

# Bachelorthesis 2017

## Fussgängererkennung im virtuellen Raum

### Gestaltung und Validierung eines Fahrsimulators

#### **Autor**

Kaspar Kaufmann

#### **Begleitung**

Dr. Oliver Christ

#### **Praxispartner**

Fachhochschule Nordwestschweiz Olten

Hochschule für Angewandte Psychologie

## Abstract

Fortschritte im Bereich der virtuellen Realität lassen heutzutage das Simulieren von realitätsnahen und immersiven Verkehrsszenarien zu. Für die Fußgängersicherheit bedeutet dies eine gefahrenlose und kostengünstige Methode, um die Fußgängererkennung im Strassenverkehr zu untersuchen. Dazu wurde im Rahmen dieser Arbeit ein Fahrsimulator gestaltet und für die Zwecke einer Reaktionszeitstudie eingesetzt. Die Studie überprüfte die Annahmen, dass ein VR-Display einem herkömmlichen Monitor bei der Fußgängererkennung überlegen ist und dass Fußgänger am Tag schneller als in der Nacht erkannt werden. Für die Datenauswertung wurden 32 Probanden berücksichtigt. Die Ergebnisse lassen einer Verifizierung beider Annahmen zu. Daraus können für den verwendeten Verkehrssimulator positive Schlüsse gezogen werden. Die Implikationen für die VR-Technologie sind trotz hoffungsvoller Studienresultate weniger eindeutig. Insbesondere die Simulatorkrankheit scheint weiterhin eine Einschränkung darzustellen.

Dieser Bericht umfasst 80'277 Zeichen (inkl. Leerzeichen, ohne Anhang).

## Glossar

### Übersetzung Englisch – Deutsch

application	Anwendung	raycast	Abtastung durch projizierten Strahl
between-groups	zwischen Gruppen	reminder	Erinnerung
Head-Mounted Display (HMD)	am Kopf befestigte Anzeige	rendering	Wiedergabe
engine	Arbeitsmaschine	score	Wert
equipment	Ausrüstung	simulator sickness	Simulatorkrankheit
eye tracking	Blickerfassung	simulator sickness	Simulatorkrankheit
feedback	Rückmeldung	social media	soziale Medien
Display	Anzeige	susceptibility	Anfälligkeit
level streaming	gebietspezifische Datenübertragung	user	Benutzer
motion sickness	Bewegungskrankheit	virtual reality	virtuelle Realität
Over-Ear-Kopfhörer	Ohrumschliessende Kopfhörer	VR-Headset	Head-Mounted Display mit Audio und Sensoren
questionnaire	Fragebogen	within-subject	zwischen Subjekten

### Abkürzungen

bspw.	beispielsweise	etc.	et cetera
bzw.	beziehungsweise	z.B.	zum Beispiel

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1	Ausgangslage .....	1
1.2	Abgrenzung.....	2
1.3	Aufbau.....	2
<b>2</b>	<b>Kernthemen</b> .....	<b>3</b>
2.1	Virtuelle Realität .....	3
2.1.1	Begriffsdefinition .....	3
2.1.2	VR-Systeme .....	3
2.2	Fahrsimulatoren .....	5
2.3	Simulatorkrankheit.....	6
<b>3</b>	<b>Theoretische Grundlagen</b> .....	<b>7</b>
3.1	Licht.....	7
3.2	Display.....	8
3.3	Ableitung und Hypothesen .....	10
<b>4</b>	<b>Methodik</b> .....	<b>10</b>
4.1	Fahrsimulator .....	10
4.1.1	Virtuelle Umgebung.....	10
4.1.2	Messsystem und Reaktionszeit.....	15
4.1.3	Hardware.....	15
4.2	Probandenakquise.....	18
4.2.1	Vorauswahl .....	18
4.2.2	Rekrutierung .....	19
4.3	Untersuchungsdesign .....	20
4.4	Versuchsablauf .....	21
4.5	Durchführung und Datenerhebung.....	23

4.5.1	Pretests .....	23
4.5.2	Erhebung.....	24
4.6	Datenauswertung.....	24
5	<b>Ergebnisse.....</b>	<b>26</b>
6	<b>Diskussion .....</b>	<b>28</b>
7	<b>Ausblick.....</b>	<b>30</b>
8	<b>Kritische Würdigung und Reflexion .....</b>	<b>31</b>
8.1	Methode .....	31
8.2	Technik.....	32
8.3	Persönlicher Rückblick .....	32
	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>34</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>39</b>
	<b>Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>39</b>
	<b>Selbständigkeitserklärung .....</b>	<b>40</b>
	<b>Anhang.....</b>	<b>41</b>

# 1 Einleitung

## 1.1 Ausgangslage

Die Anzahl Strassenmotorfahrzeuge ist zwischen den Jahren 2000 und 2016 um 30 Prozent auf ca. 6 Millionen angestiegen (Bundesamt für Statistik [BFS], 2017). Dieser Anstieg an individueller Mobilität bringt neben zahlreichen Vorzügen auch Gefahren. Alleine im letzten Jahr gab es auf Schweizer Strassen über 55'000 Unfälle mit über 21'000 Verletzten (Bundesamt für Strassen [ASTRA], 2017). Angesichts dieser Zahlen sind Verbesserungen und Innovationen im Bereich der Verkehrssicherheit von grosser Bedeutung. Dies hat auch die Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW), welche die vorliegende Arbeit als Praxispartner unterstützte, erkannt und sich bereits in Vergangenheit mit der Fussgängersicherheit auseinandergesetzt. Dieses Themengebiet wurde im Rahmen dieser Bachelorthesis wieder aufgegriffen.

Die Testung und langfristige Implementierung von Neuheiten in den Strassenverkehr stellt sich oftmals als problematisch dar. Während der Effekt auf die Verkehrssicherheit in der Theorie nur schlecht abgeschätzt werden kann, ist eine direkte Implementierung in den Verkehr nicht selten mit hohen Kosten für den Auftraggeber und Gefahren für die Verkehrsteilnehmer verbunden. Als sichere und kostengünstige Alternative bieten sich Fahrsimulatoren an (de Winter, van Leuween & Happee, 2012). Diese werden zwar bereits seit einiger Zeit erfolgreich zur Erforschung verschiedener Fahrkonditionen eingesetzt, sind aber durch fehlende realitätsnähe in ihrem Nutzen eingeschränkt (Konstantopoulos, Chapman & Crundall, 2010).

Fortschritte im Bereich der virtuellen Realität (VR) bieten mit der Entwicklung neuer VR-Headsets einen Lösungsansatz für diese Problematik. Die vorliegende Arbeit verfolgt daher das Ziel, erste Hinweise für die Tauglichkeit von zeitgemässer VR-Technologie in Kombination mit einem Fahrsimulator zu liefern. Dazu wurde ein Fahrsimulator gestaltet, mit welchem der Einfluss unterschiedlicher Displays und Lichtverhältnisse auf die Erkennungsleistung von Autofahrern untersucht werden konnte. Der Lichteinfluss wurde mithilfe von Tag- und Nachtstrecken erforscht und diente in erster Linie zur Validierung des Fahrsimulators. Bei den Displays handelte es sich zum einen um einen Monitor, wie er in ähnlicher Form für herkömmliche Fahrsimulatoren verwendet wird, und zum anderen um ein VR-taugliches Head-Mounted Display (HMD). Die Erkennungsleistung wurde in Form von Reaktionszeiten erhoben und statistisch ausgewertet. Die totale Reaktionszeit kann laut Green (2000) in mentale Verarbeitungszeit (Signalerkennung und Reaktionseinleitung), Bewegungszeit (Zeit zwischen Entscheidung

und Ausführung) und Gerätereaktionszeit (Zeit, die bspw. ein Auto nach Bremsenleitung benötigt, um zu stoppen). In der vorliegenden Studie kam der Signal- bzw. Fussgängererkennung eine besondere Bedeutung zu, da diese für die grössten zeitlichen Differenzen verantwortlich war. So mussten die Fussgänger zuerst von den Probanden erkannt werden, bevor die eigentliche Reaktion eingeleitet werden konnte.

## *1.2 Abgrenzung*

Das Projektteam dieser Studie setzte sich aus zwei Studenten der Hochschule für Angewandte Psychologie sowie einem Informatikstudenten der Hochschule für Technik zusammen. Mit dem Ziel drei selbststehende Bachelorthesen zu verfassen, arbeitete das Projektteam zwar insbesondere bei der Gestaltung und Implementierung des Fahrsimulators eng zusammen, verfolgte aber in den späteren Phasen des Projektes eigenständige Ziele und Themenbereiche. Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit den Fragen, ob mit dem gestalteten Fahrsimulator realitätsähnliche Bedingungen geschaffen werden können und ob der Einsatz von virtueller Realität dabei sinnvoll ist. In Simon Wehrlis Bachelorthesis «Simulation von Verkehrsszenarien im virtuellen Raum» stand ebenfalls die Gestaltung und Validierung des Fahrsimulators im Vordergrund. Die Analysen fokussierten sich jedoch auf den Einfluss von Alter auf Reaktionszeit und von Geschlecht auf Fahrgeschwindigkeit. Die Arbeit von Emanuel Mistretta unter dem Titel «MaSiZe – Machbarkeitsstudie sicherer Zebrastrassen» verfolgt das Ziel, den Aufbau des Simulators aus einer technischen Perspektive zu erläutern. Trotz der eigenständigen Natur der einzelnen Arbeiten, können sie als Ergänzungen zueinander verstanden werden.

## *1.3 Aufbau*

Die virtuelle Realität und der Fahrsimulator bilden die beiden Kernthemen der vorliegenden Arbeit. Als solche werden sie in Kapitel 2 näher erläutert. Auch der Simulatorerkrankung ist als wiederkehrendes Thema ein Unterkapitel in dieser thematischen Einführung gewidmet. Kapitel 3 behandelt anschliessend den theoretischen Hintergrund der beiden unabhängigen Variablen, die in dieser Studie untersucht wurden. Kapitel 4 befasst sich mit dem Aufbau des Simulators sowie der Methodik. Die Ergebnisse der empirischen Untersuchung werden anschliessend in Kapitel 5 dargestellt. In Kapitel 6 werden in der Diskussion Theorie und Ergebnisse einander gegenübergestellt, um die Hypothesen zu beantworten. Kapitel 7 wagt einen Ausblick für Forschung und Praxis. Anschliessend wird die gesamte Arbeit in Kapitel 8 reflektiert.

## 2 Kernthemen

### 2.1 Virtuelle Realität

#### 2.1.1 Begriffsdefinition

Der Begriff *virtuelle Realität* ist heute, durch die breite Medienberichterstattung der letzten Jahre und den zahlreich verfügbaren Technologien, weit verbreitet. Dennoch sind sich Medien, Lexika und die wissenschaftliche Gemeinde bei der Begriffsdefinition nicht vollends einig. Nicht zuletzt aus dem Grund, dass *Virtualität* und *Realität* gegensätzliche Bedeutungen haben und die zusammengesetzte virtuelle Realität somit einem Widerspruch gleichkommt (Fuchs, Moreau & Guitton, 2011). Im Rahmen dieser Arbeit wird virtuelle Realität als computergenerierte, digitale Umwelt verstanden, die als echt erlebt wird und mit welcher interagiert werden kann (Jerald, 2016). Eine wichtige Rolle spielt dabei die Immersion. Je höher die empfundene Echtheit der virtuellen Umgebung, desto höher grundsätzlich die Immersion (Slater & Wilbur, 1997). Sie ist somit der Grad, mit welchem Reize aus der realen Welt durch virtuelle Stimuli ersetzt werden können und wird mithilfe der Hardwarekomponenten (Display, Kopfhörer etc.) des VR-Systems erzeugt.

#### 2.1.2 VR-Systeme

Grundlage jedes VR-Systems ist der Computer, auf welchem die sensorische Erfahrung aufgebaut ist (Jerald, 2016). Die Aufgabe des VR-Systems ist die Kommunikation zwischen dem Computer und dem Menschen, der sich in der virtuellen Realität befindet. Dieser Prozess kann, wie auf Abbildung 1 dargestellt, als Kreislauf verstanden werden. Dabei werden eintreffende (Input) und ausgehende Informationen (Output) in Echtzeit durch das VR-System verarbeitet und neu berechnet (Application und Rendering). Unter Input werden gemäss Jerald (2016) alle Daten verstanden, die vom User ausgehen. Dies beinhaltet bspw. die Position des Users, wo er hinschaut oder welche Knöpfe er betätigt. Unter Output wird die physische Repräsentation der virtuellen Umgebung verstanden. Damit sind unter anderem das angezeigte Bild auf dem Display des Users, auditive Reize und haptisches Feedback gemeint.

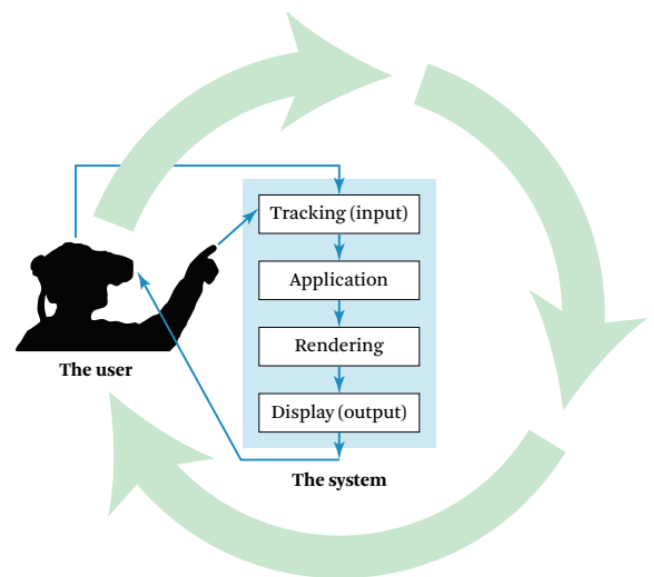


Abbildung 1: Funktionskreislauf eines VR-Systems  
(Jerald, 2016, S. 30)



## Display

Die wichtigste Komponente eines VR-Systems ist das Display, über welches die virtuelle Umgebung wiedergegeben wird (Jerald, 2016). Durch die breite Auslegung des Begriffs der virtuellen Realität, umfasst dies eine grosse Vielfalt an Displayarten und -technologien (Abbildung 2). Bei den meisten VR-Systemen werden jedoch sogenannte Head-Mounted Displays (HMD) eingesetzt. Head-Mounted Displays, die für VR-Zwecke eingesetzt werden, bestehen meist aus zwei Displays, die nahe an den Augen positioniert werden und am Kopf befestigt werden können. Sie verfügen meist über eine geschlossene Bauweise, um visuelle Reize der realen Welt auszuschliessen und damit die Immersion zu erhöhen. Head-Mounted Displays treten oft in Form eines kompletten VR-Headsets auf, welche neben dem Display weitere Elemente, wie integrierte Kopfhörer und Bewegungssensoren, enthalten. Letztere sind laut Jerald (2016) für ein optimales VR-Erlebnis besonders wichtig, da mit ihnen Position und Orientierung des HMDs verfolgt werden können. Dies ermöglicht es dem System, die computergenerierte Umwelt in Echtzeit an die Bewegungen des Users anzupassen, was sich wiederum auf die empfundene Echtheit der virtuellen Umgebung auswirkt.



Abbildung 2: Beispiele für Head-Mounted Displays. HTC Vive (links), F-35 Gen III HMD (Mitte), Microsoft HoloLens (rechts)

## Audio

Auditive Reize sind ein wichtiger Aspekt des VR-Erlebnisses. Durch räumlich angepasste Audiowiedergabe der virtuellen Umgebung, ist es möglich, die Immersion weiter zu erhöhen (Fuchs et al., 2011). Um die reale Welt besser auszublenden, sind auch hier isolierende Wiedergabegeräte, wie bspw. Over-Ear-Kopfhörer, bevorzugt (Jerald, 2016).

## Haptik

Unter Haptik wird die Lehre des Tastsinnes verstanden. Gemäss Fuchs et al. (2011) werden haptische Geräte in virtuellen Umgebungen genutzt, um dem Nutzenden Feedback und die Möglichkeit zur Interaktion zu geben. Sie können im Rahmen eines VR-Systems somit für In- wie auch Output genutzt werden.

## 2.2 Fahrsimulatoren

Seit der Entwicklung der ersten Fahrsimulatoren in den 1960er Jahren, helfen sie in zahlreichen Studien dabei ein besseres Verständnis für Fahrer, Fahrzeug und Fahrumgebung zu erzeugen (Allen, Rosenthal & Cook, 2011). Fahrsimulatoren bieten gegenüber Feldstudien mehrere Vorteile. So können gemäss Reed und Green (1999) durch den Einsatz von Fahrsimulatoren Kosten gespart, die Sicherheit der Versuchsperson besser gewährleistet und die Replizierbarkeit der Studie erhöht werden. Auch die Datenerhebung gestaltet sich mit Fahrsimulatoren als einfacher, da Messsysteme direkt in das Computersystem integriert werden können (de Winter et al., 2012). Für den Einsatz von Fahrsimulatoren spricht jedoch insbesondere, dass mit ihnen Fahrkonditionen generiert werden können, die denen des echten Autofahrens nahe kommen (Törnros, 1998; Underwood, Crundall & Chapman, 2011).

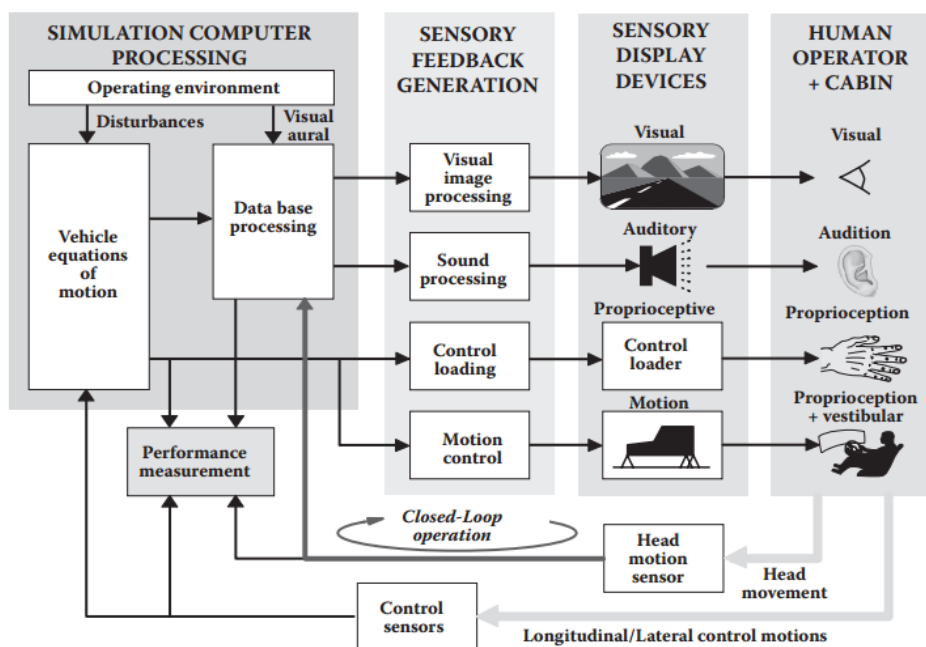


Abbildung 3: Funktionselemente eines Fahrsimulators (Allen et al., 2011, S. 36).

