

Musterhausarbeit

Virtual Reality

Informatik

www.acad-write.com/leistungen/hausarbeit/

www.acad-write.com/fachbereiche/wirtschaftsinformatik/

Arten von Locomotion in virtuellen Realitäten und deren Auswirkungen auf Motion Sickness

Hausarbeit



Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	III
Abkürzungsverzeichnis	IV
1 Einleitung	1
2 Virtuelle Realität	3
3 Immersion, Präsenz und Motion Sickness	4
4 Fortbewegung in immersiven virtuellen Realitäten	6
4.1 Motion-based Locomotion	7
4.2 Roomscale-based Locomotion	8
4.3 Controller-based Locomotion	9
4.4 Teleportation-based Locomotion	10
4.5 Technische Anforderungen	10
5 Vergleich von Motion Sickness bei den einzelnen Locomotion-Techniken.....	12
6 Fazit und Ausblick	14
Literaturverzeichnis	15



Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Reality-Virtuality-Kontinuum nach Milgram et al. [26].....	3
Abbildung 2: VR Locomotion Types [4]	6

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Fortbewegungsarten mit Immersionsgrad, erwarteter Motion Sickness und technischen Anforderungen.....	10
---	----



Abkürzungsverzeichnis

AR	Augmented Reality
HMD	Head-Mounted-Display
VR	Virtual Reality



1 Einleitung

Immersive Technologien wie Virtual Reality (VR) und Augmented Reality (AR) stehen spätestens seit der Veröffentlichung der publikumsreifen VR-Brillen Oculus Rift [11] und HTC Vive [17] sowie der AR-Brille Microsoft HoloLens [25] im öffentlichen Interesse. Auch Akteure in verschiedenen Unternehmensbereichen schenken immersiven Medien eine immer höhere, auch finanzielle Beachtung durch die Investition von zusätzlichem Kapital in entsprechende Ressorts [8]. Die wirtschaftlichen Erwartungen an beide Technologien pendeln sich gemäß dem Gartner Hype Cycle auf ein realistisches Niveau ein [28], wodurch nun aktuell noch bestehende Probleme bei den immersiven Medien adressiert werden können.

Die aktuell größten Herausforderungen in VRs sind dabei die Vermeidung der sogenannten Simulatorkrankheit (Motion Sickness) sowie die Gestaltung eines realistischen Systems zur Fortbewegung im Rahmen der Immersion des Nutzers¹ innerhalb der VR. Da beide Bereiche stark zusammenhängen, ist eine gemeinsame Betrachtung beider Faktoren in verschiedenen technischen Settings lohnenswert.

Im Rahmen dieser Arbeit sollen die verschiedenen Arten der Fortbewegung in virtuellen Realitäten betrachtet sowie deren Vor- und Nachteile in Bezug auf die Simulatorkrankheit und die Immersion des Nutzers erörtert werden. Ziel der Arbeit ist es, anhand des kritischen Vergleichs verschiedener Fortbewegungssysteme zu beiden Punkten sowie unter Berücksichtigung von deren Hard- und Softwarekomponenten Verwendungsempfehlungen für verschiedene Arten von VR-Anwendungen zu geben.

Hierfür soll zunächst der Begriff der immersiven virtuellen Realität dargestellt und von anderen Formen virtueller, realer und vermischter Umgebungen unterschieden werden. Des Weiteren werden die Begriffe Immersion, Präsenz und Motion Sickness erläutert. Im Anschluss werden die Fortbewegungsarten *Motion-based*, *Roomscale-based*, *Controller-based* und *Teleportation-based* vorgestellt. Einzelne Techniken der Fortbewegungsarten werden in Bezug auf ihren Immersionsgrad und ihre technischen Voraussetzungen näher erläutert. Hieran folgen ein kritischer Vergleich der Systeme und eine Verwendungsempfehlung der jeweiligen Fortbewegungsarten für verschiedene Anwendungsbereiche. Die Arbeit schließt mit Anmerkungen zu den eigenen

¹ Die in dieser Hausarbeit verwendeten Bezeichnungen gelten für Frauen und Männer.

Limitationen sowie mit einem Blick auf aktuelle Entwicklungen und zukünftige Forschungsdesiderata.



2 Virtuelle Realität

Im Reality-Virtuality-Kontinuum (Abbildung 1) nach Milgram et al. [26] existieren zunächst die zwei Randbereiche *Real Environment* und *Virtual Environment*. Das *Real Environment* umfasst dabei die reale, physisch existente Welt sowie deren direkte digitale Repräsentation. Damit sind beispielsweise auch digitale Live-Übertragungen Bestandteil des *Real Environment*. Auf der anderen Seite des Kontinuums findet sich das *Virtual Environment*. Diese Form der virtuellen Umgebung besteht ausschließlich aus digital erzeugten Bestandteilen. Zwischen den beiden Polen befindet sich die *Mixed Reality*. In diesem Bereich werden reale und digital erzeugte Reize vermischt. Je nach Ausprägung der digitalen bzw. realen Komponenten wird hier von einer *Augmented Reality* und damit von einer um virtuelle Objekte angereicherten Realität oder von einer *Augmented Virtuality*, einer um reale Objekte angereicherten Virtualität gesprochen.

