

BAND 8 | SPEKTRUM DER LICHTTECHNIK

CARMEN KETTWICH

ABLENKUNG IM STRASSENVERKEHR UND
DEREN EINFLUSS AUF DAS FAHRVERHALTEN



Carmen Kettwich

**Ablenkung im Straßenverkehr und
deren Einfluss auf das Fahrverhalten**

Lichttechnisches Institut
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Ablenkung im Straßenverkehr und deren Einfluss auf das Fahrverhalten

von
Carmen Kettwich

Dissertation, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik, 2014
Referenten: Prof. Dr. Cornelius Neumann
Prof. Dr. Christoph Schierz

Impressum



Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
KIT Scientific Publishing
Straße am Forum 2
D-76131 Karlsruhe

KIT Scientific Publishing is a registered trademark of Karlsruhe
Institute of Technology. Reprint using the book cover is not allowed.

www.ksp.kit.edu



*This document – excluding the cover – is licensed under the
Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 DE License
(CC BY-SA 3.0 DE): <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/de/>*



*The cover page is licensed under the Creative Commons
Attribution-No Derivatives 3.0 DE License (CC BY-ND 3.0 DE):
<http://creativecommons.org/licenses/by-nd/3.0/de/>*

Print on Demand 2014

ISSN 2195-1152

ISBN 978-3-7315-0288-3

DOI: 10.5445/KSP/1000043685

Ablenkung im Straßenverkehr und deren Einfluss auf das Fahrverhalten

Zur Erlangung des akademischen Grades eines
DOKTOR-INGENIEURS

von der Fakultät für

Elektrotechnik und Informationstechnik
des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT)

genehmigte

DISSERTATION

von

Dipl.-Ing. Carmen Kettwich

geb. in: Weimar

Tag der mündlichen Prüfung: 25.07.2014

Hauptreferent: Prof. Dr. Cornelius Neumann

Korreferent: Prof. Dr. Christoph Schierz

INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung	1
1.1	Wahrnehmung und Verkehrssicherheit	1
1.2	Ziel der Arbeit	5
1.3	Struktureller Aufbau	6
2	Ablenkung im Straßenverkehr	9
2.1	Ziel und Fragestellung	13
2.2	Versuchsdesign	14
2.3	Versuchsaufbau	20
2.3.1	Versuchsträger	20
2.3.2	Eye-Tracking System	21
2.3.3	Sekundäraufgaben	21
2.3.4	Fragebögen	25
2.3.5	Versuchsstrecke	26
2.3.6	Stichprobe	27
2.4	Versuchsablauf	27
2.5	Auswertung	29
2.5.1	Statistische Analysen	29
2.5.2	Fahrdaten	30
2.5.3	Blickdaten	39
2.5.4	Sekundäraufgaben	43
2.5.5	Subjektive Selbsteinschätzung	50
2.5.6	Fragebögen	53
2.6	Diskussion	57
3	Blickverhalten durch Kfz-interne Einflüsse	65
3.1	Ziel und Fragestellung	71

3.2	Versuchsdesign	72
3.3	Versuchsaufbau	74
3.3.1	Versuchsträger	74
3.3.2	Fragebögen	75
3.3.3	Versuchsstrecke	76
3.3.4	Stichprobe	76
3.4	Versuchsablauf	77
3.5	Auswertung	77
3.5.1	Statistische Analysen	77
3.5.2	Blickdaten	78
3.5.3	Fernlichtnutzung	81
3.5.4	Fragebögen	85
3.6	Diskussion	86
4	Blickverhalten durch Kfz-externe Einflüsse	93
4.1	Ziel und Fragestellung	95
4.2	Versuchsdesign	96
4.3	Versuchsaufbau	99
4.3.1	Versuchsträger	99
4.3.2	Eye-Tracking System	100
4.3.3	Werbefafeln und Verkehrsschilder	101
4.3.4	Fragebögen	102
4.3.5	Versuchsstrecke	103
4.3.6	Stichprobe	103
4.4	Versuchsablauf	104
4.5	Auswertung	105
4.5.1	Statistische Analysen	105
4.5.2	Fahrdaten	106
4.5.3	Blickdaten	109
4.5.4	Fragebögen	115
4.6	Diskussion	116

5 Zusammenfassung und Ausblick	121
Anhang	127
A Begriffsdefinition Ablenkung	127
B Fragebögen	129
B.1 Ablenkung im Straßenverkehr	129
B.2 Fahrverhalten bei Kfz-internen Einflüssen	132
B.3 Fahrverhalten bei Kfz-externen Einflüssen	134
C Abkürzungen, Symbole und Einheiten	137
C.1 Abkürzungsverzeichnis	137
C.2 Symbole und Einheiten	138
D Betreute Arbeiten	141
E Veröffentlichungen	143
F Danksagung	147
Literaturverzeichnis	149

KAPITEL 1

EINLEITUNG

1.1 WAHRNEHMUNG UND VERKEHRSSICHERHEIT

Durch seine Sinne kann der Mensch die vorherrschenden Umweltverhältnisse erkennen und seine Handlungen an diese entsprechend anpassen. Kraftfahrer sind auf ihre Sinnesempfindungen angewiesen, um das Fahrzeug zielorientiert und zuverlässig zu steuern. Werden Gefahren nicht oder zu spät erkannt, dann steigt die Unfallwahrscheinlichkeit drastisch an [1]. Kleinere Fehler, sowie Unachtsamkeiten, können schwerwiegende Folgen mit sich bringen. Laut statistischem Bundesamt werden 68 % aller Unfälle durch ein Fehlverhalten des Fahrers hervorgerufen [2]. Die Anzahl der Unfälle könnte vermindert werden, wenn die am Unfall Beteiligten das unfallverhütende Fahrmanöver lediglich eine halbe bis eine Sekunde früher einleiten würden [3].

Die Fahraufgabe ist sehr komplex und beinhaltet das Stabilisieren, Manövrieren und Navigieren eines Fahrzeuges [4, 5]. Sie umfasst sowohl die laterale als auch longitudinale Kontrolle der Position des Fahrzeuges durch Benutzung des Lenkrades, des Gaspedals und der Bremsen, sowie die Erkennung von Mustern und die Anwendung anderer kognitiver Fähigkeiten, wie die Abschätzung der zukünftigen Situation aus der momentanen Situation heraus [6].

Verglichen mit den anderen Sinnesempfindungen ist die visuelle Wahrnehmung von besonderer Bedeutung im Straßenverkehr. Die für die Fahraufgabe wichtigsten visuellen Faktoren sind die Akkommodation,

Adaptation, Sehschärfe, Kontrast- und Blendempfindlichkeit, Farb- und Tiefenwahrnehmung sowie das Blickverhalten [7].

Der Sehvorgang lässt sich in drei nacheinander ablaufende Vorgänge unterteilen:

- Stimulation durch die Umwelt/Empfindung
- Wahrnehmung
- Erkennung/Klassifikation

Erstere beschreibt die Aufnahme eines Leuchtdichtemusters durch das Auge, indem das Muster des fixierten Objektes auf der Netzhaut abgebildet wird. Im Vorgang der Wahrnehmung werden aus dem Muster des betrachteten Objektes Merkmale extrahiert. Daran schließt sich die Klassifikation an, indem das wahrgenommene Objekt mit bereits bekannten, abgespeicherten Objekten verglichen und diesen zugeordnet wird [8].

Um in der Peripherie des Gesichtsfeldes erscheinende stationäre oder bewegte Objekte präzise erkennen zu können, werden jene durch reflex- und ruckartige Bewegungen des Augapfels auf der Fovea Centralis, dem Ort des schärfsten Sehens, abgebildet [9]. Die Diskrepanz zwischen der Fovea Centralis und dem Netzhautort des neuen Fixationsobjekts löst eine Sakkade aus [10]. Diese zielsuchenden sprunghaften Augenbewegungen sind die schnellsten vom menschlichen Körper durchgeführten Bewegungen. Sakkaden erreichen Geschwindigkeiten von bis zu $1000^\circ/s$ und sind zwischen 2° und 50° groß. Sie können unterdrückt oder willentlich ausgelöst werden. Allerdings lassen sich nach ihrer Auslösung der Verlauf und der Zielort nicht mehr verändern [11]. Sakkaden erreichen das angestrebte Zielobjekt mit einer Genauigkeit von $\pm 1^\circ$ [10]. Die Dauer einer Sakkade beträgt 10–80 ms, wodurch eine vollständige Verschiebung des Netzhautbildes stattfindet. Diese Verschiebung wird nicht wahrgenommen, da während dieser Zeit nahezu keine Informationen aufgenommen werden.

Die visuelle Informationsaufnahme erfolgt zwischen den Sakkaden durch Fixationen. Fixationsdauern liegen zwischen 100 und 2000 ms [12]. Bezogen auf das Sehobjekt, befindet sich das Auge während einer Fixation im relativen Stillstand und führt dabei verschiedene Mikrobewegungen durch. Würde ein Objekt dauerhaft auf ein und denselben Netzhautort abgebildet, dann könnte es nach wenigen Sekunden nicht mehr wahrgenommen werden. Da durch die Mikrobewegungen das Zielobjekt ständig auf unterschiedliche Rezeptoren abgebildet wird, kann Lokaladaptation vermieden werden [10, 13]. Wird ein Objekt verfolgt, dann sind in den Fixationen die Folgebewegungen eingeschlossen. Besonders häufig sind diese Fixationen im Straßenverkehr zu finden [14]. Untersuchungen von Just [15] stützen die Annahme, dass der Fixationsort dem Fokus der visuellen Aufmerksamkeit entspricht, da die an Sakkaden gekoppelte Aufmerksamkeit das Auge zu seinem Zielobjekt führt.

