sich der Benutzer dann in die Richtung bewegen, in der er schaut. Für die technische Umsetzung ist die Verfolgung der Position und Rotation der Hand durch Tracking Techniken [8]. Wilson et al. [35] stellten einen Vergleich zwischen dem natürlichen, physischen Gehen, Walking-in-Place und der Arm Swinging auf. Das Tracking der Arme wurde mit Hilfe eines Myo Armbandes vorgenommen, welches mit einem Gyroskop, eines Beschleunigungssensors und einem Magnetometer ausgestattet ist. Die Probanden mussten als Aufgabe sich die Standorte verschiedener Objekte, welche sich auf Säulen befangen, merken. Die Objekte waren kreisförmig um den Probanden angeordnet und bekam die Aufgabe, sich in einer vorgegebenen Reihenfolge den Objekten zuzuwenden. Das Experiment zeigte, das die physische Fortbewegung die anderen beiden Methoden zur Fortbewegung in Bereich Drehfehler übertraf. Walking-in-Place war in diesem Bereich jedoch besser als die Arm Swinging Methode. Ebenso gab es Hinweise darauf, dass Arm Swinging möglicherweise mehr Training bei den Probanden erforderte.

##### Neigungsbasierte Fortbewegung

Bei der neigungsbasierten Fortbewegehen wird die Neigung des Körperschwerpunktes in eine Richtung, wobei der ganze Körper oder nur ein Teil davon genutzt wird, in Bewegung umgesetzt wird. Die Neigung wird dabei meist durch ein Tracking System oder Geräte wie dem Wii Balance Board oder dem speziell entwickelten NaviChair umgesetzt[36].

**Kopfbasierte Fortbewegung**

Zielasko et al. Führten eine Studie durch, um verschiedene Fortbewegungsmethoden zu entwickeln und evaluieren, die im Sitzen am Tisch nutzbar sind. Eine Methode davon war das sogenannte „Shake your Head“, welches das Tracken des Kopfes mit Hilfe des HDM nutzt. Um sich Vorwärts oder Rückwärts zu bewegen, musste der Benutzer mi dem Kopf nach oben oder unten schauen. Ebenso war eine virtuelle Drehung anhand der Nickachse möglich. Die Aufgabe der Studie war, den kürzesten Weg zwischen zwei Eckpunkten in einer virtuellen Umgebung zu finden. Die Ergebnisse zeigten, die Fortbewegung mit dem Joystick die Fortbewegung über den Kopf übertraf. Das zeigte sich über die längere Zeit, die zur Bewältigung der Aufgabe gebraucht wurde. Ebenso äußersten sich die Probanden über weniger Präzision und eine erhöhrte Fehleranfälligkeit [8] [36].

**Rumpfbasierte Bewegungserfassung**

Neben der kopfbasierten Fortbewegung kann die Bewegungserfassung auch rumpfbasiert stattfinden. Die Fortbewegung in der virtuellen Umgebung wird hierbei durch die physische Neigung des Rumpfes im Stehen oder Sitzen umgesetzt. Die Rotation geschieht durch die Drehung des Rumpfes. Harris et al verglichen in zwei Experimenten die rumbasierte Fortbewegung Wii-Lean auf dem Wii Balance Board mit der Navigation mit einem Joystick und Walking-in-Place. Die Ergebnisse zeigten, dass die räumliche Repräsentation im Vergleich zum Joystick mit der Leaning Methode genauer war. Ebenso war die Orientierung, die gebrauchte Zeit und die körperliche Anstrengung um Vergleich zu Walking-in-Place besser, jedoch auf Kosten von Drehfehler und Latenz [8] [37].



Abb. : Wii-Leaning Technik auf dem Wii Balance Board [37]

Neben den rumpfbasierten Techniken im Stehen, ist die Navigation ebenso im Sitzen möglich. Kitson et al. verglichen die Navigation mit Hilfe eines Joysticks mit den im Sitzen lehnungsbasierten Techniken wie dem NaviChair, NuvMan, Head-directed und Swivel Chair (siehe Abb. 9: Sitzende, lehnungsbasierte Lokomotionstechniken [38]). Die Aufgabe der Probanden war, verschiedene Objekte in einer virtuellen Stadt zu suchen. Die quantitativen und qualitativen Ergebnisse zeigen, das die Vorhersage der Literatur in den Vorteilen wie Illusion der Eigenbewegung, räumliche Wahrnehmung und Orientierung, Spaß sowie Immersion und Präsenz nicht bestätigt werden können. Die Fortbewegung mit dem Joystick zeigte eine höhere Genauigkeit, Kontrolle und Benutzerfreundlichkeit, was die Vorhersage bestätigt [38].



Abb. : Sitzende, lehnungsbasierte Lokomotionstechniken [38]

#### Laufbänder

Omnidirektionale Laufbänder unterstützen das Gehen in jede Richtung (35). Sie erweitern zwar den virtuell begehbaren Raum und simulieren das Gehen besser, aber ihre Größe würde eine radikale Umgestaltung der häuslichen Umgebung erfordern, in der sie zum Einsatz kommen sollen. Laufbänder simulieren auch kein unebenes Terrain oder Hindernisse. [2]