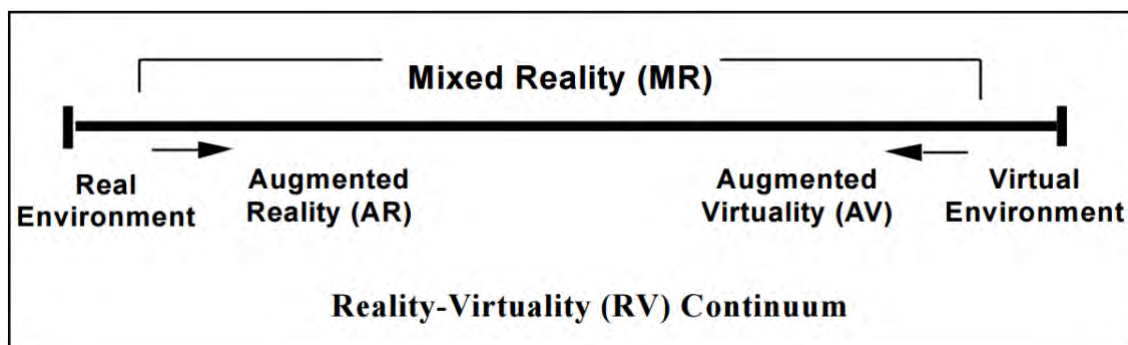


Abbildung 1: Reality-Virtuality-Kontinuum nach Milgram et al. [26]

In einer VR wird die virtuelle Umgebung um die Präsenz des Nutzers erweitert: Biocca und Levy [3] definieren eine VR als eine reale oder simulierte Umgebung, in welcher der Nutzer Telepräsenz erlebt. Ein VR-System ist dabei ein aus Hard- und Softwarekomponenten bestehendes Computersystem zur Realisierung einer VR [10]. Um den Nutzer in die VR einzubinden, werden entweder Head-Mounted-Displays [11, 17] oder Mobile-VR-Systeme [15] verwendet.

Da sich der Nutzer in AR physisch in der realen Welt bewegt, müssen Aspekte der Fortbewegung nicht zwingend gesondert betrachtet werden. Aus diesem Grund beschränkt sich diese Arbeit auf den Bereich der VR und untersucht hier Aspekte der Fortbewegung in Bezug auf die Faktoren Immersion und Motion Sickness, die im nächsten Kapitel vorgestellt werden. Für die meisten Anwendungsfälle lassen sich die VR-Lösungen auch auf den Bereich der Augmented Virtuality übertragen.

3 Immersion, Präsenz und Motion Sickness

Die größte Herausforderung in VRs ist aktuell die Immersion des Nutzers, sodass dieser die VR als subjektive Realität akzeptiert und die Vermeidung von Motion Sickness erreicht. Immersion, Präsenz und Motion Sickness sollen hier kurz erläutert werden.

Die Immersion bezeichnet den technischen Grad des Eintauchens, das Ausmaß, in dem ein Nutzer von der realen Welt abgeschottet und in die virtuelle Welt transportiert wird [10]. Nach Steuer [31] können hierbei die Abschottung realer Reize und die Simulation virtueller Reize unter dem Gesichtspunkt der *Vividness* und die Interaktionen des Nutzers unter dem Gesichtspunkt der *Interactivity* zusammengefasst werden. Die *Vividness* lässt sich hierbei in die Anzahl der beim Nutzer zeitgleich angesprochenen Sinne (*Breadth*) und die Tiefe bzw. Überzeugungskraft der Reizrealisierung (*Depth*) aufteilen. Die *Interactivity* umfasst die Bandbreite der Interaktionen des Nutzers: Während die Komponente *Speed* die Geschwindigkeit ausdrückt, mit welcher die virtuelle Umgebung auf eine Interaktion reagiert, umfasst *Range* die Anzahl der gleichzeitig durchführbaren Interaktionen. Zuletzt beschreibt *Mapping* die Passgenauigkeit der vom Nutzer durchgeführten Interaktion zur zugehörigen Modifikation der virtuellen Welt. Eine Methode zur Quantifizierung dieser Komponenten fehlt bislang. Die angeführten Faktoren der Immersion beeinflussen das beim Nutzer auftretende Gefühl der Präsenz.

Dörner [10] sieht im Begriff der Präsenz die subjektive Erfahrung der VR als gegenwärtige Realität. Formen der Präsenz sind die physische und soziale Präsenz sowie die Selbstpräsenz [2]. Dieses Erleben wird zwar vom Grad der Immersion beeinflusst [23, 24], ist jedoch individuell verschieden.

Eine weitere Herausforderung von VR-Anwendungen ist das Auftreten der Simulatorkrankheit, auch Motion Sickness genannt. Akiduki et al. [1] sprechen bei der Beschreibung von Motion Sickness von einem visuell-vestibulären Konflikt: Während es zu einer visuellen Stimulation des Anwenders kommt, unterbleibt eine entsprechende vestibuläre Stimulation, was eine Irritation der Wahrnehmung des Nutzers bewirkt. Motion Sickness äußert sich in Symptomen wie Übelkeit, Benommenheit, erhöhter Speichelfluss, Schwindelgefühl oder auch Erbrechen. Diese treten beispielsweise bei HMDs durch zu hohe Latenzen zwischen den Bildaktualisierungen und der Kopfbewegung des Nutzers auf [10]. Aufgrund der für den Anwender sehr

unangenehmen Symptome ist eines der Hauptziele einer VR die Vermeidung von Motion Sickness.