Der Aufbau eines Fahrsimulators kann mit dem eines VR-Systems verglichen werden. Er besteht, wie auf Abbildung 3 zu sehen, über Eingabe- (Input) und Ausgabekomponenten (Output), die mit dem Computer als Grundlage und dem Menschen als Akteur, in einem Kreislauf funktionieren. Besonderer Aufmerksamkeit kommen den visuellen, auditiven und propriozeptiven Informationen zu. Sie spielen bei der Wahrnehmung des Akteurs und der Datenverarbeitung des Computers eine wichtige Rolle (Allen et al., 2011).

### 2.3 *Simulatorkrankheit*

Um virtuelle Umgebungen in Kombination mit Simulatoren verstehen und korrekt einsetzen zu können, gilt es auch deren potenziellen Gefahren zu kennen. Für Nutzende kann dabei zwischen direkten und indirekten Effekten auf die Gesundheit unterschieden werden (Viirre, Price & Chase, 2014). Als direkte Effekte werden Verletzungen verstanden, die unmittelbare Schäden für das Körpergewebe bedeuten. Dazu gehören beispielsweise Nackenschmerzen, die durch das Gewicht eines Head-Mounted Displays verursacht wurden. Indirekte Effekte sind laut Viirre, Price und Chase (2014) etwas komplexer und umfassen unter anderem psychologische, neuronale und emotionale Effekte sowie die sogenannte *Simulatorkrankheit*. Letztere soll an dieser Stelle näher betrachtet werden, da es sich in Zusammenhang mit Simulatoren, um ein weitverbreitetes Phänomen handelt.

Simulatorkrankheit weist weitgehend dieselben Symptome auf, wie die besser bekannte Bewegungskrankheit. Dazu gehören unter anderem folgende: Erhöhte Speichelproduktion, Belastung der Augen, Kopfschmerzen, Schwitzen, Desorientierung, Schwindel, Blässe, Übelkeit, Würgen und Erbrechen (Kennedy, Berbaum, Lilienthal, Dunlap, Mulligan & Funaro, 1987; Kennedy, Frank & McCauley, 1985; Pausch, Crea & Conway, 1992). Der Unterschied zwischen der Simulator- und der Bewegungskrankheit liegt darin, dass die Simulatorkrankheit ohne eigentliche Bewegung der Person auftreten kann (Kolasinski, 1995).

Erstmals dokumentiert wurde die Simulatorkrankheit 1957 durch Havron und Butler, als 78 Prozent der auszubildenden Soldaten während Übungen mit einem US-Marine-Helikoptersimulator von Effekten wie Übelkeit, Schwindel, Sehtrübung und Kopfschmerzen berichteten (Casali, 1986). Seither konnte das Phänomen durch den zahlreichen Einsatz von Simulatoren weiter untersucht werden. Es zeigte sich dabei, dass immersive Technologien wie die virtuelle Realität die negativen Effekte deutlich verstärken können (Lin, Duh, Parker, Abi-Rached & Furness, 2002). Die Anfälligkeit für die Simulatorkrankheit variiert zwischen Personen stark. Während bei einigen Personen bereits nach kurzer Zeit zahlreiche Symptome beobachtbar sind,

haben andere kaum Probleme (Kennedy & Fowlkes, 1992). Über die genauen Auslöser der Simulatorkrankheit ist man sich in der wissenschaftlichen Gemeinde trotz zahlreicher Theorien uneinig (Brooks et al., 2010). Wichtig scheint jedoch in erster Linie, dass bei der Probandenakquise und der Durchführung von Simulatorstudien besonderes Augenmerk auf die Simulatorkrankheit gelegt wird, um die Probanden nicht unnötig zu gefährden.

## 3 Theoretische Grundlagen

### 3.1 Licht

Das visuelle System ist der wichtigste Wahrnehmungskanal beim Autofahren (Vollrath & Krems, 2011). Für Verkehrsteilnehmende bedeutet dies automatisch eine erhöhte Gefahr, sobald die Sichtverhältnisse eingeschränkt werden. Als besonders gefährlich gilt das Autofahren in der Nacht, da gemäss Bockelmann (1992) die Sehleistung von Menschen in der Dunkelheit um 5 bis 10 Prozent abnimmt. Dies hat unter anderem einen Einfluss auf den Schweregrad der Verkehrsunfälle. Wood, Tyrrell und Carberry (2005) haben aus amerikanischen Verkehrsdaten errechnet, dass tödliche Verkehrsunfälle in der Nacht bis zu vier Mal wahrscheinlicher sind als am Tag. Besonderes Risiko besteht für Fussgänger. Deren Chancen in einen Unfall verwickelt zu werden, steigen in der Nacht um das Eineinhalbfache (Bockelmann, 1992). Nun können durch Autofahrer verursachte Verkehrsunfälle in der Nacht neben den Lichtbedingungen ebenfalls auf einige weitere Faktoren, wie Müdigkeit, Alkohol oder dunkle Fussgängerkleidung, zurückgeführt werden (Langham & Moberly, 2003). Gemäss Owens und Sivak (1996) sind die beeinträchtigten Sichtverhältnisse jedoch die Hauptursache für Kollisionen mit Fussgängern, Fahrradfahrern und anderen kontrastarmen Objekten.

Die Effekte, welche Dunkelheit auf die Fahr- und Erkennungsleistung von Autofahrern hat, wurden in verschiedenen Studien erforscht. Urwyler et al. (2015) fanden während ihrer Untersuchungen heraus, dass das visuelle Explorationsverhalten, welches sich aus Augenbewegungen, visuellem Abtasten, Fixationen und Fixationszeiten zusammensetzt, beim nächtlichen Fahren beeinträchtigt ist. In ihrer Fahrsimulatorstudie konnten bereits bei simplen Überholmanövern signifikante Unterschiede im Explorationsverhalten der Probanden zwischen Tag und Nacht festgestellt werden. Urwyler et al. (2015) sehen, neben den variierenden Lichtverhältnissen, in erster Linie die erhöhten Belastungen des nächtlichen Fahrens als Grund für ihre Ergebnisse. Dies entspricht den Ergebnissen von Reimer, D'Ambrosio und Coughlin (2007), welche in einer Studie herausfanden, dass das Autofahren in der Nacht grundsätzlich

als schwieriger empfunden wird. Besonders ältere Personen würden deshalb das nächtliche Fahren in manchen Fällen aktiv vermeiden. Konstantopoulos et al. (2010) fanden in einer weiteren Fahrsimulatorstudie heraus, dass die Dunkelheit einen Einfluss auf die Augenbewegungen und damit die Erkennungsleistung von Autofahrern hat. Die Resultate für visuelle Abtastfrequenz und Fixationen fielen bei der untersuchten Tagstrecke deutlich besser aus, als bei eingeschränkten Sichtverhältnissen.

Wood et al. (2005) führten eine Studie durch, bei welcher Autofahrer auf einer realen Teststrecke Fussgänger bei variierenden Lichtverhältnissen erkennen mussten. Sie hielten fest, dass in der Nacht nur gerade 40 Prozent aller Fussgänger mit dunkler Kleidung erkannt wurden. Diese Prozentzahl konnte durch reflektierende oder kontraststarke Kleidung jedoch deutlich erhöht werden. In einer ähnlichen Studie, durchgeführt von Owens, Wood und Owens (2007), mussten die Versuchspersonen neben Fussgängern auch auf Strassenschilder und verschiedene weitere Hindernisse reagieren. Auch hier zeigte sich, dass die Erkennungsleistung bei Dunkelheit für alle Hindernisse insgesamt um 14.4 Prozent und für Fussgänger um 29 Prozent schlechter war als am Tag. Plainis und Murray (2002) sehen einen klaren Zusammenhang zwischen der Zielobjektsichtbarkeit und den Reaktionszeiten beim Autofahren. Sie hielten in ihrer Studie unter anderem fest, dass Reaktionszeiten bei verringerter Helligkeit zunehmen.

### 3.2 Display

Als Anzeigemedium wurden für Fahrsimulatoren bisher weitgehend *statische Displays* eingesetzt (Bennett, Corey, Giudice & Giudice, 2016). Bis auf äusserst preisintensive Fahrsimulatoren, welche Projektoren oder spezielle Displays nutzen (Kemeny, 2014), sind auch heute vorwiegend statische Displays wie Computermonitore oder Fernseher zur Darstellung virtueller Umgebungen, im Einsatz. Nachteile dieser Anzeigetechnologien sind in erster Linie das eingeschränkte Sichtfeld und die geringe Immersion. Diese beiden Aspekte führen dazu, dass sich auch aufwändig gestaltete virtuelle Umgebungen für den Probanden nicht realistisch anfühlen. Als Massnahme werden oftmals mehrere Displays kombiniert, was jedoch mit deutlich höheren Kosten, Platzbedarf und Rechenleistung verbunden ist (Bennet et al., 2016). Der Vorteil statischer Displays liegt in der experimentellen Kontrolle und der Sicherheit für die Versuchspersonen (Bennett et al., 2016).

VR-Systeme in Kombination mit Fahrsimulatoren einzusetzen, scheint auf den ersten Blick naheliegend. Head-Mounted Displays können nicht nur eine hohe Immersion erzeugen, sondern

lassen Nutzenden die Freiheit ihren Blickwinkel jederzeit zu verändern, was dem Problem des eingeschränkten Sichtfeldes zumindest teilweise entgegenwirkt. Gemäss Mourant und Schultheis (2001) waren frühere HMD-Modelle durch hohes Gewicht, schlechter Auflösung und langen Datenverarbeitungszeiten nur bedingt für den Einsatz in Fahrsimulatoren geeignet. Auch führten sie rasch zu Simulatorkrankheit, was die Durchführung valider Studien zusätzlich erschwerte.

Durch technische Weiterentwicklungen verfügen Head-Mounted Displays der neusten Generation über einen höheren Tragekomfort, sind finanziell tragbarer, leistungsfähiger und haben bessere Displaytechnologien verbaut (Bennett et al., 2016). Seit ihrer Verfügbarkeit wurden demnach bereits vereinzelt Fahrsimulatorstudien zur Untersuchung ihres Nutzens durchgeführt. Walch et al. (2017) verglichen in ihren Untersuchungen ein statisches Drei-Monitor-Setup mit einem Head-Mounted Display (HTC Vive). Die Versuchspersonen wurden unter anderem bezüglich Simulatorkrankheit, Präferenz und Immersion befragt. Während die Präferenzen der Versuchspersonen klar beim Head-Mounted Display lagen, konnte überraschenderweise weder bei der Immersion, noch bei Simulatorkrankheit, ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Anzeigemedien festgestellt werden. Bei der Immersion zeigte sich jedoch eine für das Head-Mounted Display sprechende Tendenz. Weidner, Hoesch, Poeschl, und Broll (2017) verglichen im Rahmen einer Fahrsimulatorstudie ein statisches Display mit einem Head-Mounted Display (Oculus Rift DK2). Sie konnten dabei für keine der untersuchten abhängigen Variablen (Simulatorkrankheit, physiologischen Reaktionen, simple Fahraufgaben) einen signifikanten Unterschied feststellen. Weidner et al. (2017) sowie Walch et al. (2017) sind jedoch der Meinung, dass es weitere Studien mit komplexeren Fahraufgaben bedarf, bevor ein endgültiges Verdikt für bzw. gegen den Einsatz von Head-Mounted Displays ausgesprochen werden kann.

In einer Studie von Ricaud, Lietar und Joly (2015) wurden ein Computermonitor und ein Head-Mounted Display (Oculus Rift DK2) verglichen, indem die Versuchspersonen mehrere Fahrübungen in einem Lastwagensimulator absolvierten. Es zeigte sich, dass die Aufgaben mit dem Head-Mounted Display grundsätzlich schneller gefahren wurden, was auf eine bessere Fahrleistung gegenüber dem statischen Display schliessen lässt. Jedoch lag die Abbruchrate bei der HMD-Bedingung bei fast 50 Prozent. Dies liess Ricaud et al. (2015) an der Verwendbarkeit von VR-Headsets für Fahrsimulatorzwecke zweifeln. Werden frühere Studien betrachtet, die ältere Head-Mounted Displays mit statischen Displays verglichen, wird regelmässig

das Potenzial der VR-Technologie für den Einsatz mit Fahrsimulatoren betont. Erhobene Daten, die klare Vorteile der HMDs erkennen lassen, sind jedoch nur wenige dokumentiert (z. B. Carlozzi, Gade, Rizzo & Tulsy, 2013; Michael et al., 2014; Mourant & Schultheis, 2001).

### 3.3 *Ableitung und Hypothesen*

In den vorhergehenden Kapiteln wurde mithilfe relevanter Literatur die theoretische Grundlage für die beiden unabhängigen Variablen *Licht* und *Display* gelegt. Unter Berücksichtigung der in Kapitel 3.1 besprochenen Literatur, lässt sich festhalten, dass die Erkennungsleistung von Fussgängern bei Dunkelheit schlechter ausfällt als am Tag. Dies führt zu folgender Hypothese: *Wenn die Variable Licht variiert wird, hat dies einen signifikanten Einfluss auf die Reaktionszeiten der Probanden.*

Die Literatur in Kapitel 3.2 lässt keine eindeutige Aussage darüber zu, ob sich statische Displays oder Head-Mounted Displays besser für den Einsatz mit Fahrsimulatoren eignen. Zumindest scheint es jedoch Anzeichen darauf zu geben, dass die Displays Einfluss auf die Leistung des Nutzenden haben können. Daraus lässt sich folgende Hypothese ableiten: *Wenn die Variable Display variiert wird, hat dies einen signifikanten Einfluss auf die Reaktionszeiten der Probanden.*

## 4 Methodik

### 4.1 *Fahrsimulator*

#### 4.1.1 *Virtuelle Umgebung*

Als Grundlage für die Entwicklung der virtuellen Umgebung diente die Spieleentwicklungsplattform *Unreal Engine 4* von Epic Games. Ergänzend dazu wurden für Gestaltungs- und Prototypingzwecke verschiedene Programme der Adobe- und Autodesk-Programmpalette eingesetzt. Im Rahmen dieses Kapitels werden die einzelnen Aspekte der virtuellen Umgebung erläutert. Für eine detailliertere und technischere Ausführung, kann an dieser Stelle auf die Bachelorthesis von Emanuel Mistretta verwiesen werden.



## Strassennetz und Umgebung

Die virtuelle Umgebung setzt sich aus einem Innenstadt-, Vorstadt- und Waldgebiet zusammen. Die Gebiete unterscheiden sich unter anderem in Gebäudedichte, Fussgängerstreifenanzahl und Strassenbeleuchtung. Der eigentliche Kern der virtuellen Umgebung bildet das Strassennetz, welches gleichzeitig als natürliches Bindeglied zwischen den drei Gebieten dient. Bei der Gestaltung des Strassennetzes orientierte sich das Projektteam an verschiedenen Ortschaften aus den Regionen Bern und Solothurn.

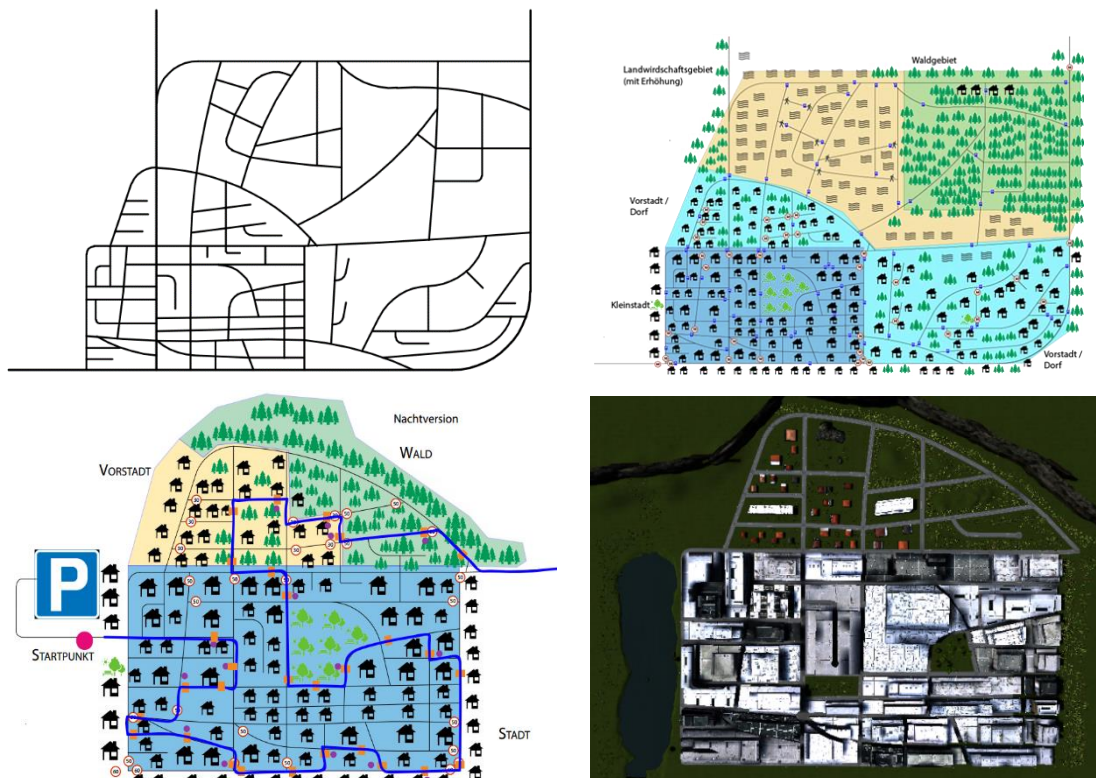


Abbildung 4: Planungsprozess der virtuellen Umgebung. Vom Strassennetz (oben links) über die Gebietseinteilung (oben rechts) und Routenplanung (unten links) bis hin zum fertigen Modell (unten rechts) (eigene Darstellung)

Bis auf die Fussgänger, welche als Reize für die Probanden dienten und bewegungslos an den Fussgängerstreifen standen, war die virtuelle Umgebung unbelebt. Es gab neben dem Probandenfahrzeug, dessen Motor ebenfalls die Gesamtheit der Geräuschkulisse ausmachte, keinen Verkehr. Dennoch wurde versucht die Umgebung möglichst realistisch zu gestalten, um das Gefühl einer richtigen Stadt zu erzeugen. Dafür wurden bei der Gestaltung der Fussgängerstreifen und Strassen beispielsweise Normen des Schweizerischen Verbandes der Strassen und Verkehrsfachleute (VSS) berücksichtigt und auf detailreiche Parks, Gebäudefassaden und Bürgersteige geachtet. Eine Ansicht der virtuellen Umgebung aus der Vogelperspektive ist auf Abbildung 4 zu sehen. Weitere Bilder sind in Anhang A zu finden.



