



Fachhochschule Nordwestschweiz
Hochschule für Angewandte Psychologie

Bachelorthesis 2019

Einfluss von Eingabegeräten auf die VR-Krankheit

Wirkung von subtilen Reizungen des Gleichgewichtssinns auf
die sensorische Diskrepanz

Autor

Alessio Travaglini

Begleitung

Dr. Oliver Christ

Praxispartner

Fachhochschule Nordwestschweiz Olten
Hochschule für Angewandte Psychologie
Virtual Technologies & Innovation Lab

Zusammenfassung

Noch immer stellt die Simulatorkrankheit im VR-Bereich eine ungelöste Problematik dar. Besonders bei Fahr- oder Flugsimulatoren führt eine Wahrnehmungsdiskrepanz oft zu Übelkeit und Schwindel. Die Studie überprüfte die Annahme, dass ein leichter Stimulus des Gleichgewichtsinns mit Hilfe eines VRGos, welcher im Gegensatz zu herkömmlichen Eingabegeräten mit Neigung als Steuerung agiert, diese Diskrepanz verhindert oder vermindert. Es wurden sowohl bei der Zeit bis zur Übelkeit als auch bei der Stärke von Symptomen der Simulatorkrankheit eine Tendenz festgestellt, welche diese These unterstützen, welche allerdings die nötige statistische Signifikanz nicht erreicht. Diese Arbeit enthält 93'140 Zeichen (inkl. Leerzeichen, ohne Anhang).

Danksagung

Zuerst möchte ich meiner Betreuungsperson Dr. Oliver Christ ein grosses Dankeschön aussprechen. Er hat mich bis zum Schluss ausgezeichnet betreut, motiviert und unterstützt. Jederzeit und bei allen Schwierigkeiten – auch ausserhalb der Arbeitszeit – hat er sich für meine Anliegen, Fragen und Wünsche Zeit genommen und mich kompetent beraten. Ebenfalls möchte ich mich bei den Mitarbeitenden des VTI-Labs Olten bedanken, welche mich bei der Realisierung meiner Thesis unterstützt haben, mir die dazu nötigen Mittel bereitstellten und sogar ein eigenes Programm für meine Thesis schrieben. Auch möchte ich mich bei allen Personen bedanken, welche sich in der Prüfungsphase und ihrer Freizeit Zeit genommen haben, um an meiner Studie teilzunehmen. Ohne sie wäre diese noch heute bloss eine Literaturrecherche. Zum Schluss möchte ich meiner Familie und meinen Kollegen danken, die mich unterstützt und motiviert haben.

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	1
Ausgangslage	1
Abgrenzung.....	3
Aufbau	3
Theoretische Grundlagen	3
Kinetose	3
Definition.....	3
Symptome.....	5
Ursachen.....	5
Virtuelle Realität.....	8
Begriffsdefinition.....	8
Visuelle Wahrnehmung.....	10
Auditiv Wahrnehmung.....	11
Haptische Wahrnehmung.....	12
Olfaktorische und gustatorische Wahrnehmung.....	12
Mittel gegen die VR-Krankheit	13
Bezugsrahmen.....	13
Sichtfeld.....	13
Bilderwiederholungsrate/Latenz.....	13
Training.....	14
Galvanische vestibuläre Stimulation.....	14
Ableitung und Hypothesen	14
Methodik	15
Fahrsimulation	15

Virtuelle Umgebung.	16
Messsystem und Reaktionszeit.	17
Hardware.....	17
Verwendete Fragebögen	18
Simulator Sickness Questionnaire.	18
Motion Sickness Susceptibility Questionnaire.	18
Igroup Presence Questionnaire.	19
NASA Task Load Index.	19
Probandenakquise	20
Vorauswahl.	20
Ethik.....	21
<i>Rekrutierung.</i>	22
Untersuchungsdesign	23
Versuchsablauf.....	24
Pretests	26
Erhebung.....	27
Datenauswertung	27
Ergebnisse	29
Probanden	29
Hypothesentests	29
Hypothese 1.	29
Hypothese 2.	33
Diskussion.....	34
Hypothese 1	35
Hypothese 2	36

Fazit	38
Ausblick.....	38
Reflexion.....	39
Methodik.....	39
Menschliche Einflüsse	40
Persönlicher Rückblick	41
Literaturverzeichnis	42
Abbildungsverzeichnis	49
Tabellenverzeichniss	49
Anhang	50

Einleitung

Ausgangslage

Schon seit Jahren werden der virtuellen und der erweiterten Realität eine goldene Zukunft vorhergesagt, so z.B. durch den im März erschienenen „Worldwide Quarterly Augmented and Virtual Reality Headset Tracker“ der International Data Corporation (IDC) (2019) oder der Studie „State of the Consumer XR market“ von SuperData (2019). Auch wenn diese Begriffe überall in den Medien zu lesen sind, ist vielen Interessenten der Unterschied zwischen den verschiedenen Begriffen nicht klar. Bereits vor der Jahrhundertwende haben Milgram, Takemura, Utsumi und Kishino (1994) diese wie folgt definiert: Eine *gemischte Realität* (MR) besteht sowohl aus realen wie auch virtuellen Gegenständen. Dabei wird zwischen einer *erweiterten Realität* (AR) und einer *erweiterten Virtualität* (AV) unterschieden, wobei bei der AR virtuelle Gegenstände in die normale Welt und bei der AV reale Gegenstände in die virtuelle Welt implementiert werden. Unter einer *virtuellen Realität* (VR) versteht man eine rein virtuelle Welt, die durch ein externes Hardwaregerät (Computer, VR-Brille, usw.) generiert wird. Sowohl VR als auch AR bieten nicht nur in der Videospielebranche unzählige Möglichkeiten, sondern können auch in anderen Bereichen wie Fahrtraining, Architektur und Sporttraining eingesetzt werden. Woran könnte es also liegen, dass trotz vielversprechenden Aussichten und mehreren positiven Prognosen solche Systeme den richtigen Durchbruch noch nicht geschafft haben?

Einer der Gründe liegt sicher darin, dass derartige Geräte hohe Systemanforderungen benötigen und somit hohe Anschaffungskosten generieren (ca. 4000-5000.- CHF mit PC). Mit der im Mai 2019 erschienenen Oculus Quest (der Facebook angehörigen Firma Oculus VR) konnte nun aber ein wettbewerbsfähiges Standalone-Gerät mit Inside-Out Tracking veröffentlicht werden, welches keine teure Hardware mehr voraussetzt. Mit ihrem Preis von 450-500 Franken (Facebook Technologies, 2019) kann die Oculus Quest im Vergleich zu

anderen Standalone- Systemen (Pico One, HTC Fokus) im Marktsegment der Inside-Out Tracking Geräte als graphisch anspruchsvoll und preisgünstig angesehen werden.

Ein weiteres ungelöstes Problem im VR-Bereich betrifft die Gesundheit. Besonders die sogenannte VR-Krankheit, eine Unterform der Kinetose, macht dabei vielen Menschen in Situationen zu schaffen, in der sie sich zwar in der virtuellen Welt bewegen, nicht aber in der echten (Lawson, 2014). Eines der besten Beispiele dafür ist die Übelkeit in Fahr simulatoren. Solche werden beispielsweise aufgrund von Emissionseinschränkungen aller Art und Kosteneinsparungen von Organisationen (wie Rettungskräften oder in militärischen Schulbetrieben) eingesetzt. Obwohl das Problem der Simulationskrankheit schon seit Jahren bekannt ist, konnte bisher noch keine eindeutige Lösung gefunden werden. Auch das Virtual Technologies & Innovation Lab (VTI-Lab) der Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW) hatte bereits in mehreren Experimenten mit diesem Problem zu kämpfen, weshalb es sich entschloss diese Bachelorarbeit als Praxispartner in Auftrag zu geben.

Die neuronale Diskrepanz-Hypothese geht davon aus, dass zu jeder Bewegung, basierend aus früheren Erfahrungen, im Hirn eine Erwartung entsteht, welche Informationen von den verschiedenen Sinnesorganen zurückgesandt werden sollten. Wenn zwischen der erwarteten und der tatsächlichen Information ein langanhaltender Unterschied mit genügender Intensität besteht, führt dies entsprechend zu den neurovegetativen Reaktionen, die wir als Bewegungskrankheit kennen (Reason, 1978) (siehe Kapitel theoretische Grundlagen für eine ausführliche Erklärung). Mit dieser Studie wurde nun untersucht, ob durch die Verwendung eines *VRGo-Chairs*, eines Eingabegerätes welches Körperneigung zur Steuerung der Simulation verwendet, das Entstehen der Simulationskrankheit im Vergleich zu herkömmlichen Eingabegeräten, in diesem Fall einer Kombination aus Fahrpedalen und Steuerrad, verringert oder sogar komplett vermieden werden kann.

Abgrenzung

Diese Arbeit befasst sich damit, ob bereits kleine zusätzliche Reize dem Gleichgewichtssinn helfen, eine sensorische Diskrepanz zu verringern oder zu verhindern, was gemäss der sensorischen Konflikt-Theorie zu einer Verringerung der VR-Krankheit führen sollte. Weiter untersucht diese Studie, ob Faktoren wie ein erhöhter Wert im *Motion Sickness Susceptibility Questionnaire* (MSSQ) (Reason & Brand, 1975), die Fahrerfahrung der Versuchspersonen, die Erfahrung in der virtuellen Realität oder ähnliche Faktoren diese Werte weiter beeinflussen können oder sogar eine grössere Relevanz aufweisen, als das Eingabegerät an sich. Diese Studie untersucht nicht, weshalb Personen in der virtuellen Realität übel wird und ob andere technische Faktoren wie die Bilderrate, ein eingegrenztes Sichtfeld oder eine eingebaute Latenz einen Einfluss auf die VR-Krankheit haben.

Aufbau

Die virtuelle Realität und die VR-Krankheit bilden die beiden Kernthemen der vorliegenden Arbeit. Als solche werden sie im Kapitel 2 zusammen mit den Möglichkeiten zur Verringerung der VR-Krankheit näher betrachtet. Am Ende des zweiten Kapitels werden aufgrund der vorangegangenen Literatur zwei Hypothesen kreiert, welche in der Folge überprüft werden. Kapitel 3 befasst sich mit dem Aufbau des Simulators sowie mit der angewandten Methodik. Die Ergebnisse der empirischen Untersuchung werden anschliessend im Kapitel 4 dargestellt und im Kapitel 5 werden die Erkenntnisse betreffend der zwei Hypothesen erläutert. Kapitel 6 wagt einen Ausblick für die Forschung und die Praxis. Abschliessend wird die gesamte Arbeit in Kapitel 7 reflektiert.

Theoretische Grundlagen

Kinetose

Definition. Das Problem der Kinetose, im Deutschen auch als Reise- oder Bewegungskrankheit oder auf Englisch Motion Sickness bekannt, existiert schon seit

tausenden von Jahren. Obwohl diverse Theorien zur Bewegungskrankheit existieren und einige Zusammenhänge, welche wichtige Ursachen für deren Entstehung sind, identifiziert wurden, ist der genaue interne Vorgang noch immer nicht zu 100 Prozent nachvollziehbar. Bereits Hippocrates schrieb über die Seekrankheit (Reason & Brand, 1975) und es wird angenommen, dass sogar Hannibals Truppen mit Übelkeit auf den Rücken ihrer Elefanten zu kämpfen hatten (Marti-Ibanez, 1954). Nicht nur hat es die Kinetose in den ICD-10 geschafft (WHO, 2018), sondern weist auch diverse Unterkategorien wie die Seekrankheit, die Luftkrankheit, die Raumkrankheit und die Landkrankheit auf. Durch die technischen Entwicklungen des letzten Jahrhunderts sind zudem Begriffe wie die Simulatorkrankheit oder auch die VR-Krankheit dazugekommen. Doch was versteht man unter einer Kinetose überhaupt? Der Begriff *Motion Sickness* wurde, wie bereits erwähnt, erstmals durch Irwin (1881) verwendet, welcher vorschlug, Seekrankheit besser Bewegungskrankheit zu nennen, da dieses Phänomen nicht nur auf hoher See zu beobachten war. Wie auch schon Birren 1949 in seiner Arbeit beschrieb, handelt es sich bei einer Kinetose um ein „psychophysiologisches Phänomen“. Dies bedeutet, dass eine Ansicht dieser Krankheit weder rein auf körperlicher noch auf rein geistiger Ebene möglich ist und somit nur als Ganzes betrachtet werden kann. Ein weiterer wichtiger Aspekt für das Verständnis der Bewegungskrankheit wurde durch Kennedy, Frank, Kellogg und MCCAuley (1983) mit folgender Definition angefügt: „Motion Sickness is a general term for a constellation of symptoms and signs, generally adverse, due to exposure to abrupt, periodic, or unnatural accelerations...“. Gemäss dieser Aussage entsteht eine Kinetose nicht durch die Eigenbewegung einer Person, wogegen (motorisierte) Transportmittel unter bestimmten Umständen eine Bewegungskrankheit auslösen können. Wie Dichgans und Brandt (1973) herausfanden, kann eine Bewegungskrankheit auch dann entstehen, wenn eine erwartete

Bewegungsrückmeldung ausbleibt, was besonders bei der Simulatorkrankheit und auch bei der VR-Krankheit eine wichtige Rolle spielt.

Symptome. Das Hauptsymptom der Reisekrankheit ist Übelkeit, welche mit diversen Nebensymptomen auftreten kann. Da sich diese Studie hauptsächlich mit der VR-Krankheit beschäftigt, wird an dieser Stelle vertieft auf das System von Kennedy, Dunlap und Fowlkes (1990) eingegangen. Dieses geht davon aus, dass zu normalen Symptomen der Bewegungskrankheit wie Übelkeit, Schwitzen, Orientierungslosigkeit und Schläfrigkeit die Simulatorkrankheit auch visuelle Probleme verursachen kann. Dazu gehören Berichte über Augenschmerzen, verschwommenes Sehen, Schwierigkeiten bei der Fokussierung und ein plötzliches Wiederauftreten früherer Symptome (Flashbacks). Kennedy, Smith und Jones (1991) haben dementsprechend die Symptome der Simulatorkrankheit in folgende drei Hauptsymptomcluster unterteilt: "visuell" (Augenreizung, Fokussierungsprobleme, verschwommenes Sehen und Kopfschmerzen), "vagal" (Übelkeit, Bauchgefühl, erhöhter Speichelfluss und Rülpsen) und "vestibulär" (Schwindel und Gleichgewichtsstörungen). Basierend auf diesen Cluster haben Kennedy et al. (1993) ebenfalls einen neuen Fragebogen zum Thema Simulatorkrankheit, das *Simulator Sickness Questionnaire* (SSQ), entwickelt, welcher auch in unserem Experiment eingesetzt wurde.

Ursachen. Vorweg ist zu bemerken, dass die grundlegende Ätiologie der Reisekrankheit noch nicht ganz klar definiert ist und diese Thematik noch weitere Untersuchungen bedarf. Jedoch kann davon ausgegangen werden, dass die wechselnde Beschleunigung, die auf das Labyrinth im Innenohr wirkt, eine grundlegende Ursache für die Bewegungskrankheit ist. Wie in diversen Studien aufgezeigt werden konnte, ist das Entstehen einer Kinetose beim Fehlen des vestibulären Endorgans nicht möglich (Reynolds, 1884, Sjöberg, 1929, Kennedy, Graybiel, McDonough & Beckwith, 1968). Während dem früher davon ausgegangen wurde, dass eine Überstimulierung dieses System zu motion

sickness führt, wurde diese These mittlerweile revidiert. Diese Theorie wurde durch die sensorische Konflikttheorie abgelöst, welche nahelegt, dass die physiologische Komponente nicht einfach ein einzelnes vestibuläres Ereignis ist, sondern dass es die Reaktion des Körpers auf unharmonische/inkongruente sensorische Informationen darstellt, welche ins Hirn gelangen. Die von Irwin (1881) induzierte Theorie wurde 1931 durch Claremont als vollständige Theorie publiziert und seither in diversen Fachzeitschriften abgehandelt.