Die zweitwichtigste Voraussetzung, um gefahrlos am Straßenverkehr teilnehmen zu können, ist das Hören. In Kombination mit der visuellen Wahrnehmung werden durch auditive Wahrnehmung verkehrsrelevante Informationen, wie beispielsweise die Einschätzung von Geschwindigkeiten, Entfernungen und Bewegungsrichtungen, gewonnen [16].

Neben Aspekten der Sinneswahrnehmung, Verarbeitung und Umsetzung werden motorische Fähigkeiten zur Bedienung des Fahrzeuges vorausgesetzt. All diese Prozesse laufen zumeist unbewusst und automatisiert ab [17].

Die empfundene Belastung des Fahrzeugführers hängt von der Komplexität der Verkehrssituation, der Fahrerfahrung und dem allgemeinen Befinden des Kraftfahrers ab [18]. Für erfahrene Fahrzeugführer ist Fahren ein Routinevorgang. Dabei kann dieser seine visuellen und mentalen Ressourcen entweder vollständig auf das Verkehrsgeschehen richten oder diese in fahrrelevante und nicht fahrrelevante Ak-

tivitäten aufteilen, ohne dass sich der Fahrer dabei einer zu hohen Belastung aussetzt. Fahranfänger wie auch ältere Fahrer sind am häufigsten überbeansprucht. Erstere beispielsweise benötigen im Vergleich zu erfahrenen Fahrern zum Führen eines Fahrzeuges mehr mentale Ressourcen, so dass Sekundäraufgaben leicht zu einer mentalen Überlastung und damit zu Ablenkung führen können, wodurch sich die hohen Unfallzahlen von Fahranfängern teilweise erklären lassen [19]. Ältere Fahrer zeigen trotz ihrer zumeist langen Fahrerfahrung in spezifischen Verkehrssituationen Fahrfehler und Unsicherheiten. Sie sind mit zunehmenden Alter weniger in der Lage, besonders komplexe Verkehrssituationen durch ihre Fahrerfahrung zu kompensieren [20]. Durch altersbedingte Einschränkungen, wie beispielsweise reduzierte motorische, kognitive und sensorische Fähigkeiten [21], steigt das Unfallrisiko von älteren Fahrern an [22].

Das Führen eines Fahrzeuges ist in den letzten Jahren immer anspruchsvoller geworden, da sich die Anzahl an Fahrerinformations- sowie Unterhaltungssystemen im Automobil ständig erhöht, der Bestand an Kraftfahrzeugen kontinuierlich wächst und die Menschen einem zunehmend mobileren Lebensstil folgen. Letzterer wird in einem Anstieg der jährlich zurückgelegten Kilometer über die letzten Jahrzehnte deutlich [23]. Einerseits nimmt die Komplexität des Fahrzeuges sowie des Verkehrsgeschehens ständig zu, andererseits werden immer mehr Fahrerassistenzsysteme (FAS) im Automobil integriert, die den Fahrer bei der Ausübung der Fahraufgabe unterstützen indem sie durch den Fahrzeugführer eventuell verursachte Fehler korrigieren und dadurch Unfälle vermeiden, beziehungsweise die Unfallfolgen verringern. FAS lassen sich hinsichtlich ihrer Unterstützung bei der Fahraufgabe in drei Kategorien einteilen: informierende, warnende und eingreifende Assistenzsysteme [5]. Zum einen dürfen FAS den Kraftfahrer nicht erschrecken, nicht verunsichern und nicht von seiner Fahraufgabe ablenken. Zum anderen sollte der Fahrer Rückmeldung

über den Eingriff dieser Assistenzsysteme erhalten, um sein eigenes Agieren der jeweiligen Fahrsituation anpassen zu können [24].

Jedoch führt die Unterstützung oder die Entlastung des Kraftfahrers von bestimmten Aufgaben durch FAS nicht zwangsläufig zu einer Erhöhung der Verkehrssicherheit. Risiko-Kompensation oder aber auch Risiko-Homöostase ist ein Prinzip menschlichen Verhaltens nachdem ein Verkehrsteilnehmer soviel Gefahr zulässt, wie seiner Persönlichkeit entspricht. Wenn sich das wahrgenommene Risiko vergrößert, dann verhält sich der Verkehrsteilnehmer vorsichtiger – und umgekehrt. Dieser Vorgang führt dazu, dass nach der Einführung von Sicherheitsmaßnahmen Verhaltensanpassungen der Verkehrsteilnehmer erfolgen, die die Verkehrssicherheit mindern können [25].

Informationsüberflutung durch zunehmende Komplexität innerhalb sowie außerhalb des Fahrzeuges, kann zu einer Überlastung des Kraftfahrers führen und/oder diesen von seiner Fahraufgabe ablenken und sollte deshalb vermieden werden. Neben dem Anstieg der Reaktionszeit nimmt die Fehlerhäufigkeit bei Überbeanspruchung und Ablenkung des Fahrzeugführers zu [26]. Ablenkung lässt sich nach Vollrath [27] in kognitive, visuelle und haptische Ablenkung unterteilen.

1.2 ZIEL DER ARBEIT UND EINGRENZUNG DES UNTERSUCHUNGSGEGENSTANDES

Wünschenswert ist eine möglichst umfassende Studie zum Thema Ablenkung des Fahrzeugführers im Straßenverkehr. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit war ein sämtliche Aspekte implizierendes Vorgehen nicht möglich. Vielmehr ergab sich in mehrfacher Hinsicht die Chance, an Projekten mitzuarbeiten, die einen unterschiedlich starken Bezug zu dem Thema Ablenkung des Fahrzeugführers im Straßenverkehr, hatten. Deshalb ist der gewählte Forschungsansatz pragmatisch.

Dabei wird das Konstrukt der Ablenkung unter unterschiedlichen Facetten empirisch erforscht. Damit verbindet sich die Hoffnung, bei aller Heterogenität der Untersuchungen konsistente Teilergebnisse zu finden, die den jetzigen Stand der Forschung ergänzen und Antworten auf bislang offen gebliebene Fragen geben.

Ziel der hier vorgestellten Arbeit ist es, Ablenkung des Fahrzeugführers im Straßenverkehr aus unterschiedlichen Perspektiven zu untersuchen.

Aufgrund der Vielschichtigkeit des Konstrukts der Ablenkung ist zunächst eine Auswahl der zu analysierenden Aspekte und eine Eingrenzung der Fragestellung erforderlich. Dabei wird anfangs eine Untersuchung verschiedener Ablenkungsarten vorgestellt. Aufgrund der visuellen Dominanz bei der Informationsaufnahme beim Führen eines Kraftfahrzeugs beschränken sich danach folgenden Studien auf die Untersuchung visueller Ablenkung.

Da Personen, Objekte, Ereignisse und Aktivitäten innerhalb wie auch außerhalb des Fahrzeuges den Kraftfahrer von seiner Fahraufgabe unter anderem visuell ablenken können, wird stellvertretend dafür jeweils ein Beispiel eines potentiellen visuellen Distraktors gewählt und näher empirisch erforscht.

1.3 STRUKTURELLER AUFBAU

Die optimale Anpassung der Anzeige- und Bedienelemente des Fahrzeuges an die Leistungsvoraussetzungen des Fahrers ist Teil der Entwicklung von Kraftfahrzeugen. Dazu zählen die kognitive, visuelle und haptische Wahrnehmung. In jeder Verkehrssituation sollte die Interaktion zwischen Fahrer und Fahrzeug störungsfrei erfolgen. Dabei darf der Fahrer weder überlastet noch vom Verkehrsgeschehen abgelenkt werden.

Aus Sicht der Kraftfahrer wird in Kapitel 2 der Einfluss verschiedener Ablenkungsarten auf fahrzeugdynamische Größen sowie Blickparameter untersucht, diese miteinander verglichen und daraus Indikatoren bestimmt, die zur Quantifizierung von Ablenkung im Automobil geeignet sind.

Eine entsprechende benutzerfreundliche Positionierung sowie ein wahrnehmungsfreundliches Design der Bedien- beziehungsweise Anzeigeelemente führen zu einer Entlastung des Fahrers. Jedoch können unter gewissen Umständen Fahrerinformations- wie auch Fahrerassistenzsysteme zu einer Ablenkung des Fahrers führen. Ein Nachtsichtsystem, beispielsweise, kann den Fahrer bei seiner Fahraufgabe unterstützen oder aber ihn von seiner Fahraufgabe ablenken, indem der Fahrer seine Aufmerksamkeit verstärkt auf das Display richtet und Blicke durch die Windschutzscheibe, beziehungsweise die Seitenfenster und Spiegel, reduziert. Kapitel 3 untersucht das subjektive Sicherheitsempfinden, das Nutzungsverhalten und die Fernlichtnutzung bei Fahrt mit aktiven Nachtsichtsystem.