### *Lichtverhältnisse und Beleuchtung*

Um die im Kapitel 3.3 formulierte Hypothese zum Fahren bei unterschiedlichen Lichtverhältnissen überprüfen zu können, wurden zwei Versionen der virtuellen Umgebung erstellt. In beiden Versionen herrschten gute Wetterverhältnisse mit leichter Bewölkung, welche jedoch nur für kosmetische Zwecke implementiert wurden. Die Strassenlaternen, welche in der Nachtversion im Innenstadt- und Vorstadtgebiet als zusätzliche Lichtquellen dienten, wurden in einem durchschnittlichen Abstand von 40 Metern platziert. Dieser Distanzwert wurde mithilfe von Google Maps an realen Schweizer Strassen bemessen. Das Lichtprofil stammt von dem einer echten Strassenlaterne der Firma SITECO und eignet sich für zweispurige Fahrbahnen mit 7.50 Metern Breite. Es konnte in Form einer IES-Datei (Illuminating Engineering Society) bezogen werden. Da die Unreal Engine über ein komplexes und umfangreiches Lichteinstellungssystem verfügt, welches eine realitätsnahe Gestaltung von Lichtbedingungen äußerst aufwändig macht, konnte das IES-Profil nicht ohne gewisse Anpassungen in die virtuelle Umgebung übernommen werden



*Abbildung 5: Nachtszene des Probandenfahrzeugs unter Strassenlaternen mit angepasstem IES-Profil (eigene Darstellung)*

### *Routen*

Damit die Daten der Versuchsprobanden, beim mehrmaligen Fahren durch die virtuelle Umgebung, nicht durch einen Lerneffekt verzerrt werden konnten, wurden zwei unterschiedliche Routen definiert. Aufbauend auf den zwei Versionen der virtuellen Umgebung (Tag und Nacht), ergab dies insgesamt vier Erhebungsstrecken. Eine bildliche Darstellung dieser Auftei-

lung ist auf Abbildung 11 ersichtlich. Weiter wurde eine Übungsstrecke gestaltet, die den Versuchsproubanden während der Erhebungen jeweils dazu diente, sich an den Simulator und die unterschiedlichen Displays zu gewöhnen.

### *Fussgängerstreifen und Ablenkungsobjekte*

Auf jeder der vier Erhebungsstrecken wurden 30 Fussgängerstreifen platziert. Von diesen 30 Fussgängerstreifen waren 15 mit Fussgängern versehen, auf welche die Versuchsproubanden reagieren mussten. Wie auf Abbildung 11 zu sehen ist, konnte die Situation im Falle, dass ein Fussgänger am Fussgängerstreifen vorhanden war, sechs verschiedene Ausprägungen annehmen. Entweder stand der Fussgänger alleine und damit ohne zusätzliches Ablenkungsobjekt am Fussgängerstreifen oder eines der folgenden fünf Objekte verdeckte den Fussgänger teilweise: Baum, Bushaltestelle, Fahrrad, Fahrplanschild, Müllcontainer. Die Auftretenswahrscheinlichkeit aller sechs Situationen war identisch. Die Objekte wurden implementiert, um die Fussgängererkennung zusätzlich zu erschweren.



Abbildung 6: Fussgängerstreifen mit Fussgänger und Müllcontainer als Ablenkungsobjekt (eigene Darstellung)

Damit bei den Probanden nicht die Erwartungshaltung entstehen konnte, dass die Objekte nur bei Fussgängerstreifen mit einem Fussgänger erscheinen, wurden auf allen Strecken, am Strassenrand sowie an vereinzelt Fussgängerstreifen, zusätzliche Objekte platziert. Sowohl die Standorte der Fussgängerstreifen und an welchen Fussgängerstreifen ein Fussgänger stand, wurde über die vier Erhebungsstrecken hinweg festgelegt und war somit für alle Versuchsproubanden identisch. Ob und welches Objekt zusätzlich am Fussgängerstreifen auftauchte, wurde hingegen randomisiert, sodass jede Versuchsproubande eine andere Kombination von Situationen antraf.

### *Fahrzeug, Fahrverhalten und Navigation*

Für das Fahrverhalten bietet die Unreal Engine eine vordefinierte Konfiguration mit realitätsnaher Fahrphysik, welche als Grundlage für das verwendete Probandenfahrzeug diente. In frühen Tests stellte sich jedoch heraus, dass diese Voreinstellungen zu direkt und aggressiv für eine Anwendung in der virtuellen Realität waren. Um dem Risiko der Simulatorkrankheit entgegenzuwirken, wurden deshalb Beschleunigung, Brems- und Kurvenverhalten, Hydraulik, Höchstgeschwindigkeit sowie das Ausrollverhalten angepasst. Grundsätzlich wurde versucht das Fahrverhalten so sanft wie möglich zu gestalten, ohne dabei zu fest vom einem realen Fahrgefühl abweichen zu müssen.

Das Fahrzeugmodell entsprach einem Porsche Carrera S und verfügte über eine detailgetreue Innenausstattung. Das virtuelle Steuerrad wurde mit dem echten Steuerrad der Probanden synchronisiert, sodass der Input (drehen des Steuerrads) realistisch und nachvollziehbar in der virtuellen Umgebung dargestellt wurde. Die Anzeige von Geschwindigkeit und Navigation wurde mit minimalistischem Design auf der Frontschuttscheibe platziert. Eine solche Anzeige wurde dem klassischen Tachometer und Navigationssystem vorgezogen, da es gemäss Nwakacha, Crabtree und Burnett (2013) Autofahrende weniger stark ablenkt. Das Navigationssystem, die Geschwindigkeitsanzeige und die Innenausstattung sind auf Abbildung 7 zu sehen.



*Abbildung 7: Innenausstattung und Navigationssystem mit Pfeil und Geschwindigkeitsanzeige (eigene Darstellung)*

#### 4.1.2 Messsystem und Reaktionszeit

Die Aufzeichnung und Ausgabe der Erhebungsdaten fand direkt über die Unreal Engine statt. Dafür wurde ein Messsystem implementiert, das alle zu erhebenden Parameter umfasste. Es konnten so Geschwindigkeits-, Zeit- und geografische Daten von allen Versuchspersonen erhoben werden. Die Datenausgabe erfolgte nach jeder absolvierten Erhebungsstrecke in Form einer CSV-Datei, die anschliessend vom Versuchsleiter abgespeichert wurde.

Für die vorliegende Arbeit spielte von den gemessenen Daten nur die Reaktionszeit eine Rolle. Diese errechnete sich jeweils aus der Differenz von zwei separat erfassten Zeitmessungen. Die erste Messung fand statt, wenn der Proband den Punkt auf der Strecke erreichte, wo eine Sichtung des Fussgängers theoretisch möglich war. Dieser Punkt wurde durch das System mithilfe des sogenannten Raycasts ermittelt. Der Raycast kann als Strahl verstanden werden, der zu jedem Zeitpunkt vom Fussgängerstreifen ausgeht, aber erst aktiviert wird, sobald sich das Auto im direkten Sichtfeld des Fussgängerstreifens befindet und somit theoretisch eine Fussgängersichtung möglich ist. Die Aktivierung kann auf Abbildung 8 als grüner Strahl erkannt werden. Die zweite Messung erfolgte, sobald der Proband den Fussgänger erkannte und als Reaktion einen der vordefinierten Knöpfe auf dem Lenkrad betätigte. Die Probanden wurden instruiert den Knopf erst zu drücken, wenn sie den Fussgänger sicher erkannt hatten. Die verwendete Reaktionszeit war somit die zeitliche Differenz zwischen Aktivierung des Raycasts durch das System und dem Drücken der Lenkradtaste durch den Probanden.



Abbildung 8: Referenzpunkterfassung durch Raycasting. Theorie (links) und Praxis (rechts) (eigene Darstellung)

#### 4.1.3 Hardware

Die Hardware des Fahrsimulators setzte sich einerseits aus Komponenten zusammen, die sich bereits im Besitz der Fachhochschule befanden und andererseits aus solchen, die speziell für diese Studie erworbenen wurden. Es galt dabei zu beachten, dass alle Teile trotz unterschiedlichster Hersteller, kompatibel zueinander waren. Folgend sind alle Komponenten aufgelistet:

## Displays

Für Erhebungsstrecken 1 und 2 wurde als statisches Display ein 32 Zoll LED-TV der Marke Samsung (Series 5) verwendet. Dieses Modell verfügt über einer Auflösung von 1920 x 1080 Pixeln, was einer «Full HD» Auflösung entspricht. Die Bildwiederholungsrate des Displays liegt bei 60 Hertz.

Für die Erhebungsstrecken 3 und 4 wurde als Head-Mounted Display eine HTC Vive verwendet. Die HTC Vive verfügt über zwei (eines für jedes Auge) OLED-Displays mit jeweiliger Auflösung von 1080 x 1200 Pixeln. Die Bildwiederholungsrate liegt bei 90 Hertz. Seit der Markteinführung im Frühling 2016, ist die HTC Vive eine der fortschrittlichsten VR-Headsets.

## Computer

- Medion «Erazer» X5336 G
- Prozessor: Intel i/-6700k, 4.0 GHz
- Grafikkarte: NVIDIA GTX 1080 FE
- Arbeitsspeicher: 32GB Ram

## Kopfhörer

- Philips SHP1600, Over-Ear Kopfhörer

## Mikrofon

- Creative Sound Blaster Tactic3D Rage USB Gaming Headset v2

## Lenkrad

- Thrustmaster T150 RS

## Pedale

- Thrustmaster T3PA – Pro Pedalset

## Sitz

- PlaySeat Gaming Chair



Abbildung 9: Eingerichteter Simulator mit Sitz, Lenkrad, Pedalen, Bildschirm, Kopfhörern, statischem Display und HMD (eigene Darstellung)



Abbildung 10: Fahrsimulator mit HMD im Einsatz (eigene Darstellung)



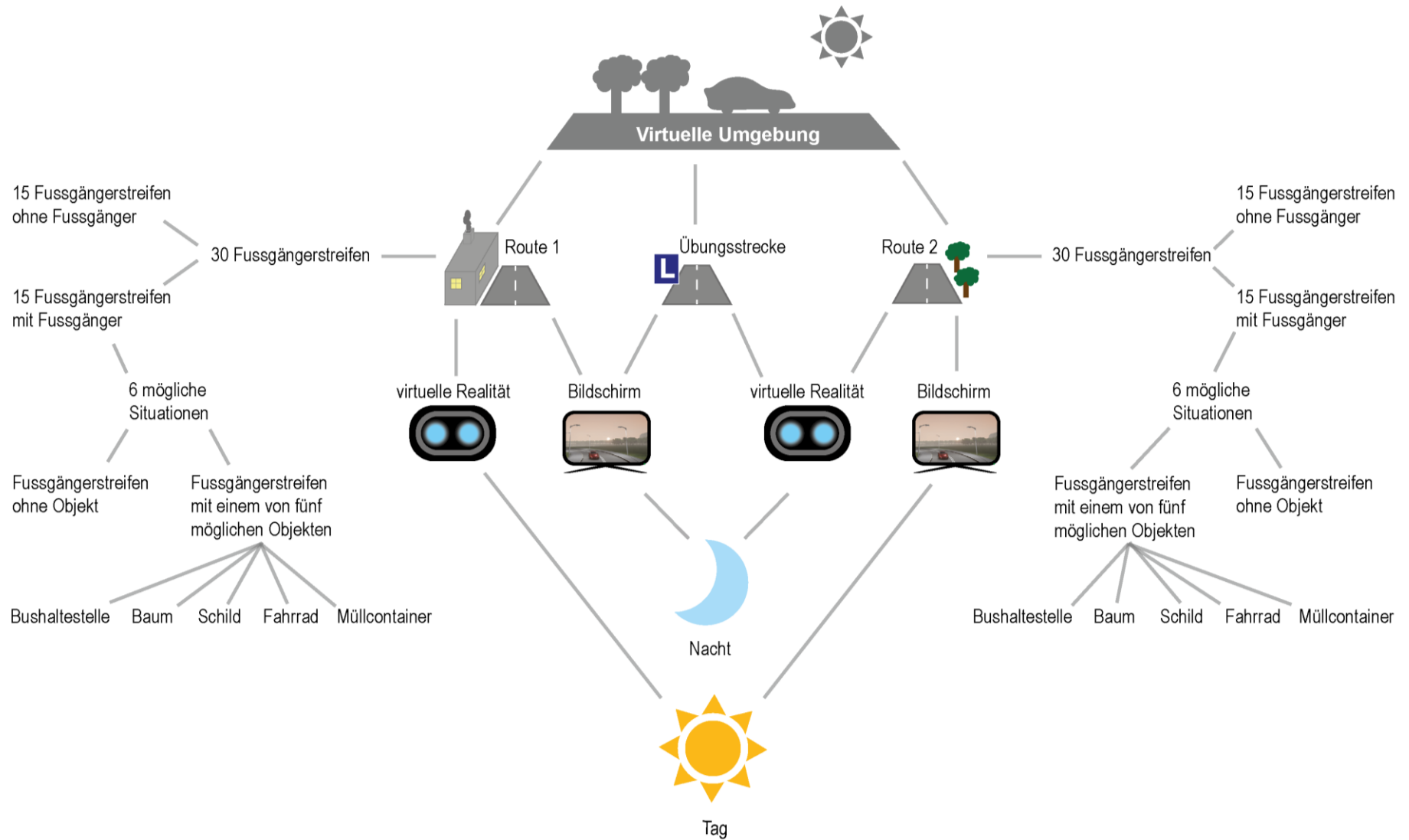


Abbildung 11: Überblick über den Aufbau der virtuellen Umgebung (eigene Darstellung)

## 4.2 *Probandenakquise*

Ein ursprüngliches between-groups Versuchsdesign sah die Rekrutierung von 32 Probanden vor, um vier Versuchsgruppen mit je acht Personen zu bilden und miteinander vergleichen zu können. Zudem sollten weitere acht Personen als Reserve rekrutiert werden. An dieser Gesamtzahl von 40 Versuchsprobanden wurde nach Absprache mit dem Praxispartner festgehalten, obwohl im Laufe des Projektes zu einem within-subjects Versuchsdesign gewechselt wurde.

### 4.2.1 *Vorauswahl*

Die Vorselektion der Versuchsprobanden fand durch einen Onlinefragebogen (siehe Anhang C) statt. Als Plattform diente dazu *dieUmfrage.ch*, welche psychologisches Wissen mit immersiven Technologien verknüpft. Über Mailverteiler und Social Media Plattformen konnten Studierende und Mitarbeitende der Hochschule für Angewandte Psychologie sowie der Hochschule Soziale Arbeit rekrutiert werden. Weiter wurde der Fragebogen privat über verschiedene Kanäle geteilt, was zur Heterogenisierung der Stichprobe beitrug. Der Fragebogen war wie folgt aufgebaut:

#### ***Begrüssung***

Die Startseite des Fragebogens informierte Studieninteressierte über den Inhalt des Fragebogens, das Ziel der Studie und die Voraussetzungen zur Teilnahme. Die Teilnehmenden mussten sich in Besitz eines Führerausweises (mind. Kategorie B) befinden sowie zwischen 18 und 40 Jahre alt sein. Die Altersbegrenzung für ältere Versuchsprobanden wurde auf Grundlage der Studie von Dingus, Hulse, Antin & Wierwille (1989) festgelegt. In dieser wurde ergründet, dass ältere Fahrer signifikant längere Zeit beim Betrachten des Navigationssystems aufwenden. Um diese Ablenkung als Störvariable ausschliessen zu können, wurde von der Teilnahme von Personen über 40 Jahren abgesehen.

#### ***Persönliche Angaben***

Dieser Teil des Fragebogens beinhaltete demographische Daten der Studieninteressierten.

### ***Bewegungskrankheit***

Um der Simultorkrankheit als Risikofaktor möglichst vorbeugen zu können, wurde die Kurzversion des *Motion Sickness Susceptibility Questionnaires* (MSSQ) nach Golding (2006) verwendet. Der MSSQ befragt Teilnehmende über ihre Anfälligkeit für Bewegungskrankheit in Bezug auf verschiedene Transport- und Unterhaltungsmittel (z. B. Achterbahn). Dabei werden identische Fragen in Bezug auf die Erfahrungen mit Bewegungskrankheit in den letzten zehn Jahren und in Bezug auf die Erfahrungen während der Kindheit (jünger als 12 Jahre) gestellt. Die Kurzversion verfügt über gute interne Stabilität (Cronbachs  $\alpha$ ) bei  $\alpha = 0.86$ , und Retest-Reliabilität bei  $r = 0.9$  (Golding, 2006). Auf der Grundlage, dass Personen, welche auf Bewegungskrankheit anfällig sind, von der Teilnahme an Simulatorstudien absehen sollten (Stoner, Fischer & Mollenhauer 2011), konnten so besonders anfällige Studieninteressierte bereits in der Vorselektion ausgeschlossen werden.

### ***Fahrzeugbezogene Angaben***

Studieninteressierte wurden in diesem Fragebogenteil über ihre Fahrerfahrung und Autobe-nutzung befragt.

### ***Erfahrung mit virtueller Realität und Videospielen***

Dieser Teil diente dazu, die potenziellen Probanden nach ihren Erfahrungen betreffend virtu-eller Realität und Videospielen zu befragen.

### ***Abschluss***

Den Studieninteressierten wurden an dieser Stelle für ihre Teilnahme gedankt und Informati-onen zum weiteren Vorgehen gegeben.

#### ***4.2.2 Rekrutierung***

Nach dem Auswerten des Vorauswahl-Fragebogens, wurden aus den 68 Studieninteressierten insgesamt 40 Probanden nach den folgenden Kriterien ausgewählt. Die Priorität der Kriterien entspricht der nummerierten Reihenfolge:

##### **1. Score aus dem Motions Sickness Susceptibility Questionnaire**

Die Scores der Studieninteressierten reichten von 0 bis 42 Punkten. Ein hoher Zahlen-wert bedeutet eine höhere Anfälligkeit für Bewegungskrankheit. Bei einem Mittelwert von 11.78 Punkten, entschied sich das Projektteam, die Grenze für die Teilnahme bei 20 Punkten zu setzen.



## 2. Alter

Beim Alter wurde versucht eine möglichst ausgeglichene Verteilung zwischen dem jüngsten (21 Jahre) und dem ältesten Versuchsprobanden (40 Jahre) zu schaffen.