1978 wurde durch Reason eine Veränderung der bisherigen sensorischen Konflikttheorie vorgeschlagen. Bis dahin ging man davon aus, dass ein direkter Vergleich zwischen mehreren afferenten Signalen irgendwo im Nervensystem zum Konflikt und zu der damit verbundenen Übelkeit führte. Die darauf neu eingeführte Hypothese der neuralen Diskrepanz baut auf dem durch von Holst und Mittelstaedt (1950, 1954) entwickelten *Reafferenz Prinzip* und der sensorischen Neuordnungstheorie von Held (1961) auf. Diese konnten beweisen, dass zu jeder Bewegung neurologisch eine Erwartungshaltung entsteht, welche Auswirkungen diese Aktion auf die Sinnesorgane hat. So erwarten wir zum Beispiel beim Drehen unseres Kopfes eine Verschiebung des Sichtfeldes. Stimmt der Soll-Zustand nicht mit dem Ist-Zustand überein, entsteht entsprechend eine Situation, in welcher das Hirn eine sensorische Neuausrichtung vollführen muss. Wenn, wie in Kapitel Ausgangslage bereits erwähnt, ein anhaltender Unterschied oder eine Diskrepanz zwischen der tatsächlichen Information und der Erwartungshaltung des Gehirns besteht und diese Abweichung genügend Intensität hat, führt dies zu den neurovegetativen Reaktionen, die wir als Bewegungskrankheit kennen. Reason (1978) meint, dass es viele Formen der sensorischen Neuordnung geben könnte, die sowohl von den vorliegenden Umständen als auch von den damit verbundenen sensorischen Eingangsmodalitäten abhängen. Obwohl sich Reason auf sechs Arten der sensorischen Neuordnung bezieht, die zu Bewegungskrankheiten führen könnten, schlägt er vor, dass zwei Haupttypen allgemein nach den beteiligten

Rezeptoren beschrieben werden: Einerseits die visuell-inertialen Neuordnungen, welche "inertial" sowohl den vestibulären als auch den nicht-vestibulären Propriozeptor und andererseits die (halbkreisförmigen) Kanal-Otolithen-Neuordnungen umfassen. In beiden Fällen könnten zwei Konfliktarten auftreten: Bei der ersten Konfliktart, bekannt als Typ 1, senden beide Systeme unterschiedliche Signale gleichzeitig. In der zweiten Konfliktart, bekannt als Typ 2, liegen lediglich Informationen von einem Rezeptor vor, während dem diese vom Zweiten fehlen. Besonders Typ 2a der visuell-inertialen Neuordnung - bei welchem die Augen zwar eine Bewegung wahrnehmen, dieser Reiz allerdings vom vestibulären Systems nicht zurückgemeldet wird - könnte erklären, weshalb die VR-Krankheit in unserem Experiment entsteht (Reason, 1978).

Das von Reason vorgestellte Modell wurde 1991 durch Guedry um eine dritte Hauptkategorie, die Vestibuläre/Propriozeptor-Fehlanpassung, erweitert. Diese entsteht durch eine signifikant unterschiedliche Reaktion zwischen aktiver und passiver Bewegung. Bles (1996) hat aufgezeigt, dass diese Inkongruenz-Kombination besonders mit dem Fortschritt der virtuellen Realität immer bedeutender wird. Nach seinen Erkenntnissen sind insbesondere die Hauptbeschleunigungsfrequenzen, welche das Gehirn erreichen massgebend. Bei einer natürlichen Bewegung liegen diese Werte zwischen 0,5 und 8 Herz. Jede Beschleunigung ausserhalb dieses Spektrums kann somit zur Bewegungskrankheit führen. Ebenfalls haben Bles, Bos, Graaf, Groen und Wertheim (1998) eine Erweiterung des von Oman (1990) entwickelten heuristisch mathematischen Modells vorgeschlagen, in welchem er gewisse Aspekte in Reasons Modell bemängelte, beispielsweise die fehlende Möglichkeit einer Vorhersage. Sie akzeptierten zwar, dass alle von Guedry (1991) beschriebenen Konflikte zu Orientierungslosigkeit führen können, allerdings hielten sie fest, dass die Reisekrankheit nur aus einer Diskrepanz zwischen der subjektiven Vertikalen, die auf früheren Erfahrungen beruht, und der wahrgenommenen Vertikalen, die durch einen

sensorischen Input bestimmt wird, entsteht. Diese subjektive Vertikale Konflikttheorie erhält zudem Unterstützung durch Forschungsergebnisse von Riccio und Stoffregen (1991), welche vorschlagen, dass die Kontrolle der körperlichen Orientierung ein besseres Verständnis der Ätiologie der Bewegungskrankheit liefert als die Theorie der sensorischen Konflikte.

Virtuelle Realität

Als zweites Kernthema werden in diesem Abschnitt, wie schon beim Thema der Kinetose, auch bei der virtuellen Realität die wichtigsten theoretischen Grundlagen erarbeitet. Dazu werden vorerst die Arten der gemischten und der virtuellen Realität genauer betrachtet und in einem zweiten Schritt die gängigsten Systeme, aufgeteilt nach Wahrnehmungssinn, zur virtuellen Realität aufgeführt.

Begriffsdefinition. Der Begriff *virtuelle Realität* ist, einerseits durch die breite Medienberichterstattung und andererseits durch das Potential, welches der VR- und AR-Branche seit Jahren nachgesagt wird, weit verbreitet. Trotz einem breiten Allgemeinwissen, was unter VR verstanden wird, unterscheiden sich wissenschaftliche Definitionen teilweise stark voneinander. Zudem gilt es, zwischen der virtuellen Realität, der erweiterten Realität und der gemischten Realität zu unterscheiden. Bereits 1994 haben Milgram et al. in ihrer Arbeit zur gemischten Realität das *Milgramm Reality-Virtuality Continuum* vorgestellt, welches die unterschiedlichen Formen zwischen einer vollständig realen Umgebung (Realität) bis hin zu einer vollständig virtuellen Umgebung (Virtualität) aufzeigt und in Abbildung 1 zu sehen ist.

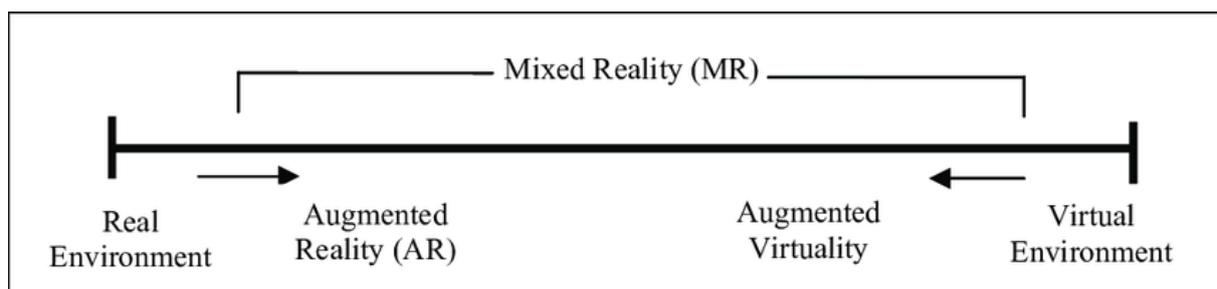


Abbildung 1. Reality-Virtuality Continuum (Milgram et al., 1994)

Dabei ist alles, was zwischen den beiden Polen existiert und entsprechend sowohl Elemente aus der Realität wie auch aus der virtuellen Welt beinhaltet, als gemischte Realität (MR) zu verstehen. Diese unterteilt sich wiederum in zwei Unterkategorien. Die erweiterte Realität (AR) ist eine Kombination aus realen und virtuellen Objekten und enthält eine kleine Menge an virtuellen Daten. Ein Beispiel für eine erweiterte Realität ist das Kultspiel *Pokémon Go*, in welchem durch ein digitales Gerät (in diesem Fall das Smartphone) Monster in der realen Welt gesucht und gejagt werden können. Die Erweiterte Virtualität (AV) ist ein Konzept, bei dem Elemente der Realität zu einer virtuellen Umgebung hinzugefügt werden, welche mehr digitale Daten enthält. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn Echtcharaktere eingescannt und in ein Videospiel integriert werden (Milgram et al., 1994). Wenn nun also die gemischte Realität alles beinhaltet, was einer Vermischung der beiden Dimensionen entspricht, kann daraus der Schluss gefolgert werden, dass unter einer virtuellen Realität (VR) eine rein virtuelle Welt zu verstehen ist, welche durch eine externe Hardware-Komponente generiert wird. Diese Definition überschneidet sich im Grundsatz auch mit jener von Jerald (2016), welche wie folgt lautet: „Unter einer virtuellen Realität versteht man eine künstliche Umgebung, welche durch sensorische Reize (wie Sehenswürdigkeiten und Geräusche), die von einem Computer bereitgestellt werden, erlebt wird und in welcher die eigenen Handlungen teilweise bestimmen, was in der Umgebung passiert.“ Ein wichtiger Faktor, welchen wir bei dieser Definition nicht finden ist die Immersion.

Der Begriff Immersion stammt aus dem spätlateinischen *immersio*, und bedeutet Eintauchung (Bibliographisches Institut GmbH, 2019). Im VR-Bereich ist die Immersion eine Wahrnehmung der physischen Präsenz in einer nicht physischen Welt, welche durch technische Hilfsmittel (Grafik, Sound, Game Autoring, Story, usw.) erzeugt wird. Gemäss Björk und Holopainen (2005) gibt es vier Arten der Immersion: Räumliche Immersion, Emotionale Immersion, Kognitive Immersion und Sensomotorische Kognition. Da in dieser

Studie nicht die verschiedenen Arten der Immersion untersucht wurden, wird hier darauf nicht weiter eingegangen. Ebenfalls ist anzumerken, dass die Immersion als technischer Faktor angesehen werden kann, der das Gefühl von Präsenz erzeugt, während dem die Präsenz das Gefühl beschreibt, sich wirklich in der virtuellen Realität aufzuhalten (Bredl & Bösche, 2013). Zur Messung der Präsenz werden oft Fragebögen wie das igroup presence questionnaire (Schubert, Friedmann & Regenbrecht, 2001) eingesetzt. Auch kann die Immersion einen Einfluss auf die VR-Krankheit haben (Jerald, 2016). Neben spielentwicklungstechnischen Entscheidungen (wie Storywriting, Charaktergestaltung, Schwierigkeitseinstellungen, usw.) stehen den Entwicklern von VR-Applikationen auch diverse hardwaretechnische Möglichkeiten zur Verfügung, um die verschiedenen Wahrnehmungssinne zu stimulieren.

Visuelle Wahrnehmung. Für einen visuellen Reiz wird die wichtigste Komponente eines VR-Systems, der Display, verwendet, über welchen die virtuelle Umgebung wiedergegeben wird. Dabei wird grundsätzlich zwischen drei Systemen unterschieden (Jerald, 2016): Die heutzutage am häufigsten eingesetzte Technik sind Head-Mounted-Displays (HMD). Für VR-Zwecke werden meist HMDs eingesetzt, welche über zwei Bildschirme verfügen und am Kopf befestigt werden. In dieser Kategorie gibt es diverse Marken, die Geräte anbieten, wie z.B. HTC (zusammen mit Valve), Facebook (via Oculus), Sony (Playstation) und weitere. Zu Beginn noch ein Outside-In Tracking stattgefunden hat, heisst, dass die Brille durch externe Geräte geortet werden musste, um ihren Standort zu bestimmen, wird heutzutage in einem neuen Marktsegment ein Inside-Out Tracking verwendet, bei dem die Brille selbst ihren Standort im Raum erkennt. Bei der Kategorie der Inside-Out Tracking-Brillen wird wiederum zwischen markerbased und markerless Geräten unterscheiden. Bei markerbased Geräten werden im Raum kleine Geräte verteilt, welche ein Signal an die Brille senden, wodurch die integrierten Sensoren selbst die Position bestimmen

können (z.B. HTC Vive). Bei markerless Geräten sind keine solchen „Markierungen“ nötig, da die Brille mittels Lichtquellen nach einer kurzen Kalibrierung ihren Standort selbst ermitteln kann (z.B. Oculus Quest). Eine andere Möglichkeit der Kategorisierung besteht darin, die Geräte nach technischen Voraussetzungen zu sortieren, wobei man zwischen Standalone-Systemen und Geräten, welche zusätzlich einen Computer benötigen, unterscheidet. Währenddem erstere besonders für Gelegenheitsspieler geeignet sind, weil sämtliche Berechnungen über die Brille geschehen, eignet sich die zweite Kategorie für leistungsfähigere Programme. Diese höhere Leistungsfähigkeit ist nur möglich, weil alle Programme und Berechnungen auf einem Zweitgerät laufen, dessen Preisklasse oft im tiefen vierstelligen Bereich liegt. Die zweite Kategorie umfasst sogenannte CAVEs, in welchen Wiedergabegeräte fix im Raum installiert sind und die Person umgeben (beispielsweise in einem 360° Kino).

Die dritte Art an Displays hat vor allem in den letzten Jahren mit der gesteigerten Leistung von Smartphones einen Aufschwung erlebt. Es handelt sich dabei um Hand-Held Displays, welche mittels einer Hilfsvorrichtung (wie z.B. einer Brille) oder im AR Bereich, wie beim Spiel *Pokémon Go*, als Mittel zur Auffindung von fiktiven Gegenständen und Wesen eingesetzt werden.

Eine mögliche vierte Kategorie könnte in Zukunft eine Linse sein, die direkt aufs Auge gelegt wird und wie eine AR-Brille funktioniert. Zum jetzigen Zeitpunkt wird allerdings noch immer nach einer Lösung für das Energieproblem der Linse gesucht (Lingley et al., 2011).

Auditive Wahrnehmung. Auch betreffend der optimalen Nutzung des Gehörsinns besteht die Möglichkeit, die Lautsprecher entweder wie bei einem Kino im ganzen Raum zu verteilen oder den Ton über Kopfhörer wiederzugeben. Dabei hat die zweite Variante nicht

nur den Vorteil, dass sie bedeutend kompakter ist, sondern sie schirmt gleichzeitig auch noch Geräusche von aussen ab, weshalb sie für die Immersion geeigneter ist (Jerald, 2016).

Haptische Wahrnehmung. Komplexer ist der dritte Wahrnehmungssinn: das Fühlen. Wo es bei visuellen und auditiven Reizen noch einfach war eine Lösung zu finden, stösst die aktuelle Technik hier an ihre Grenzen. Es gibt zwar Fullbodysuits, welche Druck, Temperatur und Ähnliches manipulieren können (VR Electronics Ltd, 2019), allerdings sind diese preislich nicht massentauglich und werden deshalb oft nur für professionelle Zwecke, wie beispielsweise zur Ausbildung von Militärpiloten, eingesetzt. Hersteller wie HTC und Oculus weichen deshalb auf die einfachste Art der taktilen Krafthaptik aus: einer eingebauten Vibrationsfunktion im Controller. Im Gegensatz zur propriozeptiven Krafthaptik, bei der beispielsweise mittels eines Robotikhandschuhes (Dexta Robotics, 2018) versucht wird die tatsächliche Anstrengung zu simulieren, die für eine Tätigkeit ausgeübt werden muss, wird bei der taktilen Krafthaptik ein Ersatzreiz ausgelöst der anzeigt, wenn eine Aktion (wie zum Beispiel das Ergreifen eines Gegenstandes im virtuellen Raum) erfolgreich ausgeführt wird. Dieser Ersatzreiz kann zwar nicht ganz eine propriozeptive Krafthaptik ersetzen, erzeugt allerdings eine erhöhte Immersion im Vergleich zu keinem haptischen Feedback (The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 1998). Daneben gibt es weitere haptische Möglichkeiten wie Laufbänder oder Bewegungsplattformen, welche eigens für VR entwickelt wurden oder auch diverse spieltypspezialisierte Geräte, auf welche hier nicht weiter eingegangen wird.

Olfaktorische und gustatorische Wahrnehmung. Kommen wir zum Schluss noch zum Geruchs- und Geschmackssinn. Vor allem Letzterer ist relativ schwierig nachzustellen und für den normalen Benutzer praktisch unmöglich in einem normalen Setting zu erleben. Im Bereich der Geruchswahrnehmung kann auch wieder mit Systemen gearbeitet werden,

welche direkt im Raum verteilt sind oder an der Versuchsperson befestigt werden. Eine entsprechende Maske wurde zum Beispiel von *Feelreal Inc.* (2018) herausgegeben.

Mittel gegen die VR-Krankheit

Wir haben erfahren, was unter einer Kinetose zu verstehen ist und wie diese entsteht. Ebenfalls wurde im vorangehenden Abschnitt erläutert, welche unterschiedlichen Systeme genutzt werden können, um eine virtuelle Realität zu erzeugen und was der Unterschied zwischen einer virtuellen Realität und einer gemischten Realität ist. Über die Jahre hinweg gab es eine Vielzahl von Studien, welche sich damit beschäftigten, wie die VR-Krankheit verringert oder vermindert werden kann. Dieser Abschnitt dient dazu, eine kurze Zusammenstellung der verschiedenen Ansätze aufzuzeigen, allerdings ohne dabei ins Detail zu gehen.

Bezugsrahmen. Ein Bezugs- oder Orientierungsrahmen ist eine sehr beliebte Methode zur Bekämpfung der VR-Krankheit. Hierbei wird dem Bild einen visuellen Bezugsrahmen hinzugefügt (Chang et al., 2013). Als einfache und günstige Version kann beispielsweise auch eine virtuelle Nase verwendet werden, welche als Fixpunkt dient (Whittinghill, Ziegler, Moore & Case, 2015).