Nicht nur Elemente innerhalb sondern auch außerhalb des Fahrzeuges können zu einer Ablenkung des Kraftfahrers führen. Die Gestaltung des Verkehrsraums ist dabei ein Teilaspekt. Inwieweit Werbung am Straßenrand das Blick- und Fahrverhalten von Kraftfahrern ablenkend beeinflusst, wird in Kapitel 4 näher untersucht.

Abschließend werden die Ergebnisse in Kapitel 5 zusammenfassend dargestellt, diskutiert und es werden mögliche Anknüpfungspunkte für weitere wissenschaftliche Untersuchungen aufgezeigt.

KAPITEL 2

ABLENKUNG IM STRASSENVERKEHR

Im Straßenverkehr werden die meisten fahrrelevanten Informationen visuell aufgenommen [28, 29, 30, 31]. Eine eher untergeordnete Rolle spielt dabei die akustische Wahrnehmung, die im Wesentlichen bei der Wahrnehmung von Warnsignalen von Bedeutung ist. Das Erkennen der Richtung, aus der das Geräusch kommt, spielt dabei hauptsächlich eine Rolle. Die haptische Wahrnehmung kommt vorwiegend bei Beschleunigungsänderungen zum Einsatz [8].

Ablenkung im Straßenverkehr bezeichnet eine Aufmerksamkeitsverschiebung unter Verwendung der auditiven, biomechanischen, kognitiven oder visuellen Kapazitäten, oder einer Kombination aus diesen, zu einer Person, einem Objekt, einer Aktivität oder einem Ereignis, welches nicht relevant für die Fahraufgabe ist [32, 33, 34]. Mit dieser Aufmerksamkeitsverschiebung geht eine Verschlechterung der Fahrleistung einher [35, 36, 37, 38, 39, 40, 41] und es kommt zu einem Anstieg der Reaktionszeit [42, 38, 43], so dass der Kraftfahrer plötzlich auftretende Änderungen im Verkehrsraum übersehen kann oder ihm keine ausreichende Zeit mehr zur Verfügung steht, um darauf entsprechend zu reagieren. Dies führt zu einem Anstieg des Unfallrisikos [44].

Alle Personen, Objekte, Aktivitäten und Ereignisse innerhalb sowie außerhalb des Fahrzeuges können zu einer Ablenkung des Fahrers führen. Ablenkung im Fahrzeug kann durch die im Fahrzeug verbaute Technik oder durch andere Quellen, wie beispielsweise Passagiere, Telefongespräche, Radio hören, oder Bedienung des Navigationsgerätes

verursacht werden. Fahrzeugexterne Ablenkung entsteht, wenn der Fahrer sich auf nicht verkehrsrelevante Personen, Objekte, Aktivitäten oder Ereignisse außerhalb des Fahrzeuges konzentriert [45], wie zum Beispiel auf Werbeschilder oder Bauwerke.

Untersuchungen von Green et al. [46], Hughes et al. [47], Klauer et al. [48], Land et al. [49], Sayer et al. [50] und Stutts et al. [51, 52] zufolge verbringen Fahrzeugführer bis zu 50 % der Fahrzeit mit nicht für die Fahraufgabe relevanten Sekundäraufgaben. Besonders häufig werden die Fahrer von Objekten, Personen oder Ereignissen außerhalb des Fahrzeuges abgelenkt. Dazu sind in Tabelle 2.1 die Ergebnisse von zwei Studien zu Ursachen der Ablenkung im Automobil zusammengefasst. Unterschiedliche Definitionen, Kategorisierungen und unzureichende Informationen beim Unfallhergang in Bezug auf Ablenkung schränken die Interpretierbarkeit, Reliabilität und Nützlichkeit von einer Reihe von Unfalldatenquellen ein [53, 54]. Je nach Literaturquelle werden zwischen 7 und 25 % der Unfälle durch Ablenkung des Fahrzeugführers verursacht [55, 56, 43, 57]. Nach einer Befragung von verunfallten Fahrern, die infolge dessen im Krankenhaus untergebracht waren, trug Ablenkung für jeden siebten Fahrer bedeutsam zum Unfallgeschehen bei. 31,7 % gaben an, unmittelbar vor dem Unfall mit einer Sekundäraufgabe beschäftigt gewesen zu sein [58].

Im Durchschnitt beschäftigen sich die Fahrzeugführer alle sechs Minuten mit einer nicht fahrrelevanten Sekundäraufgabe [59]. Der Einfluss von Sekundäraufgaben auf die Fahraufgabe ist abhängig von deren Komplexität. Sekundäraufgaben geringer Komplexität, wie zum Beispiel ein Gespräch mit Passagieren oder die Bedienung des Radiolautstärkereglers, führen zu keiner Erhöhung des Unfallrisikos. Moderate und komplexe Sekundäraufgaben, wie beispielsweise die Bedienung des Mobiltelefons, führen zu einer deutlichen Erhöhung des Unfallrisikos und beeinträchtigen die Verkehrssicherheit. Klauer zufolge haben Fahrzeugführer, welche mit visuellen oder haptisch komplexen

Sekundäraufgaben beschäftigt sind, ein dreifach höheres Unfallrisiko als aufmerksame Fahrer [56].

Tabelle 2.1: Ursachen der Ablenkung

Art der Ablenkung	Abgelenkte Fahrer [%]	
	Stutts, 2001 [43]	Stutts, 2005 [60]
Fahrzeugexterne Ablenkung (Objekt, Person oder Ereignis)	29,4	23,7
Bedienung des Radios/Kassettenrekorder/CD- Player	11,4	2,9
Fahrzeugpassagiere	10,9	20,8
Bewegliches Objekt im Fahrzeug	4,3	3,7
Bedienung anderer Geräte/Objekte im Fahrzeug	2,9	5,2
Betätigung der Bedienelemente in der Mittelkonsole	2,8	1,5
Essen und/oder Trinken	1,7	2,8
Benutzung Mobiltelefon	1,5	3,6
Rauchen	0,9	1,0
Andere/nicht näher definierte Ablenkungen	34,2	34,8

Jüngere Fahrer lassen sich leichter ablenken als ältere und/oder erfahrene Fahrzeugführer [61, 50]. Fahrer unter 20 Jahren sind bei Unfällen besonders häufig abgelenkt (12 %) im Vergleich zu den anderen Altersgruppen (<8 %). Die erstgenannte Altersgruppe lässt sich stärker durch Objekte im Fahrzeuginnenraum ablenken, wohingegen Fahrer, die älter als 65 Jahre sind, sich mehr von Objekten oder Ereignissen, die außerhalb des Fahrzeuges auftreten, ablenken lassen [43].

Durch Ablenkung verursachte Unfälle geschehen am häufigsten in den Hauptverkehrszeiten am Morgen und am Nachmittag [57]. Alleinunfälle, das heißt Unfälle, bei denen nur ein Fahrzeug beteiligt ist, treten häufig bei abgelenkten Fahrern auf [58, 57]. Häufigste Unfalltypen, bei denen eine Distraction bei Unfalleintritt vorlag, sind Unfälle im Längsverkehr sowie beim Einbiegen und Kreuzen.

Die Auswirkung von Ablenkungen auf das Fahrverhalten kann mit Hilfe unterschiedlicher Versuchsdesigns untersucht werden:

- Beobachtungen
- Unfallbasierte Studien
- Experimentelle Studien

Beobachtungen liefern direkte Informationen über die Sekundäraufgabe, in die der Fahrer während der Fahrt eingebunden ist. Unfallbasierte Studien hingegen geben direkte Informationen über die Auswirkungen auf die Sicherheit bei Ausübung einer Sekundäraufgabe. Experimentelle Studien werden unter kontrollierten Bedingungen durchgeführt und messen die Degradierung der Bewältigung der Fahraufgabe bei Durchführung einer Sekundäraufgabe [62]. Die gewählten Sekundäraufgaben sind dabei der Fahraufgabe untergeordnet und nicht fahrrelevant. Sollte sich bei Durchführung der Sekundäraufgaben die Fahrleistung verschlechtern, wird diese Aufgabe als ablenkend eingestuft [63].

Bisher fanden lediglich Studien statt, die das Ablenkungspotential eines bestimmten Objektes, einer bestimmten Aktivität oder Ereignisses auf das Fahrverhalten untersucht haben [64, 65, 66, 67, 68, 69, 70]. Inwieweit sich verschiedene Ablenkungsarten auf das Fahr- sowie Blickverhalten auswirken, soll anhand eines dynamischen Simulatorversuchs näher untersucht werden.

2.1 ZIEL UND FRAGESTELLUNG

Ziel der Studie ist es, den Einfluss von kognitiver, visueller und haptischer Ablenkung auf das Fahr- und Blickverhalten in Abhängigkeit von der Verkehrssituation und dem Grad der Ablenkung zu quantifizieren.