ODT enthält mehrere Konstruktionsschemata. Die Benutzer stehen auf einer reibungsarmen Oberfläche, wie z. B. der kugelgelagerten Oberfläche, und sind mit der Hüfte an die Maschine gebunden. Viele kommerzielle Produkte basieren auf diesem Prinzip, wie z. B. der Kat Walk, Virtuix Omni, Cyberith Virtualizer, etc. Für den Benutzer ist es leicht, die Reibung der Vorwärtsbewegung zu überwinden, für Richtungen wie rückwärts oder seitwärts ist es jedoch erschwert. Ein weiteres Problem ist, dass die Distanzmessung ungenau ist. Der Kat Walk 1 und der Virtuix Omni 2 basieren auf der Inertialmesseinheit (IMU), um omnidirektionale Fortbewegung zu realisieren. Dies ist eine übliche Methode in WiP-Systemen (9, 30, 34), um die Schritte zu zählen, aber nicht die Entfernung. StriderVR ist ein kommerzielles Produkt, bei dem sich eine Schicht aus Stahlkugeln dreht. Omnideck (5) verwendet eine Anzahl von Rollen, um eine Plattform zu konstruieren. Jede Rolle dreht sich in Richtung des Plattformzentrums und erzeugt so ein Geschwindigkeitsfeld, das sich nach innen zusammenzieht. Die Benutzer werden zum Zentrum geschickt, wenn sie auf der Plattform stehen. Der Nachteil ist, dass die verschiedenen Positionen während des Transfers nicht parallel zueinander sind. Und der zentrale Bereich ist eine tote Zone, die deutlich zu spüren ist, wenn sich der Benutzer in die Nähe des Zentrums bewegt. Dadurch wird die Immersion des Erlebnisses gestört. [39]

##### Omnidirektionale Laufband

Eine neue halbnatürliche Fortbewegungsmethode ist das omnidirektionale Laufband (Calandra et al., 2018; Warren & Bowman, 2017). Das omnidirektionale Laufband ist ein mechanisches Gerät, das es dem Benutzer ermöglicht, sich in jede Richtung fortzubewegen, was eine 360-Grad-Bewegung ermöglicht. In Kombination mit einem virtuellen Head Mounted Display wird dieses Gerät verwendet, um die Fußbewegungen des Benutzers zu erfassen und sein Verhalten in einer virtuellen Welt durch einen Avatar zu reproduzieren (Calandra et al., 2018). Einige Lokomotionstechniken verwenden spezielle Geräte, um die Lokomotion zu kontrollieren und die Benutzer an einem sicheren Ort zu halten. Zu diesem Zweck wurden omnidirektionale Laufbänder entworfen und entwickelt. Diese Laufbänder erkennen das Gehen in jede Richtung und halten den Benutzer in der Mitte. [8]

Es gibt mehrere Forschungen, die auf diesem Prinzip basieren, wie z. B. Torus [12], Cyberwalk (27, 29), F-ODT (20, 25) und Infinadeck (siehe Abb. 8: Omnidirektionales Laufband Infinadeck (links) und HCP (rechts))(22). [39]

In einer Studie verglichen Warren und Bowman (2017) das omnidirektionale Virtuix-Laufband mit einem klassischen Game-Controller bei einer Pfadfolgeaufgabe in einer virtuellen Umgebung. Sie fanden heraus, dass der Game Controller eine bessere Benutzererfahrung bietet als das Omni Virtuix. Das omnidirektionale Laufband ist natürlicher und spielerischer, aber es erfordert das Tragen eines unbequemen Gurtes und stellt eine Schwierigkeit beim Drehen während des Gehens dar, was zu einer Ermüdung nach nur einer kurzen Benutzungssitzung führt. Das erzielte Ergebnis unterstützt frühere Studien, die zeigen, dass Realismus in Virtual-Reality-Systemen nicht immer die beste Lösung ist. [8]

(In einer Studie haben Calandra und Kollegen (2018) eine vergleichende Studie zwischen zwei Methoden zur Fortbewegung durchgeführt: ein Fortbewegungslaufband, das omnidirektionale Bewegungen unterstützt, und Arm Swinging, dass die Bewegung aus dem Hin- und Herschwingen des Benutzers erkennt. Die Ergebnisse zeigten, dass die beiden Methoden in Bezug auf Usability-Faktoren wie Funktionalität, Benutzerinteraktion mit Objekten, Simulationstreue, Präsenz und Motion-Sickness-Symptome als weitgehend gleichwertig wahrgenommen wurden, jedoch mit einem leichten Vorteil für die Arm Swinging-Methode.)

Während omnidirektionale Laufbänder im Vergleich zu der Art und Weise, wie wir uns durch den physischen Raum bewegen, als am ähnlichsten angesehen werden, sind sie teuer und schwierig zu bedienen und zu warten. Außerdem ist eine solche Fortbewegungsmethode mit einem proportionalen Zeit- und Energieaufwand verbunden und kann in großen Umgebungen für den Benutzer kostspielig sein und muss im Versuchsprotokoll berücksichtigt werden (Calandra et al., 2018; Warren & Bowman, 2017). Nichtsdestotrotz wurden in den letzten zwei Jahren mehrere andere omnidirektionale Laufbänder auf den Markt gebracht, und es gibt im Moment keine Literatur, die ihre Leistung bewertet, und neue spezifische Studien dazu könnten diese Ergebnisse für eine aktuellere Überprüfung nuancieren. Aus diesen Gründen nutzen mehrere Studien im Bereich der Virtual-Reality-Navigationsschnittstellen immer noch die Vorteile der nicht-natürlichen Methoden, die auf externen Peripheriegeräten basieren, als Lösung für die Fortbewegung in der virtuellen Umgebung, auch wenn diese Methoden ein geringeres Niveau der Immersion bieten. [8]