Sichtfeld. Eine Verkleinerung des Sichtfeldes scheint ebenfalls ein effektives Mittel gegen Kinetose im virtuellen Raum zu sein, wenn auch auf Kosten einer geringeren Immersion (Fernandes & Feiner, 2016). Eine Verbreiterung des Sichtfeldes führt zu einer erhöhten Haltungsinstabilität, die als Ersatzmesswert für die Simulatorkrankheit dient (McCreary & Williges, 2016).

Bilderwiederholungsrate/Latenz. Eine hohe Latenz, die sich aus niedrigen Bildraten ergibt, kann neben einem reduzierten Präsenzgefühl ebenfalls zu einer Simulatorkrankheit führen (Buker, Vincenzi & Deaton, 2012). Dabei scheint die kritische End-zu-End-Latenz bei 17 Millisekunden zu liegen (Adelstein, Lee & Ellis, 2016).

Training. Durch Repetition und wiederholter Konfrontation mit VR-Systemen findet eine Art Abstumpfung und Gewöhnung statt, welche die Symptome einer VR-Krankheit über eine längere Zeit schwächer werden lässt (Howarth & Hodder, 2008). Diese Zielerreichung ist allerdings schwierig, da immer wieder ans Limit gegangen werden muss, um eine solche Resilienz zu kreieren.

Galvanische vestibuläre Stimulation. Durch eine Stimulation des Gleichgewichtssinns kann der Unterschied zwischen einem visuellen Reiz und den Informationen vom Gleichgewichtssinn im Innenohr, zum Beispiel in einem Fahrsimulator, verhindert werden. Dies hilft erfolgreich bei der Reduzierung der Bewegungskrankheit (Reed-Jones, Reed-Jones, Trick & Vallis, 2010).

Ableitung und Hypothesen

In den vorhergehenden Abschnitten wurden mittels relevanter Literatur die theoretischen Grundlagen für die Hypothesen gelegt. Sowohl die Theorie zur Kinetose als auch die Mittel gegen diese lassen darauf schliessen, dass die vestibuläre Wahrnehmung einer der Einflussfaktoren für das Auftreten der VR-Krankheit ist. So konnte Literatur dazu gefunden werden wie Menschen reagieren, wenn sie ein Laufband verwenden (Iwata, 1999) oder auf der Stelle laufen, während dem sie sich in der virtuellen Realität bewegen (Templeman, Denbrook & Sibert, 1999). Diese zeigt auf, dass das Gefühl, eine Bewegung selbst zu vollführen, sich positiv auf die VR-Krankheit auswirken kann. Was beim Gehen zwar funktionieren kann, wird allerdings in Simulationen von motorisierten Geräten schwieriger. Selbst bei Simulationen von Kampffjets, wo durch Spannung des Haltegurtes oder Kippen des Cockpits Beschleunigung und Abbremsen simuliert werden, kann keine perfekte Nachbildung der Realsituationen erfolgen, was sogar bei Profipiloten teilweise noch Übelkeit verursacht (Hixson, Guedry, Letz & Holtzman, 1983). Solche Systeme sind zudem sehr teuer und somit weder für Kleinorganisationen noch für Privatpersonen geeignet. Der

VRGo verspricht aber eine Lösung für dieses Problem. Dadurch, dass die Steuerung durch ein Neigen des Körpers erfolgt, erhält der Gleichgewichtssinn einen Input, was das Auftreten einer Kinetose gemäss der Theorie von Reason (1978) verhindern oder verringern soll.

Leider konnte keine bestehende Literatur zu solchen subtilen Bewegungen im Zusammenhang zu Fahrsimulationen gefunden werden. Sollte die Aussage zum VRGo stimmen, kann sich dies durch zwei mögliche Effekte zeigen, weshalb aus der bekannten Theorie folgende Hypothesen abgeleitet wurden:

Hypothese 1: *Wenn Probanden mit dem VRGo eine virtuelle Fahrstrecke absolvieren, dann verbringen sie mehr Zeit in der Simulation bis sie Zeichen der VR-Krankheit wahrnehmen als Probanden, die mit Steuerrad und Gaspedal fahren.*

Hypothese 2: *Wenn Probanden mit dem VRGo eine virtuelle Fahrstrecke absolviert haben, dann wissen sie nach dem Experiment eine geringere Verschlechterung der im SSQ beschriebenen Symptome im Vergleich zu Probanden, die mit Steuerrad und Gaspedal gefahren sind, auf.*

Durch die Operationalisierung von Motion Sickness in die Faktoren Zeit bis zur Übelkeit (Hypothese 1) und Schwere der aufgetretenen Übelkeit (Hypothese 2) kann somit die Aussage, dass sich die Benützung eines VRGos gegenüber herkömmlichen Eingabegeräten (in diesem Fall die Eingabe via Trustmaster) positiv auf die VR-Krankheit auswirkt, in seiner Ganzheit überprüft werden.

Methodik

Fahrsimulation

Die Fahrsimulation diente in unserem Experiment als eine der Hauptquellen für die Forschungsbefunde. Entsprechend wichtig war es, dass diese problemlos funktionierte. Glücklicherweise konnte ein bereits aus vorangegangenen Experimenten bewährtes System

des VTI-Labs für die Studie modifiziert und verwendet werden. Dieses System wird in diesem Abschnitt genauer betrachtet.

Virtuelle Umgebung. Als virtuelle Umgebung wurde das bereits bestehende Videospiel Project CARS der Slightly Mad Studios aus dem Jahre 2015 verwendet, auf welches über Steam VR zugegriffen werden kann. Dieses Spiel wurde gewählt, weil es grossen Wert auf ein reales Fahrerlebnis setzt und bereits diverse Mitarbeitende des VTI-Labs nach dem Ausprobieren des Spieles über Symptome der VR-Krankheit berichteten.

Zur Angewöhnung wurde als Probefahrtstrecke der *Sonoma Raceway GP* ausgewählt, da die Strecke über eine eher schmale Fahrbahn und diversen engen Kurven verfügt, in denen die Versuchsteilnehmer beinahe bis auf Null abbremsen mussten und sich diese so ausreichend auf die mit der VR-Brille eingesetzte Strecke vorbereiten konnten. Den Versuchsteilnehmenden wurde für die Probefahrt kein Zeitlimit gesetzt. Stattdessen sollten sie sich melden, sobald sie mit dem jeweiligen System vertraut waren, worauf dann direkt zum Experiment mit der VR-Brille gewechselt wurde.

Für die anschliessende Fahrt in der virtuellen Realität wurde die Strecke *California Highway Reverse* gewählt. Aufgrund ihrer Länge, der ansteigenden Anzahl an Kurven und den damit verbundenen Bremsungen und Beschleunigungen von Teilabschnitt zu Teilabschnitt, war dies für unser Versuchsdesign die Idealstrecke. Durch die Auswahl zweier verschiedenen Strecken sollte zudem verhindert werden, dass die Testpersonen die tatsächliche Teststrecke bereits kannten, womit ein Trainingseffekt ausgeschlossen werden konnte. Als Fahrzeugmodell wurde der Mercedes-Benz A45 AMG ausgewählt, da er zu der Kategorie der langsamen Wagen im Spiel gehört und das Interieur stark an einen normalen Strassenwagen erinnert. Somit sollte eine erhöhte Immersion provoziert werden, was allerdings auf die spätere Auswertung keinen Einfluss haben sollte, da alle Versuchspersonen dasselbe Auto fuhren. Als Wetterbedingungen wurde Heavy Cloud um

20:00 Uhr festgelegt, um mögliche Lichteinstrahlungen zu unterdrücken, während dem die Sicht nicht negativ beeinflusst wurde.

Messsystem und Reaktionszeit. Die Aufzeichnung und Ausgabe der Erhebungsdaten fanden über zwei externe Programme statt. Die Bildschirmaufnahmen erfolgten über die bereits in Windows 10 installierte Spielleiste, während für die Zeitmessung ein eigens dafür geschriebenes Programm verwendet wurde, welches mit den Tasten des Steuerrades verknüpft war. Die Datenausgabe der Zeitmessung erfolgte nach jeder absolvierten Erhebungsstrecke in Form einer CSV-Datei, die anschliessend vom Versuchsleiter abgespeichert wurde. Die Bildschirmaufnahmen wurden nur für den Fall aufbewahrt, dass Fahrten nachgeprüft werden konnten, sollten Anomalien in den Daten auftreten.

Für die vorliegende Arbeit spielten vor allem die Zeitpunkte bis zur Übelkeit, respektive bis zum Ende oder Abbruch der Fahrt eine Rolle. Entsprechend erfolgten alle Zeitmessungen und die Berechnung der Zwischenzeiten durch das Programm auf die Millisekunde genau. Als relevante Zeitpunkte wurden der Start und das Ende der Probefahrt, der Start der VR-Fahrt, der genaue Zeitpunkt an welchem dem Versuchsteilnehmenden unwohl wurde, sowie der Endzeitpunkt der VR-Fahrt festgehalten. Der Endzeitpunkt konnte dabei entweder der Zeitpunkt des Abbruchs oder die Einfahrt ins Ziel darstellen. Der Punkt des Unwohlseins und der Zeitpunkt des Abbruchs wurden von den Versuchspersonen durch Tastendruck selbst aktiviert, während der Versuchsleiter die anderen Punkte aktivierte.

Hardware. Die Hardware des Fahrsimulators setzte sich aus Komponenten zusammen, die sich bereits im Besitz der Fachhochschule befanden und bereits in vorherigen Experimenten erfolgreich eingesetzt wurden. Es galt dabei zu beachten, dass alle Teile trotz unterschiedlichen Herstellern zueinander kompatibel waren. Nachfolgend sind alle Komponenten aufgelistet:

Computer

- Prozessor: Intel i7-8700K, 3.70GHz
- Grafikkarte: NVIDIA GeForce RTX2080 TI

VR-Brille

- HTC VIVE Pro Eye

Lenkrad

- Thrustmaster T150 RS

Pedale

- Thrustmaster T3PA- Pro Pedalset

Sitze

- PlaySeat Gaming Chair
- VRGo-Chair



Abbildung 2. Fahrsimulator mit VRGo im Einsatz (eigene Abbildung)

Verwendete Fragebögen

Simulator Sickness Questionnaire. Wie bereits am Ende des Kapitels Kinetose angemerkt, basiert das Simulator Sickness Questionnaire (SSQ) auf den 1991 durch Kennedy et al. festgestellten Unterschieden zwischen der normalen Bewegungskrankheit und der Simulatorkrankheit. 1993 von Kennedy et al. entwickelt, unterscheidet der SSQ zwischen 16 Items, welche zu den drei Oberkategorien *Übelkeit (Nausea, [N])*, *Augenmotorik (Oculomotor [O])* und *Orientierungslosigkeit (Disorientation [D])* sowie dem *Gesamtscore (Total Score [TS])* zusammengefasst werden können. Die genauen Berechnungen dazu können im Anhang A gefunden werden

Motion Sickness Susceptibility Questionnaire. 1975 durch Reason und Brand entwickelt, gilt das Motion Sickness Susceptibility Questionnaire (MSSQ) auch heute noch als eines der besten Mittel, um eine Voraussage betreffend der Anfälligkeit eines Probanden auf die Bewegungskrankheit zu treffen (Golding, 2006). Die ursprüngliche Variante mit über

50 Items wurde durch Golding (1998) auf neun Items reduziert. Dabei wird mittels einer vierstufigen Skala – welche von *nie krank gefühlt* bis zu *öfters krank gefühlt* reicht – untersucht, wie oft sich die Probanden in der Kindheit, oder in den vergangenen 10 Jahren bei der Benutzung diverser „Risikofaktoren“ krank fühlten. Golding unterscheidet dabei zwischen den Fortbewegungsmittel *Auto, Bus / Reisebus, Zug, Flugzeug, kleine Boote, und Schiffe / Fähren*, und den drei alternativen Orten *Schaukel auf Spielplätzen, Karussell auf Spielplätzen* und *Achterbahn / Kirmesbahn*. Die gekürzte Version des MSSQ wurde in der Akquise der Probanden verwendet und findet sich unter Anhang B.

Igroup Presence Questionnaire. Bei diesem Test handelt es sich um einen Fragebogen, welcher zur Messung des Empfindens von Präsenz in einer virtuellen Umgebung verwendet wird. Dazu wird zuerst in einer allgemeinen Frage das „Gefühl dort zu sein“ abgefragt, bevor fünf Fragen zur räumlichen Präsenz, vier Fragen zur Involviertheit und vier Fragen zum erlebten Realismus folgen, was ein Total von 14 Items ergibt (Schubert et al., 2001). Dabei werden diverse siebenstufige Antwortskalen verwendet, wobei allerdings immer nur die gegenüberliegenden Endpunkte, sowie ab und an der neutrale Mittelpunkt, benannt werden. Eine solche Frage lautet beispielsweise *Wie real erschien Ihnen die virtuelle Umgebung?* wobei nur die Endpunkte *vollkommen real* und *gar nicht real* sowie der neutrale Punkt *weder noch* betitelt werden. Die Liste der verwendeten Items kann unter Anhang C oder auf der Website des *igroup.org – project consortiums (1995)* eingesehen werden. Das Igroup Presence Questionnaire (IPQ) wurde zwar als Bestandteil der postexperimentalen Datenerhebung eingesetzt, allerdings wurde es wegen eines methodischen Fehlers seitens der Versuchsleitung kaum zur Datenauswertung benutzt (siehe Kapitel *Reflexion* für mehr Infos)

NASA Task Load Index. Der NASA Task Load Index (NASA-TLX) wird eingesetzt, um die wahrgenommene Auslastung der Versuchspersonen während einer

Mensch-Maschinen-Interaktion zu messen. Das in den 80er Jahren entwickelte Tool (Hart & Staveland, 1988) gilt auch heute noch zu einem der meist genutzten Fragebögen in diesem Gebiet. Besonders die gekürzte Version, auch bekannt als TLX raw (Hart, 2016), dient dabei zur raschen Evaluierung von verschiedenen Anforderungstypen, welche durch die Probanden nach dem Experiment auf einer 20-stufigen Skala bewertet werden. Der Fragebogen wurde zwar als Teil der postexperimentalen Datenerhebung eingesetzt, die darin erhobenen Daten allerdings wegen des geringen Zusammenhangs zu der Forschungsfrage grösstenteils weggelassen. Der TLX raw kann unter Anhang C gefunden werden.

Probandenakquise

Diese Studie setzte relativ spezifische Kriterien für die Versuchsteilnehmenden voraus. Nicht nur mussten diese empfindlich für die VR-Krankheit sein, sie mussten auch bereit sein, kurz vor oder während der Prüfungsphase daran teilzunehmen. Dieser zweite Aspekt stellte dabei eine ebenso grosse Herausforderung dar wie der hohe MSSQ-Score. Um diese Hürde zu überwinden wurde deshalb das folgende Vorgehen gewählt:

Vorauswahl. Die Vorselektion der Versuchsprobanden fand durch einen Online-Fragebogen (Anhang B) über die Plattform *Unipark* statt. Über Mailverteiler der Hochschule für Angewandte Psychologie sowie der Hochschule für Wirtschaft konnten Studierende und Mitarbeitende der beiden Hochschulen akquiriert werden. Weiter wurde der Fragebogen auch privat über diverse Kanäle verteilt, was zu einer Heterogenisierung der Stichprobe beitrug. Der Fragebogen war wie folgt aufgebaut:

Begrüssung. Die Startseite der Umfrage informierte die Versuchsteilnehmenden über den Inhalt und den Ablauf der Studie, die dazugehörige Vergütung sowie Datenschutzrechtliche Hinweise. Letzteren musste zugestimmt werden, bevor der eigentliche Fragebogen ausgefüllt werden konnte.

Persönliche Daten. In dieser Sektion wurden die Versuchspersonen nach diversen persönlichen Daten gefragt, so zum Beispiel ob sie einen Fahrausweis besitzen, ob sie bereits Erfahrung mit VR-Brillen haben und ob Krankheiten wie Epilepsie oder Ähnliches bestehen. Diese Kategorie diente mit den folgenden Seiten als Filter fürs Experiment.

MSSQ. Auf weiteren zwei Seiten wurden die Items des Motion Sickness Susceptibility Questionnaire Short-form (MSSQ-Short) erfasst. Der kumulierte Wert dieser beiden Teilfragebögen wurde nebst den persönlichen Daten zur Auswahl der Versuchspersonen verwendet. Weiter wurde am Ende der zweiten MSSQ-Seite nach einer Mailadresse gefragt, unter welcher die möglichen Versuchspersonen kontaktiert werden konnten.