Um dies untersuchen zu können, wird durch eine geeignete experimentelle Vorgehensweise der Fahrer von seiner Fahraufgabe durch verschiedene Sekundäraufgaben abgelenkt und dabei das Fahr- und Blickverhalten aufgezeichnet. Das Fahr- und Blickverhalten wird danach einer Analyse unterzogen und dient dazu kognitive, visuelle und haptische Ablenkung zu messen. Außerdem werden für jede Sekundäraufgabe spezifische Variablen, wie beispielsweise die Anzahl der korrekten Antworten, erhoben. Des Weiteren wird die subjektive Selbsteinschätzung des Fahrverhaltens und die Qualität der Absolvierung der Sekundäraufgabe ermittelt. Unterschiedliche Ablenkungsgrade werden durch Variation des Schwierigkeitsniveaus der zu absolvierenden Sekundäraufgabe realisiert. Mittels Fragebogen wird das subjektiv empfundene Ablenkungspotential sowie der Einfluss ausgewählter Sekundäraufgaben auf die Verkehrssicherheit erhoben.

Mit Hilfe dieser Indikatoren wird das Konstrukt der Ablenkung operationalisiert und messbar gemacht. Es ergeben sich folgende Hypothesen, die auf ihre Richtigkeit hin untersucht werden:

- Die Durchschnittsgeschwindigkeit sinkt bei Absolvierung der visuellen Sekundäraufgabe, aber nicht bei den anderen Sekundäraufgaben.
- Die Standardabweichung der lateralen Position steigt bei Durchführung einer Sekundäraufgabe.
- Der Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug vergrößert sich bei Durchführung einer Sekundäraufgabe.

- Der Percent road center sinkt bei Absolvierung der visuellen Sekundäraufgabe und steigt bei der Durchführung der kognitiven Sekundäraufgabe.
- Die Blickzuwendungszeit und die maximale Blickdauer auf das Display steigen mit zunehmenden Schwierigkeitsniveau der visuellen Sekundäraufgabe.
- Verglichen mit der visuellen Sekundäraufgabe, wird die Ausübung der kognitiven und haptischen Sekundäraufgabe während der Fahrt weniger ablenkend eingeschätzt. Am wenigsten beanspruchend ist, nach subjektiver Selbsteinschätzung der Fahrer, die haptische Sekundäraufgabe.

2.2 VERSUCHSDESIGN

DESIGN

Zur Untersuchung der Ablenkung im Straßenverkehr wird der Proband in einem Simulator neben der Primäraufgabe kognitive, visuelle und haptische Sekundäraufgaben durchführen. Die Primäraufgabe ist dabei der Fahraufgabe gleichzusetzen. Werden eine Primär- und eine Sekundäraufgabe gleichzeitig durchgeführt, so weist eine Abnahme in der Leistung der Nebentätigkeit auf eine erhöhte Belastung durch die Primäraufgabe hin [71]. Anhand der Leistungsmessung der Sekundäraufgabe kann nach Luff et al. [72] zufolge die Beanspruchung durch die Primäraufgabe quantifiziert werden.

Um die Ablenkungswirkung zu untersuchen, wird die Versuchsperson instruiert, sich hauptsächlich auf die Durchführung der Sekundäraufgabe zu konzentrieren, dabei wird die Verschlechterung der Leistung in der Primäraufgabe gemessen.

Der Versuch findet im Simulator statt, was verschiedene Vorteile bietet. Potentiell gefährliche Szenarien sind mit Hilfe eines Simulatorexperiments gefähderungsfrei für den Probanden zu realisieren. Ein weiterer Vorteil besteht in der beliebig häufigen und exakten Wiederholbarkeit verschiedener Szenarien. Weiterhin müssen weder geeignete Versuchsstrecken gesucht und abgesperrt werden noch die Beleuchtungsbedingungen sowie die Witterung berücksichtigt werden.

Im Simulator durchgeführte Versuchsfahrten zeichnen sich allesamt durch eine hohe Reliabilität und eine hohe Flexibilität hinsichtlich der Parametervariationen aus. Verglichen mit Fahrten im Feld können unterschiedliche Verkehrssituationen mit geringerem Aufwand realisiert werden. Nicht zu vernachlässigen ist allerdings der Ausfall von Probanden aufgrund von Simulatorübelkeit [73], die bei ca. fünf bis zehn Prozent der Testpersonen auftritt. Deshalb ist es wichtig, die Ausfallrate in der Versuchsplanung zu berücksichtigen [74].

Der Einfluss von kognitiven, visuellen und haptischen Sekundäraufgaben auf das Fahrverhalten wird in einem dynamischen Simulator untersucht, da bei diesem im Vergleich zu einem statischen Simulator das Fahrgefühl am ehesten der Realität entspricht. Dafür wird ein ausbalanciertes 2x4x3 Within-Subject Design gewählt. Dazu wird dieselbe Person mit verschiedenen Versuchsbedingungen (vorausfahrendes Fahrzeug, kein vorausfahrendes Fahrzeug), unterschiedlichen Modalitäten (Baseline, kognitive, visuelle und haptische Sekundäraufgaben) und mehreren Schwierigkeitsniveaus (leicht, mittel und schwer) konfrontiert.

Die Reihenfolge der Versuchsbedingungen, sowie der Modalitäten ist randomisiert. Außerdem wird innerhalb der Baselinefahrten die Reihenfolge der beiden Versuchsbedingungen (vorausfahrendes Fahrzeug, kein vorausfahrendes Fahrzeug) variiert.

Neben den Fahr- sowie Blickparametern und den für die jeweilige Sekundäraufgabe spezifischen Variablen, wird die Selbsteinschätzung

der Fahrleistung sowie die subjektive Beurteilung der Qualität bei der Durchführung der Sekundäraufgabe erfasst. Dazu werden die abhängigen Variablen in vier Gruppen unterteilt.

Bei der ersten Gruppe handelt es sich um die Fahrparameter, wie die Durchschnittsgeschwindigkeit, die Standardabweichung der lateralen Position und das Time Headway.

Die Blickparameter zählen zur zweiten Gruppe der abhängigen Variablen. Diese werden mit Ausnahme der Percent road centre lediglich für die visuelle Sekundäraufgabe ermittelt, da sie sich auf den LC-Monitor beziehen der bei dieser Aufgabe zum Einsatz kommt.

Die dritte Gruppe fasst die abhängigen Variablen, die bei der Durchführung der unterschiedlichen Sekundäraufgaben erhoben werden, zusammen. Sie unterscheiden sich für die einzelnen Sekundäraufgaben. Die abhängigen Variablen umfassen bei der kognitiven Aufgabe die Anzahl der korrekten, falschen und nicht gegebenen Antworten. Bei der visuellen Aufgabe wird neben der Anzahl der korrekten und falschen Antworten, die Reaktionszeit die der Teilnehmer zu seiner Antwort benötigt, ausgewertet. Die abhängigen Variablen der haptischen Sekundäraufgabe bestehen, im richtigen oder falschen Absolvieren einer rein manuellen Aufgabe und der dafür benötigten durchschnittlichen Zeitspanne.

Die vierte Gruppe bildet die subjektive Selbsteinschätzung der Versuchspersonen in Bezug auf deren Fahrleistung und der Qualitätseinschätzung bei der Durchführung der Sekundäraufgaben.

FAHRDATEN

Während der kompletten Versuchsfahrt werden fahrzeugdynamische Parameter aufgezeichnet. Diese sind in Tabelle 2.2 zusammengefasst und näher beschrieben.

Tabelle 2.2: Beschreibung der fahrzeugdynamischen Parameter

Parameter	Beschreibung
Durchschnittsgeschwindigkeit	Mittelwert aus allen Geschwindigkeitsmessungen Einheit: km/h
Standardabweichung der lateralen Position (SDLP)	Standardabweichung aller gemessenen Abstände von der Fahrzeugmitte zu der linken Fahrstreifenmarkierung Je größer der Wert, desto geringer die laterale Kontrolle des Kraftfahrers [75] Einheit: m
Time Headway (THW)	Zeit, die ein Fahrzeug zum Erreichen derselben Position des vorausfahrenden Fahrzeugs benötigen würde [6, 76] Einheit: s

Die Versuche finden ohne und mit vorausfahrendem Fahrzeug statt. Das vorausfahrende Fahrzeug bewegt sich mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 87 km/h. Befindet sich das vorausfahrende Fahrzeug mehr als 150 m vor dem Versuchsfahrzeug, was der ungefähren Reichweite von Scheinwerfern bei Fahrt mit Fernlicht entspricht, wird die Geschwindigkeit des Vorausfahrenden solange auf 75 % der Geschwindigkeit des Testfahrzeugs reduziert bis der Abstand der zwei Automobile zwischen beiden Vorderachsen 75 m unterschreitet. Letzterer Abstand entspricht dem Sicherheitsabstand von drei Sekunden zum vorausfahrenden Fahrzeug.

BLICKDATEN

Zur Auswertung des Blickverhaltens werden sogenannte „Area of Interests“ (AOI) festgelegt, die ein Objekt oder eine Region umfassen, welche für die Untersuchung von besonderem Interesse sind. Ein Blick umfasst die Summe aller Fixationen und Sakkaden auf ein AOI, solange bis die Augen einen neuen Bereich fixieren [77]. Ein erneuter Blick auf das entsprechende AOI ist mit mindestens einem Blick auf ein anderes AOI verbunden.