Wang et al [39] schlugen ein neuartiges omnidirektionales Laufbandsystem mit dem Namen Hex-Core-Prototype vor (siehe Abb. 8: Omnidirektionales Laufband Infinadeck (links) und HCP (rechts)). Die Hauptbestandteile des HCP-Systems sind das Design des omnidirektionalen Geschwindigkeitsfeldes und das Positionierungssystem. Das Anwendungsergebnis zeigt, dass HCP ein effektives Schema zur Lösung des Fortbewegungsproblems in VR ist. Im Vergleich zu den aktuellen omnidirektionalen Laufbändern, die ein reales Lauferlebnis mit vollem Freiheitsgrad bieten könnten, hat HCP eine spiegelsymmetrische Struktur. Das System mit zwei identischen Motoren macht es für den Controller einfacher, das System zu steuern. Durch die Kettenstruktur ist das HCP viel kompakter. Bei einer festen aktiven Fläche ermöglicht eine geringere Höhe dem System ein kleineres Volumen. Dies ist sehr wichtig für den Einsatz im Haus. [39]



Abb. : Omnidirektionales Laufband Infinadeck (links) und HCP (rechts)

## Problemstellung, Zielsetzung und Vorgehensweise

### Problemstellung

Virtuelle Umgebungen zu Fuß zu erkunden ist die realistischste und natürlichste Schnittstelle. Zeitgleich ist dies auch technisch und logistisch am anspruchsvollsten.

Allgemein wurden in bisherigen Arbeiten sich auf die Fortbewegung in übereinstimmenden oder leeren Umgebungen konzentriert. Weniger wurde darauf geachtet, wie sich eine Änderung der Nichtübereinstimmung zwischen der physischen Umgebung und ihrer virtuellen Darstellung auf die Benutzer auswirkt

### Zielsetzung

* Konzipieren eines Szenarios, in dem das Bewegungsverhalten der Nutzer über festgelegte Reize in der VR beeinflussen zu können
* Evaluation, um die benötigten Daten zu sammeln und auszuwerten

### Vorgehensweise

* Szenario wird nach der Definition der Konditionierungsreize entwickelt
* Definition der Reize zur Konditionierung der Benutzer in VR (Malus)
* Schnittstelle zur Oculus Quest implementieren
* Auswahl der Erhebungsmethoden und nötigen Daten
* Evaluierung

### Technologien

Für die bestmögliche Umsetzung des Projekts werden verschiedene Technologien benutzt, die im Nachfolgenden erläutert werden.

#### Unity 3D

Unity 3D ist eine Laufzeit- und für Spiele und andere 3D und anderer interaktive 3D-Grafik-Anwendungen. Ebenso das meistgenutzte Tool im Bereich VR-Entwicklung. In Szenen werden die 3D Umgebungen erstellt. Diese besteht zum größten Teil aus Objekten, Materialien bzw. Texturen, Animationen, Audio und Lichtquellen. So entsteht eine virtuelle Welt. Der Android Support ist sehr umfangreich, was der Entwicklung mit der Oculus Quest zugutekommt. [40]

#### Oculus Quest

Bei der Oculus Quest handelt es sich um eine mobile VR Brille. Sie kann also genutzt werden, ohne zusätzlich einen leistungsstarken Computer oder Konsole zu benötigen. Ebenso werden keine externen Sensoren oder Kameras für das Tracking gebraucht.

Die Auflösung des Displays ist 1.600x1.440 Pixel pro Auge mit einer Wiederholrate von 72Hz. Das Tracking passiert über die Brille selbst. Auf dieser befinden sich an der Vorderseite 4 Kameras, die mit Weitwinkel arbeiten. Mit 6DoF, in Englisch Six Degrees of Freedom, ist die Nutzung aller sechs Freiheitsgrade möglich. Somit stehen viele Steuermöglichkeiten zur Verfügung und eine Bewegung im virtuellen Raum gegeben. Dafür elementar ist die Bedienung mit den zwei dazugehörigen Controllern (siehe Abb. 1: Oculus Quest mit Controller). [41]



Abb. : Oculus Quest mit Controller[[1]](#footnote-1)

#### Visual Studio

Visual Studio 2019 ist eine Entwicklungsumgebung mit vielen Tools und Dienste für Entwickler. Die eingesetzte Programmiersprache ist hierbei C#. Die Software eigenen Refactorings vereinfachen die Organisation des geschrieben Codes durch vorgeschlagene Aktionen. IntelliCode von Visual Studio gibt dem Entwickler Unterstützung mit dem Einsatz von künstlicher Intelligenz. Beinhaltend sind unter anderem die Bereitstellung von Codevervollständigung und die Suche nach Codeproblemen. Mit der integrierten Codebereinigung ist es möglich mit einem Klick Warnungen und Vorschläge zu ermitteln und zu beheben.

Mit Debugging kann präzise nach Laufzeitfehlern gesucht werden. [42]

#### Programmiersprache C#

C# ist eine objektorientierte und moderne Programmiersprache. Hier werden sogenannte Objekte zur Kapselung von Funktionalität und Daten genutzt. Dies wird erweitert durch die Möglichkeit der Vererbung und Polymorphie. [43] [44]

#### Git Versionskontrolle

Git ist eine kostenlose Open Source Software. Sie dient bei der Softwareentwicklung zur verteilten Versionskontrolle. Die Nutzung wird heutzutage in Unternehmen und von privaten Entwicklern genutzt. Durch die Plattformunabhängigkeit lässt sich Git in fast jeder Entwicklungsumgebung integrieren und nutzen. Die erste Version des Tools wurde im Jahre 2005 veröffentlicht.

Der Nutzen einer Versionskontroller besteht darin, Änderungen verteilt dem Softwareprojekt hinzufügen zu können. Diese werden zusätzlich protokolliert und sind somit nachvollziehbar. Es kann zu einem späteren Zeitpunkt auch auf frühere Versionen zugegriffen werden.