Abschluss. Darin wurde den Teilnehmenden das Ausfüllen des Fragebogens verdankt und das weitere Vorgehen beschrieben. Weiter wurde eine Kontaktadresse für Fragen oder Anmerkungen seitens der Probanden angegeben.

Ethik. Während dem wir auf die ausgefüllten Onlinefragebogen warteten, liefen parallel die Abklärungen der Ethikkommission der FHNW. Dies war nötig, weil davon ausgegangen wurde, dass ein Grossteil der Versuchspersonen Symptome der VR-Krankheit aufweisen wird. Weiter war eine leichte Täuschung der Probanden von Nöten. Diesen wurde nämlich mitgeteilt, dass es sich beim Experiment um eine Evaluation des Fahrerlebnisses mit den verschiedenen Eingabegeräten handelt. Um den ethischen Richtlinien gerecht zu werden war es uns wichtig, dass den Versuchspersonen klar gemacht wird, dass sie jederzeit das Experiment abbrechen können und auch sollen, bevor die Kinetose zu stark wird. Ebenfalls wurde gewährleistet, dass für jedes Experiment genügend Zeit eingeplant wurde, so dass die Experimentleitung sich um die Versuchsperson kümmern kann, sollten unerwartete Probleme auftreten. Es wurde auch sichergestellt, dass die Experimente in einem Zeitraum stattfanden, zu denen die sich im Stockwerk unter dem VTI-Lab befindende Apotheke

geöffnet hatte. Weiter wurde eine Möglichkeit für die Probanden eingerichtet, wo sie sich hinsetzen oder hinlegen konnten falls nötig und wo sie zudem gekühlte Getränke und kleine Snacks vorfanden. War der Ethikantrag genehmigt, konnte mit der Rekrutierung fortgefahren werden.

Rekrutierung. Nach der Auswertung aller Vorauswahl-Fragebögen wurden aus den eingegangenen 76 vollständig ausgefüllten Fragebögen 24 Probanden nach folgenden Kriterien ausgewählt (die Priorität der Kriterien entspricht der Reihenfolge):

Deklaration von Krankheiten. Hierbei wurde eine Nulltoleranzstrategie angewendet. Wer eine beeinträchtigende Krankheit aufwies, wurde vorsorglich aussortiert, um die Gesundheit der Versuchsteilnehmenden stets gewährleisten zu können

MSSQ-Score. Die Scores der Studieninteressierten reichten von 0 bis 36 Punkten. Ein hoher Zahlenwert bedeutet eine höhere Anfälligkeit für die Bewegungskrankheit. Für unser Experiment waren wir darauf angewiesen, dass die Versuchspersonen eine hohe Anfälligkeit aufweisen. Entsprechend wurden für unser Experiment nur Probanden mit einem Score von 12 oder höher eingeladen. Dieser Wert wurde gewählt, da der Median der Normgruppe bei 11.3 lag und somit der nächste volle Punkt als angebracht erschien (Reason & Brand, 1975).

Nach dem Selektionsverfahren wurden alle Studieninteressierten basierend auf ihrem MSSQ-Gesamtscores nach dem Even-Out Prinzip in Gruppen eingeteilt und per Mail informiert. Die ausgewählten Personen wurden gebeten, sich über *Doodle.com* für einen passenden Termin einzutragen. Sollte keiner der vorgegebenen Termine möglich sein, wurden die möglichen Probanden aufgefordert, kurz via Mail mit der Versuchsleitung Kontakt aufzunehmen, um einen alternativen Termin zu finden. Zudem wurde im Mail eine Standortbeschreibung mitgesendet. Insgesamt 5 der 24 eingeladenen Probanden mussten für das Experiment absagen, wovon aufgrund der Kriterien nur für zwei rechtzeitig einen Ersatz

gefunden werden konnte. Die Gruppenzuteilung konnte bis auf einen Fall, bei welchem erst am Tag des Experiments wegen eines medizinischen Notfalls kurzfristig der Termin annulliert werden musste, rechtzeitig angepasst werden.

Untersuchungsdesign

Die geschilderte Ausgangslage und die vertiefte Literaturrecherche zum aktuellen Stand der Forschung, legten ein explanatives Untersuchungsverfahren nahe. Zwar wurde keine Literatur zu genau diesem Thema gefunden, doch liessen sich aufgrund des Standes der Theorienentwicklung und der vorangegangenen Forschungen zwei begründete Zusammenhangshypothesen formulieren. Sowohl aus ethischen wie auch aus zeittechnischen Gründen wurde eine quantitative Quasi-experimentelle Primärstudie ohne Messwiederholung gewählt. Ebenso wie ein echtes Experiment dient ein Quasi-Experiment der Überprüfung des kausalen Einflusses einer (oder mehrerer) unabhängigen Variablen (UV) auf die Ausprägung einer (oder mehrerer) abhängiger Variablen (AV) (Döring & Bortz, 2016). In der vorliegenden Arbeit wurde die Wirkung der unabhängigen Variablen *Eingabegerät* auf die abhängigen Variablen *Dauer Start bis Abbruch* und *Gesamtveränderung SSQ* sowie deren Untervariablen untersucht. Da verschiedene Versuchsprobandengruppen für die beiden Bedingungen eingesetzt wurden, handelt es sich um ein einfaktorielles, univariantes between-subjects Design.

Die Versuchsleitung entschied sich für ein Quasi-Experiment, da für die Datengewinnung die zwingende Notwendigkeit bestand, dass Probanden während des Experiments Symptome der VR-Krankheit wahrnahmen. Aus diesem Grund wurden die Probanden zuerst nach ihrem MSSQ-Wert sortiert und dann mittels der Even-Out Methode den beiden Gruppen zugeteilt. Dadurch wurde zwar das Auftreten eines Konfundierungseffekts riskiert, jedoch konnten dadurch speziell für unsere Studie relevante Versuchspersonen zum tatsächlichen Experiment eingeladen werden. Durch die Zuteilung

nach der Even-Out Methode wurde versucht, eines der grössten Probleme einer quasi-experimentellen Studie, die geringe interne Validität, zu verbessern, indem die Störvariable *Anfälligkeit für Kinetose* in beiden Gruppen konstant gehalten und am Schluss als Kontrollvariable ebenfalls in die Berechnungen aufgenommen wurde. Bei der internen Validität handelt es sich um das Ausmass, in welchem eine Veränderung der Zeit bis zur Übelkeit und eine Veränderung des SSQ Gesamtscores (AVs) eindeutig auf den Einfluss der Gruppeneinteilung (UV) zurückzuführen sind. Um die interne Validität hoch zu halten gilt es, Störvariablen wie Lichtverhältnisse, Einfluss von Substanzen, Trainingseffekte, usw. möglichst auszuschliessen. Durch das Laborsetting konnte grundsätzlich eine hohe Standardisierung und damit eine gute Kontrolle potenzieller Störfaktoren ermöglicht werden. Allerdings hat eine Laboruntersuchung nicht nur positive Auswirkungen auf die interne Validität, sondern auch negative Auswirkungen auf die externe Validität. Diese beschreibt den Grad der Generalisierbarkeit der Ergebnisse über die untersuchten Personen hinweg.

Versuchsablauf

Als Durchführungsstandort konnte über die gesamte Studiendauer ein Raum im VTI-Lab in Olten genutzt werden, was sich positiv auf die Standardisierung der Erhebungsdurchführung auswirkte. Alle Versuchsprobanden absolvierten das Experiment in derselben vorgegebenen Reihenfolge.

Vorbereitung. Vor dem Eintreffen des Teilnehmers wurden alle nötigen Vorbereitungen für eine reibungslose Studiendurchführung getroffen. Dabei galt es neben dem Bereitlegen der Fragebögen und der generellen Raumvorbereitung auch den Simulator und dessen Komponenten zu überprüfen. Vor jedem Erhebungstermin wurden deshalb die Funktionalität des Simulators und die Datenausgabe auf deren Korrektheit getestet.

Begrüssung und Einführung. Die Personen wurden vor dem Labor in Empfang genommen und in den Versuchsraum begleitet. Daraufhin wurden diese gebeten einen

kurzen Fragebogen auszufüllen, welcher den ersten Teil des Simulator Sickness Questionnaire (SSQ) (Kennedy et al., 1993) und einige weitere allgemeine Fragen wie Zeitpunkt der letzten Mahlzeit, die Einnahme von Medikamenten und die Schlafdauer beinhaltete (Anhang D). Danach wurde die Versuchsperson nochmals über den genauen Ablauf instruiert und wiederholt darauf aufmerksam gemacht, dass sie jederzeit das Experiment abbrechen konnte, ohne dass dies einen negativen Einfluss auf die Daten habe und dass sie abbrechen sollen, sobald sich ein starkes Gefühl von Unwohlsein entwickelte (Anhang E). Ebenfalls wurde die Versuchsperson darauf aufmerksam gemacht, dass für den Fall des Unwohlseins sowohl Getränke als auch Medikamente vorhanden seien. Nach der Einführung des Probanden folgten diese weiteren Schritte:

Einstellen des Sitzes. Da verschiedene Sitze verfügbar waren, wurden diese für jede Testperson individuell so eingestellt, dass eine möglichst bequeme Sitzposition gegeben war.

Übungsstrecke. Die Probanden konnten sich auf einer Teststrecke an das Fahren mit Steuerrad und Pedal / VRGo gewöhnen.

Wechsel zum VR-Test. Den Versuchsteilnehmenden wurde erklärt, wie eine VR-Brille verwendet und eingestellt wird. Diese wurde danach auf die Teilnehmenden angepasst und mit dem Spiel synchronisiert.

Erhebungsstrecke. Die Probanden absolvierten die Erhebungsstrecke in der virtuellen Realität.

Fragebögen. Nach Absolvierung der Erhebungsstrecke folgten drei Fragebögen (Anhang C), welche die Probanden in Papierform ausfüllten. Beim ersten Fragebogen handelte es sich um den 2. Teil des SSQ, gefolgt vom IPQ, welcher das empfundene Immersionsgefühl während der Fahrt erheben sollte. Als dritter Fragebogen wurde die kürzere Version des NASA Task Load Index (NASA-TLX), auch bekannt als TLX raw,

eingesetzt, um die wahrgenommene Auslastung der Versuchspersonen während der Ausführung des Experiments zu erheben.

Erholungsphase. Nach Beendigung des Experiments wurde grosser Wert darauf gelegt sicherzustellen, dass es den Probanden gut geht. Zu diesem Zweck wurde den Probanden eine Reihe an Getränken und kleinen Snacks, sowie eine Sitz- oder Liegemöglichkeit angeboten. Nur in einem Fall wurde eine Tablette Itinerol B6 abgegeben, welches gegen Brechreiz und Reisekrankheit hilft. Dieses Medikament wurde gewählt, da es gemäss medizinischer Beratung mit den meisten gängigen Mitteln eingenommen werden kann. Trotzdem wurde sichergestellt, dass die Versuchsperson an diesem Tag keine anderweitigen Medikamente zu sich nahm.

Abschluss und Verabschiedung. Nachdem sichergestellt wurde, dass es den Probanden wieder einigermaßen gut ging, folgte ein Debriefing, in welchem die Teilnehmenden über den wahren Zweck und Inhalt des Experiments aufgeklärt wurden. Ebenfalls hatten diese nochmals die Möglichkeit Fragen zum Experiment zu stellen und weitere Informationen zu der VR-Krankheit zu erhalten. Abschliessend wurde gegen Ausfüllen einer Quittung die Entschädigung von 20 Franken ausgezahlt, welche vom Praxispartner als Entschädigung gestellt wurde.

Pretests

Vor der Erhebung wurden insgesamt drei Pretests durchgeführt. Der erste Test wurde vor allem zur Überprüfung der Technik durchgeführt, wobei allerdings nur kleine Fehler festgestellt und direkt behoben werden konnten. Für die erste Testfahrt wurde bewusst eine Person mit einem sehr geringen MSSQ-Wert (2) eingesetzt, womit mehrere Fahrten nacheinander durchgeführt werden konnten. Wie erwartet hatte die Versuchsperson keinerlei Schwierigkeiten mit der Fahrt und konnte zusätzlich wertvolle Inputs geben, worauf zu achten ist und was am Ehesten zu Übelkeit führen könnte. Die zweite und dritte Testperson

hatten beide einen hohen MSSQ-Wert (22 und 34) und absolvierten das Experiment nachdem kleine Anpassungen aus dem ersten Pretest vorgenommen wurden. Beide Experimente wurden nach Drehbuch durchgeführt, damit nochmals die Dauer und der genaue Ablauf überprüft werden konnten. Beide Versuchspersonen mussten vor dem Ende der Strecke wegen aufkommender Übelkeit abbrechen, was wiederum die Richtigkeit des MSSQ-Wertes als Auswahlverfahren bestätigte.

Erhebung

Die Erhebungen fanden über einen Zeitraum von drei Wochen, namentlich zwischen dem 17. Juni und dem 7. Juli 2019 statt. Die Erhebung erfolgte vollständig durch den Autor dieser Arbeit als Versuchsleiter. Nur eine Versuchsperson musste sich kurzfristig (am Morgen des Experiments) wegen eines medizinischen Notfalls abmelden. Die restlichen 21 Probanden trafen allesamt pünktlich am Teststandort ein. In einem Fall musste die Versuchsperson sich etwas gedulden, da wegen technischen Schwierigkeiten das System noch nicht bereit war, was allerdings keinen Einfluss auf die Erhebung an sich gehabt haben sollte. Für jeden Probanden wurde mit Vor- und Nachbearbeitung eine Erhebungszeit von einer Stunde gerechnet. Dieses Zeitfenster konnte in allen Fällen problemlos eingehalten werden.

Datenauswertung

Zur Auswertung der erhobenen Daten wurde die Statistiksoftware SPSS (Version 24.0) sowie Excel 2016 verwendet. Die Rohdaten der Versuchspersonen wurden nach Abschluss der Erhebung kumuliert und aufbereitet. Dazu wurden zuerst die Daten der 21 Versuchspersonen ins SPSS importiert und nach Gruppen aufgeteilt. Gruppe 1 widerspiegelt dabei die Experimentalgruppe, welche den VRGo als Eingabegerät verwendet hat. Sie weist eine Gruppengröße von $N = 10$ auf. Gruppe 2 ist die Kontrollgruppe, welche das Experiment mittels des Trustmasters absolviert hat ($N = 11$). Im nächsten Schritt wurden

Boxplot-Diagramme für die Variablen *Dauer bis zur Übelkeit*, *Dauer Übelkeit bis Abbruch*, *Dauer Start bis Abbruch* und *Dauer bis Ende ohne Abbruch* erstellt. Der Vorteil des Boxplot-Diagramms liegt darin, dass es Median, die Box (Bereich zwischen unterem und oberem Quartil), die Antennen (Bereich ohne Ausreisser) sowie die Ausreisser in ihrem Schweregrad übersichtlich darstellt (Bühl, 2014). Dies erlaubte eine erste Übersicht und Interpretation der Daten. Es konnte nur ein Ausreisser der Gruppe 1 in der Variable *Dauer Übelkeit bis Abbruch* ausfindig gemacht werden, welcher nach genauerer Betrachtung jedoch nicht entfernt wurde, da der Wert im Vergleich zu den Daten aus der 2. Gruppe als normal angesehen wurde. Der Unterschied zu den anderen Werten wurde dadurch begründet, dass diverse Personen in Gruppe 1 keine Anzeichen von Übelkeit verspürt haben und dadurch nur die Werte der sehr empfindlichen Personen zum Vergleich vorzufinden sind.

In der zweiten Phase wurden die Daten sowohl auf Normalverteilung (Kolmogorov-Smirnov-Test und Shapiro-Wilk-Test) als auch auf Varianzhomogenität (Levene-Test) geprüft, um festzustellen, ob ein t -Test für unabhängige Stichproben verwendet werden darf, oder auf den Mann-Whitney U Test ausgewichen werden muss. Sämtliche verwendeten intervallskalierten Daten haben beide Tests bestanden, was die Verwendung eines t -Test für unabhängige Stichproben ermöglichte. Für die ordinalskalierten Daten wurde der Mann-Whitney U Test gewählt. Um die Zusammenhänge zwischen verschiedenen Variablen zu vergleichen wurden je nach Skalierung der Daten Pearsons Chi-Quadrat-Test (Normalskalierung), die Rangkorrelation nach Spearman (Ordinalskalierung) oder die Korrelation nach Bravais-Pearson (Intervallskalierung) verwendet. Bei einer Analyse wurde der exakte Test nach Fisher verwendet, da die Zellohäufigkeiten kleiner als 5 waren. Abschliessend wurden die Effektstärken der Resultate nach Cohens d berechnet. Von einem kleinen Effekt spricht man ab $d = 0.20$. Ein mittlerer Effekt liegt bei $d = 0.50$ vor und ein grosser Effekt ab $d = 0.80$ (Cohen, 1988).