## 3. Geschlecht

Beim Geschlecht wurde darauf geachtet, dass das Verhältnis von Frauen und Männern den Führerscheinbesitzquoten aus dem *Bericht zur Mobilität in der Schweiz* (BFS, 2012) entspricht. Mit 18 weiblichen und 22 männlichen Versuchsprobanden wurde dieses Ziel genügend erreicht.

Nach dem Selektionsverfahren wurden alle Studieninteressierten per Mail kontaktiert. Die ausgewählten Personen wurden gebeten, sich über den Online-Terminplaner *doodle.com* für einen passenden Termin einzutragen. Daraufhin folgte eine Terminbestätigung, die alle wichtigen Informationen zum Erhebungstermin beinhaltete, sowie ein Erinnerungs-Mail zwei Tage vor dem Termin.

Der Erhebungstermin wurde von insgesamt fünf Personen abgesagt. Zwei Individuen konnten früh genug durch weitere Studieninteressierte ersetzt werden. Die restlichen drei Personen sagten den Termin kurzfristig ab und konnten auf Grund des engen Terminplans nicht kompensiert werden.

### 4.3 Untersuchungsdesign

Die geschilderte Ausgangslage (Kapitel 1.1) und die vertiefte Literaturrecherche zum aktuellen Stand der Forschung (Kapitel 3), aus welcher zwei Hypothesen formuliert werden konnten, legten ein explanatives Untersuchungsvorgehen nahe. Das gewählte experimentelle Untersuchungsdesign versucht Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge zu bestätigen bzw. verwerfen (Döring & Bortz, 2016). Dies bedeutet, dass die Wirkung einer (oder mehrerer) unabhängiger Variablen (UV) auf eine (oder mehrere) abhängige Variablen (AV) untersucht wird. In der vorliegenden Arbeit wurde die Wirkung der beiden unabhängigen Variablen *Licht* und *Display* auf die abhängige Variable *Reaktionszeit* untersucht. Da dieselbe Versuchsprobandengruppe über alle Bedingungen hinweg getestet wurde, handelt es sich um ein mehrfaktorielles, univariates within-subjects Design.

Die Aussagekraft von experimentellen Studien ist grundlegend von deren internen und externen Validität abhängig (Döring & Bortz, 2016). Die interne Validität nimmt Bezug auf die innere Gültigkeit der Ergebnisse und beschreibt das Ausmass, in welchem eine Veränderung der

Reaktionszeit (AV) eindeutig auf den Einfluss der Licht- bzw. Displaybedingung (UVs) zurückzuführen ist. Um eine hohe interne Validität zu garantieren, galt es Störvariablen möglichst auszuschliessen. Durch das Laborsetting konnte grundsätzlich eine hohe Standardisierung und damit eine gute Kontrolle potenzieller Störfaktoren ermöglicht werden. Eine solche Laborstudie bedeutet im Vergleich zur Feldstudie jedoch auch eine Verringerung der externen Validität, welche die Generalisierbarkeit der Ergebnisse, über die untersuchten Personen hinweg, beschreibt (Döring & Bortz, 2016).

Eine bedeutsame Validitätseinbusse liegt in dieser Studie durch den vorhandenen Konfundierungseffekt vor. Auf Grund der Befürchtung, dass viele Versuchsproubanden durch den Einsatz eines Head-Mounted Displays Symptome von Simulatorkrankheit zeigen würden und dadurch die Erhebung abbrechen müssten, wurde die Reihenfolge der Erhebungsstrecken nicht randomisiert. In Absprache mit dem Praxispartner, absolvierten somit alle Versuchsproubanden die Erhebungsstrecken in derselben Reihenfolge. Damit konnte garantiert werden, dass zumindest von den beiden Strecken, die zu Beginn mit dem statischen Display abgefahren wurden, Daten gewonnen werden konnten.

#### 4.4 Versuchsaufbau

Als Durchführungsort konnte über die gesamte Studiendauer ein Raum der FHNW in Olten genutzt werden, was sich positiv auf die Standardisierung der Erhebungsdurchführung auswirkte. Auch die Konfiguration des Fahrsimulators erleichterte sich dadurch, da dieser nur über eingeschränkte Mobilität verfügt. Alle Versuchsproubanden absolvierten die Erhebungsstrecken in derselben Reihenfolge, welche der Tabelle 1 entnommen werden kann.

Tabelle 1: Versuchsplan für Studiendurchführung

	Durchführung			
	Erhebungsstrecke1	Erhebungsstrecke 2	Erhebungsstrecke 3	Erhebungsstrecke 4
Route	Route 1	Route 2	Route 1	Strecke 2
Licht	Nacht	Tag	Tag	Nacht
Display	Stat. Display	Stat. Display	HMD	HMD

Die Studiendurchführung erfolgte nach Drehbuch (siehe Anhang D), um denselben Ablauf für alle Probanden sowie eine hohe Standardisierung garantieren zu können. Der folgende Ablaufplan erläutert die wichtigsten Aspekte der Erhebungen:

### ***Vorbereitung***

Vor dem Eintreffen des Versuchsprobanden wurden alle nötigen Vorbereitungen für eine reibungslose Studiendurchführung getroffen. Dabei galt es neben dem Bereitlegen der Dokumentationen und 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 Versuchsperson wurde vor dem Labor in Empfang genommen und in den Versuchsraum begleitet. Daraufhin wurde der Proband über dessen Aufgabe und den Ablauf der Studie informiert. An dieser Stelle wurden zudem alle Versuchspersonen instruiert, sich bei Auftreten von Simulatorkrankheitssymptomen oder generellem Unwohlsein sofort bei der Testleitung zu melden, um keine Gefährdung der Probanden zu riskieren.

### ***Durchführung***

Nach der Einführung des Probanden folgte dieser Ablauf:

- **Übungsstrecke**  
Die Versuchsprobanden konnten sich ein erstes Mal an den Fahrsimulator und das statische Display gewöhnen.
- **Erhebungsstrecke 1**  
Die Probanden absolvierten die erste Erhebungsstrecke. Daraufhin folgte eine fünfminütige Pause.
- **Erhebungsstrecke 2**  
Die Probanden absolvierten die zweite Erhebungsstrecke.
- **Fragebögen**  
Nach Absolvierung der zweiten Erhebungsstrecke folgten zwei Fragebögen (siehe Anhang E), welche die Probanden auf iPads, die durch die FHNW zur Verfügung gestellt wurden, ausfüllten. Beim ersten Fragebogen handelte es sich um die kürzere Version des *NASA Task Load Index* (NASA-TLX), auch als *TLX raw* bekannt. Mit dem NASA-TLX wird die wahrgenommene Auslastung einer Person während der Ausführung einer Aufgabe erhoben. Mit dem *igroup presence questionnaire* konnten Probanden anschliessend über das empfundene Immersionsgefühl während der ersten beiden Erhebungsstrecken (statisches Display) befragt werden. Die Fragebögen wurden wiederum

mithilfe von dieUmfrage.ch aufbereitet. Während die Probanden die Fragebögen beantworteten, konnte der Testleiter den Simulator für die Erhebungen mit dem Head-Mounted Display vorbereiten.

- **Übungsstrecke**

Vor der dritten Erhebungsstrecke konnten sich die Probanden an das Fahren mit dem HMD gewöhnen.

- **Erhebungsstrecke 3**

Die Probanden absolvierten die dritte Erhebungsstrecke. Es folgte wiederum eine fünfminütige Pause.

- **Durchführung 4**

Die Probanden absolvierten die vierte und letzte Erhebungsstrecke.

- **Fragebogen**

Nach Absolvierung der vierten Erhebungsstrecke, erhielten die Versuchsprobanden nochmals das iPad mit den beiden Fragebögen. Dieses Mal sollten die Fragen betreffend der dritten und vierten Erhebungsstrecke und damit der HMD-Nutzung beantwortet werden.

### ***Abschluss und Verabschiedung***

Nach dem Beantworten der Fragebögen folgte ein Debriefing, bei welchem den Probanden fünf offene Fragen gestellt wurden (siehe Anhang F). Diese Fragen beschäftigten sich in erster Linie mit dem subjektiven Empfinden während der Simulatorbenutzung und allfälligen Verbesserungsempfehlungen. Abschliessend erhielten die Probanden die Entschädigung von CHF 50, welche vom Praxispartner zur Verfügung gestellt wurde. Die Probanden wurden verabschiedet und aus dem Untersuchungsraum begleitet.

## ***4.5 Durchführung und Datenerhebung***

### ***4.5.1 Pretests***

Vor den Erhebungen wurden insgesamt drei Pretests durchgeführt. Beim ersten Test lag der Fokus mehr auf der Technik, als auf den Daten. Die beiden Versuchspersonen durchliefen deshalb nicht den ganzen Versuchsablauf, sondern sollten nur die beiden HMD-Erhebungsstrecken absolvieren, um allfällige technische Probleme sowie unentdeckte Fehler im Simulatordesign offenzulegen. Dies erwies sich als äusserst wertvoll, da grosses Optimierungspotenzial beim Fahrverhalten des Probandenfahrzeugs aufgezeigt werden konnte. Zudem konnte

die Gelegenheit genutzt werden, um die Anwendbarkeit des MSSQ-Fragebogens zu überprüfen. Dafür wurde für den ersten Pretest eine Person mit einem hohen Score (28), der klar über dem gesetzten Schwellwert (20) lag, und eine Person mit einem tiefen Score (6) eingeladen. Den Erwartungen entsprechend, empfand die Testperson mit dem hohen MSSQ-Score das VR-Erlebnis als deutlich unangenehmer und musste den Test bereits nach wenigen Minuten abbrechen. Die zweite Person mit dem tiefen Score konnte beide Teststrecken ohne bemerkenswerte Einschränkungen absolvieren.

Der zweite Test wurde durchgeführt, nachdem die Probleme aus dem ersten Pretest behoben waren. Zuvor wurde wiederum der MSSQ-Score (2) der Testperson errechnet. Alle vier Erhebungsstrecken konnten in diesem Pretest ohne grosse Erschwernisse absolviert werden.

Der dritte und abschliessende Pretest wurde nach Drehbuch durchgeführt. So konnten Versuchsablauf, benötigte Zeit sowie Simulatorfunktionalität ein letztes Mal überprüft werden. Die Versuchsperson mit einem MSSQ-Score von 8.5 verspürte kein Unwohlsein.

#### *4.5.2 Erhebung*

Die Erhebungen fanden über einen Zeitraum von drei Wochen, zwischen dem 20. März und dem 8. April 2017, statt. Die Rolle des Testleiters übernahm abwechslungsweise der Autor oder Simon Wehrli. Drei Versuchsprobanden meldeten sich kurzfristig, ohne Möglichkeit für einen Ausweichtermin, ab. Die restlichen 37 Personen trafen durchgehend pünktlich am Teststandort ein. Insgesamt mussten fünf Erhebungen abgebrochen werden. Davon zeigten vier Probanden während der HMD-Erhebungsstrecken Zeichen von Simulatorkrankheit und fühlten sich nicht in der Lage den Test nach einer Pause fortzufahren. Bei einer Person waren technische Probleme mit dem Simulator Grund für den Abbruch. Davon abgesehen verliefen die Erhebungen, bis auf vereinzelte Schwierigkeiten mit verschiedenen Simulatorkomponenten, unproblematisch. Für jeden Probanden wurde mit Vor- und Nachbearbeitung eine Erhebungszeit von zwei Stunden gerechnet. Dieses Zeitfenster konnte jeweils gut eingehalten werden.

#### *4.6 Datenauswertung*

Zur Auswertung der erhobenen Daten wurde die Statistiksoftware SPSS (Version 24.0) sowie Excel 2016 verwendet. Die Rohdatensätze der Versuchsprobanden wurden nach Abschluss der Erhebungen kumuliert und aufbereitet. Dazu wurden in einem ersten Schritt die Daten

der Versuchspersonen ausgeschlossen, die nicht alle vier Erhebungsstrecken vollständig absolvierten. Die Daten der verbleibenden 32 Versuchspersonen konnten anschliessend zur weiteren Bearbeitung ins SPSS importiert werden. Es folgte eine Sortierung der Reaktionszeiten auf Grundlage der Signaldetektionstheorie (Macmillan & Creelman, 2005):

*Hit*

- Versuchsperson hat korrekterweise einen Fussgänger erkannt und reagiert.

*Miss*

- Versuchsperson hat nicht reagiert, obwohl ein Fussgänger am Fussgängerstreifen stand.

*False Alarm*

- Versuchsperson hat reagiert, obwohl kein Fussgänger am Fussgängerstreifen stand.

*Correct Rejection*

- Fussgänger hat korrekterweise nicht reagiert, da kein Fussgänger am Fussgängerstreifen stand.

Für die weitere Auswertung wurden ausschliesslich *Hits* verwendet. Von einer Analyse der *Misses* und *False Alarms* wurde abgesehen, da diese nur eine geringe Prozentzahl der erhobenen Reaktionszeiten ausmachten. Es folgte eine Darstellung der Hits mithilfe eines Boxplot-Diagramms. 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. Die identifizierten Ausreisser wurden anschliessend für die weitere Auswertung entfernt. Damit konnten negative Auswirkungen der Ausreisser auf die Verteilung und der anschliessenden Analyse der zentralen Tendenzen ausgeschlossen werden. Weiter wurden die Reaktionszeiten nach Subjekt über die vier Erhebungsstrecken hinweg aggregiert. Dies hatte zwar eine Einschränkung der Reaktionszeitenvarianz zur Folge, half aber dabei die Verteilung der Daten weiter zu normieren (Bühner & Ziegler, 2009), was für die Durchführung der Varianzanalyse nötig war.

In der zweiten Phase wurde eine zweifaktorielle, univariate Varianzanalyse (ANOVA) durchgeführt. Diese erlaubt eine Beantwortung der beiden Hypothesen, indem die Wirkung der unabhängigen Variablen (Licht, Display) auf die abhängige Variable (Reaktionszeit) statistisch überprüft wird (Bühl, 2014). Dafür wurden sowohl Normalverteilung (Kolmogorov-Smirnov-Test)

als auch Varianzhomogenität (Levene-Test) der Reaktionszeiten kontrolliert. Abschliessend wurden die Effektstärken der ANOVA-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, 1977).

## 5 Ergebnisse

In Tabelle 2 sind die erhobenen Reaktionszeiten auf Grundlage der Signaldetektionstheorie (Macmillan & Creelman, 2005) dargestellt und deren Häufigkeiten, Prozente sowie kumulierte Prozente angeben. Dabei ist ersichtlich, dass von den 32 Versuchspersonen insgesamt 1798 (46.8%) valide Reaktionszeiten (Hits) erhoben wurden. False Alarms (1.4%) und Misses (1.7%) machten nur insgesamt 3.1 Prozent der Reaktionszeiten aus. Weiter ist festzuhalten, dass über 50 Prozent aller Reaktionszeiten Correct Rejections waren.

*Tabelle 2: Reaktionszeiten kategorisiert nach Signaldetektionstheorie*

	Häufigkeit	Prozent	Kumulierte Prozente
<b>Hits</b>	1798	46.8	46.8
<b>False Alarms</b>	52	1.4	48.2
<b>Misses</b>	67	1.7	49.9
<b>Correct Rejections</b>	1923	50.1	100
<b>Gesamt</b>	3840	100	100

Auf Abbildung 12 sind die erhobenen Reaktionszeiten in Sekunden (y-Achse) der vier Erhebungsstrecken (x-Achse) in Form von Boxplots zu sehen. Hier gilt es festzuhalten, dass der jeweilige Median der HMD-Erhebungsstrecken (Strecke 3 = 3.344, Strecke 4 = 5.931) und die mittleren Quartile tiefer liegen, als bei den Strecken (Strecke 1 = 9.092, Strecke 2 = 10.4215), die mit dem statischen Display gefahren wurden. Weiter sind bei Strecke 1 (stat. Display, Nacht) keine Ausreisser festzustellen. Bei Strecke 2 (stat. Display, Tag) ist es ein Ausreisser, bei Strecke 3 (HMD, Tag) sind es vier und bei Strecke 4 (HMD, Nacht) insgesamt 33 Ausreisser.

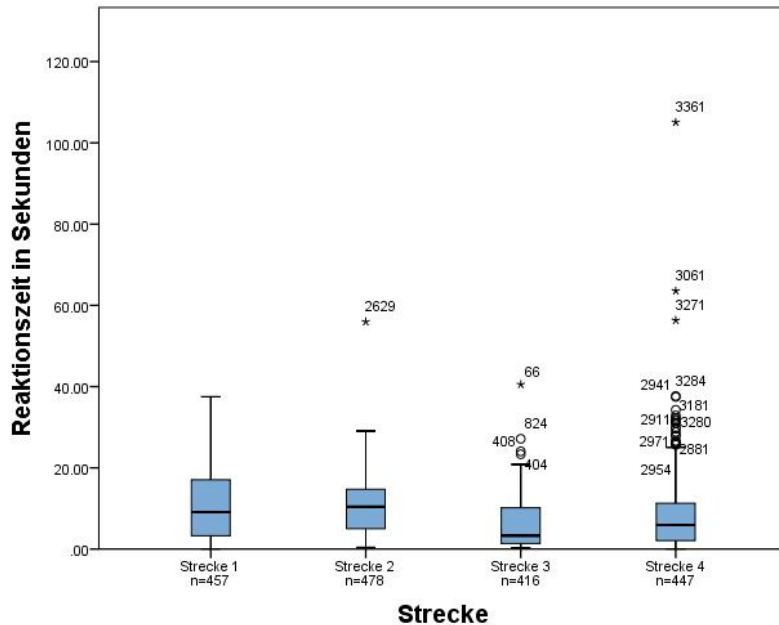


Abbildung 12: Boxplot-Diagramm der Hits für die vier Erhebungstrecken (eigene Darstellung)

Nach Entfernen der Ausreisser und dem Aggregieren der Reaktionszeiten, kann eine Normalverteilung bei allen vier Strecken bestätigt werden. Die Varianzhomogenität ( $F(3,124) = 1.229$ ,  $p = .302$ ) ist ebenfalls gegeben

In Tabelle 3, welche die deskriptiven Statistiken enthält, ist ersichtlich, dass die Reaktionszeitmittelwerte der HMD-Strecken ( $M = 6.027$ ) deutlich tiefer sind, als die, die mit dem statischen Display gefahren wurden ( $M = 10.649$ ). Die Differenz liegt bei über vier Sekunden. Auch bei der Lichtbedingung sind Unterschiede in der durchschnittlichen Reaktionszeit zu erkennen. So wurden Fussgänger auf der Tagstrecke ( $M = 8.059$ ) um mehr als eine halbe Sekunde schneller erkannt, als auf der Nachtstrecke ( $M = 8.616$ ).