Mittels der Analyse des Blickverhaltens kann die Aufmerksamkeit des Fahrzeugführers und daraus die visuelle Ablenkung abgeleitet werden. Blickzuwendungszeiten sowie maximale Blickdauern können objektive Informationen über die Ablenkungsdauer geben. Bei der Auswertung des Blickverhaltens wird auf drei Annahmen von Just und Carpenter [78] zurückgegriffen:

- Fixierte Objekte werden kognitiv verarbeitet, womit Fixationen Aufschlüsse über den jeweiligen Gegenstand der Informationsverarbeitung der Versuchsperson liefern können.
- Fixierte Objekte werden sofort verarbeitet. Die Fixationsdauer gibt Aufschluss über die Dauer der Informationsverarbeitung des Probanden.
- Durch die Fixationsreihenfolge können Rückschlüsse auf die Abfolge der Informationsverarbeitung gezogen werden.

Entsprechend der ersten Annahme wird davon ausgegangen, dass bei hohen maximalen Blickdauern auf ein AOI einer Sekundäraufgabe, auf eine Ablenkung des Fahrzeugführers von seiner Fahraufgabe geschlossen werden kann. Außerdem können lange Blickzuwendungszeiten auf ein AOI ein Hinweis auf einen hohen visuellen Workload sein [79].

Für alle Sekundäraufgaben wird der Percent road centre bestimmt. Bei Durchführung der visuellen Sekundäraufgabe werden zusätzlich die Blickanzahl, die Blickzuwendungszeit und die maximale Blickdauer auf den LC-Bildschirm ausgewertet. Die Blickparameter werden in Tabelle 2.3 näher beschrieben.

Tabelle 2.3: Beschreibung der Blickparameter

Parameter	Beschreibung
Blickanzahl	Anzahl der Blicke auf den LCD Maß für visuelle Aufmerksamkeit und visuelle Beanspruchung
Blickzuwendungszeit	Dwell time, entspricht der Summe aller Fixationen und Sakkaden auf den LCD Maß für visuelle Beanspruchung Einheit: s
Maximale Blickdauer	Dauer des längsten Blicks auf den LCD Maß für visuelle Beanspruchung Einheit: s
Percent road centre (PRC)	Prozentsatz der Blicke, die während definierter Zeitspanne in einen 8° großen Kreis fallen Kreismittelpunkt entspricht dem häufigsten Blickwinkel durch die Windschutzscheibe Häufigster Blickwinkel wird aus zweidimensionalem Histogramm ermittelt [80] Maß zur Überwachung von visueller und kognitiver Ablenkung [81, 82, 83] Einheit: %

2.3 VERSUCHSAUFBAU

2.3.1 VERSUCHSTRÄGER

Die Untersuchung findet im dynamischen Fahrsimulator SimIII (siehe Abbildung 2.1) des staatlichen Wege- und Transportforschungsinstituts VTI in Schweden statt. Der Simulator erlaubt Bewegungen in vier Freiheitsgraden. Neben linearen Bewegungen werden auch Kippbewegungen ermöglicht. Der Bewegungsalgorithmus des Fahrsimulators passt die laterale Position des Fahrzeuges an dessen Bewegung an, so dass ein realistischer Eindruck der lateralen Bewegung entsteht. Mit Hilfe dreier eingebauter DLP Projektoren wird dem Fahrer ein 120° großes Blickfeld geboten. Dabei werden die Bilder der einzelnen Projektoren verzerrt, übereinander geblendet und auf eine gewölbte Leinwand projiziert. Ein Rütteltisch ermöglicht die Simulation von Straßenunebenheiten und bewegt die Kabine relativ zum projizierten Bild. Fahrgeräusche und Fremdverkehr werden durch ein 3D Surround System realitätsnah simuliert. Im Simulatorinneren ist ein vollständig ausgerüsteter Saab 9-3 (Breite: 1,77 m) montiert. Drei LC-Displays ersetzen den Innen- sowie die beiden Rückspiegel. Neben der Aufzeichnung der fahrzeugdynamischen Eigenschaften wird das Blickverhalten mittels eines Eye-Tracking Systems aufgenommen.

Abbildung 2.1: Fahrsimulator des VTI



2.3.2 EYE-TRACKING SYSTEM

Mit einem Remote Eye-Tracking System des Herstellers Smart Eye der Version 6.0 wird das Blickverhalten aufgezeichnet. Vier auf dem Armaturenbrett befestigte Trackingkameras nehmen das Gesicht der entsprechenden Versuchsperson auf. Auf Grundlage eines Grauwertabgleichs von charakteristischen Punkten im Gesicht des jeweiligen Probanden wird ein Blickvektor erstellt. Neben den Trackingkameras sind Infrarot-Leuchtdioden befestigt, die das Gesicht des Probanden bestrahlen, ohne dabei das Adaptationsniveau der Testperson zu beeinflussen. Die Trackingkameras sind mit einem Computer verbunden und werden dort mit Hilfe einer speziellen Software synchronisiert. Anstelle einer Szenenkamera wird die Umgebung im und um das Versuchsfahrzeug in Form eines virtuellen 3D-Modells erstellt. Da sich die räumlichen Gegebenheiten des Fahrsimulators während des Versuchs nicht ändern, muss das 3D-Weltmodell lediglich einmal zu Beginn der Versuchsreihe erzeugt werden. Der ermittelte Blickvektor des Fahrzeugführers wird in das vordefinierte 3D-Weltmodell projiziert. Daraus kann die Blickhäufigkeit und Blickdauer in sogenannten „Area of Interests“ bestimmt werden.

Abhängig von der jeweiligen Testperson wird eine Genauigkeit von $0,5\text{-}1^\circ$ erreicht. Die Abtastrate beträgt 60 Hz. Die Ausgabe der Daten erfolgt in Form einer Text-Datei.

2.3.3 SEKUNDÄRAUFGABEN

Die eingesetzten Sekundäraufgaben müssen spezifischen Anforderungen genügen. Es ist einerseits wichtig, dass sie für alle Probanden leicht verständlich sind. Andererseits muss der Schwierigkeitsgrad

der Aufgaben variierbar sein. Außerdem sollen die gewählten Sekundäraufgaben nach Unterbrechung sofort wieder aufgenommen werden können. Weiterhin ist es entscheidend, dass die Ergebnisse aufgezeichnet werden, beispielsweise in der Form „richtig oder falsch“ oder durch Aufnahme der Reaktionszeit.

Insgesamt werden drei unterschiedliche Sekundäraufgaben während der Versuchsfahrt durchgeführt. Diese werden im Folgenden detailliert beschrieben.

KOGNITIVE SEKUNDÄRAUFGABE

Die kognitive Sekundäraufgabe besteht darin, vom Band gesprochene Zahlen zu addieren und die Ergebnisse dem Versuchsleiter mündlich mitzuteilen. Die beiden erst genannten Zahlen werden addiert, danach muss sich die Versuchsperson an die vom Band zuletzt genannte Zahl erinnern und diese zur nächst genannten Zahl addieren und so weiter. Sollte eine Versuchsperson sich nicht korrekt an die letzte Zahl erinnern, oder die Zeit nicht ausreichen, um die Rechenoperation durchzuführen und das Ergebnis verlauten zu lassen, so ist davon lediglich eine Antwort betroffen. Ein Wiedereinstieg in die Rechenaufgabe ist demnach sofort möglich.

Der Versuchsleiter notiert die Zahl, die er vom Probanden angesagt bekommt. Zur Erhöhung der Reliabilität wird der Teilnehmer während des ganzen Versuches gefilmt. Verpasst der Versuchsleiter eine Zahl, oder versteht er diese nicht, wird für die Auswertung die Aufzeichnung zu Hilfe genommen. Außerdem werden die Aussagen vom Band mit denen des Versuchsleiters verglichen, um mögliche Fehler auszuschließen.

Insgesamt werden neun Zahlen vom Band gesprochen. Der Versuchsperson wird alle vier Sekunden eine neue Zahl vorgegeben. Die Schwierig-

rigkeit der Aufgabe wird durch Anwendung von größeren Zahlen gesteigert. Diese Art von kognitive Sekundäraufgaben wurden bereits in Studien von Kircher et al. [84] und Patten et al. [85] eingesetzt.

VISUELLE SEKUNDÄRAUFGABE

Die visuelle Sekundäraufgabe beruht auf der S-IVIS Pfeilaufgabe des HASTE-Projektes [79]. Dabei wird der Versuchsperson eine Matrix, bestehend aus 4x4 oder 6x6 Pfeilen, die jeweils in vier Richtungen (unten, oben, links und rechts) zeigen können, zusammen mit zwei Antwortfeldern auf einem, in der Mittelkonsole montierten, LC-Touchscreen dargeboten.

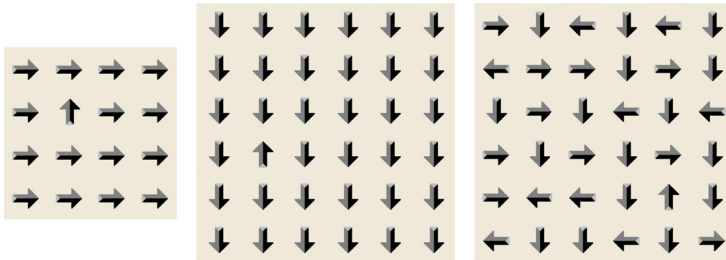
Die visuelle Suchaufgabe besteht darin, festzustellen, ob mindestens ein Pfeil nach oben zeigt. Ist dies der Fall, dann drückt der Versuchsteilnehmer das „ja“- , beziehungsweise das „nein“-Feld auf dem Touchscreen, wenn dieser keinen nach oben gerichteten Pfeil finden kann.