Ergebnisse

Probanden

Das Experiment wurde insgesamt 21-mal durchgeführt, wobei die Experimentalgruppe aus $N = 10$ und die Kontrollgruppe aus $N = 11$ bestand. Das Alter der Probanden variierte von 22 bis 31 Jahren mit einem Mittelwert von 25.43 Jahren und einem Mittelwertsunterschied von nur gerade 3 Monaten ($G1 M = 25.30$, $G2 M = 25.55$) zwischen den beiden Gruppen. Total nahmen 14 weibliche und 7 männliche Probanden am Experiment teil, wovon die Gruppe 1 mit 5 weiblichen und 5 männlichen Personen ausgeglichener war als Gruppe 2 mit 9 weiblichen und 2 männlichen Versuchsteilnehmenden. Nur eine Person hatte mehr als 20 Stunden VR-Erfahrung und keiner der Probanden spielt häufiger Videorennspiele als *ein paar Mal pro Jahr*.

Hypothesentests

Hypothese 1. In Tabelle 1 sind die erhobenen Zeiten in Millisekunden, sowie das Gruppenminimum und Maximum, der Mittelwert und die Standardabweichung der Variablen *Dauer bis zur Übelkeit*, *Dauer Übelkeit bis Abbruch*, *Dauer Start bis Abbruch* und *Dauer bis Ende ohne Abbruch* angegeben. Alle Daten sind dabei in Millisekunden aufgelistet. Der Unterschied zwischen den Gesamtgrößen der Gruppen ($G1 N = 10$, $G2 N = 11$) und den angegebenen Größen der Variablen liegt darin, dass nicht jede Versuchsperson die Kriterien der Variablen erfüllte. Die grau hinterlegten Zahlen repräsentieren die Resultate der Experimentalgruppe, während die weiss hinterlegten Zahlen die Werte der Kontrollgruppe wiedergeben.

Tabelle 1. Deskriptive Statistiken der Variablen *Dauer bis zur Übelkeit*, *Dauer Übelkeit bis Abbruch*, *Dauer Start bis Abbruch* und *Dauer Start bis Ende* aufgeteilt nach Gruppen

	Gruppe	N	Min	Max	M	SD
Dauer bis zur Übelkeit	1	6	25719	498069	279215.167	171746.641
	2	10	13989	588382	255175.100	222986.187
Dauer Übelkeit bis Abbruch	1	5	57621	340429	148903.000	112156.823
	2	6	122103	444667	308308.000	139795.999
Dauer Start bis Abbruch	1	5	207444	491325	384347.400	114590.210
	2	6	262613	552897	454961.167	109825.215
Dauer Start bis Ende	1	5	577523	700129	625835.400	48265.995
	2	5	549019	749181	631246.000	76998.775

Wegen ihrer Wichtigkeit auf die erste Hypothese wurde zuerst die Variable *Dauer bis zur Übelkeit* untersucht. Mittels eines Boxplot-Diagramms wurde überprüft, ob es Ausreisser in einer der Gruppen gibt, was nicht der Fall war. Durch die Betrachtung der deskriptiven Daten kann festgestellt werden, dass nicht nur der Mittelwert der Experimentalgruppe (279215.167) grösser ist als der der Kontrollgruppe (255175.100), sondern auch mehr Personen der Kontrollgruppe ($n = 10$) im Vergleich zur Experimentalgruppe ($n = 6$) Symptome von Übelkeit aufwiesen. Nachdem zuvor sichergestellt wurde, dass die Verteilung der Testwerte nicht signifikant von einer Normalverteilung abweichen (Shapiro-Wilks-Test, $p = .126$) und dass die Varianzhomogenitätsannahme nicht verletzt war ($F(1,14) = 2.102$, $p = .169$ $n = 16$) wurden die Daten mittels t -Test für unabhängige Stichproben getestet. Dabei konnten keine signifikanten Unterschiede bei einem Gesamtvergleich der Mittelwerte der beiden Gruppen gefunden werden ($t(14) = .226$, $p = .825$). Da diverse Kandidaten mit einem tiefen MSSQ-Gesamtwert keine Übelkeit verspürt haben, wurde weiter überprüft, ob die Gruppeneinteilung zu einem signifikanten Unterschied beim Auftreten von Übelkeit führte. Gemäss dem exakten Test nach Fisher konnte dies nicht bestätigt werden ($p = .149$). Weiter wurde mit Hilfe eines t -Tests für

unabhängige Stichproben untersucht, ob bei einem Vergleich der Mittelwerte der Versuchspersonen mit einem MSSQ-Wert von über 20 statistisch bedeutsame Unterschiede ersichtlich sind, da es bei G1 alle Personen mit einem geringeren Wert (mit einer Ausnahme) ohne Übelkeit bis ins Ziel geschafft haben. Auch wenn sich die beiden Gruppen (G1 $M = 235444.400$, $SD = 150006.786$, $n = 5$, G2 $M = 137890.667$, $SD = 152142.415$, $n = 6$) dabei auf den ersten Blick nun deutlicher unterscheiden, konnten erneut keine statistisch bedeutsamen Unterschiede festgestellt werden ($t(9) = 1.066$, $p = .314$). Die Effektstärke nach Cohen liegt bei $d = .64$ und entspricht damit einem mittleren Effekt. Ebenfalls wurde überprüft, ob ein Zusammenhang zwischen dem MSSQ-Wert und der Dauer bis zur Übelkeit besteht. Tatsächlich konnte ein solcher negativer Zusammenhang auf dem 0.05 Signifikanzniveau bestätigt werden ($r_s = -.598$, $p = .014$, $n = 16$). Dabei handelt es sich nach Cohen um einen starken Effekt.

Als Nächstes wurde die Dauer von den ersten Symptomen bis zum Abbruch untersucht. Auch hier konnte eine Normalverteilung (Shapiro-Wilks-Test, $p = .103$) sowie eine Varianzhomogenität ($F(1,9) = 1.731$, $p = .221$, $n = 11$) nachgewiesen werden. Wie bereits in Unterkapitel Datenauswertung beschrieben, konnte ein Ausreisser in der Experimentalgruppe ausfindig gemacht werden, welcher allerdings für die weitere Datenauswertung belassen wurde. Basierend auf den deskriptiven Statistiken in Tabelle 1 besteht eine starke Tendenz dazu, dass die Kontrollgruppe nach dem ersten Feststellen von Symptomen der VR-Krankheit länger bis zum Abbruch durchhielt als die Experimentalgruppe (G1 $M = 148903.000$, $SD = 112156.8230$, G2 $M = 308308.000$, $SD = 139795.999$). Trotz der grossen Unterschieden zwischen den Mittelwerten konnte jedoch knapp keine zweiseitige Signifikanz festgestellt werden ($t(9) = -2.053$, $p = .070$). Die Effektstärke nach Cohen liegt bei $d = -1.08$, womit also ein starker Effekt besteht. Eine mögliche Erklärung für diese Tendenz hätte die Immersion sein können, weshalb die Daten

durch eine Rangkorrelation mit den Gesamtergebnissen des IPQ verglichen wurden. Diese Annahme erwies sich allerdings in unserem Experiment als falsch ($r_s = -.106$, $p = .756$, $n = 11$).

Nachdem die Zeiten bis zur Übelkeit und vom Moment der Übelkeit bis zum Abbruch untersucht wurden, wurden diese Werte nun zusammengefasst und nochmals zwischen den beiden Gruppen verglichen. Auch hier sind eine Normalverteilung der Daten (Shapiro-Wilks-Test, $p = .323$) und die Varianzhomogenität ($F(1,9) = 0.000$, $p = .996$, $n = 11$) gegeben. Da die beiden vorangegangenen Variablen eine gegensätzliche Tendenz aufzeigten, wurde hierbei keine statistisch bedeutsamen Unterschiede erwartet, was auch so durch die Auswertung mittels eines t -Tests für unabhängige Stichproben bestätigt wurde. ($t(9) = -1.042$, $p = .325$). Die Effektstärke nach Cohen liegt bei $d = -.63$ und entspricht damit einem mittleren Effekt. Wie bereits bei der *Zeit bis zur Übelkeit* wurde auch hier ein signifikanter negativer Zusammenhang zwischen dem MSSQ-Wert und der Dauer bis zum Abbruch festgestellt ($r_s = -.633$, $p = .036$, $n = 11$). Hierbei handelt es sich nach Cohen wiederum um einen starken Effekt.

Da nicht alle Probanden das Experiment abgebrochen haben, wurden in einem weiteren Schritt noch die Personen untersucht, welche das Ziel erreichten. Wie es bisher stets der Fall war, ist auch dabei eine Normalverteilung (Shapiro-Wilks-Test, $p = .584$) und Varianzhomogenität ($F(1,8) = 1.126$, $p = .320$, $n = 10$) gegeben. Die deskriptiven Statistiken ließen auch hier vermuten, dass kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen besteht, da sich die Daten deutlich glichen (G1 $M = 625835.400$, $SD = 48265.995$, G2 $M = 631246.000$, $SD = 76998.775$). Diese Annahme konnte bestätigt werden ($t(8) = -0.133$, $p = .897$). Zwar wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen festgestellt, dafür konnte aber eine höchstsignifikante Korrelation zwischen der Videospiele-Fahrerfahrung und der Zielzeit gefunden werden ($r_s = -.816$, $p = <0.005$, $n = 10$). Das

Bestimmtheitsmass beträgt $r^2 = .666$. Dabei handelt es sich nach Cohen um einen starken Effekt.

Hypothese 2. Hierzu wurde zuerst die körperliche Belastung der verschiedenen Gruppen gemäss Veränderungen des SSQ ausgewertet. Die Werte konnten dabei im Bereich von -3 bis 3 liegen, wobei ein höherer Wert einer grösseren Verschlechterung entspricht und ein negativer Wert eine Verbesserung darstellt. Bei folgenden Variablen wurden signifikante Unterschiede gefunden (Anhang F): *Veränderung Kopfschmerzen* (G1 Median = -0.200, G2 Median = 0.546, $U = 24.000$, $p = .029$) und *Veränderung Kopfdruck* (G1 Median = 0.100, G2 Median = 1.000, $U = 25.000$, $p = .036$). Ausser bei *Überanstrengung der Augen*, *Probleme scharf zu sehen*, *Erhöhter Speichelfluss* *Konzentrationsschwierigkeiten* und *Verschwommenes Sehen* konnte zudem bei allen Items des SSQ eine Tendenz festgestellt werden, dass die Experimentalgruppe eine geringere Verschlechterung der Symptome aufwies als die Kontrollgruppe (Anhang G). Die grössten gruppenübergreifenden Veränderungen beim SSQ gab es bei den Variablen *Schwitzen* (Anstieg von $M = 0.948$), *Schwindel (Augen zu)* (Anstieg von $M = 0.8095$) und *Magen macht sich bemerkbar* (Anstieg von $M = 0.8095$). Weiter wurden die Daten gemäss der Scoreberechnung des SSQ (siehe Anhang A) die Werte der jeweiligen Oberbegriffe *Übelkeit (Nausea, [N])*, *Augenmotorik (Oculomotor [O])* und *Orientierungslosigkeit (Disorientation [D])* sowie dem *Gesamtscore (Total Score [TS])* berechnet und die neuen Daten reevaluiert. Hierbei wurde weder vor noch nach dem Experiment bei den Werten statistisch bedeutsame Unterschiede zwischen den beiden Gruppen gefunden. Auch konnte bei den Differenzen zwischen den pre- und postexperimental erhobenen Daten dieser neuen Werte kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Versuchsgruppen festgestellt werden (Anhang H), allerdings konnte bei allen 4 Scores eine Tendenz dafür gefunden werden, dass die Verschlechterung der Experimentalgruppe geringer war als die der Kontrollgruppe (Anhang I). Zum Schluss

wurde der NASA-TLX ausgewertet, wobei keine statistisch bedeutsamen Unterschiede zwischen den Gruppen bestanden (Anhang J). Die grösste Differenzen fand sich bei de Variablen *Frustration* (G1 $M = 9.400$, $SD = 5.420$, G2 $M = 13.000$, $SD = 3.464$) wo nur knapp keine Signifikanz gefunden wurde (exakter Mann-Whitney- U -Test: $U = 30.500$, $p = .85$). Die Effektstärke nach Cohen beträgt $r = .38$ was einem mittleren Effekt entspricht. Es konnte somit eine Tendenz festgestellt werden, dass Versuchsteilnehmer der Experimentalgruppe weniger frustriert von der Aufgabe waren als die Kontrollgruppe. Die grösste Anstrengung der Probanden scheint basierend auf den Werten des NASA-TLX geistiger Natur gewesen zu sein ($M = 13.7143$), gefolgt von den zeitlichen Anforderungen ($M = 12.333$).

Diskussion

Das Hauptziel der vorliegenden Arbeit war festzustellen, ob bereits kleine Reizungen des Gleichgewichtssinns helfen, eine sensorische Diskrepanz zu verringern oder gar zu verhindern und ob dies sich positiv auf die VR-Krankheit auswirkt. Diese Annahme wurde basierend auf der neuronalen Diskrepanz-Hypothese von Reason (1978) und den Forschungsergebnissen von Reed-Jones et al. (2010) getroffen, welche besagen, dass eine Stimulierung des vestibulären Systems zu einer Verringerung der aufgetretenen Diskrepanz zwischen den verschiedenen Sinneswahrnehmungen führt. Dazu wurde verglichen, ob die Nutzung eines VRGos, welcher eine Steuerung durch Körperneigung ermöglicht, im Vergleich zu einem herkömmlichen Eingabegerät, in diesem Fall einem Trustmaster inklusive Playseat, zu weniger motion sickness bei der Verwendung eines Fahrsimulators führt. Zur Überprüfung dieser Forschungsfrage wurden zwei Hypothesen aufgestellt, welche im Verlauf des Experiments zu beantworten versucht wurden.

Hypothese 1

Es konnten keine statistisch bedeutsamen Ergebnisse gefunden werden, welche diese Hypothese unterstützen. Somit konnte die erste Hypothese, *Wenn Probanden mit dem VRGo eine virtuelle Fahrstrecke absolvieren, dann verbringen sie mehr Zeit in der Simulation bis sie Zeichen der VR-Krankheit wahrnehmen als Probanden, die mit Steuerrad und Gaspedal fahren*, nicht verifiziert werden. Es konnte einzig eine Tendenz festgestellt werden, dass besonders in den tieferen MSSQ-Bereichen, Personen mit dem VRGo häufiger das Ziel erreichten, ohne dass ihnen übel wurde und, dass Personen in der Kontrollgruppe in den höheren MSSQ-Bereichen schneller übel wurde als in der Experimentalgruppe. Obwohl die Daten nicht statistisch bedeutsam waren konnte doch beim Vergleich der Mittelwerte in den höheren MSSQ-Bereichen eine Effektstärke nach Cohen von $d = 0.64$ gefunden werden. Mittels G*Power wurde daraufhin die Anzahl an Versuchspersonen ausgerechnet, welche für einen signifikanten Unterschied auf dem 0.05 Niveau benötigt worden wären. Künftige Studien sollten demnach eine Stichprobengröße von mindestens 130 Personen anpeilen, um signifikante Unterschiede zu dieser Fragestellung zu finden, falls diese existieren.

Eine umgekehrte Tendenz wurde konstatiert bei der Zeitdauer zwischen ersten Anzeichen von Übelkeit, bis zum Zeitpunkt, an dem die Probanden das Experiment abbrachen. Doch ist auch diese Tendenz leider knapp nicht signifikant, obwohl sich der Mittelwert der beiden Gruppen deutlich unterschied und auch Cohens d mit -1.08 ein starker Effekt aufzeigte. Wie auch schon bei der vorherigen Variable wurde auch hier mittels Q*Power die benötigte Mindestanzahl an Probanden ausgerechnet wobei ermittelt wurde, dass bei 48 oder mehr Probanden die Daten statistisch signifikant ausfallen sollten. Zuerst wurde vermutet, dass diese Differenzen einen Zusammenhang mit der Präsenz im virtuellen Raum haben könnte (Weech, Kenny & Barnett-Cowan, 2019), was allerdings nach der Auswertung des IPQ nicht bestätigt werden konnte. Dies könnte allerdings auch auf einen

methodischen Fehler, resultierend aus einem Übersetzungsfehler sein, der die Signifikanz des IPQs in diesem Experiment schmälert (siehe Kapitel Reflexion für mehr Informationen).