Die Verwaltung geschieht über dezentrale Git-Repositories, im Gegensatz zu anderer Software zur Versionskontrolle, welche mit einer zentralen Datenbank arbeiten. Jeder Entwickler, der an einem Projekt mit Git arbeitet, besitzt eine lokale Kopie des Repositories. Diese wird durch Programmieren weiterentwickelt und die Änderungen mit den anderen Entwicklern des Projekts geteilt.

Ein weiterer großer Bereich ist das Aufteilen und Zusammenführen von verschiedenen Entwicklungsständen. Hierbei kann man ein Softwareprojekt in Unterverzweigungen, den Branchen aufteilen. Dies wird vor allem genutzt, um parallel zum Hauptzweig an verschiedenen Features zu arbeiten. Zum Schluss werden die Branches wieder mit dem Hauptzweig zusammengeführt.

Es gibt viele Webanwendungen, welche Git nutzen und weitere Funktionen hinzufügen. Die Verwaltung von Softwareprojekten wird damit noch übersichtlicher, zugänglicher, transparenter und für andere Entwickler online verfügbar. Der Entwicklungsfortschritt kann grafisch und in Statistiken dargestellt werden. Auch ein eigenes Wiki über das Projekt kann für die Community erstellt und öffentlich zur Verfügung gestellt werden. Die Webseite GitHub ist ein Beispiel für solch eine Plattform [45].

## Umsetzung

### Einbinden der Oculus Quest in Unity 3D

Um selbst entwickelte grafische Anwendung bzw. Spiele in Unity 3D ausführen oder testen zu können, muss eine aktive Verbindung von der Oculus Quest zum Computer und der Entwicklungsumgebung hergestellt werden. (Unity Version erzänzen)

Um die Verbindung zum PC erfolgreich herstellen zu können, wird die Software Oculus Link benötigt. Diese wird vom Unternehmen selbst online angeboten. Erforderlich ist ebenso das Einrichten der Oculus Quest Brille mit einem Facebook Account.

In Unity 3D ist es nötig, den Oculus Support einzurichten. Dazu gibt es aktuell noch zwei Möglichkeiten, welche ihre Vor- und Nachteile bieten. Das veraltete XR-Plugin Tool ist schon standardmäßig integriert und bietet dazu die Möglichkeit, OpenVR zu nutzen. Dies wird benötigt, wenn weitere VR-Brillen in der Entwicklungsumgebung genutzt werden sollen. Ein Beispiel ist die HTCVive. Da die Umsetzung einzig mit der Oculus Quest durchgeführt wird, fiel die Entscheidung auf das neue XR-Management. Dies befindet sich in ständiger Weiterentwicklung, somit wird in naher Zukunft ebenso OpenVR unterstützt werden. Dies könnte bedeutsam sein, falls das Projekt weiterentwickelt werden soll.

Ebenso benötigt wird das Asset Oculus Integration, welches sich über den integrierten Asset Store finden und importieren lässt. Darin befinden sich einige Prefabs und Skripte, die benötigt werden, um grundlegende Interaktionen wie das Umschauen und das Gehen in der Virtuellen Welt ermöglichen. Dazu muss das Prefab OVRPlayerController vom Assets Order per Drag and Drop in die Hierarchie der Szene gezogen werden. Zusätzlich wird das Skript CharacterCameraContraint benötigt, welches noch hinzugefügt werden muss.

Ist die Oculus Quest erfolgreich mit Oculus Link verbunden, kann die VR-Brille direkt in der Unity Entwicklungsumgebung über den Play Mode ausgeführt werden. Dies wird vor allem in der Entwicklung benötigt. Für die spätere Evaluation läuft die Anwendung jedoch Standalone, da ohne Kabel und angeschlossenen Computer ein freieres Bewegen der Probanden möglich ist. Dazu werden in den Grafikeinstellungen einige Änderungen vorgenommen und die Plattform wird zu Android gewechselt. Ebenso muss der Account als Developer freigeschalten werden und die Oculus Quest im Entwicklermodus laufen.

### Entwicklung des Malus

Dieser Teil wurde zunächst separat zum Hauptprojekt entwickelt und nach der Fertigstellung integriert. Ziel ist es, einen visuellen und akustischen Malus auszulösen, sobald der Proband vom Weg abkommt. Visuell sichtbar sein soll ein rotes, pulsierendes Blinken im kompletten Sichtfeld. Ebenso soll neben dem visuellen Reiz ein akustisches Piepen ertönen. Die Frequenz beide Stimuli ist zeitgleich und wird bei steigender Dauer schneller.

Für die Umsetzung in Unity 3D wurde das UI Objekt Canvas implementiert. Dies ist dazu da um Inhalte wie z.B. Bilder, Buttons für ein Menü oder Text anzeigen zu lassen. Eine Besonderheit in der Entwicklung einer VR-Anwendung im Vergleich zu einer normalen 3D Umgebung ist, dass das Canvas mit dem Kamera Objekt des OVRPlayerController verknüpft werden muss. Sonst besteht das Problem der fehlenden Anzeige in der VR-Brille.

Unter dem Canvas wurde ein Image Objekt erstellt und die Größe angepasst. Die Farbe wurde Rot wurde als Hintergrundfarbe eingestellt und der Alpha-Wert zunächst auf 0, sodass beim Start der Anwendung die Farbe erstmal nicht sichtbar ist. Für das Erzeugen des Impulses wurde eine Animation erstellt. Diese nimmt den Alpha-Wert des Images und verändert diesen, um so ein Impuls zu erzeugen. Ebenso wurde eine AudioSource Komponente dem Image Objekt hinzugefügt, die dazu benutzt wird, um die Audiodatei einbinden zu können. Diese wurde zuvor per Drag and Drop in die Assets des Projekts gelegt und dient neben dem visuellen zusätzlich noch einen akustischen Reiz. Um das Audio zeitgleich mit dem visuellen Impuls abspielen zu lassen, wurde ein Event PlayAudioSource in der Animation erstellt. Dazu wurde zusätzlich ein Skript dem Image Objekt hinzugefügt, welches das Event implementiert, die AudioSource Komponente aufruft und das Audio abspielt.