Unabhängig davon, ob der Proband die Antwort am Touchscreen eingegeben hat, wird nach fünf Sekunden eine neue Pfeilmatrix angezeigt. Es werden jeweils sechs verschiedene Suchaufgaben hintereinander eingeblendet, die durch einen Zufallsgenerator erzeugt werden.

Der Beginn der visuellen Sekundäraufgabe wird mit einem kurzen Piepton signalisiert. Neben der Anzahl der korrekten und falschen Antworten wird die Reaktionszeit aufgezeichnet.

In einer Voruntersuchung werden, basierend auf der Reaktionszeit und der Anzahl der korrekten Antworten, drei Schwierigkeitsstufen ermittelt. Abbildung 2.2 stellt jeweils ein Beispiel für eine Schwierigkeitsstufe dar. Dabei kann das Schwierigkeitsniveau in zwei Dimensionen verändert werden. Zum Einen ist es möglich, die Anzahl der gleichzeitig dargebotenen Pfeile zu erhöhen, zum Anderen kann die Pfeilrichtung variiert werden.

Abbildung 2.2: Beispiele für die drei Schwierigkeitsniveaus der visuellen Sekundäraufgabe



HAPTISCHE SEKUNDÄRAUFGABE

Die haptische Sekundäraufgabe besteht darin, möglichst viele geometrische Körper verschiedener Formen durch die jeweils passende Öffnung in eine Sortierbox zu stecken (siehe Abbildung 2.3). Für jeden geometrischen Körper gibt es nur eine passende Öffnung in der Box.

Abbildung 2.3: Sortierbox der haptischen Sekundäraufgabe



Die Sortierbox befindet sich im Bereich der Handbremse. Um die visuelle Zuordnung auszuschließen, ist die Box abgedeckt und damit nicht sichtbar für den Probanden positioniert.

Verschiedene Schwierigkeitsniveaus werden in Voruntersuchungen ermittelt. Den Versuchspersonen stehen immer sechs geometrische Körper zur Verfügung, wovon jeweils zwei Körper einer Form zugehören.

Zuerst sollen lediglich Zylinder in die Sortierbox gesteckt werden. Anschließend folgen die Testpersonen der Aufforderung, entweder dreiseitige Prismen oder Würfel einzusortieren. Im dritten Schwierigkeitsniveau werden abwechselnd dreiseitige Prismen und Würfel in die Öffnungen gesteckt.

Ausgewertet wird die Anzahl der korrekt sowie falsch sortierten geometrischen Körper. Werden andere als die geforderten geometrischen Körper einsortiert, wie zum Beispiel Würfel statt Zylinder, dann wird dies als falsch einsortierter Körper gezählt.

Der Beginn jedes Schwierigkeitsniveaus der haptischen Sekundäraufgabe geht mit einem Piepton einher.

2.3.4 FRAGEBÖGEN

Insgesamt müssen zwei Fragebögen vom Versuchsteilnehmer ausgefüllt werden.

Der erste wird vor Beginn der Untersuchung von den Probanden via Internet ausgefüllt. Dieser enthält neben allgemeinen Fragen zur Person, wie beispielsweise Angaben zum Geschlecht, Alter, Erwerb des Führerscheins, Fahrzeugbesitz, Fahrerfahrung und Technikaffinität, Fragen zur Häufigkeitseinschätzung von Sekundäraufgaben sowie Fragen zum Einfluss dieser Aufgaben auf das Fahrverhalten und somit das Verkehrsgeschehen.

Der nach der Versuchsfahrt ausgehändigte Fragebogen beinhaltet Fragen zur Fahrt im Simulator.

2.3.5 VERSUCHSSTRECKE

Die im Fahr Simulator dargebotene Szenerie ist eine unbeleuchtete Landstraße ohne seitliche Bebauung und ohne Einmündungen oder Kreuzungen (siehe Abbildung 2.4). Die zwei Fahrstreifen sind jeweils 3,25 m breit und werden von einem jeweils 0,2 m breiten Seitenstreifen flankiert. Die beiden Fahrstreifen sind durch zwei durchgehende Mittelmarkierungen mit einer jeweiligen Breite von 0,15 m voneinander abgegrenzt. Fahr- und Seitenstreifen sind durch eine gestrichelte Fahrbahngrenzungsline von 0,1 m Breite voneinander getrennt.

Abbildung 2.4: Ausschnitt aus der Teststrecke



Die Versuchsstrecke setzt sich aus 1,57 km langen Viertelkreisbögen mit einem Kilometer Radius zusammen und verläuft hauptsächlich durch ein Mischwaldgebiet. Am Anfang passiert der Proband ein Geschwindigkeitsschild mit 90 km/h. Um Ablenkung zu minimieren, wird auf weitere Verkehrsschilder auf der Strecke verzichtet.

2.3.6 STICHPROBE

Um an dem Versuch teilnehmen zu können, sollten die Personen zwischen 30 und 55 Jahren alt sein, einen gültigen Führerschein besitzen, regelmäßig Auto fahren und im Durchschnitt mehr als 5000 km im Jahr zurücklegen. Indem Fahranfänger, ältere Fahrer und fahrerunerfahrene Fahrzeugführer von der Untersuchung ausgeschlossen werden, entsteht eine relativ homogene Gruppe. Insgesamt nehmen an der Untersuchung 24 Probanden im Alter zwischen 33-51 Jahren teil. Die Stichprobe besteht aus neun weiblichen und 15 männlichen Personen. Da es schwieriger ist, Frauen freiwillig zur Teilnahme an der Studie zu bewegen, ist der Anteil der Frauen niedriger als der der Männer.

2.4 VERSUCHSABLAUF

Vor der Untersuchung erhalten die Testpersonen per E-Mail generelle Informationen zum Versuch, sowie einen Link zum web-basierten Fragebogen. Dieser wird von den Teilnehmern vor der Versuchsfahrt zu Hause ausgefüllt. Dadurch können die Probanden den Fragebogen ungestört und ohne Zeitdruck ausfüllen. Eventuell aufkommende Fragen werden am Tag der Versuchsfahrt geklärt.

Nach der Begrüßung der Versuchsperson wird der Versuchsablauf erläutert und die Sekundäraufgaben detailliert in Schriftform erklärt. Ausstehende Fragen und Unklarheiten können im Anschluss daran beantwortet, beziehungsweise beseitigt werden. Es ist zwingend erforderlich, dass der Proband die Aufgaben versteht. Daran anschließend wird vom Versuchsleiter mit Hilfe der Eye-Tracking-Software ein Profil von der Versuchsperson erstellt. Erst danach kann das Blickverhalten bestimmt werden. Danach werden die grundlegenden Fahrzeugfunktionen erläutert.

Um sich an das Fahrzeug und den Simulator zu gewöhnen, findet vor der eigentlichen Untersuchung eine fünfminütige Trainingsfahrt statt. Diese startet, sobald der Proband zum ersten Mal eine Geschwindigkeit von 50 km/h überschreitet. Wie im Versuch ist die Geschwindigkeit auf 90 km/h beschränkt. Die Wegstrecke sowie die Fahrumgebung entsprechen denen der Untersuchung. Während des Trainings wird der Fahrer außerdem aufgefordert, den Fahrstreifen mehrmals zu wechseln und Bremsmanöver durchzuführen, so dass sich die Versuchsperson mit dem Simulator und dem Automatikgetriebe vertraut machen kann. Gegenverkehr ist bei der Eingewöhnungsfahrt nicht vorhanden.

Nach der Eingewöhnung startet der eigentliche Versuch. Die Untersuchung beginnt, sobald zum ersten Mal eine Geschwindigkeit von 75 km/h überschritten wird, mit einer jeweils 3,5-minütigen Baselinefahrt sowohl ohne als auch mit vorausfahrendem Fahrzeug. Ein Überholen des vorausfahrenden Fahrzeuges ist nicht gestattet.

Insgesamt wird jede Versuchsperson gebeten, eine kognitive, visuelle und haptische Sekundäraufgabe in jeweils drei verschiedenen Schwierigkeitsstufen und unter den drei folgend genannten Untersuchungsbedingungen auszuführen:

- Versuchsfahrt ohne vorausfahrendes Fahrzeug
- Versuchsfahrt mit vorausfahrendem Fahrzeug
- Baseline Sekundäraufgabe bei Stillstand des Fahrzeuges

Vor Beginn einer Sekundäraufgabe hat die Testperson Zeit sich mit dieser vertraut zu machen. Die Trainingseinheit ist auf eine Dauer von fünf Minuten begrenzt.