Weitere Forschungen in diesem Bereich (möglichst mit einer grösseren Stichprobe) könnten Aufschluss zu diesem Thema geben. Dadurch, dass unterschiedliche Tendenzen bei den beiden Teilzeiten aufgetreten sind, finden wir bei der Gesamtzeit von Start bis zum Abbruch nur geringe Unterschiede der Zeiten zwischen den beiden Gruppen. Es bleibt jedoch eine geringe Tendenz bestehen, dass die Teilnehmenden der Kontrollgruppe durchschnittlich später das Experiment abgebrochen haben, als die der Experimentalgruppe. Auch hier sollte eine Vergrößerung der Versuchsgruppen auf insgesamt 136 Probanden erfolgen, um die Resultate auf dem 0.05 Niveau statistisch signifikant ausfallen zu lassen. Der grösste Einflussfaktor auf die Zeit, die vergeht bis einer Person übel wird, scheint noch immer der MSSQ-Wert zu sein. Dies unterstützt ebenfalls die Daten von Golding (1998, 2006) welcher die Reliabilität des MSSQs in verschiedenen Situationen überprüfte. Von beiden Gruppen haben gleichviele Versuchsteilnehmer das Ziel erreicht, ohne das Experiment abbrechen zu müssen. Von diesen zehn Personen lagen nur gerade zwei mit ihrem MSSQ-Wert über einem Wert von 20 (21 und 23,25). Auch lag kein Teilnehmer, der es nicht ins Ziel geschafft hat, unter einem MSSQ-Gesamtwert von 20, weshalb dieser Wert für nachfolgende Experimente zur Vorauswahl von Probanden empfohlen wird. Weiter konnten sowohl zwischen dem MSSQ-Wert und der Zeit bis zur Übelkeit als auch zwischen dem MSSQ-Wert und der Zeit bis zum Abbruch eine signifikante Korrelation auf dem 0.05 Niveau festgestellt werden.

Hypothese 2

Die zweite Hypothese, *Wenn Probanden mit dem VRGo eine virtuelle Fahrstrecke absolviert haben, dann wissen sie nach dem Experiment eine geringere Verschlechterung der im SSQ beschriebenen Symptome im Vergleich zu Probanden, die mit Steuerrad und*

Gaspedal gefahren sind, auf., konnte teilweise auf dem 0.05 Niveau verifiziert werden. In den Kategorien *Allgemeines Unwohlsein, Müdigkeit, Kopfschmerzen, Schwitzen, Übelkeit, Kopfdruck, Schwindel (Augen auf), Schwindel (Augen zu), Gleichgewichtsstörungen* und *Magen macht sich bemerkbar* wurden bei der Experimentalgruppe bessere Resultate festgestellt, wobei allerdings nur die Kategorien *Kopfschmerzen* und *Kopfdruck* eine Signifikanz erreichen konnten. Die Kategorien *Überanstrengung der Augen, Probleme scharf zu sehen, Erhöhter Speichelfluss, Konzentrationsschwierigkeiten* und *Verschwommenes Sehen* fielen bei der Kontrollgruppe besser aus, wobei keine signifikanten Werte gefunden wurden. Ebenfalls fielen die Differenzen der Oberkategorien *Übelkeit (Nausea, [N])*, *Augenmotorik (Oculomotor [O])* und *Orientierungslosigkeit (Disorientation [D])* sowie dem *Gesamtscore (Total Score [TS])* zwar nicht signifikant aus, wiesen allerdings alle eine Tendenz auf, welche die Hypothese unterstützt. Auch hier wurde bei den Oberkategorien und dem Gesamtscore mittels G*Power ermittelt, wie viele Probanden den Test ausfüllen müssten, um statistisch signifikante Resultate auf dem 0.05 Niveau zu erhalten. Dabei wurde bei der Variable *Übelkeit (Nausea, [N])* und dem *Gesamtscore (Total Score [TS])* eine Mindestanzahl von 120 Probanden festgestellt, während dem die *Orientierungslosigkeit (Disorientation [D])* mit 140 Probanden und die *Augenmotorik (Oculomotor [O])* mit 300 nochmals eine grössere Versuchsgruppe benötigen.

Die Daten des NASA-TLX wurden zwar erhoben und ausgewertet, allerdings wird wegen ihres geringen Zusammenhanges mit der Hypothese hier auf eine weiter Ausführung der Ergebnisse grösstenteils verzichtet. Erwähnenswert ist allerdings, dass die Probanden der Experimentalgruppe weniger frustriert von der Aufgabe waren als die Probanden der Kontrollgruppe, wobei jedoch keine statistische Signifikanz gefunden werden konnte.

Fazit

Abschliessend kann gesagt werden, dass zu beiden Hypothesen eine Tendenz besteht, welche die Aussage bekräftigen, dass bereits kleine Reize auf den Gleichgewichtssinn sich positiv auf die VR-Krankheit auswirken können. Aufgrund der fehlenden Literatur zu diesem spezifischen Thema, wurde auf eine grosse Menge an Versuchsprobanden verzichtet und anstatt darauf gehofft, mit einer kleinen Gruppe von hochempfindliche Teilnehmenden mögliche Tendenzen aufzudecken, was aus Sicht des Autors auch gelungen ist. Um eine endgültige Aussage zu dieser Thematik zu machen, müssten allerdings weitere Untersuchungen, sowohl mit mehr Teilnehmern als auch mit anderen Simulationen vorgenommen werden. Besonders im Bereich von 140 Versuchsteilnehmern sollten dabei gemäss Hochrechnungen mittel G*Power bei einigen der untersuchten Werten statistisch bedeutsame Daten erhoben werden können. Ebenfalls sollten Studien mit Messwiederholungen zu genaueren Daten führen, da dadurch eine Erhöhung der internen Validität gewährleistet werden kann.

Ausblick

In der vorhergehenden Diskussion konnten für den VRGo eine positive Zwischenbilanz gezogen werden. Zwar konnte keine Signifikanz festgestellt werden, doch besteht eine Tendenz, besonders bei den Personen mit einem MSSQ-Wert von unter 20, indem ihnen gar nicht oder erst später übel wurde, was einem Grossteil der Bevölkerung entspricht. Somit bildet ein VRGo eine günstige Möglichkeit auch für Privatpersonen oder Kleinunternehmen, in den unteren MSSQ-Werten die VR-Erfahrung etwas angenehmer zu gestalten. Dennoch besteht weiterer Forschungsbedarf auf diesem Gebiet, da hochempfindlichen Versuchspersonen auch mit dem VRGo noch immer übel wird. Zudem sollte die Nutzung von ähnlichen Geräten für andere Applikationen untersucht werden. Anzufügen ist auch, dass die im Experiment gemessenen Daten grösstenteils aus einer

Selbsteinschätzung der Probanden erfasst wurden, welche aber von Person zu Person variieren kann. Es wäre somit interessant, die Erkenntnisse zusätzlich mit physiologischen Reaktionen vergleichen zu können. Auch eine Folgerhebung mit grösseren Gruppen und/oder mit einer Messwiederholung könnte interessant sein. Schlussendlich kann darauf gehofft werden, dass weitere Erkenntnisse in diesem Bereich helfen, die VR-Krankheit besser zu verstehen und Mittel zu finden, diese zu verhindern. Sollte dies gelingen wäre eine weitere grosse Hürde zum angepriesenen goldenen Zeitalter der virtuellen Realität genommen.

Reflexion

Methodik

Während sich das Forschungsdesign, aufgrund der Notwendigkeit, dass Probanden empfindlich für die VR-Krankheit sein mussten, durchaus als sinnvoll gestaltete, muss der daraus resultierende Konfundierungseffekt dennoch als Limitation betrachtet werden. Durch die fehlende Randomisierung sind Validitätseinbussen zu befürchten. Sollte es zu einer Folgestudie kommen, wäre deshalb eine grössere Stichprobe mit entsprechendem Studiendesign und Permutation anzustreben. Betreffend Immersion und Präsenz wäre es wissenschaftlich interessant gewesen, mehr Daten zu sammeln. So wurde nach dem VR-Experiment zwar der Igroup Präsenz-Fragebogen verwendet, doch blieb dieser das einzige Erhebungsinstrument in diesem Bereich. Auch wurden Daten der Vorauswahl wie Alter und Geschlecht in der späteren Auswertung grösstenteils vernachlässigt, da sie bei einer Kurzüberprüfung der Daten keine Relevanz zu den Haupthypothesen hatten. Ähnlich verhielt es sich mit dem NASA-TLX der nach der Auswertung kaum mit der Forschungsfrage verbunden werden konnte.

An dieser Stelle muss auch auf einen Fehler bei der Datenerhebung hingewiesen werden. Durch einen Übersetzungsfehler seitens der Versuchsleitung wurden für die Fragen

des iGroup Presence Questionnaire kleinere Skalen verwendet, als diese durch die Autoren des Tests vorgesehen waren. So wurde anstatt einer Skala, welche auf beiden Seiten eine dreistufige Differenzierung aufweist (und somit mit der zentralen neutralen Antwort sieben Antwortmöglichkeiten zur Verfügung gestellt hätte) eine dreistufige Skala mit nur den beiden Extrempunkten und dem neutralen Mittelwert verwendet. Dieser Fehler wurde leider erst bei der Auswertung bemerkt und beeinflusst dadurch bedeutend die damit verglichenen Daten. Aus diesem Grund wurde grösstenteils auch auf einen Vergleich der IPQ-Werte mit den verschiedenen Zeiten verzichtet. Einzig bei der Variable *Übelkeit bis Abbruch* wurde überprüft, ob der IPQ (in seiner falschen Form) einen Hinweis zur bestehenden Tendenz geben kann.

Menschliche Einflüsse

Eine weitere Schwierigkeit stellten die verschiedenen Fahrentscheidungen der Probanden dar. Zwar fanden alle Versuche auf denselben Strecken statt und allen Probanden wurden dieselbe Aufgabenstellung gegeben, allerdings variierten die Fahrstile von Person zu Person markant. Wo die eine Versuchsperson, während dem sie mit 260 km/h über die Brücke donnerte, die Rundumsicht in der virtuellen Realität inspizierte, tuckert die andere mit gemütlichen 120 km/h über die Rennstrecke. Auch wurde festgestellt, dass männliche Versuchsteilnehmer dazu tendieren sich durchzubeissen und weder aufgeben noch abbremsen wollen, während Frauen als Copingstrategie lieber die Fahrgeschwindigkeit drosseln und so ein paar Minuten später ins Ziel kommen. Seitens der Versuchsleitung konnte kein Einfluss auf Unfälle während der Fahrt genommen werden, was bei den Probanden, basierend auf deren Reaktion, die Symptome der VR-Krankheit zu fördern schien.

Persönlicher Rückblick

Dieses Projekt stellte sich als eine grössere Herausforderung heraus als angenommen. Besonders im zeitlichen Ablauf war eine grosse Flexibilität nötig, um alle Experimente, Prüfungen und weitere Aufgaben ohne Qualitätsverlust durchzubringen. Zudem wurde im Verlauf des Experiments klar, dass bestimmte Programmierkenntnisse für die Arbeit in diesem Bereich durchaus von Vorteil sind. Nur dank des grossartigen Einsatzes des VTI-Lab-Teams konnten stets relativ rasch Lösungen gefunden werden. Dies war auch mein erstes Projekt, bei welchem ich mit der Ethikkommission in Kontakt kam, womit ich mir für die künftige Karriere viel Wissen in diesem Bereich akquirieren konnte.

Methodisch bot sich die Gelegenheit, viele der im Studium erlangten Kenntnisse praktisch anzuwenden und weiter zu entwickeln. Dabei wurde besonders in der Statistik schnell klar, dass gewisse Skills rasch darunter leiden, wenn sie nicht regelmässig angewandt oder trainiert werden. Zudem musste ich auf die harte Tour lernen, dass neben einem Plan A und Plan B auch noch eine Eventualplanung für weitere Möglichkeiten gemacht werden sollte, da in jedem Aspekt des Experiments etwas schief gehen kann, sei dies durch technische Störungen, unvorhergesehene Terminverschiebungen, durch die Abhängigkeit von Drittpersonen oder dem kurzfristiger Ausfall von Versuchspersonen.

Literaturverzeichnis

- Adelstein, B. D., Lee, T. G. & Ellis, S. R. (2016). Head Tracking Latency in Virtual Environments. Psychophysics and a Model. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 47 (20), 2083–2087.
<https://doi.org/10.1177/154193120304702001>
- Bibliographisches Institut GmbH. (2019). *Immersion* (Duden, Hrsg.). Zugriff am 06.08.2019. Verfügbar unter <https://www.duden.de/rechtschreibung/Immersion>
- Birren, J. E. (1949). *Motion sickness: its psychophysiological aspects. A survey report on human factors in undersea warfare*. Washington, D.C.: Committee on Undersea Warfare, National Research Council (S. 375–398).
- Björk, S. & Holopainen, J. (2005). *Patterns in game design* (Game development series). Boston, Mass.: Charles River Media.
- Bles, W. (1996, September). *Mechanisms and theory of motion sickness*. Presented at the AGARD/AMP short course on prevention and treatment of motion effects in aviation, Fürstfeldbruck, Germany & Lisabon, Portugal.
- Bles, W., Bos, J. E., Graaf, B. de, Groen, E. & Wertheim, A. H. (1998). Motion sickness. Only one provocative conflict? *Brain Research Bulletin*, 47 (5), 481–487.
[https://doi.org/10.1016/S0361-9230\(98\)00115-4](https://doi.org/10.1016/S0361-9230(98)00115-4)
- Bredl, K. & Bösche, W. (Eds.). (2013). *Serious games and virtual worlds in education, professional development, and healthcare*. Hershey, Pa: IGI Global.
<https://doi.org/10.4018/978-1-4666-3673-6>
- Bühl, A. (2014). *SPSS 22. Einführung in die moderne Datenanalyse* (st - scientific tools, 14., aktualisierte Aufl.). Hallbergmoos: Pearson.
- Buker, T. J., Vincenzi, D. A. & Deaton, J. E. (2012). The effect of apparent latency on simulator sickness while using a see-through helmet-mounted display. Reducing apparent

latency with predictive compensation. *Human factors*, 54 (2), 235–249.

<https://doi.org/10.1177/0018720811428734>

Chang, E., Hwang, I., Jeon, H., Chun, Y., Kim, H. T. & Park, C. (2013). Effects of rest frames on cybersickness and oscillatory brain activity. In *2013 International Winter Workshop on Brain-Computer Interface (BCI)* (S. 62–64). <https://doi.org/10.1109/IWW-BCI.2013.6506631>

Claremont, C. A. (1931). *The psychology of seasickness*. *Psyche* (S. 86–90).

Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2. ed.). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Dexta Robotics. (2018). *Dexta Robotics. Touch the Untouchable*. Zugriff am 05.08.2019. Verfügbar unter <https://www.dextarobotics.com/en-us>

Dichgans, J. & Brandt, T. (1973). Optokinetic motion sickness and pseudo-Coriolis effects induced by moving visual stimuli. *Acta oto-laryngologica*, 76 (5), 339–348. <https://doi.org/10.3109/00016487309121519>

Döring, N. & Bortz, J. (2016). *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-41089-5>

Facebook Technologies. (2019). *Oculus Quest. Händler*. Zugriff am 02.08.2019. Verfügbar unter <https://www.oculus.com/quest/where-to-buy/>

Feelreal Inc. (2018). *Feelreal. Multisensory VR Mask*. Zugriff am 05.08.2019. Verfügbar unter <https://feelreal.com/>

Fernandes, A. S. & Feiner, S. K. (2016). Combating VR sickness through subtle dynamic field-of-view modification. In *2016 IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI)* (S. 201–210). IEEE.

- Frank, L., Kennedy, R. S., Kellogg, R. S. & McCauley, M. E. (1983). *Simulator Sickness. A Reaction to a Transformed Perceptual World. 1. Scope of the Problem* (ESSEX CORP ORLANDO FL EOTR-88-2). Verfügbar unter <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a192438.pdf>
- Golding, J. F. (1998). Motion sickness susceptibility questionnaire revised and its relationship to other forms of sickness. *Brain Research Bulletin*, 47 (5), 507–516. [https://doi.org/10.1016/s0361-9230\(98\)00091-4](https://doi.org/10.1016/s0361-9230(98)00091-4)
- Golding, J. F. (2006). Predicting individual differences in motion sickness susceptibility by questionnaire. *Personality and Individual Differences*, 41 (2), 237–248. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2006.01.012>
- Guedry, F. E. (1991). *Motion sickness and its relation to some forms of spatial orientation: mechanism and theory* (North Atlantic Treaty Organization Advisory Group for Aerospace Research and Development, Hrsg.) (AGARD lecture series 175 (AGARD-LS-175)). Neuilly-sur-Seine. *Motion sickness: significance in aerospace operations and Prophylaxis*.
- Hart, S. G. (2016). Nasa-Task Load Index (NASA-TLX); 20 Years Later. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 50 (9), 904–908. <https://doi.org/10.1177/154193120605000909>
- Hart, S. G. & Staveland, L. E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index). Results of Empirical and Theoretical Research. In *Human Mental Workload* (Advances in Psychology, Bd. 52, S. 139–183). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0166-4115\(08\)62386-9](https://doi.org/10.1016/S0166-4115(08)62386-9)
- Held, R. (1961). Exposure-history as a factor in maintaining stability of perception and coordination. *The Journal of nervous and mental disease*, 132, 26–32.