4 Fortbewegung in immersiven virtuellen Realitäten

Während in nicht immersiven virtuellen Umgebungen die Fortbewegung des Avatars meistens anhand von Tastatureingaben, über die Maussteuerung oder in speziellen Anwendungen durch Verwendung von Joysticks oder Lenkrädern erfolgt, ist die Realisierung von Fortbewegung (Locomotion) in immersiven virtuellen Realitäten komplizierter. Durch die Verwendung von Head-Tracking über HMDs oder Mobile-VR-Systeme muss die Kopfbewegung des Nutzers berücksichtigt werden, Tastatureingaben und Mauseingaben sind aufgrund der angestrebten Bewegungsfreiheit des Nutzers sowie der Abschottung des Sichtfeldes von der Realität ungeeignet.

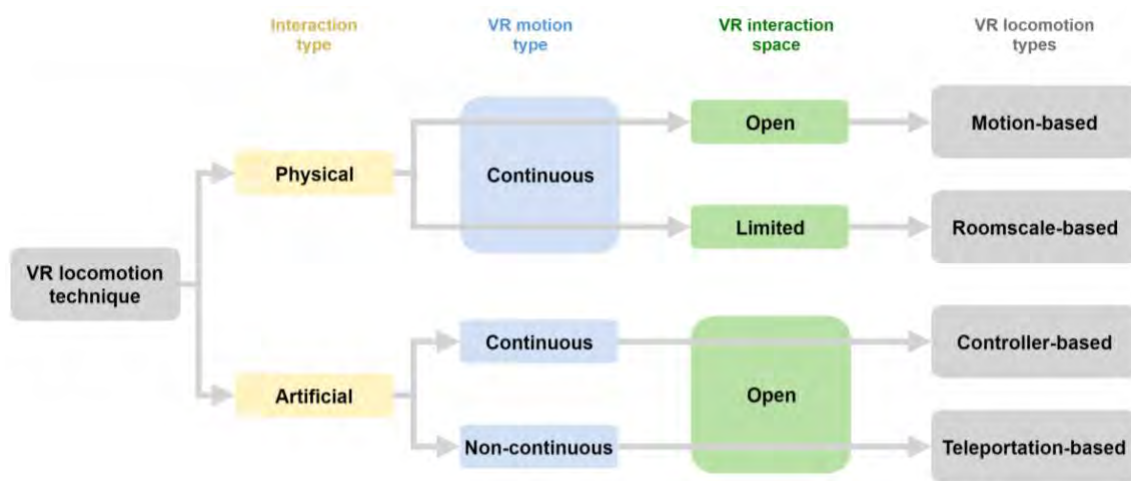


Abbildung 2: VR Locomotion Types [4]

Aus einem Literaturvergleich von 73 VR-Systemen separiert Boletsis [4] elf Fortbewegungstechniken, die wiederum in vier *VR Locomotion-Type*-Kategorien eingeteilt werden können: *Motion-based*, *Roomscale-based*, *Controller-based* und *Teleportation-based*. Hierbei unterscheiden sich die Typen anhand ihrer Interaktionsart, der Bewegungsform in der virtuellen Umgebung und des Interaktionsraums. Die Interaktionsart kann dabei durch natürliche Bewegungen des Nutzers (*physical*) oder künstlich durch spezielle Eingaben (*artificial*) erfolgen. Die Bewegung in der virtuellen Umgebung kann fortlaufend/flüssig (*continuous*) oder abrupt (*non-continuous*) erfolgen, wobei die Bewegungen des *Physical*-Interaktionstyps grundsätzlich kontinuierlich erfolgen. Weiter kann der Interaktionsraum entweder begrenzt (*limited*) oder unbegrenzt (*open*) sein; beim artifiziellen Interaktionstyp sind die Interaktionsräume grundsätzlich

unbegrenzt. Die sich hieraus ergebenden *VR Locomotion Types* werden im Folgenden mit Blick auf die Faktoren Immersion und Motion Sickness erörtert.

4.1 Motion-based Locomotion

Fortbewegungstechniken dieses Typs verwenden irgendeine Art physischer Bewegung zur Ermöglichung von Interaktion bei gleichzeitiger Unterstützung einer kontinuierlichen Bewegung in offenen VR-Räumen. Dieser Locomotion-Typ beinhaltet Techniken wie *Walking-in-Place*, *Redirected Walking*, *Arm Swinging*, *Gesture-based Locomotion* und *Reorientation* [4].

Walking-in-Place ermöglicht dem Anwender die virtuelle Fortbewegung durch schrittähnliche Bewegungen auf der Stelle. Zur Erfassung werden die Bewegungen der Gliedmaßen des Nutzers erfasst oder laufbandähnliche Eingabegeräte genutzt [21, 32].

Bei *Redirected-Walking-Techniken* bewegt sich der Nutzer frei innerhalb eines physisch limitierten Bereichs. Durch die Verwendung sogenannter *Redirection Techniques* entsteht eine nicht wahrnehmbare Differenz zwischen den realen Bewegungen des Nutzers und den virtuellen Repräsentationen dieser Bewegungen. Hierdurch kann sich der Anwender trotz der räumlichen Begrenzung in der realen Welt räumlich unbegrenzt in der virtuellen Welt bewegen [4, 27].

Bei der Fortbewegungstechnik *Arm Swinging* schwingt der Nutzer seine Arme und bewegt sich hierdurch ähnlich zur *Walking-in-Place*-Technik nur durch die Erfassung der Bewegungen seiner Gliedmaßen in der VR vorwärts [13, 33]. Für das Tracking werden entweder Body-Tracking-Devices verwendet oder Armbänder bzw. Controller [4].