Tabelle 3: Lageparameter der Hits nach Entfernung der Ausreisser

Display	Tageszeit	Mittelwert	Standardabweichung	N
Monitor	Nacht	10.8961	1.28763	32
	Tag	10.4025	1.24888	32
	Gesamt	10.6493	1.28265	64
HMD	Nacht	6.3375	1.00137	32
	Tag	5.7171	1.48933	32
	Gesamt	6.0273	1.29715	64
Gesamt	Nacht	8.6168	2.56647	64
	Tag	8.0598	2.72656	64
	Gesamt	8.3383	2.65206	128



Der Tabelle 4 sind alle relevanten Resultate der zweifaktoriellen, univariaten Varianzanalyse zu entnehmen. Es zeigt sich, dass das verwendete Display ( $F(1,124) = 424.688, p = .000$ ) einen höchstsignifikanten Einfluss auf die Reaktionszeiten aufweist. Die Lichtverhältnisse ( $F(1,124) = 6.168, p = .014$ ) haben ebenfalls einen signifikanten Einfluss. Die Wechselwirkung ( $F(1,124) = .080, p = .0778$ ) der beiden ist hingegen nicht signifikant. Die Effektstärken nach Cohens  $d$  sind bei beiden Faktoren mit  $d = 1.85$  (Display) und  $d = 0.94$  (Licht) als stark einzustufen.

Tabelle 4: ANOVA-Ergebnisse

	DF	F-Statistik	Signifikanz
Korrigiertes Modell	3	143.645	.000
Display	1	424.688	.000
Licht	1	6.168	.000
Display * Licht	1	.080	.778

## 6 Diskussion

In der vorliegenden Arbeit wurde untersucht, inwieweit unterschiedliche Displays und Lichtverhältnisse die Fussgängererkennung durch Autofahrer beeinflusst. Dazu wurde ein eigenständig entwickelter Fahrsimulator zur Erfassung von Reaktionszeiten eingesetzt. Mithilfe einer ANOVA konnte ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Reaktionszeiten der Tag- und Nachtstrecken gefunden werden. Die Versuchsproubanden benötigten bei eingeschränkten Lichtverhältnissen der Nachtstrecken durchschnittlich länger, um die Fussgänger zu erkennen, als in der simulierten Tagversion der virtuellen Umgebung. Damit kann die erste Hypothese, *Wenn die Variable Licht variiert wird, hat dies einen signifikanten Einfluss auf die Reaktionszeiten der Probanden*, bestätigt werden. Dieses Resultat ist folglich auch mit den in Kapitel 3.1 besprochenen Studien konform. Sowohl Wood et al. (2005) als auch Owens et al. (2007) hielten während ihrer Untersuchungen fest, dass Fussgänger von Autofahrern in der Nacht deutlich schlechter oder teils gar nicht erkannt werden. Insbesondere, wenn die Fussgänger kontrastarme Kleidung tragen, wie es auch in dieser Studie der Fall war. Verpasste Fussgänger gab es in vorliegenden Studie kaum, was in erster Linie auf die Gestaltung der virtuellen Umgebung zurückzuführen ist. Fussgänger wurden demnach nur an Fussgängerstreifen platziert, was dazu führte, dass Probanden zwangsweise nahe an ihnen vorbeifuhren. Somit war eine Fussgängererkennung und folglich eine Reaktionseinleitung auch bei geringer Aufmerksamkeit äusserst wahrscheinlich.

Es lässt sich festhalten, dass mithilfe des selbstgestalteten Fahrsimulators erfolgreich Lichtverhältnisse geschaffen werden konnten, die einen Effekt auf die Erkennungsleistung von Autofahrern hat, wie er auch in realen Fahrstudien festgestellt wurde. Diese Erkenntnis konnte auch Simon Wehrli in seiner Bachelorthesis machen. Dabei zeigte sich, dass mit dem Fahrsimulator sowohl für Alter als auch Geschlecht realitätskonforme Daten erhoben werden konnten. Diese Ergebnisse sprechen für die Validität des Fahrsimulators und unterstreichen die Aussage von (Törnros, 1998), dass Fahrsimulatoren als angemessenes Instrument zur Erfassung von Fahrverhalten genutzt werden können.

Die zweite Hypothese, *Wenn die Variable Display variiert wird, hat dies einen signifikanten Einfluss auf die Reaktionszeiten der Probanden*, konnte im Rahmen der Auswertungen ebenfalls verifiziert werden. Zwischen den Reaktionszeiten, welche mit dem statischen und dem Head-Mounted Display erhoben wurden, konnte ein höchstsignifikanter Unterschied festgestellt werden. Die Reaktionszeiten sind mit dem Head-Mounted Display deutlich schneller ausgefallen, als mit dem statischen Display. In Anbetracht der unentschiedenen Literatur, in Bezug auf die Vorteile von VR-Headsets für Fahrsimulatorzwecke von Kapitel 3.2, ist dieses Resultat besonders bemerkenswert.

Ein möglicher Erklärungsansatz für die besseren Reaktionszeiten ist die erhöhte Freiheit, welche das Head-Mounted Display im Vergleich zum statischen Display bot. Den Probanden war es mit dem HMD möglich ihren Blickwinkel jederzeit zu verändern und der Situation anzupassen. Besonders in Kurven und bei verdeckenden Objekten, könnte dies einen Vorteil geschaffen haben. Dieser Ansatz wird durch Probandenaussagen aus den Debriefings unterstützt, bei welchem ca. 50 Prozent der Teilnehmenden angaben, dass sie das Head-Mounted Display auf Grund der erhöhten Freiheit bevorzugten.

Die differenzierenden Reaktionszeiten könnten auch auf die Immersion zurückzuführen sein. Carlozzi et al. (2013) und Michael et al. (2014) konnten in ihren Fahrsimulatorstudien erhöhte Immersionswerte bei der Verwendung eines Head-Mounted Displays gegenüber eines statischen Displays feststellen. Um dazu eine definitive Aussage machen zu können, bedarf es jedoch weiterer Untersuchungen, die spezifisch den Einfluss von Immersion auf das Fahrverhalten erforschen. Interessante Hinweise zu dieser Thematik könnten auch die Resultate des igroup presence questionnaires liefern, der aus Kapazitätsgründen leider im Rahmen dieser

Arbeit nicht ausgewertet werden konnte. Zusammenfassend lassen für Verkehrssicherheitszwecke durchaus Potenzial von Head-Mounted Displays und virtueller Realität im Allgemeinen erkennen.

Die Simulatorkrankheit führte insgesamt zu vier Abbrüchen während der Studie, welche erwartungsgemäss alle auf die Verwendung des Head-Mounted Displays zurückzuführen sind. Mit 10.8 Prozent liegt die Abbruchquote jedoch deutlich tiefer als bei vergleichbaren Studien. Bei (Carlozzi et al., 2013) mussten 19.2 Prozent und bei Ricaud et al. (2015) gar 49 Prozent die Studie abbrechen. Es gilt an dieser Stelle festzuhalten, dass neben den Abbrechern mehrere Personen, während der Erhebungen und im abschliessenden Debriefing, von Symptomen der Simulatorkrankheit berichteten. Obwohl diese bei den meisten Probanden nach einigen Minuten wieder verschwanden, blieben sie vereinzelt über den gesamten HMD-Erhebungszeitraum bestehen. In keinem dieser Fälle berechtigten die Symptome jedoch aus Sicht der Probanden einen Abbruch. Daraus kann geschlossen werden, dass die Simulatorkrankheit die Daten nicht oder nur sehr geringfügig beeinflusste.

## 7 Ausblick

In der vorhergehenden Diskussion konnte für den verwendeten Fahrsimulator eine positive Zwischenbilanz gezogen werden. Sowohl die Auswertungen dieser Arbeit als auch von Simon Wehrli's Bachelorthesis lassen darauf schliessen, dass sich mit dem Simulator realitätsnahe Situationen und Daten erzeugen lassen. Dies ist insbesondere unter Anbetracht der limitierten Ressourcen, die bei der Gestaltung eingesetzt wurden, als äussert positiv zu betrachten. Der verwendete Fahrsimulator bietet zu diesem Zeitpunkt eine gute Grundlage und verfügt über das Potenzial die Fussgängersicherheit im Strassenverkehr weiter zu erforschen. So könnten beispielsweise mit dem Einsatz von einem Eyetracker die Augenbewegungen der Autofahrer analysiert werden, was genauere Aussagen über den Erkennungszeitpunkt von Fussgängern zulassen würde. Auch Ablenkungen und generelle Fokuspunkte beim Autofahren könnten untersucht werden. Die Flexibilität der verwendeten Entwicklungsplattform lässt zudem fast grenzenlos Anpassungen und Weiterentwicklungen der virtuellen Umgebung zu, wodurch mit überschaubarem Aufwand zukünftig auch andere Verkehrsszenarien gestaltet und getestet werden könnten.

Dennoch besteht beim Simulator durchaus Raum für Verbesserungen. Als Anregungen zur weiteren Erhöhung der Realitätsnähe, wurde während der Debriefings beispielsweise «mehr

Leben» durch aktiven Verkehr und bewegende Fussgänger genannt. Die virtuelle Umgebung sollte zudem betreffend Leistung weiter optimiert werden, damit die Darstellungsqualität auf den Displays hoch gehalten werden kann. Dies gilt insbesondere bei der Verwendung eines VR-Headsets.

Der Einsatz der virtuellen Realität hat in dieser Studie ebenfalls Potenzial gezeigt und sollte weiter untersucht werden. Insbesondere, da die Simulatorkrankheit, welche als eine der grossen Einschränkungen der virtuellen Realität gilt, in Anbetracht dieser und vergangener Studien, durch den Einsatz neuerer Displaytechnologien abzunehmen scheint. Dieser Trend sollte jedoch mit zukünftigen HMD-Generationen zwingend überprüft werden. Auch weitere Erforschung von Simulatorkrankheitsaspekten, wie Ursache und Schweregrad, könnten in Zukunft bei der Gestaltung von virtuellen Umgebungen helfen und das Erlebnis für Nutzende steigern. Dies scheint nicht nur für Forschungszwecke vorteilhaft, sondern auch nötig, um Fahrsimulatoren in der Praxis, beispielsweise für Trainings- oder Unterhaltungszwecke, ohne Einschränkungen nutzen zu können.

## 8 Kritische Würdigung und Reflexion

### 8.1 Methode

Während sich das Forschungsdesign, in Anbetracht der drohenden Studienabbrüche durch Simulatorkrankheit, durchaus als sinnvoll gestaltete, muss der daraus resultierende Konfundierungseffekt dennoch als Limitation betrachtet werden. Durch die fehlende Randomisierung sind Störeinflüsse auf die Daten, wie bspw. Positionseffekte, sowie Validitätseinbussen zu befürchten. Sollte es zu einer Folgestudie kommen, wäre deshalb eine grössere Stichprobe mit entsprechendem Studiendesign und Permutation anzustreben.

Betreffend Simulatorkrankheit wäre es wissenschaftlich interessant gewesen, mehr Daten zu sammeln. So wurde bei der Probandenakquise zwar der Motion Sickness Susceptibility Questionnaire eingesetzt, dieser blieb aber anschliessend, bis auf eine Debriefingfrage, das einzige Erhebungsinstrument für die Simulatorkrankheit.

An dieser Stelle muss auch auf einen Fehler bei der Datenerhebung hingewiesen werden. Auf der vierten Erhebungsstrecke wurden fälschlicherweise nur 14 statt 15 Fussgängerstreifen platziert. Dies führte dazu, dass, wie in den Ergebnissen (Kapitel 5) festgehalten, über 50 Prozent der erhobenen Reaktionsdaten *Correct Rejections* waren. Dies wäre bei einer ausgeglichenen Fussgängerstreifeanzahl nicht möglich gewesen. Einen bedeutenden Effekt dieses

Fehlers auf die Ergebnisse ist jedoch, auf Grund der hohen Anzahl an erhobenen Reaktionszeiten, auszuschliessen.

## *8.2 Technik*

Eine technische Limitation stellte die unterschiedliche Darstellungsqualität der virtuellen Umgebung zwischen den beiden Displays dar. Um die Gefahr der Simulatorkrankheit gering zu halten, musste darauf geachtet werden, dass die Bildrate durchgehend hoch und stabil gehalten werden konnte. Um dies, trotz hoher Ansprüche des VR-Systems an den Computer, gewährleisten zu können, musste die Darstellungsqualität für die beiden HMD-Erhebungsstrecken gesenkt werden. Ein Lösungsansatz bietet das sogenannte Level Streaming. Beim Level Streaming wird die virtuelle Umgebung in kleinere Bereiche aufgeteilt, die erst geladen werden, wenn sich der Nutzer darin aufhält. Dies führt zu einem geringeren Leistungsverbrauch, was sich zugunsten der Darstellungsqualität auswirken kann.

Eine weitere Einschränkung stellte der Realismus der Lichtverhältnisse dar. Zwar bietet die Unreal Engine zahlreiche Optionen, um Sonneneinstrahlung, Umgebungslichter und Strassenbeleuchtung zu implementieren, eine realitätsnahe Gestaltung ist jedoch äusserst aufwändig. Wie die Ergebnisse dieser Arbeit gezeigt haben, war es zwar möglich Tag und Nacht genügend differenziert zu gestalten, für zukünftige Anwendungen wären weitere Optimierungen jedoch sinnvoll. Auch im Bereich des Fahrverhaltens bietet sich noch Verbesserungspotenzial. Zahlreiche Probanden gaben im Debriefing an, dass sich das Fahrzeug insbesondere beim Beschleunigen, Bremsen und in Kurvensituationen nicht realitätsnahe verhalte.

Unter Anbetracht der zeitlichen und finanziellen Ressourcen, die für die Gestaltung des Fahr-simulators zur Verfügung standen, kann angesichts der Studienergebnisse jedoch durchaus ein positives Fazit gezogen werden.

## *8.3 Persönlicher Rückblick*

Die Dauer, Intensität und explorative Natur dieses Projektes, liessen sowohl fachlich als auch persönlich zahlreiche Lernerfahrungen zu. Das Projekt war vom Start im Sommer 2016 bis zu den Erhebungen im März dieses Jahres stark durch die enge Zusammenarbeit mit der Hochschule für Technik geprägt. Diese Interdisziplinarität bei der Gestaltung und Implementierung des Simulators verlangte in erster Linie gute Kommunikation, welche sich im Laufe des Projektes, durch klarere Zielvereinbarungen auf beiden Seiten, stetig verbesserte. Weiter war es wichtig, dass beide Parteien ein gewisses Verständnis für die Arbeitsprozesse des Gegenübers

verfügten. Für den Autor bedeutete dies, sich Kenntnisse über den Aufbau des Simulators und dessen Komponenten anzueignen. Kombiniert mit dem konstanten Wissensaustausch zwischen allen Projektteammitgliedern, stellte sich als äusserst bereichernde Erfahrung heraus. Der Umfang des Projektes ermöglichte es neben der Technik auch in zahlreiche weitere Bereiche Einblick zu gewinnen. Dazu gehörten unter anderem die Verkehrssicherheit, die Schweizerischen Strassennormen und die VR-Systeme.

Methodisch bot sich die Gelegenheit, viele der im Studium erlangten Kenntnisse praktisch anzuwenden und weiter auszuweiten. Insbesondere statistisch stellte sich dies teilweise als herausfordernd dar. Daraus kann die Lehre gezogen werden, dass bei zukünftigen Projekten die methodischen Grundlagen im Projektverlauf früh genug verstanden werden sollten, damit die spätere Datenaufbereitung und -auswertung möglichst produktiv gestaltet werden kann.

Eine weitere wichtige Erkenntnis ist, dass bei einem Projekt dieser Grösse eine gewisse Flexibilität in Herangehensweise und Zeitplangestaltung von Vorteil ist. Ob kurzfristige Änderungen im Versuchsdesign, technische Ungereimtheiten oder kranke Versuchspersonen – man kann nie auf alles vorbereitet sein.

## Literaturverzeichnis

- Allen, W. R., Rosenthal, T. J. & Cook, M. L. (2011). A Short History of Driving Simulation. In J. D. Lee, D. L. Fisher, J. K. Caird & M. Rizzo (Hrsg.), *Handbook of Driving Simulation for Engineering, Medicine and Psychology: An Overview*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Bennett, C. R., Corey, R. R., Giudice, U. & Giudice, N. A. (2016). Immersive Virtual Reality Simulation as a Tool for Aging and Driving Research. In J. Zhou & G. Salvendy (Hrsg.), *Human Aspects of IT for the Aged Population. Healthy and Active Aging* (S. 377-385). Cham: Springer International Publishing.
- Bockelmann, W. D. (1992). Fahren bei Nacht. *Arzt und Auto*, 68(9/10), 11.
- Brooks, J. O., Goodenough, R. R., Crisler, M. C., Klein, N. D., Alley, R. L., Koon, B. L., Logan, W. C., Ogle, J. H., Tyrell, R. A. & Wills, R. F. (2010). Simulator sickness during driving simulation studies. *Accident Analysis & Prevention*, 42(3), 788-796.
- Bühl, A. (2014). *SPSS 22: Einführung in die moderne Datenanalyse* (14. Aufl.). Hallbergmoos: Pearson.
- Bundesamt für Statistik (2012). *Mobilität in der Schweiz Ergebnisse des Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2010*. Neuchâtel: Office fédéral de la statistique (OFS).
- Bundesamt für Statistik (2017). *Strassenfahrzeuge 2016*. Zugriff am 10.05.2017 unter <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/mobilitaet-verkehr/verkehrsinfrastruktur-fahrzeuge/fahrzeuge/strassenfahrzeuge-bestand-motorisierungsgrad.assetdetail.1901507.html>
- Bundesamt für Strassen (2017). *Strassenverkehrsunfall-Statistik 2016*. Zugriff am 10.05.2017 unter <https://www.astra.admin.ch/astra/de/home/dokumentation/unfalldaten/statistische-auswertungen/standardstatistik.html>
- Bundesamt für Strassen (
- Carlozzi, N. E., Gade, V., Rizzo, A. & Tulskey, D. S. (2013). Using virtual reality driving simulators in persons with spinal cord injury: three screen display versus head mounted display. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, 8(2), 176-180.
- Casali, J. G. (1986). *Vehicular simulation-induced sickness, Volume 1: An overview. IEOR Technical Report No. 8501. (NTSC TR 86-010)*. Orlando, FL: Naval Training Systems
- Cohen, J. (1977). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. New York: Academic Press.