- Hixson, W. C., Guedry, F. E., Letz, J. M. & Holtzman, G. L. (1983). *Airsickness during Naval Flight Officer Training: Fleet Readiness Squadrons*.
- Holst, E. von. (1954). Relations between the central Nervous System and the peripheral organs. *The British Journal of Animal Behaviour*, 2 (3), 89–94.
[https://doi.org/10.1016/S0950-5601\(54\)80044-X](https://doi.org/10.1016/S0950-5601(54)80044-X)
- Holst, E. von & Mittelstaedt, H. (1950). *Das Reafferenzprinzip. Wechselwirkung zwischen Zentralnervensystem und Peripherie*. Wilhelmshaven. *Die naturwissenschaften* (S. 464–476).
- Howarth, P. A. & Hodder, S. G. (2008). Characteristics of habituation to motion in a virtual environment. *Displays*, 29 (2), 117–123. <https://doi.org/10.1016/j.displa.2007.09.009>
- Igroup.org – project consortium. (1995). *igroup presence questionnaire (IPQ) Download*. Zugriff am 13.08.2019. Verfügbar unter <http://www.igroup.org/pq/ipq/items.php>
- International Data Corporation. (2019, 28. März). *Augmented Reality and Virtual Reality Headsets Poised for Significant Growth, According to IDC*. Framingham. Zugriff am 22.07.2019. Verfügbar unter <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS44966319>
- Irwin, J. A. (1881). The pathology of sea-sickness. *The Lancet*, 118 (3039), 907–909.
[https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(02\)38129-7](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(02)38129-7)
- Iwata, H. (1999). The Torus Treadmill. Realizing locomotion in VEs. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 19 (6), 30–35. <https://doi.org/10.1109/38.799737>
- Jerald, J. (2016). *The VR Book. Human-centered design for virtual reality* (ACM Books, vol. 8, First edition). New York, NY: Association for Computing Machinery; Morgan & Claypool Publishers. Retrieved from <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2792790>
- Kennedy, R. S., Graybiel, A., McDonough, R. C. & Beckwith, F. D. (1968).
Symptomatology under storm conditions in the North Atlantic in control subjects and in

persons with bilateral labyrinthine defects. *Acta oto-laryngologica*, 66 (6), 533–540.

<https://doi.org/10.3109/00016486809126317>

Kennedy, R. S., Dunlap, W. P. & Fowlkes, J. E. (1990). *Prediction of motion sickness susceptibility*. Boca Raton, FL: CRC Press Inc. *Crampton GH (ed) Motion and space sickness* (S. 79–215).

Kennedy, R. S., Lane, N. E., Berbaum, K. S. & Lilienthal, M. G. (1993). Simulator Sickness Questionnaire. An Enhanced Method for Quantifying Simulator Sickness. *The International Journal of Aviation Psychology*, 3 (3), 203–220.

https://doi.org/10.1207/s15327108ijap0303_3

Kennedy, R. S., Smith, M. S. & Jones, S. A. (1991). *Variables affecting simulator sickness: report of a semi-automatic scoring system*. Columbus, OH. *Proceedings of the sixth international symposium on aviation psychology*.

Lawson, B. D. (2014). *Motion Sickness Symptomatology and origins*. *Handbook of Virtual Environments: Design, Implementation, and Applications* (S. 531–599).

Lingley, A. R., Ali, M., Liao, Y., Mirjalili, R., Klonner, M., Sapanen, M. et al. (2011). A single-pixel wireless contact lens display. *Journal of Micromechanics and Microengineering*, 21 (12), 125014. <https://doi.org/10.1088/0960-1317/21/12/125014>

Marti-Ibanez, F. (1954). Philosophical perspectives of motion sickness. *International record of medicine and general practice clinics*, 167 (12), 621–626.

McCreary, F. A. & Williges, R. C. (2016). Effects of Age and Field-of-View on Spatial Learning in an Immersive Virtual Environment. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 42 (21), 1491–1495.

<https://doi.org/10.1177/154193129804202106>

Milgram, P., Takemura, H., Utsumi, A. & Kishino, F. (Monday 31 October 1994).

Augmented reality. A class of displays on the reality-virtuality continuum. Vortrag
anlässlich Photonics for Industrial Applications, Boston, MA.

Oman, C. M. (1990). Motion sickness. A synthesis and evaluation of the sensory conflict
theory. *Canadian journal of physiology and pharmacology*, 68 (2), 294–303.

<https://doi.org/10.1139/y90-044>

Reason, J. T. (1978). Motion sickness adaptation. A neural mismatch model. *Journal of the
Royal Society of Medicine*, 71 (11), 819–829.

Reason, J. T. & Brand, J. J. (1975). *Motion sickness*. Oxford, England: Academic Press.

Reed-Jones, R. S., Reed-Jones, J. G., Trick, L. M. & Vallis, L. A. (2010). *Proceedings of the
4th International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training,
and Vehicle Design: Driving assessment 2007. Can Galvanic Vestibular Stimulation
reduce simulator adaptation syndrom?* Iowa City, Iowa: Univ. of Iowa Public Policy
Center.

Reynolds, T. T. (1884). On the nature and treatment of sea-sickness. *The Lancet*, 123
(3174), 1161–1162. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(02\)12674-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(02)12674-2)

Riccio, G. E. & Stoffregen, T. A. (1991). An ecological Theory of Motion Sickness and
Postural Instability. *Ecological Psychology*, 3 (3), 195–240.

https://doi.org/10.1207/s15326969eco0303_2

Schubert, T., Friedmann, F. & Regenbrecht, H. (2001). The Experience of Presence. Factor
Analytic Insights. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 10 (3), 266–281.

<https://doi.org/10.1162/105474601300343603>

Sjöberg, A. A. (1929). Experimental studies of the eliciting mechanism of sea-sickness. *Acta
oto-laryngologica*, 13 (3), 343–347. <https://doi.org/10.3109/00016482909119197>

- Slightly Mad Studios. (2019). *Project CARS. Project CARS: Overview* (Bandai Namco Entertainment Group, Hrsg.). Zugriff am 04.08.2019. Verfügbar unter <https://www.projectcarsgame.com/overview/>
- SuperData Research Holdings, I. (2019, 10. April). *State Of The Consumer XR market April 2019. Leveraging Real Opportunities In 2019*. Zugriff am 22.07.2019. Verfügbar unter https://www.superdataresearch.com/wp-content/uploads/2019/04/2019_0426_State-of-the-XR-Industry.003-1024x576.jpeg
- Templeman, J. N., Denbrook, P. S. & Sibert, L. E. (1999). Virtual Locomotion. Walking in Place through Virtual Environments. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 8 (6), 598–617. <https://doi.org/10.1162/105474699566512>
- The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. (Hrsg.). (1998). *1998 IEEE International Conference on Robotics and Automation*. Piscataway: IEEE.
- VR Electronics Ltd. (2019). *Teslasuit. Full body haptic VR suit for motion capture and training*. Zugriff am 05.08.2019. Verfügbar unter <https://teslasuit.io/>
- Weech, S., Kenny, S. & Barnett-Cowan, M. (2019). Presence and Cybersickness in Virtual Reality Are Negatively Related. A Review. *Frontiers in psychology*, 10, 158. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.00158>
- Whittinghill, D. M., Ziegler, B., Moore, J. & Case, T. (2015). *Nasum Virtualis: A Simple Technique for Reducing Simulator Sickness in Head Mounted VR*. San Francisco. *Game Developers Conference*.
- WHO. (2018, 21. September). *Internationale statistische Klassifikation der Krankheiten und verwandter Gesundheitsprobleme. 10. Revision, Deutsche Modifikation* (Deutsches Institut für Medizinische Dokumentation und Information, Hrsg.). Zugriff am 08.08.2019. Verfügbar unter <https://www.dimdi.de/static/de/klassifikationen/icd/icd-10-gm/kode-suche/htmlgm2019/>

Einfluss von Eingabegeräten auf die VR-Krankheit	49
--	----

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Reality Virtuality Continuum (Milgram et al., 1994, S. 283)	8
Abbildung 2: Fahrsimulator mit VRGo im Einsatz (eigene Abbildung)	18

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Deskriptive Statistiken der Variablen Dauer bis zur Übelkeit, Dauer Übelkeit bis Abbruch, Dauer Start bis Abbruch und Dauer Start bis Ende aufgeteilt nach Gruppen	31
---	----

Anhang

Anhang A

SSQ score Berechnungen wie durch Kennedy et al. (1993) beschrieben

	SSQ Symptome	Gewichtung		
		N	O	D
1	Allgemeines Unwohlsein	1	1	
2	Müdigkeit		1	
3	Kopfschmerzen		1	
4	Überanstrengung der Augen		1	
5	Probleme scharf zu sehen		1	1
6	Erhöhter Speichelfluss	1		
7	Schwitzen	1		
8	Übelkeit	1		1
9	Konzentrationsschwierigkeiten	1	1	
10	Kopfdruck			1
11	Verschwommenes Sehen		1	1
12	Schwindel (Augen auf)			1
13	Schwindel (Augen zu)			1
14	Gleichgewichtstörung			1
15	Magen macht sich bemerkbar	1		
16	Aufstoßen	1		
	Total	[1]	[2]	[3]

$$N = [1] \times 9.54$$

$$O = [2] \times 7.58$$

$$D = [3] \times 13.92$$

$$TS = ([1] + [2] + [3]) \times 3.74$$

Anhang B

Onlinefragebogen Vorselektion



Vielen Dank für Ihr Interesse an meiner Bachelorarbeit. In diesem Experiment geht es um die Wahrnehmung der virtuellen Realität im Hinblick auf verschiedene Controller. Das Experiment ist in zwei Phasen aufgeteilt. In einer ersten Phase werden mittels Fragebogen wichtige Hintergrunddaten abgefragt, um zu überprüfen, ob Sie für mein Experiment geeignet sind. Sollten Sie einer meiner Versuchsgruppen entsprechen, kriegen Sie via E-Mail einen Link zugeschickt, in dem Sie sich für das Experiment einschreiben können. Bei diesem Experiment handelt es sich um eine Simulation in der virtuellen Realität. Das Experiment findet im Monat Juni an der Fachhochschule Nordwestschweiz in Olten statt. Da sowohl vor, als auch nach dem Experiment ein kurzer Fragebogen auszufüllen ist, sollte etwa eine Stunde für das Ganze eingerechnet werden. Nach dem Absolvieren des Experiments erhält jede Versuchsperson, welche den 2. Teil des Experiments abgeschlossen hat, gegen Unterschrift CHF 20.- Bar ausgezahlt. Ich bitte Sie den Fragebogen möglichst spontan und wahrheitsgetreu auszufüllen, da es ansonsten zu einer Verzerrung der Daten kommen könnte.

Datenschutzrechtliche Hinweise

Die Umfrage entspricht den datenschutzrechtlichen Bestimmungen der Fachhochschule Nordwestschweiz. Ihre Teilnahme erfolgt freiwillig und kann jederzeit beendet werden. Bei einer Nichtteilnahme oder Beendigung entstehen Ihnen keine Nachteile. Personenbezogene Angaben werden streng vertraulich behandelt, ausschließlich zur Organisation, Durchführung und Abwicklung meiner Bachelorarbeit und darauf aufbauenden Forschungen an der FHNW genutzt und nicht an Dritte weitergegeben. Sämtliche Daten werden nur in anonymisierter Form verwendet und abgespeichert. Mit dem Ausfüllen des Fragebogens erklären Sie sich damit einverstanden, dass Ihre Angaben in der genannten Form weiterverwendet werden dürfen.

Ich stimme zu, dass meine personenbezogenen Daten gemäss den hier aufgeführten Angaben verarbeitet werden.

[Ich möchte nicht teilnehmen](#)

[Weiter zur Umfrage](#)



25%

Geschlecht?weiblich **Wie alt sind Sie?**16 **Besitzen Sie bereits Erfahrung im Umgang mit VR-Brillen?**Nein **Wie oft fahren Sie Auto?**Täglich **Wie oft spielen Sie Rennspiele?**Täglich **Nehmen Sie wahrnehmungsverändernde Substanzen wie Medikamente oder Drogen zu sich?**Ja **Leiden Sie unter Epilepsie oder ähnlichen Krankheiten?**Ja **Besitzen Sie eine Sehschwäche?**Ja **Falls ja, wie stark ist diese?**



50%

Wie oft haben Sie sich als Kind (jünger als 12 Jahre) krank gefühlt oder Übelkeit verspürt?

Bitte beurteilen Sie die folgenden Arten von Transport oder Unterhaltung betreffend Kindheitserfahrung (jünger als 12 Jahre).

	nicht zutreffend – nie benutzt	nie krank gefühlt	selten krank gefühlt	manchmal krank gefühlt	öfters krank gefühlt
Auto	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Bus / Reisebus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Zug	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Flugzeug	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
kleine Bote	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Schiff / Fähre	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Schaukel auf Spielplätzen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Karussell auf Spielplätzen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Achterbahn / Kirmesbahn	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Weiter



75%

Wie oft haben Sie sich über die letzten 10 Jahre krank gefühlt oder Übelkeit verspürt?

Bitte beurteilen Sie die folgenden Arten von Transport oder Unterhaltung betreffend der letzten 10 Jahre (ungefähr).

	nicht zutreffend – nie benutzt	nie krank gefühlt	selten krank gefühlt	manchmal krank gefühlt	öfters krank gefühlt
Auto	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Bus / Reisebus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Zug	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Flugzeug	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
kleine Bote	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Schiff / Fähre	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Schaukel auf Spielplätzen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Karussell auf Spielplätzen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Achterbahn / Kirmesbahn	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Unter welcher Mailadresse können wir Sie für die Terminfindung kontaktieren?

Weiter



100%

Vielen Dank für das Ausfüllen meines Fragebogens. Ich werde Sie sobald wie möglich betreffend Ihrer Passung für mein Experiment kontaktieren.
Bei Fragen oder Anmerkungen zögern Sie nicht, mich unter der Mailadresse alessio.travaglini@students.fhnw.ch zu kontaktieren.

Anhang C

Postexperiment Fragebogen inkl. 2. Teil Simulator Sickness Questionnaire, Igroup Presence

Questionnaire und NASA-TLX : Task Load Index

Wurde die Fahrt vollständig absolviert? ja nein

Falls nein, wann wurde die Fahrt abgebrochen? nach ca. _____ min (Dauer)

Bitte geben Sie an, ob und gegebenenfalls wie stark die folgenden Symptome auf Ihren Zustand zu-treffen

	Gar nicht	Etwas	Mittel	Stark
Allgemeines Unwohlsein				
Müdigkeit				
Kopfschmerzen				
Überanstrengung der Augen				
Probleme scharf zu sehen				
Erhöhter Speichelfluss				
Schwitzen				
Übelkeit				
Konzentrationschwierigkeiten				
Kopfdruck				
Verschwommenes Sehen				
Schwindel (Augen auf)				
Schwindel (Augen zu)				
Gleichgewichtstörung				
Magen macht sich bemerkbar				
Aufstoßen				

Weitere Anmerkungen und Besonderheiten: _____

Bitte wenden!

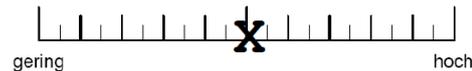
Bitte kreuzen Sie an, wie sehr die folgenden Aussagen auf Ihr Erleben im Experiment zutreffen.