Gesture-based Techniken inkludieren die Gesten des Anwenders in dessen Steuerung der Fortbewegung in der virtuellen Umgebung. Verschiedene Bewegungen des Nutzers (Antippen, Drücken, Fliegen) werden über Eingabegeräte erfasst und in Bewegungen in der VR umgewandelt [5, 13].

Für die Technik *Reorientation* bewegt sich der Anwender frei innerhalb eines limitierten physischen Raums mit der Möglichkeit, einen unbegrenzten Bereich in der VR zu begehen. Sobald der Nutzer an die Grenzen des realen Raums kommt, dreht er sich in der realen Welt um, ohne dass eine entsprechende Rotation in der virtuellen Welt

erfolgt. Hierdurch ist eine weitere Fortbewegung sowohl in der realen als auch in der virtuellen Welt möglich [29].

Bei den *Motion*-based Techniken sind die einzelnen Komponenten der Immersion unterschiedlich ausgeprägt. Das *Walking-in-Place*-Verfahren und das *Arm-Swinging*-Verfahren lassen den Anwender die natürlichen Bewegungen des Gehens und Laufens imitieren, sodass ein hohes *Mapping*-Niveau erzielt wird (bei der *Walking-in-Place*-Technik etwas höher). Auch bei *Gesture-based*-Techniken werden natürliche Bewegungen des Nutzers in Interaktionen mit der VR umgewandelt. Im Bereich *Breadth* der *Vividness* fehlt der vestibuläre Reiz in Bezug auf die lineare Beschleunigung, wodurch bei beiden Techniken eine höhere Gefahr von Motion Sickness besteht als beispielsweise bei der *Redirected-Walking*-Technik. Diese Fortbewegungstechnik ist durch die natürliche Bewegung besonders immersiv, und zwar sowohl im Bereich *Mapping* (natürliche Geh- und Laufbewegung) als auch im Bereich *Breadth* durch die vorhandene lineare Beschleunigung und Winkelbeschleunigungen bei Bewegungen (da die Abweichungen in den Winkelbeschleunigungen für den Nutzer nicht wahrnehmbar sind). Bei der *Reorientation*-Fortbewegung fehlt dagegen während des Orientierungsvorgangs der Reiz für die Winkelbeschleunigung, wodurch wiederum von einer höheren Gefahr von Motion Sickness auszugehen ist.

4.2 Roomscale-based Locomotion

Diese Art der Fortbewegung nimmt die tatsächliche physische Fortbewegung des Nutzers als Interaktion und unterstützt die kontinuierliche Bewegung in einem begrenzten Raum, der durch die Größe der physischen Umgebung eingeschränkt wird. Dieser Locomotion-Type beinhaltet die *Real-Walking-Loocomotion*-Technik [4].

Bei der *Real-Walking-Technik* bewegt sich der Nutzer frei innerhalb eines limitierten physischen Raums. Die Position und Orientierung des Nutzers werden über ein Positional-Tracking-System bestimmt, das entweder Position und Ausrichtung des HMD erfasst oder die Gliedmaßen des Benutzers scannt [4].

Die *Roomscale*-based-Fortbewegung bildet zusammen mit der *Redirected-Walking*-Technik die immersivsten Fortbewegungsarten in der VR, da beide Formen sowohl die natürliche Bewegung als Interaktionsform nutzen (*Mapping*) als auch die vestibulären Reize der natürlichen Fortbewegung inkludieren (*Breadth*). Bei der *Real-Walking*-

Fortbewegung ist damit bei entsprechender Gestaltung der VR (hohe Bild-Update-Rate und -Auflösung, geringe Latenz) von einer eher geringen Gefahr der Motion Sickness für den Anwender auszugehen.

4.3 Controller-based Locomotion

Für diesen Fortbewegungstyp werden Controller verwendet, um den Nutzer in einer kontinuierlichen Bewegung künstlich und räumlich unbegrenzt durch die VR zu bewegen. Diese Art beinhaltet Fortbewegungstechniken wie *Joystick-based*, *Human Joystick*, *Chair-based* und *Head-Directed Locomotion* [4].

Bei *Joystick*-Eingaben verwendet der Benutzer einen Controller, um seine Bewegung in der virtuellen Umgebung zu steuern. Die Art des Controllers kann von einfachen Joysticks über Game-Controller und Keyboards bis hin zu Trackballs variieren [4].

Bei einem *Human-Joystick* steuert der Anwender seine Fortbewegung durch eine entsprechende Körperneigung nach vorne, hinten und zur Seite. Die Körperneigung wird durch ein entsprechendes Eingabeboard erfasst [16].

Chair-based-Techniken beinhalten einen Stuhl als Eingabegerät. Hierbei werden die Rotation und die Neigung des Stuhls in Vorwärts-, Rückwärts- und Rotationsbewegungen in die VR übertragen [19].

Die *Head-Directed*-Technik lässt den Nutzer seine Fortbewegung und deren Richtung durch seine Kopfbewegungen steuern. Dabei kann die Bewegungsgeschwindigkeit festgelegt sein oder von der Kopfneigung beeinflusst werden [9, 32].