- de Winter, J. C. F., van Leuween, P. M. & Happee, R. (2012). Advantages and Disadvantages of Driving Simulators: A Discussion. In *Proceedings of Measuring Behavior 2012, 8th International Conference on Methods and Techniques in Behavioral Research* (S. 47-50). Utrecht, Niederlande.
- Dingus, T. A., Hulse, M. C., Antin, J. F. & Wierwille, W. W. (1989). Attentional demand requirements of an automobile moving-map navigation system. *Transportation Research Part A: General*, 23(4), 301-315.
- Döring, N. & Bortz, J. (2016). *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften*. Berlin Heidelberg: Springer.
- Fuchs, P., Moreau, G. & Guitton, P. (Hrsg.). (2011). *Virtual reality: concepts and technologies*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Golding, J. F. (2006). Predicting individual differences in motion sickness susceptibility by questionnaire. *Personality and Individual Differences*, 41(2), 237-248.
- Green, M. (2000). «How Long Does It Take to Stop?» Methodological Analysis of Driver Perception-Brake Times. *Transportation Human Factors*, 2(3), 195–216.
- Jerald, J. (2016). *The VR book: human-centered design for virtual reality*. San Rafael: Morgan & Claypool.
- Kemeny, A. (2014). From driving simulation to virtual reality. In *Proceedings of the VRIC' 14 Virtual Reality International Conference, Laval, Frankreich, 2014, Art. No. 32*.
- Kennedy, R. S., Berbaum, K. S., Lilienthal, M. G., Dunlap, W. P., Mulligan, B. E. & Funaro, J. F. (1987). *Guidelines for Alleviation of Simulator Sickness Symptomatology*. Florida: Naval Training Systems Center Orlando.
- Kennedy, R. S. & Fowlkes, J. (1992). Simulator Sickness Is Polygenic and polysymptomatic: Implications for Research. *The International Journal of Aviation Psychology*, 2(1), 23-38.
- Kennedy, R. S., Frank, L. H. & McCauley, M. E. (1985). *Simulator Sickness: Reaction to a Transformed Perceptual World 2. Sourcebook and Suggested Readings*. Florida: Naval Training Systems Center Orlando.
- Kolasinski, E. M. (1995). *Simulator Sickness in virtual environments*. US Army Research Institute for Behavioral and Social Sciences, Technical Report 1027.



- Konstantopoulos, P., Chapman, P. & Crundall, D. (2010). Driver's visual attention as a function of driving experience and visibility. Using a driving simulator to explore drivers' eye movements in day, night and rain driving. *Accident Analysis & Prevention*, 42(3), 827-834.
- Langham, M. & Moberly, N. (2003). Pedestrian conspicuity research: a review. *Ergonomics*, 46(4), 345-363.
- Lin, J. J.-W., Duh, H. B. L., Parker, D. E., Abi-Rached, H. & Furness, T. A. (2002). Effects of field of view on presence, enjoyment, memory, and simulator sickness in a virtual environment. In B. Loftin, J. X. Chen, S. Rizzo, M. Goebel & M. Hirose (Hrsg.), *Proceedings of the IEEE Virtual Reality Conference* (S. 164-171). Orlando, FL.
- Macmillan, N. A. & Creelman, C. D. (2005). *Detection theory: a user's guide* (2. Aufl.). Mahwah, N.J: Lawrence Erlbaum Associates.
- Mourant, R. R. & Schultheis, M. T. (2001) A HMD based Virtual Reality Driving Simulator. In *Proceedings of the First International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design* (S. 300-304). University of Iowa, Iowa City.
- Michael, D., Kleanthous, M., Savva, M., Christodoulou, S., Pampaka, M. & Gregoriades, A. (2014). Impact of Immersion and Realism in Driving Simulator Studies. *International Journal of Interdisciplinary Telecommunications and Networking*, 6(1), 10-25.
- Nwakacha, V., Crabtree, A. & Burnett, G. (2013). Evaluating Distraction and Disengagement of Attention from the Road. In R. Shumaker (Hrsg.), *Virtual, Augmented and Mixed Reality. Systems and Applications* (S. 56-63). Berlin: Springer.
- Owens, D. A. & Sivak, M. (1996). Differentiation of Visibility and Alcohol as Contributors to Twilight Road Fatalities. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 38(4), 680-689.
- Owens, D. A., Wood, J. M. & Owens, J. M. (2007). Effects of Age and Illumination on Night Driving: A Road Test. *Human Factors*, 49(6), 1115-1131.
- Pausch, R., Crea, T. & Conway, M. (1992). A Literature Survey for Virtual Environments: Military Flight Simulator Visual Systems and Simulator Sickness. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 1(3), 344-363.
- Plainis, S. & Murray, I. J. (2002). Reaction times as an index of visual conspicuity when driving at night. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 22(5), 409-415.

- Reed, M. P. & Green, P. A. (1999). Comparison of driving performance on-road and in a low-cost simulator using a concurrent telephone dialling task. *Ergonomics*, 42(8), 1015-1037.
- Reimer, B., D'Ambrosio, L. A. & Coughlin, J. F. (2007). Secondary analysis of time of day on simulated driving performance. *Journal of Safety Research*, 38(5), 563-570.
- Ricaud, B., Lietar, R. & Joly, C. (2015). Are Virtual Reality headsets efficient for remote driving? In *Proceedings of the International Conference on Road Safety & Simulation 2015* (S. 804-815). Orlando, FL.
- SITECO (2017) *Streetlight 10 midi LED für Mastaufsatz- oder Mastansatz-Montage | für Fussgänger-Überwege (PC-R) oder (PC-L)*. Zugriff am 20.05.17 unter [http://www.siteco.de/de/de\\_de/produkte/katalog-aussenleuchten/chapter/1550/category/13236/family/12222/variant/12221/product/5XA5824M1A08/detailSubsection/asset-photometric-documentoverview-IES.html](http://www.siteco.de/de/de_de/produkte/katalog-aussenleuchten/chapter/1550/category/13236/family/12222/variant/12221/product/5XA5824M1A08/detailSubsection/asset-photometric-documentoverview-IES.html)
- SLG (2016) *Strassenbeleuchtung Ergänzungen zu SNR 13201-1 und SN EN 13201-2 bis -5: Richtlinien – Öffentliche Beleuchtung*. Bern: SLG.
- Slater, M. & Wilbur, S. (1997). A Framework for Immersive Virtual Environments (FIVE): Speculations on the Role of Presence in Virtual Environments. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6(6), 603-616.
- SN (2010) SN 640 020a Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit; Zweistreifige Strassen ohne bauliche Richtungstrennung. Zürich: VSS.
- SN (2009) SN 640 070 Fussgängerverkehr – Grundnorm. Zürich: VSS.
- SN (2014) SN 640 075 Fussgängerverkehr – Hindernisfreier Verkehrsraum, Erläuterungen, Anforderungen und Abmessungen. Zürich: VSS.
- Stoner, H. A., Fisher, D. L. & Mollenhauer, M. (2011). Simulator and Scenario Factors Influencing Simulator Sickness. In J. Lee, D. L. Fisher, J. K. Caird & M. Rizzo (Hrsg.), *Handbook of Driving Simulation for Engineering, Medicine, and Psychology*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Törnros, J. (1998). Driving behavior in a real and a simulated road tunnel – a validation study. *Accid. Anal. Prev.*, 30(4), 497-503.
- Underwood, G., Crundall, D. & Chapman, P. (2011). Driving simulator validation with hazard perception. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 14(6), 435-446.

- Urwyler, P., Gruber, N., Müri, R. M., Jäger, M., Bieri, R., Nyffeler, T., Mosimann, U. P. & Nef, T. (2015). Age-dependent visual exploration during simulated day- and night driving on a motorway: a cross-sectional study. *BMC geriatrics*, 15(1), 18.
- Viihre, E., Price, B. & Chase, B. (2014). Direct Effects of Virtual Environments on Users. In K. Hale & K. Stanney, *Handbook of Virtual Environments* (S. 521-529). Boca Raton, FL: CRC Press.
- Vollrath, M. & Krems, J. (2011). *Verkehrspsychologie: ein Lehrbuch für Psychologen, Ingenieure und Informatiker* (1. Aufl.). Stuttgart: Kohlhammer.
- Walch, M., Frommel, J., Rogers, K., Schüssel, F., Hock, P., Dobbelsstein, D. & Weber, M. (2017). Evaluating VR Driving Simulation from a Player Experience Perspective. In *Proceedings of the 2017 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems* (S. 2982-2989). New York: ACM.
- Weidner, F., Hoesch, A., Poeschl, S. & Broll, W. (2017). *Comparing VR and non-VR driving simulations: An experimental user study*. In *Virtual Reality (VR), 2017 IEEE* (S. 281-282).
- Wood, J. M., Tyrrell, R. A. & Carberry, T. P. (2005). Limitations in Drivers' Ability to Recognize Pedestrians at Night. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 47(3), 644-653.

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Funktionskreislauf eines VR-Systems (Jerald, 2016, S. 30).

Abbildung 2: Beispiele für Head-Mounted Displays .HTC Vive (links, [https://brandzone.bz/files/images/84/30/shlem-htc-vive-pre\\_8430\\_p0.png](https://brandzone.bz/files/images/84/30/shlem-htc-vive-pre_8430_p0.png)), F-35 Gen III HMD (Mitte, [http://www.sae.org/dlymagazineimages/web/516/13362\\_19652.jpg](http://www.sae.org/dlymagazineimages/web/516/13362_19652.jpg)), Microsoft Holo-lens (rechts, <https://gigaom.com/wp-content/uploads/sites/1/2015/01/screen-shot-2015-01-21-at-10-49-04-am.png>).

Abbildung 3: Funktionselemente eines Fahrsimulators (Allen et al., 2011, S. 36).

Abbildung 4: Planungsprozess der virtuellen Umgebung. Vom Strassennetz (oben links) über die Gebietseinteilung (oben rechts) und Routenplanung (unten links) bis hin zum fertigen Modell (unten rechts) (eigene Darstellung).

Abbildung 5: Nachtszene des Probandenfahrzeugs unter Strassenlaternen mit angepasstem IES-Profil (eigene Darstellung).

Abbildung 6: Fussgängerstreifen mit Fussgänger und Müllcontainer als Ablenkungsobjekt (eigene Darstellung)

Abbildung 7: Innenausstattung und Navigationssystem mit Pfeil und Geschwindigkeitsanzeige (eigene Darstellung).

Abbildung 8: Referenzpunkterfassung durch Raycasting. Theorie (links) und Praxis (rechts) (eigene Darstellung).

Abbildung 9: Eingerichteter Simulator mit Sitz, Lenkrad, Pedalen, Bildschirm, Kopfhörern, statischem Display und HMD (eigene Darstellung).

Abbildung 10: Fahrsimulator mit HMD im Einsatz (eigene Darstellung).

Abbildung 11: *Abbildung 11: Überblick über den Aufbau der virtuellen Umgebung (eigene Darstellung)*

Abbildung 12: Boxplot-Diagramm der Hits für die vier Erhebungsstrecken (eigene Darstellung)

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Versuchsplan für Studiendurchführung

Tabelle 2: Reaktionszeiten kategorisiert nach Signaldetektionstheorie

Tabelle 3: Lageparameter der Hits nach Entfernung der Ausreisser

Tabelle 4: ANOVA-Ergebnisse

## Selbständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit selbstständig, ohne Mithilfe Dritter und nur mit den angegebenen Quellen, Hilfsmitteln und Hilfeleistungen erstellt habe und dass Zitate kenntlich gemacht sind.

Olten, 07.06.2017

.....

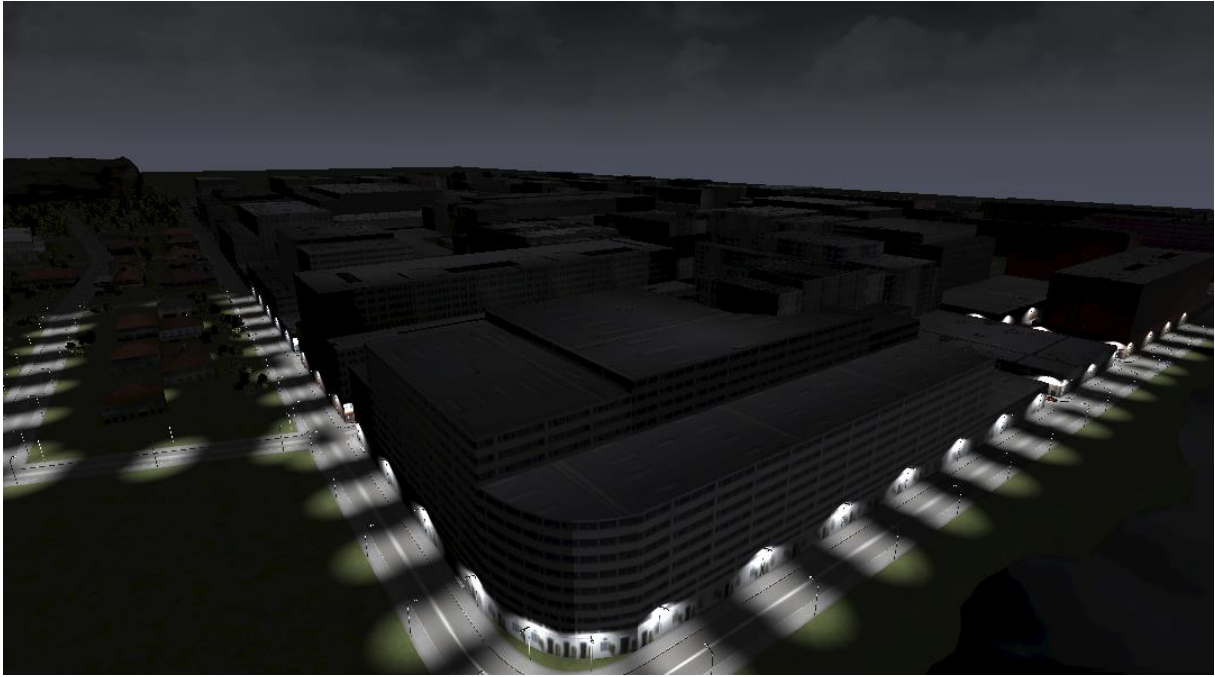
Kaspar Kaufmann

## Anhang

### Anhang A: Screenshots virtuelle Umgebung







## Anhang B: Screenshots Fussgänger und Objekte







## Anhang C: Fragebogen Vorselektion

### Herzlich Willkommen

Im Rahmen unserer Bachelorarbeit an der Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW) untersuchen wir die Sichtbarkeit von Fussgängern im virtuellen Raum. Mit folgendem Fragebogen suchen wir nach geeigneten und interessierten Testpersonen, die im **Besitz eines Führerausweises (mind. Kategorie B)** und **zwischen 18 und 40 Jahren alt** sind. Die ausgewählten Testpersonen kommen in den Genuss neueste virtuelle Technologie auszuprobieren und erhalten zudem eine Entschädigung im Wert von 50 Franken.

Die Testdurchführung wird an der FHNW in Olten zwischen dem **13. März und 10. April 2017 über ca. zwei Stunden** stattfinden und beinhaltet die Führung eines virtuellen Fahrzeugs während des Tragens einer Virtual-Reality-Brille.

Dieser Fragebogen behandelt Ihre persönlichen Erfahrungen mit Bewegungskrankheit, Videospiele und dem Führen eines Autos. Bitte antworten Sie möglichst spontan und ehrlich – es gibt kein «richtig» oder «falsch». Das Ausfüllen der Fragen dauert **ca. 10 Minuten**.

Wir danken Ihnen, dass Sie sich Zeit nehmen.

Simon Wehrli und Kaspar Kaufmann

#### Datenschutz

Wir garantieren Ihnen einen vertraulichen Umgang mit Ihren Daten. Die Ergebnisse werden ausschliesslich für Forschungszwecke verwendet. Weitere Details finden Sie in unseren [Datenschutzrichtlinien](#).

Ich bin damit einverstanden, dass meine Angaben zu Forschungszwecken verwendet werden.

Weiter

### Angaben zu Ihrer Person

1. Vorname:	<input type="text" value="Bitte Vorname angeben"/>
2. Nachname:	<input type="text" value="Bitte Nachname angeben"/>
3. E-Mail Adresse:	<input type="text" value="Bitte E-Mail Adresse angeben"/>
4. Geschlecht:	<input type="radio"/> weiblich <input type="radio"/> männlich
5. Alter:	<input type="text" value=""/> Jahre
6. Höchste abgeschlossene Ausbildung:	<input type="text" value="-- bitte wählen --"/>
7. Derzeitiger Beruf:	<input type="text" value="bitte Beruf angeben"/>

Zurück

Weiter

### Bewegungskrankheit 1|2

Dieser Fragebogen dient dem Zweck herauszufinden wie anfällig Sie für Bewegungskrankheit sind und welche Arten von Bewegung besonders förderlich für dessen Auslösung sind. Bewegungskrankheit bedeutet hierbei das Empfinden von Übelkeit, Unwohlsein oder das tatsächliche Erbrechen.

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

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

	nie krank gefühlt	selten krank gefühlt	manchmal krank gefühlt	öfters krank gefühlt	nicht zutreffend - nie benutzt
a. im Auto	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
b. im Bus / Reisebus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
c. im Zug	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
d. im Flugzeug	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
e. in kleinen Booten	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
f. auf einem Schiff / einer Fähre	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
g. auf einer Schaukel auf Spielplätzen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
h. auf einem Karussell auf Spielplätzen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
i. auf einer Achterbahn / Kirmesbahn	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Zurück

Weiter

### Bewegungskrankheit 2|2

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

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

	nie krank gefühlt	selten krank gefühlt	manchmal krank gefühlt	öfters krank gefühlt	nicht zutreffend - nie benutzt
a. im Auto	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
b. im Bus / Reisebus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
c. im Zug	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
d. im Flugzeug	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
e. in kleinen Booten	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
f. auf einem Schiff / einer Fähre	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
g. auf einer Schaukel auf Spielplätzen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
h. auf einem Karussell auf Spielplätzen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
i. auf einer Achterbahn / Kirmesbahn	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Zurück

Weiter

10. Sind Sie im Besitz eines Führerausweises (mind. Kategorie B)?  Ja  
 Nein

11. Wie viele Jahre sind Sie bereits im Besitz des Führerausweises (mind. Kategorie B)?  Jahr/Jahre

a. Tragen Sie eine Brille zum Autofahren?  Ja  
 Nein

b. Wie oft fahren Sie Auto?  
 täglich  
 mehrmals pro Woche  
 einmal pro Woche  
 mehrmals pro Monat  
 seltener

12. Welche Erfahrungen haben Sie mit Oculus Rift, HTC Vive oder Playstation Virtual-Reality-Brillen?  
keine      schon einmal gehört      einmal benutzt      mehrmals benutzt      regelmäßig benutzt

13. Welche Erfahrungen haben Sie mit Smartphone Virtual-Reality-Brillen (z.B. Cardboard, Gear VR, Daydream)?

14. Wie viele Stunden pro Woche verbringen Sie durchschnittlich mit Videospiele?  
keine      < 1 h      1-5 h      5-10 h      > 10 h



	Stimme vollkommen zu 1	2	3	4	Stimme überhaupt nicht zu 5
15. Wenn ich ein Videospiel spiele, kann ich mir leicht vorstellen, selbst ein fester Bestandteil der Handlung zu sein.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
16. Mir fällt häufig auf, dass ich körperlich auf etwas reagiere, das im Videospiel passiert, so als ob es real wäre.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
17. Wenn ich mich mit einem Videospiel beschäftige erscheint es mir, als würde die reale Welt um mich herum verschwinden.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
18. Wenn ich ein Videospiel spiele, kann es sich so anfühlen, als würden sich mein Geist und meine Gedanken komplett an einem ganz anderen Ort befinden als an dem Ort, an dem ich tatsächlich bin.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
19. Ich verliere selten die Orientierung.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
20. Ich weiss, dass ich einen guten Orientierungssinn habe.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
21. Normalerweise bin ich gut darin, sehr genaue (massstabsgetreue) Abbildungen von Räumen und Gebäuden zu zeichnen, die ich gut kenne.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
22. Wenn ich mich mit den fiktiven Charakteren in einer Fernsehsendung, einem Film oder einem Buch beschäftige, kann ich das gleiche fühlen wie sie (Angst, Traurigkeit, Kummer, etc.).	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
23. Wenn ich mich mit einer Fernsehsendung, einem Film oder einem Buch beschäftige, kommt es mir vor, als würde die Welt um mich herum verschwinden.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
24. Nachdem ich eine Fernsehsendung oder einen Film gesehen oder ein gutes Buch gelesen habe, denke ich noch über die Charaktere nach und überlege, was gerade mit ihnen geschieht.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

## Ende der Umfrage

Herzlichen Dank, dass Sie an dieser Umfrage teilgenommen haben. Wir werden Ihre Daten überprüfen und Sie über Ihre angegebene E-Mail-Adresse bis zum 27. Februar 2017 mit weiteren Details kontaktieren.