Nachdem der Proband die Geschwindigkeitsgrenze von 75 km/h überschreitet, beginnen zunächst 30 s reine Fahrzeit. Danach wechseln sich dreimal 30 s Fahrzeit bei gleichzeitiger Absolvierung der entsprechenden Sekundäraufgabe mit 30 s reiner Fahrzeit solange ab, bis

die entsprechende Sekundäraufgabe in den unterschiedlichen Schwierigkeitsniveaus jeweils einmal durchgeführt worden ist. Der Beginn der Sekundäraufgabe wird, mit Ausnahme der kognitiven Aufgabe, jeweils mit einem Piepton eingeleitet.

Nach Abschluss der entsprechenden Sekundäraufgabe wird die Versuchsperson gefragt, wie gut sie diese erledigt hat und wie sie ihre Fahrleistung bei Ausübung der entsprechenden Aufgabe einschätzt.

Am Ende des Versuchs findet nochmals eine Baselinefahrt ohne Durchführung einer Sekundäraufgabe, sowohl mit und als auch ohne vorausfahrendes Fahrzeug, statt. Die Baselinefahrten zu Beginn und am Ende der Testfahrt dienen dazu, herauszufinden, inwieweit sich das Fahrverhalten über die Zeit verändert hat.

Zum Abschluss der Untersuchung füllt der Proband einen Fragebogen über die Fahrt im Simulator aus.

Wird die Begrüßung der Teilnehmer, die schriftliche sowie mündliche Einweisung in den Versuchsablauf, die Kalibrierung des Eye-Tracking Systems, die Einweisung in das Fahrzeug und den Simulator, die Versuchsfahrt sowie das Ausfüllen eines zweiten Fragebogens zusammengefasst, wird eine Versuchsdauer von ca. zwei Stunden erreicht. Da sich das Fahrverhalten bei zu langen Versuchsfahrten über die Zeit leicht verändern kann und um Ermüdungserscheinungen zu minimieren, wird die Fahrzeit auf eine Stunde begrenzt.

2.5 AUSWERTUNG

2.5.1 STATISTISCHE ANALYSEN

Die Statistiksoftware von IBM SPSS Statistik 19 kommt bei der Auswertung der Sekundäraufgaben sowie der Blick- und Fahrdaten zum Einsatz. Die Fragebogendaten werden deskriptiv ausgewertet.

Durch technische Ausfälle bedingte Verluste der Datenmengen werden vor der Auswertung herausgefiltert.

Bei einer Versuchsperson treten Symptome der Simulatorkrankheit auf, so dass in diesem Fall der Versuch abgebrochen werden musste. Dieser Datensatz wird deshalb bei der Auswertung nicht berücksichtigt.

Boxplots werden zur Identifikation von Ausreißern verwendet. Werte deren Abstand vom 25 %-Perzentil nach unten, beziehungsweise vom 75 %-Perzentil nach oben, mehr als das Zweifache der Boxhöhe beträgt, werden als Ausreißer betrachtet. Etwaige Ausreißer werden aus der weiteren Auswertung ausgeschlossen.

Danach werden die Daten auf Normalverteilung überprüft. Liegt Normalverteilung vor, dann werden diese mit Hilfe des allgemeinen linearen Modells mit Messwiederholung ausgewertet. Falls das allgemeine lineare Modell mit Messwiederholung eine Verletzung des Mauchly-Tests auf Sphärizität aufweist, werden für die entsprechenden Faktoren die Greenhouse-Geisser korrigierten Werte angegeben.

Das Alpha-Niveau wird auf $\alpha=0,05$ festgelegt. Sind die Daten nicht normalverteilt, dann werden sie lediglich deskriptiv ausgewertet.

2.5.2 FAHRDATEN

Die Fahrparameter in Abhängigkeit von den Versuchsbedingungen und den Schwierigkeitsniveaus fassen die Tabellen 2.4 und 2.5 sowohl für die Baselinefahrt als auch für die Fahrten mit entsprechender Sekundäraufgabe zusammen. Im Folgenden wird auf die einzelnen Fahrparameter detailliert eingegangen.

Tabelle 2.4: Mittelwerte (M) und Standardabweichung (SD) der Fahrparameter (Durchschnittsgeschwindigkeit, Standardabweichung der lateralen Position (SDLP) und minimaler Time Headway (THW_{min})) und der Percent road centre (PRC) in Abhängigkeit von der Modalität (Mod) und den Schwierigkeitsniveaus (S-niv) mit vorausfahrendem Fahrzeug

Fahrparameter	Mod	S-niv 1		S-niv 2		S-niv 3	
		M	SD	M	SD	M	SD
Ø-Geschwindigkeit [km/h]	Base.	86,90	4,15	86,16	4,30	86,50	3,84
	Kog.	86,22	4,58	86,01	4,15	86,47	3,11
	Vis.	82,80	5,58	81,67	5,53	81,84	6,47
	Hap.	84,43	4,75	86,59	4,84	85,87	4,46
SDLP [m]	Base.	0,15	0,04	0,16	0,05	0,18	0,05
	Kog.	0,12	0,03	0,15	0,04	0,15	0,02
	Vis.	0,20	0,07	0,27	0,13	0,24	0,11
	Hap.	0,14	0,03	0,17	0,02	0,15	0,04
THW _{min} [s]	Base.	2,22	0,95	2,59	1,01	2,75	1,11
	Kog.	2,92	0,83	2,68	0,90	2,81	1,15
	Vis.	3,11	1,05	3,22	0,89	3,05	0,91
	Hap.	2,42	0,92	2,90	1,01	2,95	1,06
PRC [%]	Base.	76,66	9,06	83,14	6,99	87,57	5,36
	Kog.	84,49	22,14	92,33	9,76	91,04	11,06
	Vis.	56,78	12,36	51,48	6,80	41,75	10,77
	Hap.	89,54	12,99	92,72	7,54	89,21	16,25

Tabelle 2.5: Mittelwerte (M) und Standardabweichung (SD) der Fahrparameter (Durchschnittsgeschwindigkeit und Standardabweichung der lateralen Position (SDLP)) und der Percent road centre (PRC) in Abhängigkeit von der Modalität (Mod) und den Schwierigkeitsniveaus (S-niv) ohne vorausfahrendes Fahrzeug

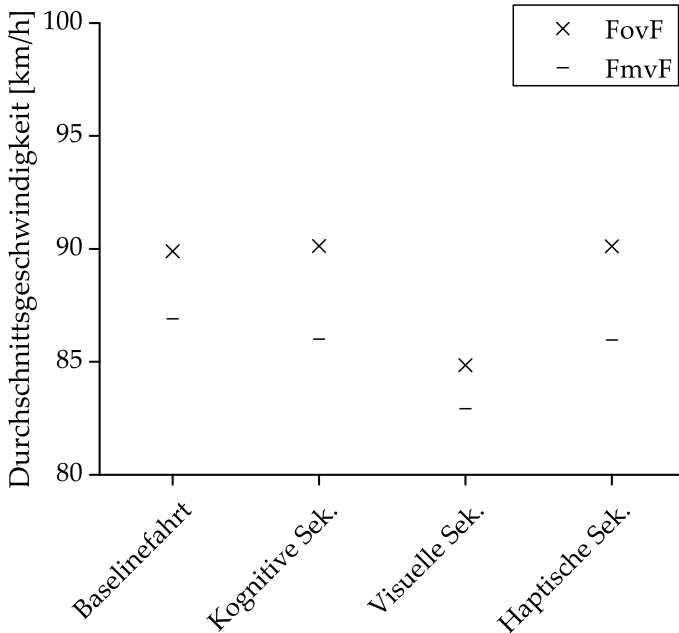
Fahrparameter	Mod	S-niv 1		S-niv 2		S-niv 3	
		M	SD	M	SD	M	SD
Ø-Geschwindigkeit [km/h]	Base.	90,13	2,68	90,09	3,50	91,32	3,62
	Kog.	90,93	4,40	88,93	2,37	89,47	3,44
	Vis.	83,73	5,76	85,25	5,93	85,10	7,97
	Hap.	90,08	6,46	89,22	5,81	90,92	4,18
SDLP [m]	Base.	0,17	0,05	0,20	0,06	0,17	0,05
	Kog.	0,15	0,06	0,16	0,05	0,16	0,04
	Vis.	0,22	0,07	0,24	0,09	0,33	0,15
	Hap.	0,18	0,06	0,17	0,05	0,15	0,04
PRC [%]	Base.	69,94	14,23	77,85	8,24	83,84	10,38
	Kog.	88,78	10,90	83,63	11,53	88,30	12,20
	Vis.	58,13	10,31	48,90	11,91	39,03	10,73
	Hap.	79,07	20,34	89,56	7,37	90,38	6,04

DURCHSCHNITTSGESCHWINDIGKEIT

Im Vergleich zur Fahrt ohne vorausfahrendes Fahrzeug, ist die Durchschnittsgeschwindigkeit signifikant niedriger bei Fahrten mit vorausfahrendem Fahrzeug ($p=0.000$, Mittlere Differenz = 3,640 km/h). Die Durchschnittsgeschwindigkeit ist bei der Fahrt mit visueller Sekundäraufgabe signifikant niedriger, verglichen mit der Baselinefahrt ($p=0.001$, Mittlere Differenz = 5,119 km/h), der Fahrt mit kognitiver ($p=0.009$, Mittlere Differenz = 4,606 km/h) und der Fahrt mit hapti-

scher Sekundäraufgabe ($p=0.001$, Mittlere Differenz = 4,452 km/h) (siehe Abbildung 2.5).