Controller-based Locomotion ähnelt in seiner Grundkonzeption den klassischen Eingabeformen bei nicht immersiven Medien wie Desktop-Computern und Spielekonsolen. Dies führt zu einem geringen Mapping-Grad, da die Art der Eingabe bei dieser Form der Fortbewegung sehr künstlich ist. Lediglich die *Human-Joystick*-Technik inkludiert eine kleine, selbst initiierte, vestibuläre Stimulation. Aus diesem Grund ist bei dieser Form der Locomotion in VRs eher von einer höheren Motion Sickness bzw. einem häufigeren Auftreten von Motion Sickness als bei anderen Arten der Fortbewegung auszugehen.

4.4 Teleportation-based Locomotion

Die *Teleportation-based*-Fortbewegungsart verwendet künstliche Interaktionen in offenen VR-Räumen mit nicht kontinuierlicher Bewegung, wobei der Standpunkt des Nutzers abrupt in eine vorher festgelegte Position teleportiert wird. Die *Point-and-Teleport*-Technik fällt in diese Kategorie [4].

Für die Teleportation zeigt der Nutzer in der virtuellen Welt mit einem Eingabegerät oder einer Zeigegeste auf den Punkt, zu dem er sich teleportieren möchte, woraufhin sich seine Position dorthin verändert. Durch die visuellen Sprünge wird die virtuelle Bewegung als nicht kontinuierliche Fortbewegung wahrgenommen [5].

Die Mapping-Eigenschaft ist auch in dieser Form der Locomotion eher gering, da auf die natürliche Geste des Zeigens mit einem Teleportationsvorgang und einer entsprechenden Positionsveränderung reagiert wird. Jedoch ist durch den abrupten Platzwechsel keine vestibuläre Irritation zu erwarten, da der Körper keinen Bewegungsreiz erwartet, wodurch die Gefahr der Motion Sickness verringert wird. Somit kann bei dieser Form der Locomotion eine niedrigere Motion Sickness erwartet werden als bei den anderen künstlichen Arten der Fortbewegung in VRs.

4.5 Technische Anforderungen

Neben den unterschiedlichen Eigenschaften in Bezug auf Immersion und erwartete Motion Sickness weisen die einzelnen Fortbewegungsarten auch verschiedene technische Anforderungen auf. Tabelle 1 zeigt die verschiedenen Profile der Fortbewegungsarten mit den jeweiligen technischen Voraussetzungen. Da alle Fortbewegungsarten ein Head-Tracking-System mit einem Neigungs- und einem Gyrosensor benötigen, ist dieses in den technischen Anforderungen nicht separat aufgeführt.

Tabelle 1: Fortbewegungsarten mit Immersionsgrad, erwarteter Motion Sickness und technischen Anforderungen

<u>Fortbewegung</u>	<u>Immersionsgrad</u>	<u>erwartete Motion Sickness</u>	<u>technische Anforderungen</u>
Walking in Place	mittel	gering	Tracking der Gliedmaßen
Redirected Walking	hoch	keine	Positional Tracking

Arm Swinging	mittel	gering	Tracking der Arme
Gesture Based	mittel	gering	(Video-)Erfassung der Gesten
Reorientation	mittel-hoch	gering	Positional Tracking
Real-Walking	hoch	keine	Positional Tracking
Joystick	gering	hoch	Controller
Human Joystick	gering	mittel	Eingabeboard
Chair Based	gering	mittel	Eingabestuhl
Head Directed	gering	mittel	-
Point and Teleport	gering	keine	Controller

Es zeigt sich, dass die geringste Motion Sickness bei den Techniken *Redirected Walking*, *Real Walking* und *Point and Teleport* zu erwarten sind. Die höchste Motion Sickness ist bei einem Joystick-basierten System zu erwarten. Im Allgemeinen weisen *Motion-based*-Techniken, *Roomscale-based*-Techniken und *Teleportation-based*-Techniken eine geringere erwartete Motion Sickness auf als *Controller-based*-Fortbewegungsarten. Die zu überprüfende Hypothese zur Wirkung verschiedener Locomotion-Techniken auf die wahrgenommene Motion Sickness lautet damit: Controller-based-Techniken der Locomotion in immersiven virtuellen Umgebungen rufen stärker Motion-Sickness-Symptome hervor als andere Techniken der Locomotion. Hierfür wird für das nächste Kapitel zunächst die Nullhypothese „Es gibt keinen signifikanten Zusammenhang zwischen empfundener Motion Sickness und der verwendeten Fortbewegungstechnik in immersiven virtuellen Umgebungen“ angenommen und anhand empirischer Studien überprüft.

5 Vergleich von Motion Sickness bei den einzelnen Locomotion-Techniken

Da die Probandengruppen in Studien zu einzelnen Locomotion-Techniken stark differieren und auch teilweise verschiedene Verfahren zur Bestimmung der Motion Sickness verwendet werden, wäre der Vergleich von Studien zu einzelnen Fortbewegungstechniken hier nicht zielführend. Im Folgenden sollen Studien betrachtet werden, die verschiedene Fortbewegungsarten in Bezug auf Motion Sickness miteinander vergleichen, um die in Kapitel 4.5 aufgestellten Erwartungen zu überprüfen.

In einer zweiteiligen Untersuchung von Bozgeyikli et al. [6] mit 16 Teilnehmern konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Locomotion-Arten *Controller-based* (Joystick), *Teleportation-based* (Point&Teleport) und *Motion-based* (Walk-in-Place) in Bezug auf Motion Sickness festgestellt werden. Hierbei wurde einmal eine Teleportationstechnik mit einer anschließenden Richtungsänderung und einmal ohne eine solche Änderung verwendet. Die Teleportationstechnik ohne Richtungsänderung zeigte sich als nutzerfreundlichste Fortbewegungsart.