Falls Sie weitere Personen kennen, die an einer Teilnahme an diesem Projekt interessiert sein könnten, dürfen Sie den Link zu diesem Fragebogen gerne mit ihnen teilen.

Link zur Umfrage: [dieumfrage.ch/VRdriving](http://dieumfrage.ch/VRdriving)

Soziale Medien:  Teilen 0  Teilen 6    Gefällt mir  Teilen Dir und 46 weiteren Personen gefällt das.

Bei Fragen zum Projekt können Sie sich gerne unter folgenden E-Mail-Adressen bei uns melden:

[simon.wehrli@students.fhnw.ch](mailto:simon.wehrli@students.fhnw.ch),

[kaspar.kaufmann@students.fhnw.ch](mailto:kaspar.kaufmann@students.fhnw.ch)

Abschluss des Fragebogens: User können nicht mehr zurück

## Anhang D: Drehbuch

1. Tagesbeginn / Vorbereitung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Computer starten</li> <li>• Storen runterfahren (bis zu Griffen)</li> <li>• Fahr Simulator einrichten (Strom, USB, Position)</li> <li>• Vive starten und einrichten (Headsetposition überprüfen – wenn falsch Engine neu starten)</li> <li>• Engine und MaSiZe-Menü starten</li> <li>• GoPros positionieren</li> <li>• GroPros testen</li> <li>• Fahr Simulator und Brille testen</li> <li>• Überprüfen, ob Excel geschlossen</li> <li>• Soundwiedergabe über Kopfhörer testen (Lautstärke)             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Speaker-Pegel auf 40 setzen</li> <li>○ Unreal-Pegel auf 10 setzen</li> </ul> </li> <li>• Mikrophon testen             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Pegel auf 100 setzen</li> </ul> </li> <li>• Fragebogen überprüfen und vorbereiten             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ iPad mit Internet verbinden</li> </ul> </li> <li>• Geld, Quittung und Einverständniserklärung bereitlegen</li> <li>• Wasser bereitstellen</li> </ul>
2. Empfang und Information	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Türe von Testraum 119 und 119b öffnen</li> <li>• Testpersonen vor dem Labor mit Vornamen begrüßen und ins Labor führen.</li> <li>• Etwas zu trinken anbieten</li> </ul> <p><b>Informationen zum Projekt:</b></p> <p>Durch Erhebung soll herausgefunden werden, ob es möglich ist Verkehrsszenarien in virtueller Realität zu testen. Dadurch könnten beispielsweise neue Verfahren bezüglich Zebrastrifen getestet werden ohne Verkehrsteilnehmer zu gefährden.</p>

- Aufgabe des Testprobanden
  - Proband fährt nach Navi, das auf der Frontschuttscheibe abgebildet ist
  - Es muss auf Fussgänger reagiert werden, indem ein Knopf gedrückt wird, sobald der Fussgänger gesehen wird
  - An Zebrastreifen muss jedoch nicht angehalten oder gebremst werden
- Equipment erklären
  - Fahrausrüstung (Knöpfe, Pedale, Lenkrad)
  - Vive & Bildschirm
  - Kopfhörer mit Mikrofon
    - Mit Probanden wird während der Erhebung über Mikrofon kommuniziert
  - GoPros
    - Warum werden Filmaufnahmen gemacht?
    - **Einverständniserklärung unterschreiben**
- Ablauf erklären:
  - Teststrecke um sich etwas einzugewöhnen
    - Dient dazu, dass der Proband das Fahren ausprobieren kann und sich an die Tastenposition gewöhnen kann.
  - 2 Strecken werden am Bildschirm abgefahren
    - ca. 10 Minuten pro Strecke
    - 5 Minuten Pause dazwischen
  - Fragebogen bezüglich Immersion
  - Erneut Teststrecke um sich an Virtual Reality zu gewöhnen
  - 2 Strecken werden mit Virtual Reality Brille
    - ca. 10 Minuten pro Streck
    - 5 Minuten Pause dazwischen
  - Fragebogen bezüglich Immersion und einige offene Fragen nach der Erhebung
  - Geld wird nach der Erhebung, vor der Verabschiedung ausbezahlt
- Fragen?

- GoPro' starten
- Fahr Simulator auf Testperson anpassen
  - Sitz abstand anpassen
  - Abstand Pedale

### Übungsstrecke 1

Testperson auf Übungsstrecke platzieren, **Lenkrad entfernen** und wie folgt instruieren:

- Schalten / Kupplung ist nicht nötig.
- Wenn lange genug gebremst wird, wird rückwärts gefahren
- Hinweisen, dass alle Knöpfe auf dem Lenkrad der Reaktion auf Fussgänger dienen
- Fahrinstruktion:
  - langsam anfahren
  - geradeaus, dann Rechtskurve
  - Nach kurve auf Fussgänger reagieren mit drücken einer Taste
  - Unklarheiten?

### Teststrecke – Slope 1, Nacht (Bildschirm)

- **Lenkrad entfernen**
- Hinweis, dass Geschwindigkeitsbegrenzung stets 50 km/h ist
- Hinweis, dass Fernlicht im Wald von uns eingestellt wird
- Testperson auf Strecke platzieren und Erlaubnis zum Teststart geben (**Fernlicht nicht vergessen**)
- Nach Beendigung der Strecke bei Versuchsperson bedanken, auf 5 Minuten Pause hinweisen und nach Befinden erkundigen:
  - Wie fühlt sich die Versuchsperson?
  - Möchte sie etwas zu trinken?
- Datensammlung in Editor überprüfen

### Teststrecke – Slope 2, tag (Bildschirm)

- **Lenkrad entfernen**
- Testperson auf Strecke platzieren und Erlaubnis zum Teststart geben
- Nach Beendigung der Strecke bei Versuchsperson bedanken, auf 5 Minuten Pause hinweisen und nach Befinden erkundigen:
  - Wie fühlt sich die Versuchsperson?
  - Möchte sie etwas zu trinken?
- Datensammlung in Editor überprüfen

### Fragebogen 1



- Person das iPad mit Fragebogen aushändigen und Fragebogen starten

#### **HTC Vive auf Testperson anpassen**

- Aufzeigen der Straps und des Linsenabstandreglers
- Straps lösen und Testperson aufsetzen lassen
- Bezüglich Straps, Regler und Höhe instruieren
- Evtl. Abstand von Vive zu Brille anpassen

#### **Übungsstrecke 2**

Testperson auf Teststrecke platzieren und wie folgt instruieren:

- Leichtes Unwohlsein kann in VR normal sein, nach kurzer Eingewöhnungsphase jedoch meist okay. Falls zu unangenehm melden – evtl. nach kurzer Pause nochmals versuchen, ansonsten abbrechen
- erst umschauen – passt alles?
  - Reset von Perspektive bis alles passt
- Lenkrad ausprobieren, langsam Gas geben
  - Geschwindigkeit zu Beginn niedrig halten
  - Kurven langsam
- Frei fahren lassen, vorsichtiges Fahren, Bescheid geben wenn sich Testperson bereit fühlt.

#### **Teststrecke – Slope 1, tag (Vive)**

- Testperson auf Strecke platzieren und Erlaubnis zum Teststart geben
- Nach Beendigung der Strecke bei Versuchsperson bedanken, auf 5 Minuten Pause hinweisen und nach Befinden erkundigen:
  - Wie fühlt sich die Versuchsperson?
  - Möchte sie etwas zu trinken?
- Datensammlung in Editor überprüfen

#### **Teststrecke – Slope 2, Nacht (Vive)**

- Testperson auf Strecke platzieren und Erlaubnis zum Teststart geben (**Fernlicht nicht vergessen**)
- Nach Beendigung der Strecke die Versuchsperson bitten die Brille abzunehmen und nach Befinden erkundigen:
  - Wie fühlt sich die Versuchsperson?
  - Möchte sie etwas zu trinken?
- Datensammlung in Editor überprüfen

<p>5. Debriefing und Verabschiedung</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Person das iPad mit Fragebogen aushändigen</li> <li>• Während VPN Fragebogen ausfüllt:             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Auffälligkeiten notieren</li> </ul> </li> <li>• Debriefing mit der Testperson durchgehen.</li> <li>• Nach weiteren Fragen erkundigen und Hinweis auf E-Mail-Adresse geben für spätere Fragen</li> <li>• Geld überreichen und <b>Quittung unterschreiben</b> lassen</li> <li>• Bedankung und Verabschiedung</li> </ul>
<p>6. Nachbereitung</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Daten sichern             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Exceldaten in entsprechenden Dokument und Backup auf HDD                 <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Excel wieder schliessen</li> </ul> </li> <li>○ GoPro</li> </ul> </li> <li>• GoPro stoppen             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Wenn letzte Erhebung des Tages – Videos übertragen und GoPro's aufladen</li> </ul> </li> <li>• Sichern und Back-Up von Daten             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Neue Excelversion in Dropbox – altes in Archiv</li> <li>○ Back Up von neuer Excelversion auf Harddisk</li> <li>○ Dropbox Videos auf Harddisk</li> </ul> </li> <li>• Editor leeren</li> <li>• Debriefing übertragen und speichern</li> <li>• Sammlung von Quittung und Einverständniserklärung</li> <li>• HTC Vive reinigen –desinfizieren, trocknen, Linsen putzen</li> <li>• Kopfhörer reinigen – desinfizieren, trocknen</li> <li>• Soundblaster aufladen</li> <li>• Mail reminder für nächste Probanden</li> <li>• Zimmer lüften</li> </ul>

Unwohlsein und  
Übelkeit

- Bei leichterem Unwohlsein falls gewünscht eine Pause
- Falls Übelkeit – Abbruch und wie folgt verfahren:
  - a. Testperson versichern, dass dies kein Problem darstellt
  - b. Testperson fragen ob sie an die frische Luft, sich ausruhen oder gehen möchte
  - c. Testperson das Geld ausbezahlen
- Abbruch vermerken und provisorischen Ersatz markieren

## Anhang E: Fragebögen Erhebung

### NASA TLX: Task Load Index

**Herzlich Willkommen**

Es folgt eine kurze Befragung. Bitte beantworten Sie die Fragen intuitiv, ohne lange zu überlegen. Bei Rückfragen stehen wir gerne zur Verfügung.

Ich bin damit einverstanden, dass meine Angaben zu Forschungszwecken verwendet werden.

Alle Inhalte © 2015-2017 | Impressum | Datenschutz | Kontakt: simon.wehrli@students.fhnw.ch | Proudly powered by dieUmfrage.ch

Seite 1 | 6

1. Vorname:

2. Nachname:

3. An welchem Experiment haben Sie eben teilgenommen?

Bildschirm  
 Virtual Reality Brille

Alle Inhalte © 2015-2017 | Impressum | Datenschutz | Kontakt: simon.wehrli@students.fhnw.ch | Proudly powered by dieUmfrage.ch

Seite 2 | 6

Klicken Sie in jeder Skale auf den Punkt, der Ihre Erfahrung im Hinblick auf die Aufgabe am besten verdeutlicht.

4. **Geistige Anforderung:** Wie viel geistige Anforderung war bei der Informationsaufnahme und bei der Informationsverarbeitung erforderlich (z.B. Denken, Entscheiden, Rechnen, Erinnern, Hinsehen, Suchen ...)? War die Aufgabe leicht oder anspruchsvoll, einfach oder komplex, erfordert sie hohe Genauigkeit oder ist sie fehlertolerant?

Gering Hoch

5. **Körperliche Anforderung:** 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?

Gering Hoch

6. **Zeitliche Anforderung:** Wie viel Zeitdruck empfanden Sie hinsichtlich der Häufigkeit oder dem Takt mit dem die Aufgaben oder Aufgabenelemente auftraten? War die Aufgabe langsam und geruhsam oder schnell und hektisch?

Gering Hoch

7. **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?

Schlecht Gut

8. **Anstrengung:** Wie hart mussten Sie arbeiten, um Ihren Grad an Aufgabenerfüllung zu erreichen?

Gering Hoch

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

Gering Hoch

*igroup presence questionnaire*

**Erleben in der virtuellen Welt**

Sie sehen nun 14 Fragen bzw. Aussagen darüber, wie und was Sie erlebten. Bitte geben Sie jeweils an, ob die Aussage zutrifft oder nicht. Sie können die gesamte Breite der Antwortmöglichkeiten nutzen.

Es gibt keine richtigen oder falschen Antworten, es zählt nur Ihre Meinung. Ihnen wird auffallen, dass sich manche Fragen sehr ähneln; das ist aus statistischen Gründen notwendig – wir bitten um Verständnis. Und bitte denken Sie daran: beantworten Sie alle Fragen jeweils in Bezug auf dieses eine Erlebnis.

	hatte nicht das Gefühl -3      -2      -1      0      +1      +2      +3 hatte das Gefühl
10. Ich hatte nicht das Gefühl, in dem virtuellen Raum zu sein.	<input type="radio"/> — <input type="radio"/> — <input type="radio"/> — <input type="radio"/> — <input type="radio"/> — <input type="radio"/> — <input type="radio"/>
	überhaupt nicht -3      -2      -1      0      +1      +2      +3 etwas vollständig
11. Wie sehr glich Ihr Erleben der virtuellen Umgebung dem Erleben einer realen Umgebung?	<input type="radio"/> — <input type="radio"/> — <input type="radio"/> — <input type="radio"/> — <input type="radio"/> — <input type="radio"/> — <input type="radio"/>
	trifft gar nicht zu -3      -2      -1      0      +1      +2      +3 trifft völlig zu
12. Ich hatte das Gefühl, in dem virtuellen Raum zu handeln statt etwas von außen zu bedienen.	<input type="radio"/> — <input type="radio"/> — <input type="radio"/> — <input type="radio"/> — <input type="radio"/> — <input type="radio"/> — <input type="radio"/>
	vollkommen real -3      -2      -1      0      +1      +2      +3 weder noch gar nicht real
13. Wie real erschien Ihnen die virtuelle Umgebung?	<input type="radio"/> — <input type="radio"/> — <input type="radio"/> — <input type="radio"/> — <input type="radio"/> — <input type="radio"/> — <input type="radio"/>
	trifft gar nicht zu -3      -2      -1      0      +1      +2      +3 trifft völlig zu
14. Ich hatte das Gefühl, dass die virtuelle Umgebung hinter mir weitergeht.	<input type="radio"/> — <input type="radio"/> — <input type="radio"/> — <input type="radio"/> — <input type="radio"/> — <input type="radio"/> — <input type="radio"/>