Um die Animation ausführen zu können, wird ein Animator benötigt. Dieser bindet die Erstellen Animationen ein und ist später die Schnittstelle, um die Animationen per Skript ausrufen und starten zu können.

Nach erfolgreichem Testen wurde der Canvas als Prefab, der Animator mit den entsprechenden Animationen und der AudioSource in das Hauptprojekt integriert. Der Aufruf des Malus wurde zum späteren Zeitpunkt bei der Entwicklung der Szenarien implementiert.

### Entwicklung der Szenarien

Der zentralste Bestandteil des Projekts ist das Entwickeln der Szenarien. In diesen soll der Proband in der virtuellen Umgebung einen Weg vom Start bis zum Ziel durchlaufen. Die Schwierigkeit dabei ist das sich verschiedene Hindernisse auf dem Weg befinden. Diese Umgebung ist in allen drei Szenarien gleich.

Zu Beginn des Weges bilden ein Karton und eine Kiste eine Gasse, durch die der Proband durchlaufen muss. Nach diesem Hindernis steht ein Tisch halb im Weg hinein, an dem man vorbeikommen muss (siehe Abb. 2: Hindernisse Kisten und Tisch).



Abb. : Hindernisse Kisten und Tisch

Daraufhin bilden zwei hohe Zäune eine Gasse und ein liegender Pfosten, quer liegend über dem Weg, die Hindernisse (siehe Abb. 3: Hindernisse Zaun und Pfahl). Bei diesen Gegenständen besteht entweder die Möglichkeit diese zu Umgehen oder durch Hindurchlaufen bzw. drüber steigen zu bewältigen.



Abb. : Hindernisse Zaun und Pfahl

Zum Erkennen, ob sich der Proband auf dem Weg befindet, wurden Box Collider implementiert. Zusätzlich dazu wurde ein Player Skript erstellt und als Komponente an den OVRPlayerController Objekt gehängt. Die darin in C# implementierte Methoden erkennt, ob der Proband den Weg betritt oder verlässt. Befindet sich der Proband auf dem Weg und verlässt diesen, wird der akustische und visuelle Malus über den Zugriff auf den Animator aktiviert. Ebenso wird hier auf das DataRecorder Skript zugegriffen. Beim erstmaligen Betreten der Collider wird der Timer des Spiels gestartet. Sobald ein Malus aktiviert wird, wird darüber ebenso der Timer des Malus gestartet und beim wieder betreten des Weges gestoppt.

Ein weiterer Box Collider befindet sich am Ende des Weges. Sobald der Proband diesen betritt, wird die Zeit des Szenarios gestoppt und er bekommt mit einem grünen optischen Impuls und einem Audio signalisiert, dass das Ziel erreicht wurde.

Den Szenaren unterscheiden sich grundsätzlich im zu laufenden Weg. In einem dieser Szenarien stimmt der visuelle mit dem physischen Weg überein. Im visuellen Szenario unterscheidet sich der visuelle, richtige Weg vom physischen Weg. Das erste Szenario ich gleichzusetzen mit dem Physischen, unterscheidet sich jedoch im fehlenden negativen Malus.

Zum Start des Szenarios wurde ein Menü erstellt, über welches entweder ein explizites Szenario oder über den Menüpunkt Start das Spiel mit einer zufälligen Auswahl gestartet werden kann (siehe). Zur Interaktion mit dem Menü kann der linke oder rechte Controller genutzt werden und die Auswahl wird mit der Trigger Taste bestätigt. Für die Implementierung wurde ein Canvas verwendet. Unter diesem wurden die Menüpunkte als Buttons hinzugefügt. Die Funktionalität der Buttons wurde mit dem selbstentwickelten Skript MenuHandler implementiert, welches alle benötigten Methoden enthält um die verschiedenen Szenarien starten zu können. Die Zuweisung der richtigen Methode für jeden Button wurde im OnClick() Bereich des jeweiligen Inspectors zugewiesen. Für die Benutzung der Controller wurde das Prefab UIHelpers aus dem Oculus Integration Asset hinzugefügt. Dies beinhaltet zum einen Objekt LaserPointer, welches dafür zuständig ist den Laser Pointer zum Anvisieren der Buttons zu visualisieren. An selber Stelle befindet sich zum anderen das Objekt EventSystem, was die Funktionalität des Laserpointers und Controller implementiert. Hier lässt sich unter anderem der Controller bzw. Laserpointer auswählen und welche Taste des Controllers zur Eingabe genutzt werden soll.

(Ablaufplan erstellen)

### Datenerfassung

Für die Evaluation wurden zwei verschiedene Arten von Daten vorgesehen. Quantitative Daten, die zur Laufzeit der Anwendung entstehen, und qualitative Daten durch die spätere Befragung der Probanden mit Hilfe eines Online Fragebogens.

Die Daten, die automatisch von Unity während der Laufzeit der Szenarien getracked werden sind:

* welches Szenario aktiv war
* Zeit, die der Proband braucht, um den kompletten Weg bis zum Ziel zu laufen
* die Anzahl der Malus, die aktiviert wurde
* die Dauer pro Malus, als wie lange der Proband gebraucht hat, um wieder auf den richtigen Weg zurück zu kommen

Dazu wurde das Skript DataRecorder erstellt und an das OVRPlayerController Objekt hinzugefügt. In diesem Skript wurden mit C# Methoden erstellt, um die erforderlichen Daten, wie zuvor erläutert, aufzuzeichnen und zu speichern. Die Methoden werden durch das Player Skript aufgerufen.