In der computererzeugten Welt hatte ich den Eindruck, dort gewesen zu sein...	überhaupt nicht		Sehr stark
Ich hatte das Gefühl, dass die virtuelle Umgebung hinter mir weitergeht.	trifft gar nicht zu		Trifft völlig zu
Ich hatte das Gefühl, nur Bilder zu sehen.	trifft gar nicht zu		Trifft völlig zu
Ich hatte nicht das Gefühl, in dem virtuellen Raum zu sein.	hatte nicht das Gefühl		Hatte das Gefühl
Ich hatte das Gefühl, in dem virtuellen Raum zu handeln, statt etwas von außen zu bedienen.	trifft gar nicht zu		Trifft völlig zu
Ich fühlte mich im virtuellen Raum anwesend.	trifft gar nicht zu		Trifft völlig zu
Wie bewusst war Ihnen die reale Welt, während Sie sich durch die virtuelle Welt bewegten (z.B. Geräusche, Raumtemperatur, andere Personen etc.)?	extrem bewusst	mittelmässig bewusst	unbewusst
Meine reale Umgebung war mir nicht mehr bewusst.	trifft gar nicht zu		Trifft völlig zu
Ich achtete noch auf die reale Umgebung.	trifft gar nicht zu		Trifft völlig zu
Meine Aufmerksamkeit war von der virtuellen Welt völlig in Bann gezogen.	trifft gar nicht zu		Trifft völlig zu
Wie real erschien Ihnen die virtuelle Umgebung?	vollkommen real	weder noch	Gar nicht real
Wie sehr glich Ihr Erleben der virtuellen Umgebung dem Erleben einer realen Umgebung?	überhaupt nicht		vollständig
Wie real erschien Ihnen die virtuelle Welt?	wie eine vorgestellte Welt		Nicht zu unterscheiden von der realen Welt
Die virtuelle Welt erschien mir wirklicher als die reale Welt.	trifft gar nicht zu		Trifft völlig zu

Beanspruchungshöhe

Geben Sie jetzt für jede der unten stehenden Dimensionen an, wie hoch die Beanspruchung war. Markieren Sie dazu bitte auf den folgenden Skalen, in welchem Maße Sie sich in den sechs genannten Dimensionen von der Aufgabe beansprucht oder gefordert gesehen haben:

Beispiel:



Geistige Anforderungen

Wie viel geistige Anstrengung war bei der Informationsaufnahme und -verarbeitung erforderlich (z.B. Denken, Entscheiden, Rechnen, Erinnern, Hinsehen, Suchen...)? War die Aufgabe leicht oder anspruchsvoll, einfach oder komplex, erforderte sie hohe Genauigkeit oder war sie fehlertolerant?



Körperliche Anforderungen

Wie viel körperliche Aktivität war erforderlich (z.B. Ziehen, Drücken, Drehen, Steuern, Aktivieren,...)? War die Aufgabe leicht oder schwer, einfach oder anstrengend, erholsam oder mühselig?



Zeitliche Anforderungen

Wie viel Zeitdruck empfanden Sie hinsichtlich der Häufigkeit oder dem Takt, mit dem Aufgaben oder Aufgabenelemente auftraten? War die Abfolge langsam und geruhsam oder schnell und hektisch?



Leistung

Wie erfolgreich haben Sie Ihrer Meinung nach die vom Versuchsleiter (oder Ihnen selbst) gesetzten Ziele erreicht? Wie zufrieden waren Sie mit Ihrer Leistung bei der Verfolgung dieser Ziele?

**Anstrengung**

Wie hart mussten sie arbeiten, um Ihren Grad an Aufgabenerfüllung zu erreichen?

**Frustration**

Wie unsicher, entmutigt, irritiert, gestresst und verärgert (versus sicher, bestätigt, zufrieden, entspannt und zufrieden mit sich selbst) fühlten Sie sich während der Aufgabe?



Kontrollieren sie bitte, ob Sie zu allen Fragen Angaben gemacht haben. Bei Unklarheiten wenden Sie sich bitte an die Versuchsleiterin / den Versuchsleiter.

Anhang D*Preexperiment Fragebogen inkl. 1. Teil Simulator Sickness Questionnaire*

Eingetragene Mailadresse _____

Datum _____

Uhrzeit _____

Bitte kreuzen Sie an, wie sehr die folgenden Symptome auf Ihren momentanen Zustand zutreffen.

	Gar nicht	Etwas	Mittel	Stark
Allgemeines Unwohlsein				
Müdigkeit				
Kopfschmerzen				
Überanstrengung der Augen				
Probleme scharf zu sehen				
Erhöhter Speichelfluss				
Schwitzen				
Übelkeit				
Konzentrationschwierigkeiten				
Kopfdruck				
Verschwommenes Sehen				
Schwindel (Augen auf)				
Schwindel (Augen zu)				
Gleichgewichtstörung				
Magen macht sich bemerkbar				
Aufstoßen				

Wann sind Sie heute Morgen aufgestanden? ca. gegen _____ Uhr

Wie viele Stunden haben Sie letzte Nacht geschlafen? _____ Stunden

Wann haben Sie Ihre letzte Mahlzeit zu sich genommen? ca. gegen _____ Uhr

Nehmen Sie zurzeit Medikamente ein? nein ja

Wenn ja, welche? _____

Anhang E

Anweisungstext Experiment

Sehr geehrte Versuchsteilnehmerin, sehr geehrter Versuchsteilnehmer

Vielen Dank für deine Bereitschaft Teil von meinem Experiment zu sein. Wie bereits zuvor elektronisch mitgeteilt handelt es sich hierbei um eine Studie, welche den Einfluss von Eingabegeräten auf das Erleben und Verhalten in der virtuellen Realität untersuchen soll. Zu diesem Zweck werden Sie heute an einer Fahrsimulation teilnehmen, sowohl standartmässig über einen Bildschirm als auch als immersive virtuelle Realität via VR-Brille. Ich möchte Sie darauf aufmerksam machen, dass Sie nach dem Experiment 30 Minuten keine Fahrzeuge lenken sollten und sie während dieser Zeit leichte Nachwirkungen in Form von Kopfschmerzen oder allgemeinem Unwohlsein verspüren können, dazu gleich mehr. Das Experiment besteht aus mehreren Teilen, namentlich einem kurzen papierfragebogen vor und nach dem Test und einem Fahrexperiment dazwischen. Als Eingabegerät dienen je nach Gruppenzuteilung Gaspedal und Lenkrad oder der sogenannte VRGo der ebenfalls in Kombination mit einem Steuerrad eingesetzt wird. Beim Steuerrad handelt es sich um ein Gerät, welches je nach Fahrstil mehr oder weniger stark entgegensteuert, ich bitte Sie dementsprechend dies nicht zu lose in der Hand zu halten. Da durch das Tragen der VR-Brille die Umgebung nicht mehr gesehen wird ist weiter darauf acht zu geben, nicht während des Spieles seitwärts vom Stuhl zu rutschen, was allerdings bei normalem Fahrverhalten nicht passieren sollte. Wie auch schon beim Selektionstest kann auch hier jederzeit das Experiment abgebrochen werden, ohne dass mit irgendwelchen negativen Konsequenzen zu rechnen ist. Sämtliche erhobenen Daten werden vertraulich behandelt und nach der dazugehörigen Untersuchung, in diesem Falle meine Bachelorarbeit, fachmännisch entsorgt. In ähnlichen Studien ist es teilweise vorgekommen, dass bei Personen in der virtuellen Realität ein Gefühl von Unwohlsein aufgetreten ist. Sollten sie dementsprechend eine Veränderung während des Experimentes wahrnehmen bitte ich Sie zuerst einen dieser beiden Schalter zu betätigen und sollte sich das Gefühl trotzdem verstärken, die Brille auszuziehen und das Experiment abubrechen. Für etwas zu trinken, zu essen und notfalls für Medikamente, welche gegen solche Symptome helfen ist seitens der Versuchsleitung gesorgt. Ebenfalls befinden am Ende der linken Flurseite, direkt gegenüber des Ausganges Toiletten, sollte es zum schlimmsten kommen. Die Barauszahlung der 20 Franken pro Person erfolgt am Ende des Experimentes gegen Ausfüllen einer Quittung. Dabei ist zu beachten, dass angestellte der FHNW diese aus administrativer Sicht nicht direkt ausbezahlt bekommen, sondern dies über die Finanzbuchhaltung der FHNW abrechnen müssen. Sollten nun noch irgendwelche Fragen aufgetreten sein, bitte ich diese jetzt zu stellen. Sollte dies nicht der Fall sein würde ansonsten mit dem Experiment beginnen.

Anweisung VRGo

Bitte setzen Sie sich vorsichtig auf den Stuhl. Beachten Sie dabei, dass dieser in jede Richtung wegkippen kann. Nehmen Sie mit ihren Füßen eine stabile Position ein und beginnen Sie vorsichtig leicht nach vorne und hinten zu wippen. Dies wird Ihnen im Fahrsimulator zur Beschleunigung und zum Abbremsen dienen. Hierbei macht es keinen Unterschied, wie stark Sie sich nach vorne oder hinten bewegen, da die Beschleunigung linear und nicht degressiv gesteuert ist. Machen Sie sich mit dem Stuhl vertraut und geben Sie mir ein Signal, wenn Sie sich darauf wohl fühlen und den 2. Durchgang mit VR-Brille beginnen möchten.

Anweisung Pedale

Bitte nehmen Sie auf dem Stuhl Platz. Wenn Sie nach vorne unter den Stuhl greifen, finden Sie einen Hebel, mit dem Sie nach vorne und hinten rutschen können. Stellen Sie die Position so ein, dass Sie bequem die Pedale und das Steuerrad erreichen können. Zum Steuern des Fahrzeuges werden nur die mittlere und das rechte Pedal verwendet. Der Wagen schaltet von allein. Das rechte Pedal wird zum Beschleunigen, das mittlere zum Bremsen verwendet. Machen Sie sich mit dem Eingabegerät vertraut und geben Sie mir Bescheid, sobald Sie sich damit wohl fühlen und den 2. Durchgang mit VR-Brille starten möchten.

Anhang F

Resultate Man-Whitney-U-Test der Veränderung zwischen den pre- und postexperimentalen SSQ Itemwerte ($n_1 + n_2 < 30$)

	Veränderung Allgemeines Unwohlsein	Veränderung Müdigkeit	Veränderung Kopfschmerzen	Veränderung Überanstrengung der Augen	Veränderung Probleme scharf zu sehen	Veränderung Erhöhter Speichelfluss	Veränderung Schwitzen	Veränderung Übelkeit
Mann-Whitney-U	37.000	46.500	24.000	54.500	32.000	43.000	52.500	32.500
Wilcoxon-W	92.000	101.500	79.000	120.500	98.000	109.000	107.500	87.500
Z	-1.377	-.637	-2.614	-.040	-2.174	-1.236	-.187	-1.680
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	.169	.524	.009	.968	.030	.217	.852	.093
Exakte Signifikanz [2*(1-seitige Sig.)]	.223 ^b	.557 ^b	.029 ^b	.973 ^b	.114 ^b	.426 ^b	.863 ^b	.114 ^b

	Veränderung Konzentrations- schwierigkeiten	Veränderung Kopfdruck	Veränderung Verschwommenes Sehen	Veränderung Schwindel (Augen auf)	Veränderung Schwindel (Augen zu)	Veränderung Gleichgewichts- störung	Veränderung Magen macht sich bemerkbar	Veränderung Aufstossen
Mann-Whitney-U	53.500	25.000	50.000	36.500	54.500	46.000	30.500	51.000
Wilcoxon-W	108.500	80.000	116.000	91.500	120.500	101.000	85.500	106.000
Z	-.128	-2.308	-.474	-1.504	-.038	-.701	-1.843	-.381
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	.898	.021	.636	.133	.969	.484	.065	.703
Exakte Signifikanz [2*(1-seitige Sig.)]	.918 ^b	.036 ^b	.756 ^b	.197 ^b	.973 ^b	.557 ^b	.085 ^b	.809 ^b

Anhang G*Mittelwertvergleich der Veränderung zwischen den pre- und postexperimentalen SSQ**Itemwerte*

	Mittelwerte Gruppe 1	Mittelwerte Gruppe 2	Differenz Mittelwerte
Veränderung Allgemeines Unwohlsein	0.800	1.455	-0.655
Veränderung Müdigkeit	-0.500	-0.273	-0.227
Veränderung Kopfschmerzen	-0.200	0.545	-0.745
Veränderung Überanstrengung der Augen	0.200	0.182	0.018
Veränderung Probleme scharf zu sehen	0.200	-0.273	0.473
Veränderung Erhöhter Speichelfluss	0.400	0.091	0.309
Veränderung Schwitzen	0.900	0.909	-0.009
Veränderung Übelkeit	0.300	1.182	-0.882
Veränderung Konzentrationsschwierigkeiten	0.400	0.364	0.036
Veränderung Kopfdruck	0.100	1.000	-0.900
Veränderung Verschwommenes Sehen	0.300	0.273	0.027
Veränderung Schwindel (Augen auf)	0.300	0.818	-0.518
Veränderung Schwindel (Augen zu)	0.800	0.818	-0.018
Veränderung Gleichgewichtsstörung	0.500	0.727	-0.227
Veränderung Magen macht sich bemerkbar	0.300	1.273	-0.973
Veränderung Aufstossen	0.200	0.273	-0.073

Anhang H*Tabelle H1. Resultate des Man-Whitney-U-Test der SSQ Oberkategorien vor dem Experiment*

Statistik für Test^a				
	Kodierte Werte SSQ Nausea vor Experiment	Kodierte Werte SSQ Oculomotor vor Experiment	Kodierte Werte SSQ Disorientation vor Experiment	Kodierte Werte SSQ Total Score vor Experiment
Mann-Whitney-U	40.000	52.000	40.000	53.000
Wilcoxon-W	106.000	107.000	95.000	119.000
Z	-1.128	-.218	-1.151	-.143
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	.259	.827	.250	.886
Exakte Signifikanz [2*(1- seitige Sig.)]	.314 ^b	.863 ^b	.314 ^b	.918 ^b

a. Gruppenvariable: Gruppenzuteilung fürs Experiment

b. Nicht für Bindungen korrigiert.

Tabelle H2. Resultate des Man-Whitney-U-Test der SSQ Oberkategorien nach dem Experiment

Statistik für Test^a				
	Kodierte Werte SSQ Nausea nach Experiment	Kodierte Werte SSQ Oculomotor nach Experiment	Kodierte Werte SSQ Disorientation nach Experiment	Kodierte Werte SSQ Total Score nach Experiment
Mann-Whitney-U	41.500	39.000	35.500	38.000
Wilcoxon-W	96.500	94.000	90.500	93.000
Z	-.955	-1.133	-1.389	-1.199
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	.340	.257	.165	.230
Exakte Signifikanz [2*(1- seitige Sig.)]	.349 ^b	.282 ^b	.173 ^b	.251 ^b

a. Gruppenvariable: Gruppenzuteilung fürs Experiment

b. Nicht für Bindungen korrigiert.

Tabelle H3. Resultate des Man-Whitney-U-Test zur Differenz zwischen den pre- und postexperimentalen Erhebungen der SSQ Oberkategorien

	Statistik für Test^a			
	Unterschiede Nausea vor und nach Experiment	Unterschiede Oculomotor vor und nach Experiment	Unterschiede Disorientation vor und nach Experiment	Unterschiede Total Score vor und nach Experiment
Mann-Whitney-U	37.000	47.000	36.500	35.500
Wilcoxon-W	92.000	102.000	91.500	90.500
Z	-1.277	-.597	-1.326	-1.377
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	.202	.551	.185	.168
Exakte Signifikanz [2*(1- seitige Sig.)]	.223 ^b	.605 ^b	.197 ^b	.173 ^b

a. Gruppenvariable: Gruppenzuteilung fürs Experiment

b. Nicht für Bindungen korrigiert.

Anhang I*Mittelwertsunterschiede der SSQ-Oberkategoriencores aufgeteilt nach Gruppen*

	Mittelwerte Gruppe 1	Mittelwerte Gruppe 2	Differenz Mittelwerte
Unterschiede Nausea vor und nach Experiment	30.528	52.904	-22.376
Unterschiede Oculomotor vor und nach Experiment	9.096	17.227	-8.131
Unterschiede Disorientation vor und nach Experiment	33.408	63.273	-29.865
Unterschiede Total Score vor und nach Experiment	25.432	46.240	-20.808

Anhang J

Deskriptive Statistiken und Resultate des Man-Whitney-U-Test zu den Skalen des NASA-TLX Task Load Index

Deskriptive Statistiken

	N	Mittelwert	Standard- abweichung	Minimum	Maximum
Geistige Anforderung	21	13.7143	3.42261	4.00	19.00
Körperliche Anforderung	21	10.9048	5.27167	1.00	17.00
Zeitliche Anforderung	21	12.3333	3.67877	6.00	18.00
Leistung	21	11.2381	4.87755	3.00	18.00
Anstrengung	21	13.1905	3.15625	6.00	20.00
Frustration	21	11.2857	4.75545	3.00	18.00

Statistik für Test^a

	Geistige Anforderung	Körperliche Anforderung	Zeitliche Anforderung	Leistung	Anstrengung	Frustration
Mann-Whitney-U	39.500	37.000	33.000	51.000	36.500	30.500
Wilcoxon-W	105.500	103.000	99.000	117.000	91.500	85.500
Z	-1.099	-1.278	-1.557	-.283	-1.317	-1.740
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	.272	.201	.119	.777	.188	.082
Exakte Signifikanz [2*(1- seitige Sig.)]	.282 ^b	.223 ^b	.132 ^b	.809 ^b	.197 ^b	.085 ^b

a. Gruppenvariable: Gruppenzuteilung fürs Experiment

b. Nicht für Bindungen korrigiert.