Zurück
Weiter

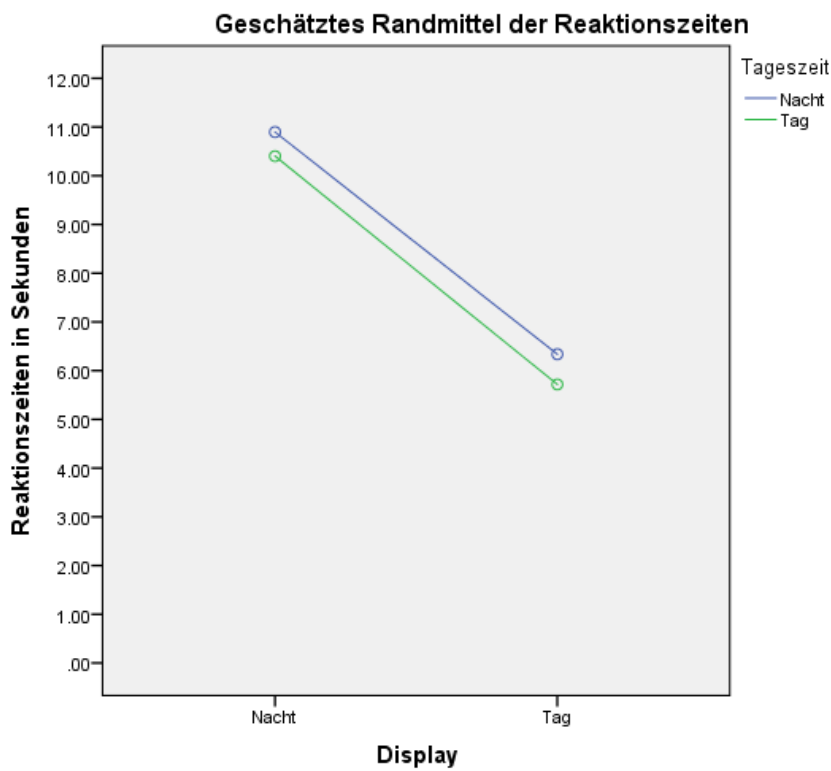
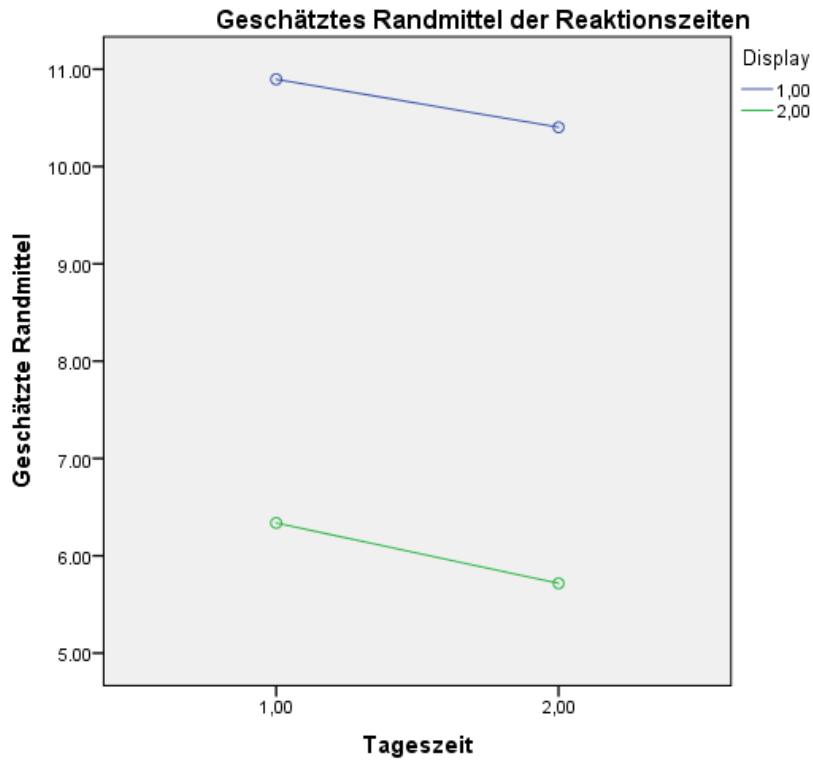
	trifft gar nicht zu -3    -2    -1    0    +1    +2    +3 trifft völlig zu
15. Ich hatte das Gefühl, nur Bilder zu sehen.	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>
16. Meine reale Umgebung war mir nicht mehr bewusst.	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>
	extrem bewusst -3    -2    -1    0    +1    +2    +3 mittelmäßig bewusst    unbewusst
17. Wie bewusst war Ihnen die reale Welt, während Sie sich durch die virtuelle Welt bewegten (z.B. Geräusche, Raumtemperatur, andere Personen etc.)?	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>
	überhaupt nicht -3    -2    -1    0    +1    +2    +3 sehr stark
18. In der computererzeugten Welt hatte ich den Eindruck, dort gewesen zu sein...	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>
	trifft gar nicht zu -3    -2    -1    0    +1    +2    +3 trifft völlig zu
19. Meine Aufmerksamkeit war von der virtuellen Welt völlig in Bann gezogen.	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>
20. Ich fühlte mich im virtuellen Raum anwesend.	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>
21. Die virtuelle Welt erschien mir wirklicher als die reale Welt.	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>
22. Ich achtete noch auf die reale Umgebung.	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>
	wie eine vorgestellte Welt -3    -2    -1    0    +1    +2    +3 nicht zu unterscheiden von der realen Welt
23. Wie real erschien Ihnen die virtuelle Welt?	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>
	<input type="button" value="Zurück"/> <input type="button" value="Abschliessen"/>

## Anhang F: Debriefing

1. Empfanden Sie die Variante mit Bildschirm oder mit Virtual Reality Brille als angenehmer?  
Und aus welchen Gründen?
  
2. Als Sie die Variante mit Virtual Reality Brille abgefahren sind, in welchen Situationen wurde Ihnen am ehesten unwohl und wie lange hat das Gefühl ungefähr angehalten?
  
3. Gab es Punkte bezüglich des Fahrscenarios, die Ihnen besonders positiv aufgefallen sind?
  
4. Gab es Punkte bezüglich des Fahrscenarios, die Ihnen besonders negativ aufgefallen sind?
  
5. Sonstige Bemerkungen?

## Anhang G: Ergebnisse – Tabellen und Diagramme

### Profildiagramme ANOVA





*Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen<sup>a</sup>*

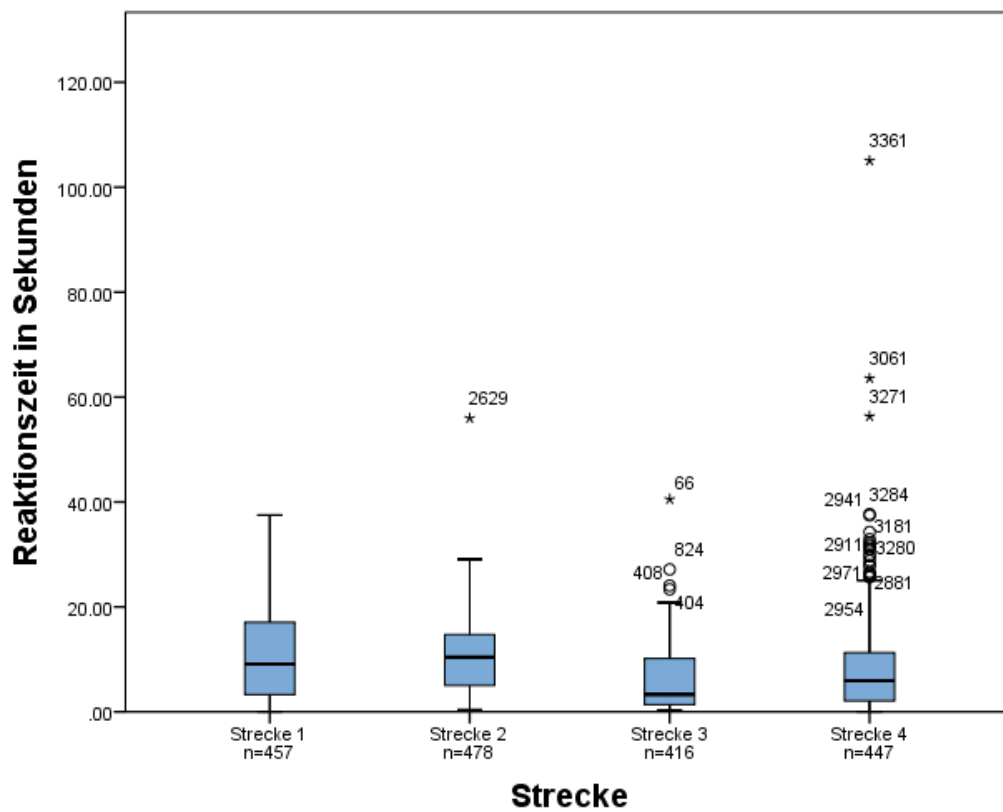
Abhängige Variable: Reaktionszeit

	df1	df2	Sig.
	3	124	.302

Prüft die Nullhypothese, dass die Fehlervarianz der abhängigen Variablen über Gruppen hinweg gleich ist.

a. Design: Konstanter Term + Display + Tageszeit + Display \* Tageszeit

*Boxplots vor Ausreisserkorrektur*



Test auf Normalverteilung: Erhebungsstrecke 1

**Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest<sup>a</sup>**

		Reaktionszeit_mean
N		32
Parameter der Normalverteilung <sup>b,c</sup>	Mittelwert	10.8961
	Standardabweichung	1.28763
Extremste Differenzen	Absolut	.115
	Positiv	.097
	Negativ	-.115
Statistik für Test		.115
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		.200 <sup>d,e</sup>

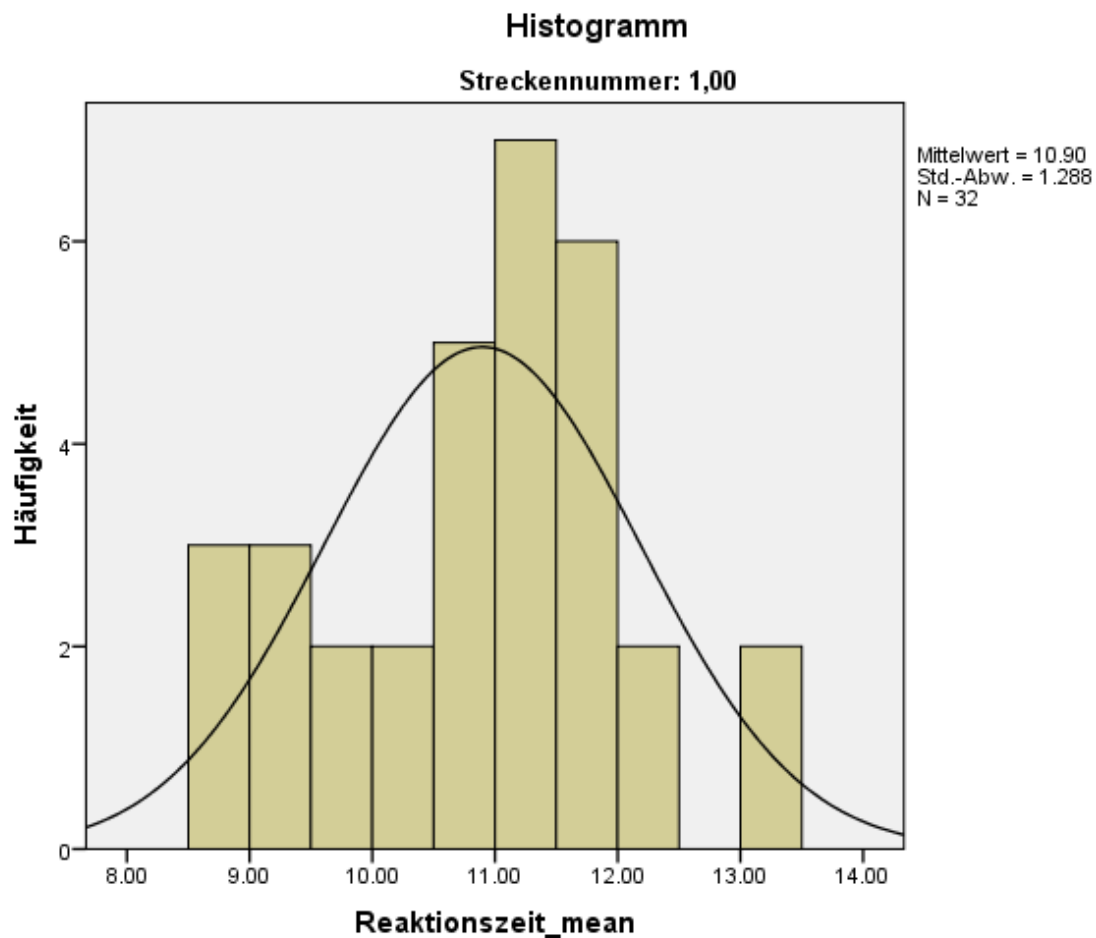
a. Streckennummer = 1,00

b. Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.

c. Aus den Daten berechnet.

d. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors.

e. Dies ist eine untere Grenze der echten Signifikanz.



Test auf Normalverteilung: Erhebungsstrecke 2

**Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest<sup>a</sup>**

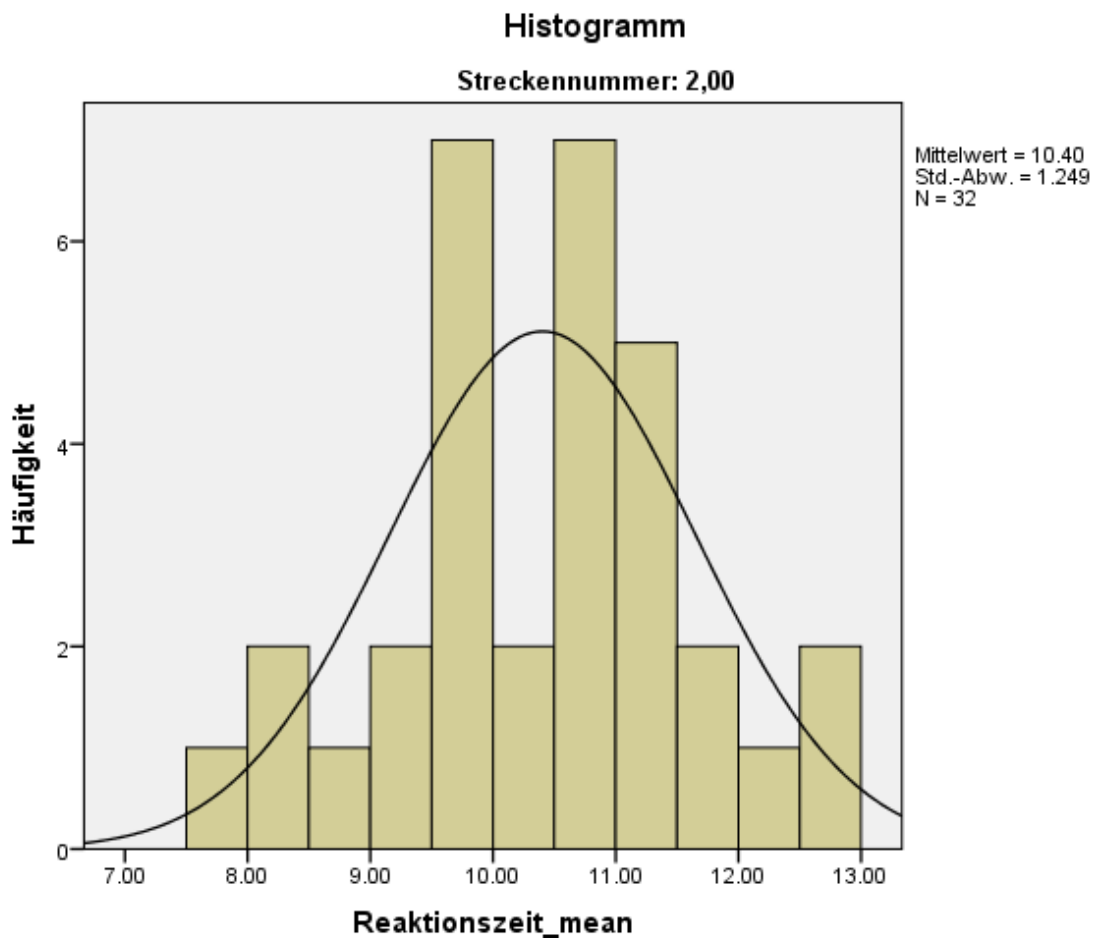
		Reaktionszeit_mean
N		32
Parameter der Normalverteilung <sup>b,c</sup>	Mittelwert	10.4025
	Standardabweichung	1.24888
Extremste Differenzen	Absolut	.095
	Positiv	.069
	Negativ	-.095
Statistik für Test		.095
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		.200 <sup>d,e</sup>

a. Streckennummer = 2,00

b. Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.

c. Aus den Daten berechnet.

d. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors.



Test auf Normalverteilung: Erhebungstrecke 3

**Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest<sup>a</sup>**

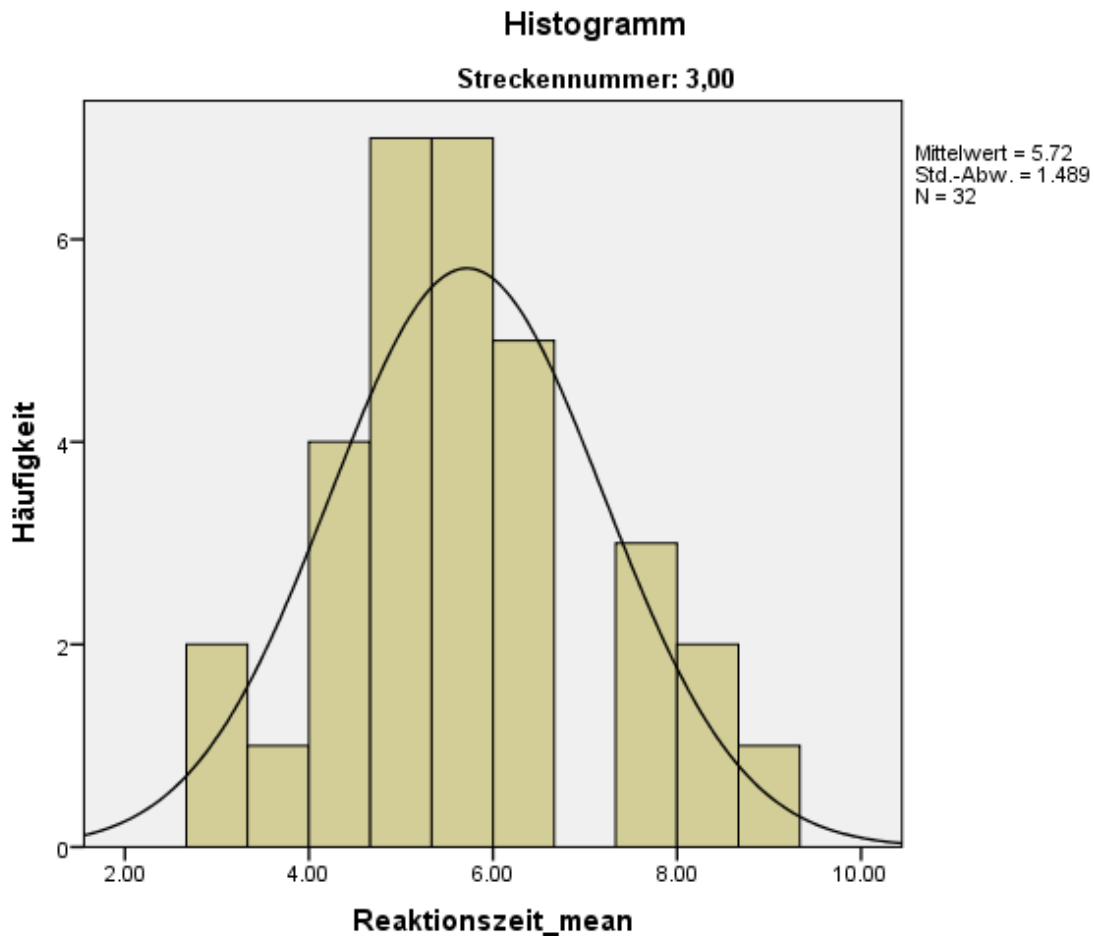
		Reaktionszeit_mean
N		32
Parameter der Normalverteilung <sup>b,c</sup>	Mittelwert	5.7171
	Standardabweichung	1.48933
Extremste Differenzen	Absolut	.132
	Positiv	.132
	Negativ	-.101
Statistik für Test		.132
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		.172 <sup>d</sup>

a. Streckennummer = 3,00

b. Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.

c. Aus den Daten berechnet.

d. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors.



Test auf Normalverteilung: Erhebungsstrecke 4

**Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest<sup>a</sup>**

		Reaktionszeit_mean
N		32
Parameter der Normalverteilung <sup>b,c</sup>	Mittelwert	6.3375
	Standardabweichung	1.00137
Extremste Differenzen	Absolut	.103
	Positiv	.103
	Negativ	-.090
Statistik für Test		.103
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		.200 <sup>d,e</sup>

a. Streckennummer = 4,00

b. Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.

c. Aus den Daten berechnet.

d. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors.

e. Dies ist eine untere Grenze der echten Signifikanz.