Das Skript CSVManager ist für den Export der aufgezeichneten Daten in eine CSV Datei zuständig. Dies ist für das Auslesen und weitere Auswertung der Daten entscheidend. Die Datei Report.csv wird lokal im Assets Ordner Report erstellt bzw. abgelegt. Für den Fall, das Daten erhoben und abgespeichert werden sollen, die CSV Datei aber noch nicht existiert, wird diese und der dazugehörige Ordner automatisch erstellt. Dazu werden standardmäßig folgende Header in gleicher Reihenfolge erstellt:

* Szenario
* Gebrauchte Zeit
* Malus aktiviert

Sobald ein Malus öfter als einmal aktiviert wurde, werden die dazugehörigen Header für die Dauer der einzelnen Malus dynamisch hinzugefügt. Ein Beispiel der CSV Datei mit gefüllten Daten zeigt sich in Abb. 2: CSV Datei mit Beispieldaten.



Abb. : CSV Datei mit Beispieldaten

Es wurde ein Online Fragebogen erstellt, um zusätzlich qualitative Daten zu erheben. Für die Umsetzung wurde EvaSys verwendet. Hierbei handelt es sich um eine webbasierte Feedback Management Lösung. Online Umfragen, klassische Umfragen in Papierform oder selbst Hybridumfragen sind möglich. [46] In unserem Fall setzen wir auf eine reine Online-Umfrage, da eine Papier- oder Hybridumfrage keine Vorteile bietet und das Auswerten mit mehr Aufwand zusammenhängt.

Die Fragen der Online Umfrage wurde in verschiedene Fragegruppen zusammengefasst, auf die im folgenden Abschnitt im Einzelnen genauer eingegangen wird. Als erstes geht es um die persönlichen Daten des Probanden (siehe Abb. 3: Fragebogen - Persönliche Daten). Hier wird das Geschlecht und das Alter als Angaben gemacht. Diese wurden als Single Choice Fragen umgesetzt und das Alter in Gruppen unterteilt, was das empirische Auswerten unkomplizierter und übersichtlicher gestaltet.



Abb. : Fragebogen - Persönliche Daten

In der zweiten Fragengruppe geht es um allgemeine Angaben der Probanden (siehe Abb. 4: Fragebogen - Allgemeine Angaben). Die Erfahrungen in Bereich Gaming und Virtual Reality werden jeweils in einer Skala von 1 bis 5 abgefragt. Wobei 1 keine Erfahrung und 5 viel Erfahrung bedeutet. Die Anzahl der Ankreuzfelder wurden im kompletten Fragebogen konsistent gehalten. In der dritten Frage geht es um die Art der VR-Technologien, mit welche der Proband schon in Erfahrung getreten ist. Hierbei handelt es sich um eine Multiple Choice Frage, da eine oder mehrere Antworten möglich sind.



Abb. : Fragebogen - Allgemeine Angaben

Die nächste Gruppenfrage bezieht sich explizit auf die Durchführung der Szenarien (siehe Abb. 5: Fragebogen - Beurteilung Szenario). Für jedes der drei Szenarien werden dieselbe Art Fragen benutzt, um die Auswirkungen auf den Probanden zu ermitteln. Die Skala im Wert von 1 bis 5 ist hier ebenso, wie zuvor erläutert, die Art der Antwortmöglichkeiten. Der Wert 1 bedeutet Dazu gehört die Natürlichkeit des Laufens, die Projektion des Denkens und Handelns in der virtuellen Umgebung. Das Bewusstsein der physischen Umgebung ist ebenso ein Teil der Fragestellung. Die letzte Frage geht explizit auf den Einfluss des negativen Malus auf den Probanden ein.



Abb. : Fragebogen - Beurteilung Szenario

Die letzte Fragegruppe ergibt ein offenes und persönliches Feedback (siehe Abb. 6: Fragebogen - Persönliches Feedback). Der Frage Typ hierbei sind offene Fragen mit unbegrenzter Anzahl an Zeichen.

Hier geht es unter anderem darum, was die Probanden besonders positiv und negativ an der Durchführung der Szenarien fanden. Ein weiterer Punkt ist, was genau die Probanden am negativen Malus beeinflusst hat. Zum Abschluss können konkrete Verbesserungsvorschläge gebracht werden, was besonders Relevant für die Weiterentwicklung des Projektes ist.



Abb. : Fragebogen - Persönliches Feedback

Nach der Datenerfassung mit Hilfe des Fragenbogens können die Daten direkt in EvaSys dargestellt und ausgewertet werden.

### Evaluation

Bei der Ankunft in der Studie (siehe Abb. 1 Die Teilnehmer erhielten einen kurzen Überblick über die Studie, der Informationen zum Oculus Rift-Headset und eine allgemeine Beschreibung der Konditionierungsaufgabe enthielt. Nach Einverständniserklärung wurde den Teilnehmern die Verwendung

des Videospiel-Controllers erklärt. (Aufgabenbeschreibung)

## Zusammenfassung, Bewertung und Ausblick

## Anhang

### Abkürzungsverzeichnis

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |

### Abbildungsverzeichnis

[Abb. 1: Oculus Quest mit Controller 8](#_Toc65407026)

[Abb. 2: CSV Datei mit Beispieldaten 12](#_Toc65407027)

[Abb. 3: Fragebogen - Persönliche Daten 13](#_Toc65407028)

[Abb. 4: Fragebogen - Allgemeine Angaben 13](#_Toc65407029)