Bei einem Vergleich der Fortbewegungsarten Teleportation, Point-and-fly – bei der sich der Nutzer ähnlich wie bei einer teleportationsbasierten Lösung bewegt, indem er einen Punkt auswählt und sich dann automatisch dorthin bewegt – sowie Reorientation bei 26 Probanden konnte eine signifikant stärkere Motion Sickness bei der Fortbewegungstechnik Point-and-fly festgestellt werden. Diese gehört in ihrer Grundkonzeption aufgrund der kontinuierlichen Bewegung und der künstlichen Steuerung zu den *Controller-based*-Techniken. Zwischen den Techniken Teleportation und Reorientation wurden keine signifikanten Unterschiede gefunden [14].

In einem Experiment mit 33 Probanden konnten Langbehn, Lubos und Steinicke [22] zeigen, dass *Joystick-based*-Techniken zu höherer Motion Sickness führen als die *Redirected-Walking*-Technik und die *Point-and-Teleport*-Technik. Dabei wurden die Teilnehmer in drei Gruppen mit je einer Locomotion-Technik eingeteilt und sollten sich in der VR, einem virtuellen Büro, zu einem von fünf verschiedenen Punkten bewegen, wobei zu jeder Zeit nur eines der Ziele sichtbar war. Im Anschluss an verschiedene Aufgaben in der VR füllten die Probanden Fragebögen zu Motion Sickness, Präsenz und Nutzerpräferenzen aus. Während die *Joystick*-Gruppe signifikant höhere Werte von

Motion Sickness erzielte, konnte zwischen *Teleportation* und *Redirected Walking* kein signifikanter Unterschied festgestellt werden.

Ein Vergleich zwischen statischen (*Controller-based*) und dynamischen (*Real Walking*) Simulatoren von Jaeger und Mourant [18] konnte zeigen, dass *Real-Walking*-Techniken zu einer geringeren Motion Sickness führen als *Controller-based*-Techniken der Fortbewegung in VRs. Die VR der Studie bestand aus einem dreidimensionalen Korridor, entlang dessen sich die Teilnehmer bewegen sollten. In der Untersuchung wurden die 60 Probanden in zwei Gruppen aufgeteilt, wobei eine Gruppe das statische Setting und die andere Gruppe das dynamische Setting erhielt. Beim statischen Setting wurde die Fortbewegung in der VR durch das Drücken einer Maustaste initiiert; das dynamische Setting beinhaltete ein manuell angetriebenes Laufband, auf welchem die Probanden durch die eigene Bewegung die Bewegung in der VR aktivierten. Es konnte ein signifikanter Effekt des Fortbewegungssettings auf die empfundene Motion Sickness nachgewiesen werden, wobei das statische Setting stärkere und häufigere Motion-Sickness-Symptome hervorrief.

Während die Untersuchung von Bozgeyikli et al. [6] keinen signifikanten Unterschied zwischen empfundener Motion Sickness und verwendeter Locomotion-Technik ergab, zeigten sowohl die Untersuchung von Freitag, Rausch und Kuhlen [14] als auch die Studie von Langbehn, Lubos und Steinickes [22] und die Forschungen von Jaeger und Mourant [18] einen signifikanten Zusammenhang zwischen den verwendeten Techniken und Motion Sickness. Hierdurch wird die angenommene Nullhypothese verworfen, womit von einem Zusammenhang zwischen den Locomotion-Techniken und Motion Sickness auszugehen ist. Weiter deuten die Ergebnisse der Studien klar auf eine verstärkte Motion Sickness bei Verwendung unterschiedlicher *Controller-based*-Techniken hin. Die Hypothese – *Controller-based*-Techniken der Locomotion in immersiven virtuellen Umgebungen rufen verstärkt Motion-Sickness-Symptome hervor als andere Techniken der Locomotion – kann somit beibehalten werden.

6 Fazit und Ausblick

Aufgrund der höheren Gefahr einer auftretenden Motion Sickness zeigen sich *Controller-based*-Techniken als eher ungeeignet zur Realisierung von Fortbewegung in VRs. Natürlich kann diese Arbeit nur einen kurzen Überblick über den Stand der Forschung geben und berücksichtigt nur klassische *Controller-based*-Lösungen. Aktuelle Entwicklungen verwenden beispielsweise eine Begrenzung des Sichtfelds des Nutzers während der Bewegung in der VR, wodurch in neueren Studien bereits wesentlich bessere Ergebnisse erzielt werden können als mit klassischen Formen der *Controller-based-Loconotion* [12]. Ebenfalls konnten bereits bestehende Prototypen zur galvanisch vestibulären Stimulation, die zur Verringerung von visuellen und vestibulären Diskrepanzen elektrische Impulse an das Innenohr des Anwenders senden [30], im Rahmen dieser Arbeit noch nicht berücksichtigt werden. Auch genderspezifische Unterschiede [20] und altersspezifische Differenzen [7] beim Auftreten von Motion Sickness wurden vernachlässigt.