[Abb. 5: Fragebogen - Beurteilung Szenario 13](#_Toc65407030)

[Abb. 6: Fragebogen - Persönliches Feedback 14](#_Toc65407031)

### Literaturverzeichnis

|  |  |
| --- | --- |
| [1] | J. N. Templeman, D. P. S. und L. E. Sibert, „Virtual Locomotion: Walking in Place through Virtual Env ironments,“ Dezember 1999. |
| [2] | A. L. Simeone, I. Mavridou und W. Powell, „Altering User Movement Behaviour in Virtual Environments,“ April 2017. |
| [3] | P. Fink, P. Foo und W. H. Warren, „Obstacle avoidance during walking in real and virtual environments,“ Januar 2007. |
| [4] | S. Razzaque, D. Swapp, M. Slater, M. C. Whitton und A. Steed, „Redirected Walking in Place,“ 2002. |
| [5] | M. C. W. Kroes, J. E. Dunsmoor, W. E. Mackey, M. McClay und E. A, „Context conditioning in humans using commercially available immersive Virtual Reality,“ 2017. |
| [6] | E. Glotzbach, H. Ewald, M. Andreatta, P. Pauli und A. Mühlberger, „Contextual fear conditioning predicts subsequent avoidance behaviour in a virtual reality environment,“ 2012. |
| [7] | N. C. Huff, J. A. Hernandez, M. E. Fecteau, D. J. Zielinski, R. Brady und K. S. LaBar, „Revealing context-specific conditioned fear memories with full immersion virtual reality,“ 2011. |
| [8] | H. Cherni, N. Métayer und N. Souliman, „Literature review of locomotion techniques in virtual reality,“ 2020. |
| [9] | M. Usoh, K. Arthur, M. C. Whitton, R. Bastos, A. Steed, M. Slater und F. P. Brooks, „Walking > Walking-in-Place > Flying, in Virtual Environments,“ 1999. |
| [10] | R. A. Ruddle und S. Lessels, „The Benefits of Using a Walking Interface,“ April 2009. |
| [11] | R. A. Ruddle, E. Volkova und H. H. Bülthoff, „Learning to Walk in Virtual Reality,“ Mai 2013. |
| [12] | M. C. Whitton, J. V. Cohn, J. Feasel, P. Zimmons, S. Razzaque, S. .. Poulton, B. McLeod und F. P. Brooks, Jr., „Comparing VE Locomotion Interfaces,“ März 2005. |
| [13] | S. Razzaque, Z. Kohn und M. C. Whitton, „Redirected Walking,“ 2001. |
| [14] | E. A. Suma, G. Bruder, F. Steinicke, D. M. Krum und M. Bolas, „A Taxonomy for Deploying Redirection Techniques in Immersive Virtual Environments,“ 2012. |
| [15] | F. Steinicke, G. Bruder, L. Kohli, J. Jerald und K. Hinrichs, „Taxonomy and Implementation of Redirection Techniques for Ubiquitous Passive Haptic Feedback,“ 2008. |
| [16] | B. Williams, G. Narasimham, T. P. McNamara, T. H. Carr, J. J. Rieser und B. Bodenheimer, „Updating orientation in large virtual environments using scaled translational gain,“ 2006. |
| [17] | F. Steinicke, G. Bruder, J. Jerald, H. Frenz und M. Lappe, „Analyses of Human Sensitivity to Redirected Walking,“ 2008. |
| [18] | F. Steinicke, G. Bruder, T. Ropinski und K. Hinrichs, „Moving Towards Generally Applicable Redirected Walking,“ 2008. |
| [19] | V. Interrante, L. Anderson und B. Ries, „Distance Perception in Immersive Virtual Environments, Revisited,“ 2006. |
| [20] | G. Bruder, F. Steinicke und P. Wieland, „Self-Motion Illusions in Immersive Virtual Reality Environments,“ 2011. |
| [21] | F. Steinicke, G. Bruder, J. Jerald, H. Frenz und M. Lappe, „Estimation of Detection Thresholds for Redirected Walking Techniques,“ 2009. |
| [22] | F. Steinicke, G. Bruder, K. Hinrichs und A. Steed, „Gradual transitions and their effects on presence and distance estimation,“ 2009. |
| [23] | B. Williams, G. Narasimham, B. Rump und T. McNamara, „Exploring Large Virtual Environments with an HMD when Physical Space is Limited,“ 2007. |
| [24] | E. Suma, S. Clark, S. Finkelstein und Z. Wartell, „Leveraging Change Blindness for Redirection in Virtual Environments,“ 2011. |
| [25] | D. Simons, „Current Approaches to Change Blindness,“ 2000. |
| [26] | N. C. Nilsson, S. Serafin, M. H. Laursen, R. Nordahl, K. S. Pedersen und E. Sikström, „Tapping-In-Place: Increasing the Naturalness of Immersive Walking-In-Place Locomotion Through Novel Gestural Input,“ 2013. |
| [27] | B. Williams, S. Bailey, G. Narasimham, M. Li und B. Bodenheimer, „Evaluation of Walking in Place on a Wii Balance Board to Explore a Virtual Environment,“ 2011. |
| [28] | D. Zielinski, R. McMahan und R. Brady, „Shadow Walking: an Unencumbered Locomotion Technique for Systems with Under-floor Projection,“ 2011. |
| [29] | J. Lee, S. C. Ahn und J. Hwang, „A Walking-in-Place Method for Virtual Reality Using Position and Orientation Tracking,“ 2018. |
| [30] | F. Buttussi und L. Chittaro, „Locomotion in Place in Virtual Reality: A Comparative Evaluation of Joystick, Teleport, and Leaning,“ 2020. |
| [31] | M. P. Jacob Habgood, D. Moore, D. Wilson und S. Alapont, „Rapid, Continuous Movement Between Nodes as an Accessible Virtual Reality Locomotion Technique,“ 2018. |
| [32] | L. A. Cherep, A. Lim, J. W. Kelly und A. Ostrander, „Spatial cognitive implications of teleporting through virtual environments,“ 2020. |
| [33] | M. P. J. Habgood, D. Moore, D. WIlson und S. Alapont, „Rapid, Continuous Movement Between Nodes as an Accessible Virtual Reality Locomotion Technique,“ 2018. |
| [34] | F. Buttussi und L. Chittaro, „Locomotion in Place in Virtual Reality: A Comparative Evaluation of Joystick, Teleport, and Leaning,“ 2019. |
| [35] | P. T. Wilson, W. Kalescky, A. MacLaughlin und B. Williams, „VR Locomotion: Walking>Walking in Place>Arm Swinging,“ 2016. |
| [36] | D. Zielasko, S. Horn, S. Freitag, B. Weyers und T. Kuhlen, „Evaluation of Hands-Free HMD-Based Navigation Techniques for Immersive Data Analysis,“ 2016. |
| [37] | A. Harris, K. Nguyen, P. T. Wilson, M. Jackoski und B. Williams, „Human Joystick: Wii-Leaning to Translate in Large Virtual Environments,“ 2014. |
| [38] | A. Kitson, A. M. Hashemian, E. R. Stepanova, E. Kruijf und B. E. Riecke, „Comparing Leaning-Based Motion Cueing Interfaces for Virtual Reality Locomotion,“ 2017. |
| [39] | Z. Wang, H. Wei, K. Zhang und L. Xie, „Real Walking in Place: HEX-CORE-PROTOTYPE Omnidirectional Treadmill,“ 2020. |
| [40] | [Online]. Available: https://unity.com/de. [Zugriff am 23 02 2021]. |
| [41] | D. Ziesecke, „Alle Infos zur Oculus Quest – technische Daten, Preis und Laufzeit,“ 03 03 2019. [Online]. Available: https://vr-legion.de/news/alle-infos-zur-oculus-quest-technische-daten-preis-und-laufzeit/. [Zugriff am 23 02 2021]. |
| [42] | TerryGLee, „Neues in Visual Studio 2019,“ 10 11 2020. [Online]. Available: https://docs.microsoft.com/de-de/visualstudio/ide/whats-new-visual-studio-2019?view=vs-2019. [Zugriff am 22 02 2021]. |
| [43] | B. Wagner, „Überblick über C#,“ 28 01 2021. [Online]. Available: https://docs.microsoft.com/de-de/dotnet/csharp/tour-of-csharp/. [Zugriff am 23 02 2021]. |
| [44] | O. B. Dr. Veikko Krypczyk, „Einführung in die Programmierung: Objekte, nichts als Objekte,“ 19 04 2016. [Online]. Available: https://entwickler.de/online/development/einfuehrung-programmierung-objektorientierte-programmentwicklung-197372.html. [Zugriff am 24 02 2021]. |
| [45] | S. Augsten, „Definition „Git SCM“ - Was ist Git?,“ 27 08 2019. [Online]. Available: https://www.dev-insider.de/was-ist-git-a-850847/. [Zugriff am 24 03 2021]. |
| [46] | [Online]. Available: https://evasys.de/evasys/. [Zugriff am 28 02 2021]. |
| [47] | C. Spinger, „Oculus Quest im Test: Virtual Reality für die Masse,“ 30 04 2019. [Online]. Available: https://www.vrnerds.de/oculus-quest-im-test-virtual-reality-fuer-die-masse/. [Zugriff am 27 02 2021]. |
| [48] | A. L. Simeone, E. Velloso und H. Gellersen, „Substitutional Reality: Using the physical environment to design virtual reality experiences,“ Januar 2015. |
| [49] | J. N. Templeman, P. S. Denbrook und L. E. Sibert, „Virtual locomotion: Walking in place through virtual environments,“ Dezember 1999. |
| [50] | D. A. Bowman, D. Koller und L. F. Hodges, „Travel in Immersive Virtual Environments: An Evaluation of Viewpoint,“ 1997. |
| [51] | E. A. Suma, S. L. Finkelstein, M. Reid, S. V. Babu, A. C. Ulinski und L. F. Hodges, „Evaluation of the Cognitive Effects of Travel Technique in Complex Real and Virtual Environments,“ 2010. |
| [52] | V. Interrante, B. Ries und L. Anderson, „Seven League Boots: A New Metaphor for Augmented Locomotion through Moderately Large Scale Immersive Virtual Environments,“ 2007. |
| [53] | L. F. Hodges, R. Kooper, T. C. Meyer, B. O. Rothbaum, D. Opdyke, J. J. Graaff, J. S. Williford und M. M. North, „Virtual Environments for Treating the Fear of Heights,“ 1995. |
| [54] | G. Bruder, F. Steinicke und K. H. Hinrichs, „Arch-Explore: A natural user interface for immersive architectural,“ 2009. |
| [55] | T. Peck, H. Fuchs und M. Whitton, „Evaluation of Reorientation Techniques and Distractors for Walking in Large Virtual Environments,“ 2008. |

### Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe; die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.

Die Zeichnungen oder Abbildungen in dieser Arbeit sind von mir selbst erstellt worden oder mit einem entsprechenden Quellennachweis versehen.

Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungskommission vorgelegt und auch nicht veröffentlicht.

Heilbronn, 19. September 2016 Vorname Name

1. https://www.vrnerds.de/wp-content/uploads/2019/04/Oculus-Quest-2-1.jpg [47] [↑](#footnote-ref-1)