Dennoch lässt sich die getroffene Empfehlung zur Verwendung von *Loconotion*-Techniken der Kategorien *Motion-based*, *Roomscale-based* und *Teleportation-based* beibehalten. An dieser Stelle ist jedoch anzumerken, dass es aktuell nicht eine einzige bestmögliche Fortbewegungstechnik in immersiven virtuellen Umgebungen geben kann. Da sowohl die technischen Voraussetzungen der Fortbewegungsarten als auch die Verwendungszwecke der Fortbewegung in den Programmen stark differieren, hängt die zu empfehlende Technik stets sowohl vom zur Verfügung stehenden technischen Setting als auch von der Anwendung selbst ab. So wäre beispielsweise für manche Mobile-VR-Anwendungen ein *Teleportation*-system auf Grundlage der Blickrichtung zu empfehlen, da anderweitige *Tracking*-Möglichkeiten fehlen. Aber auch die *Teleportation*-technik kann für manche Anwendungen ungeeignet sein. Im Bereich der *Motion-based*-Systeme ist dagegen die *Redirected-Walking*-Technik vielversprechend, da sie bei größtmöglicher Immersion in Bezug auf die Fortbewegung eine unbegrenzte Bewegungsfläche bietet.

Nicht zuletzt ist Motion Sickness ein subjektives Phänomen, sodass einzelne *Loconotion*-Techniken auch unterschiedliche Wirkungen auf verschiedene Anwender haben können, wodurch zukünftige Forschungen sich nicht auf eine Technik der Fortbewegung beschränken sollten.

Literaturverzeichnis

- [1] Akiduki, H., Nishiike, S., Watanabe, H., Matsuoka, K., Kubo, T., and Takeda, N. 2003. Visual-vestibular conflict induced by virtual reality in humans. *Neuroscience Letters* 340, 3, 197–200.
- [2] Biocca, F. 1999. The Cyborg's dilemma progressive embodiment in virtual environments. In *Humane interfaces. Questions of method and practice in cognitive technology*. Human factors in information technology 13. Elsevier, Amsterdam, 113–144.
- [3] Biocca, F. and Levy, M. R. 2013. *Communication in the Age of Virtual Reality*. Routledge Communication Series. Taylor & Francis.
- [4] Boletsis, C. 2017. The New Era of Virtual Reality Locomotion. A Systematic Literature Review of Techniques and a Proposed Typology. *MTI* 1, 4, 24.
- [5] Bozgeyikli, E., Raij, A., Katkooori, S., and Dubey, R. 2016. Locomotion in Virtual Reality for Individuals with Autism Spectrum Disorder. In *SUI'16. Proceedings of the 2016 Symposium on Spatial User Interaction: October 15-16, 2016, Tokyo, Japan*. ACM Association for Computing Machinery, New York, NY, 33–42. DOI=10.1145/2983310.2985763.
- [6] Bozgeyikli, E., Raij, A., Katkooori, S., and Dubey, R. 2016. Point & Teleport Locomotion Technique for Virtual Reality. In *CHI PLAY 2016. Proceedings of the 2016 Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play: October 16-19, 2016, Austin, TX, USA*. The Association for Computing Machinery, New York, New York, 205–216. DOI=10.1145/2967934.2968105.
- [7] Brooks, J. O., Goodenough, R. R., Crisler, M. C., Klein, N. D., Alley, R. L., Koon, B. L., Logan, W. C., Ogle, J. H., Tyrrell, R. A., and Wills, R. F. 2010. Simulator sickness during driving simulation studies. *Accident; analysis and prevention* 42, 3, 788–796.
- [8] Buss, S. and Bohnhoff, T. 2016. *Virtual Reality: Mehr als nur Gaming? Ein strukturierter Überblick über Anwendungen und Marktpotenziale*. http://www.men-gmbh.de/pdf/Whitepaper_DMO_Virtual_Reality.pdf. Accessed 4 May 2017.
- [9] Cardoso, J. C. S. 2016. Comparison of gesture, gamepad, and gaze-based locomotion for VR worlds. In *Proceedings, VRST 2016. 22nd ACM Conference on Virtual Reality Software and Technology: Munich, Germany, November 2-4, 2016*.

- The Association for Computing Machinery, Inc, New York, New York, 319–320. DOI=10.1145/2993369.2996327.
- [10] Dörner, R. and Steinicke, F. 2013. Wahrnehmungsaspekte von VR. In *Virtual und Augmented Reality (VR/AR). Grundlagen und Methoden der Virtuellen und Augmentierten Realität*, R. Dörner, W. Broll and B. Jung, Eds. eXamen.press. Springer Vieweg, Berlin, 33–63.
- [11] Facebook Inc. *Oculus Rift*. <https://www.oculus.com/rift/>. Accessed 30 April 2018.
- [12] Fernandes, A. S. and Feiner, S. K. 2016. Combating VR sickness through subtle dynamic field-of-view modification. In *2016 IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI). Greenville, South Carolina, USA, 19-20 March 2016: proceedings*. IEEE, Piscataway, NJ, 201–210. DOI=10.1109/3DUI.2016.7460053.
- [13] Ferracani, A., Pezzatini, D., Bianchini, J., Biscini, G., and Del Bimbo, A. 2016. Locomotion by Natural Gestures for Immersive Virtual Environments. In *MM'16 proceedings of the 2016 ACM Conference & Workshops on Multimedia*. ACM Press, New York, New York, USA, 21–24. DOI=10.1145/2983298.2983307.
- [14] Freitag, S., Rausch, D., and Kuhlen, T. 2014. Reorientation in virtual environments using interactive portals. In *2014 IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI). 29 - 30 March 2014, Minneapolis, Minnesota, USA*. IEEE, Piscataway, NJ, 119–122. DOI=10.1109/3DUI.2014.6798852.
- [15] Google Inc. 2017. *Daydream View*. <https://madeby.google.com/vr/>. Accessed 30 April 2018.
- [16] Harris, A., Nguyen, K., Wilson, P. T., Jackoski, M., and Williams, B. 2014. Human joystick. In *Proceedings, VRCAI 2014. The 13th ACM SIGGRAPH International Conference on Virtual-Reality Continuum and its Applications in Industry: Shenzhen, China, November 30-December 02, 2014*. ACM, New York, 231–234. DOI=10.1145/2670473.2670512.
- [17] HTC Corporation. *HTC Vive*. <https://www.vive.com/de/>. Accessed 30 April 2018.
- [18] Jaeger, B. and Mourant, R. 2001. Comparison of Simulator Sickness Using Static and Dynamic Walking Simulators. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting 45, 27*, 1896–1900.
- [19] Kitson, A., Hashemian, A. M., Stepanova, E. R., Kruijff, E., and Riecke, B. E. 2017. Comparing leaning-based motion cueing interfaces for virtual reality locomotion. In *2017 IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI)*.

- Proceedings: March 18-19, 2017, Los Angeles, CA, USA*. IEEE, Piscataway, NJ, 73–82. DOI=10.1109/3DUI.2017.7893320.
- [20] Koslucher, F., Haaland, E., Malsch, A., Webeler, J., and Stoffregen, T. A. 2015. Sex Differences in the Incidence of Motion Sickness Induced by Linear Visual Oscillation. *Aerospace medicine and human performance* 86, 9, 787–793.
- [21] Langbehn, E., Eichler, T., Ghose, S., von Luck, K., Bruder, G., and Steinicke, F. Evaluation of an omnidirectional walking-in-place user interface with virtual locomotion speed scaled by forward leaning angle. *Proceedings of the GI Workshop on Virtual and Augmented Reality, Sankt Augustin, Germany, 10-11 September 2015*, 149–160.
- [22] Langbehn, E., Lubos, P., and Steinicke, F. 2018. Evaluation of Locomotion Techniques for Room-Scale VR. Joystick, Teleportation, and Redirected Walking. In *Proceedings of the Virtual Reality International Conference (VRIC)*, (accepted).
- [23] Lin, J.-W., Duh, H., Parker, D. E., Abi-Rached, H., and Furness, T. A. 2002. Effects of field of view on presence, enjoyment, memory, and simulator sickness in a virtual environment. In *Proceedings IEEE Virtual Reality 2002*. IEEE Comput. Soc, 164–171. DOI=10.1109/VR.2002.996519.
- [24] Mania, K. and Chalmers, A. 2001. The effects of levels of immersion on memory and presence in virtual environments. A reality centered approach. *Cyberpsychology & behavior: the impact of the Internet, multimedia and virtual reality on behavior and society* 4, 2, 247–264.
- [25] Microsoft Corporation. *Microsoft HoloLens*. <https://www.microsoft.com/de-de/hololens/buy>. Accessed 30 April 2018.
- [26] Milgram, P., Takemura, H., Utsumi, A., and Kishino, F. 1994. Augmented Reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. *SPIE Vol. 2351, Telemanipulator and Telepresence Technologies*, 282–292.
- [27] Nescher, T., Huang, Y.-Y., and Kunz, A. 2014. Planning redirection techniques for optimal free walking experience using model predictive control. In *2014 IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI)*. 29 - 30 March 2014, Minneapolis, Minnesota, USA. IEEE, Piscataway, NJ, 111–118. DOI=10.1109/3DUI.2014.6798851.
- [28] Panetta, K. 2017. *Top Trends in the Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies, 2017*. <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/top-trends-in->

the-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2017/. Accessed 13 March 2018.

- [29] Paris, R. A., McNamara, T. P., Rieser, J. J., and Bodenheimer, B. 2017. A comparison of methods for navigation and wayfinding in large virtual environments using walking. *In Proceedings of the IEEE Virtual Reality*, Los Angeles, CA, USA, 18–22 March 2017; IEEE: Piscataway, NJ, USA, 2017, 261–262.
- [30] Samsung Electronics GmbH. 2016. *Samsung to Unveil Hum On!, Waffle and Entrim 4D Experimental C-Lab Projects at SXSW 2016*. <https://news.samsung.com/global/samsung-to-unveil-hum-on-waffle-and-entrim-4d-experimental-c-lab-projects-at-sxsw-2016>. Accessed 3 May 2018.
- [31] Steuer, J. 1992. Defining Virtual Reality. Dimensions Determining Telepresence. *Journal of Communication* 42, 4, 73–93.
- [32] Tregillus, S. and Folmer, E. 2016. VR-STEP. In *#chi4good. CHI 2016: San Jose, CA, USA, May 7-12*. Association for Computing Machinery Inc. (ACM), New York, NY, 1250–1255. DOI=10.1145/2858036.2858084.
- [33] Wilson, P. T., Kalescky, W., MacLaughlin, A., and Williams, B. 2016. VR locomotion. In *Proceedings, VRCAI 2016. 15th ACM SIGGRAPH Conference on Virtual-Reality Continuum and its Applications in Industry: Beijing Normal University, Zhuhai, China, December 3 - 4, 2016*. The Association for Computing Machinery, Inc, New York, New York, 243–249. DOI=10.1145/3013971.3014010.



Wussten Sie,
dass **ACAD WRITE** [®]
bei Trustpilot mit dem
Prädikat „Hervorragend“
bewertet wird?

www.acad-write.com