Abbildung 2.5: Durchschnittsgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Versuchsbedingung (Fahrt ohne vorausfahrendes Fahrzeug (FovF) und Fahrt mit vorausfahrendem Fahrzeug (FmvF)) und Modalität



Das allgemeine lineare Modell mit Messwiederholung zeigt einen signifikanten Haupteffekt für die Versuchsbedingung ($F[1,17]=66.109$, $p=.000$) und die Modalität ($F[2,32]=14.280$, $p=.000$). Letztere Ergebnisse der statistischen Auswertung beziehen sich auf die nach Greenhouse-Geisser korrigierten Werte. Es liegen keine signifikanten Interaktionseffekte vor.

Bei vorausfahrendem Verkehr passen die Versuchspersonen ihre Geschwindigkeit an die Verkehrssituation entsprechend an, welches sich

in einer, im Vergleich zur Fahrt ohne vorausfahrendes Fahrzeug, niedrigeren Durchschnittsgeschwindigkeit äußert.

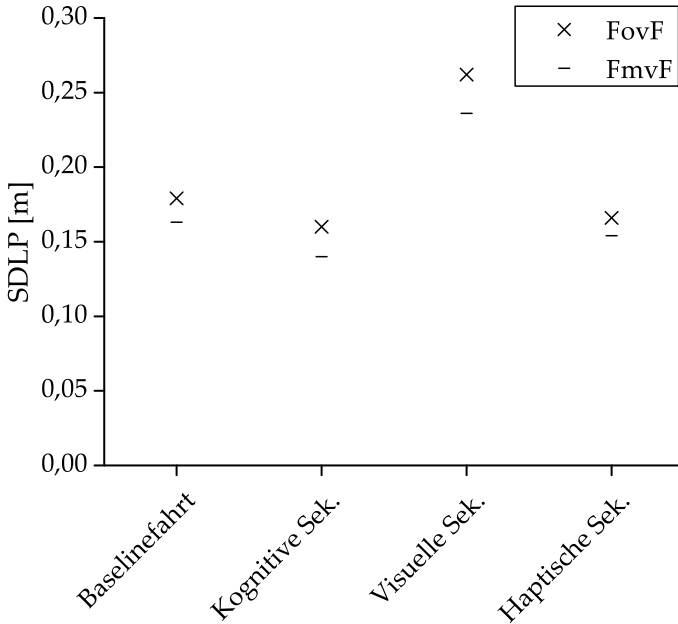
Lediglich bei Fahrt mit visueller Sekundäraufgabe wird im Vergleich zu den anderen Modalitäten eine statistisch signifikant niedrige Durchschnittsgeschwindigkeit gewählt, wonach die erste Hypothese Bestätigung findet, die besagt, dass die Durchschnittsgeschwindigkeit bei Absolvierung der visuellen Sekundäraufgabe sinkt und diese bei den anderen Sekundäraufgaben unverändert bleibt. Die Probanden wählen niedrigere Geschwindigkeiten, um die durch die visuelle Sekundäraufgabe erzeugte Ablenkung zu kompensieren. Die Ergebnisse der Geschwindigkeitsreduktion bei visueller Ablenkung stehen im Einklang mit anderen Studien von beispielsweise Engström et al. [86] und Horberry et al. [38].

STANDARDABWEICHUNG DER LATERALEN POSITION (SDLP)

Die SDLP ist bei Fahrten mit vorausfahrendem Fahrzeug signifikant geringer als bei den Fahrten ohne Verkehr ($p=0.027$, Mittlere Differenz = 0,019 m) (siehe Abbildung 2.6). Bei der Fahrt mit visueller Sekundäraufgabe ist die SDLP signifikant größer, im Vergleich zu der Baselinefahrt ($p=0.001$, Mittlere Differenz = 0,078 m), der Fahrt mit kognitiver ($p=0.000$, Mittlere Differenz = 0,099 m) und haptischer Sekundäraufgabe ($p=0.001$, Mittlere Differenz = 0,089 m). Des Weiteren ist die SDLP der Baselinefahrt signifikant höher als die SDLP bei der Fahrt mit kognitiver Sekundäraufgabe ($p=0.011$, Mittlere Differenz = 0,021 m).

Ein Vergleich der verschiedenen Schwierigkeitsniveaus ergibt einen signifikanten Unterschied zwischen Niveau 1 und 2 ($p=0.030$, Mittlere Differenz = 0,023 m) sowie Niveau 1 und 3 ($p=0.014$, Mittlere Differenz = 0,026 m). Niveau 2 und 3 unterscheiden sich nicht signifikant.

Abbildung 2.6: Standardabweichung der lateralen Position (SDLP) in Abhängigkeit von der Versuchsbedingung (Fahrt ohne vorausfahrendes Fahrzeug (FovF) und Fahrt mit vorausfahrendem Fahrzeug (FmvF)) und der Modalität

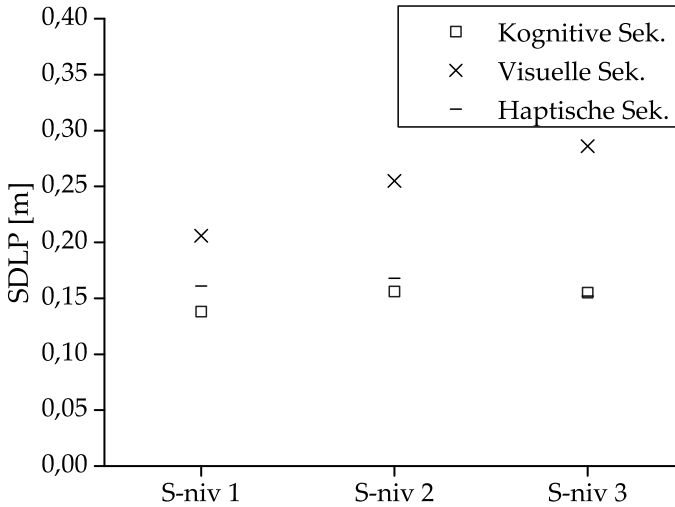


Die SDLP nimmt bei der Fahrt mit visueller Sekundäraufgabe mit dem Schwierigkeitsniveau zu (siehe Abbildung 2.7). Die SDLP bei der Baselinefahrt und die SDLP bei der Fahrt mit kognitiver wie auch haptischer Sekundäraufgabe bleibt annähernd unverändert zwischen den verschiedenen Schwierigkeitsniveaus.

Für die Faktoren Versuchsbedingung ($F[1,13]=6.233$, $p=.027$), Modalität ($F[1,18]=26.525$, $p=.000$) und Schwierigkeitsniveau ($F[2,26]=5.686$, $p=.009$) zeigt sich ein signifikanter Haupteffekt. Signifikante Interaktionen zeigen sich zwischen der Modalität und den Schwierigkeitsniveaus ($F[3,40]=4.4645$, $p=.008$). Für die Faktoren Modalität und Moda-

lität*Schwierigkeitsniveau werden aufgrund der Verletzung der Sphä-
 rizität die nach Greenhouse-Geisser korrigierten Werte angegeben.

Abbildung 2.7: Standardabweichung der lateralen Position (SDLP) in Abhängigkeit von der Modalität und dem Schwierigkeitsniveau (S-niv)



Die statistisch signifikanten Unterschiede der SDLP zwischen den beiden Versuchsbedingungen, könnten darauf zurückgeführt werden, dass sich die Probanden an dem vorausfahrenden Fahrzeug orientieren und dieses als zusätzliche Referenz für die Querführung betrachten, welches mit geringeren Variationen in der Spurhaltung einhergeht.

Die zweite Hypothese besagt, dass die SDLP bei Fahrt mit gleichzeitiger Durchführung einer Sekundäraufgabe zunimmt. Diese These kann nur für die visuelle Sekundäraufgabe bestätigt werden. Am geringsten ist die SDLP bei Fahrt mit kognitiver Sekundäraufgabe. Im Gegensatz dazu ist die SDLP bei Ausübung der visuellen Sekundäraufgabe während der Fahrt schon beim ersten Schwierigkeitsniveau gegenüber den

anderen Modalitäten erhöht. Lediglich die Fahrt mit visueller Sekundäraufgabe erfordert Blickabwendungen vom Verkehrsgeschehen auf das im Fahrzeug montierte Display. Daher ist es nicht verwunderlich, dass sich die SDLP schon ab dem ersten Schwierigkeitsniveau signifikant von den anderen Modalitäten unterscheidet, da es aufgrund der Position des Displays im Fahrzeug für die Probanden bei Fixation des Displays nicht gleichzeitig möglich ist das Verkehrsgeschehen zu überwachen.

Die SDLP bei der Fahrt mit haptischer Sekundäraufgabe unterscheidet sich kaum von der Baselinefahrt. Die Sortierbox, die bei der haptischen Aufgabe verwendet wird, befindet sich rechts neben dem Fahrer im Bereich der Handbremse, so dass die Teilnehmer diese bequem bedienen können, ohne dabei zusätzlich ihren Oberkörper in Richtung der Box bewegen zu müssen. Eine weiter vom Fahrer entfernte Position der Sortierbox könnte durchaus zu einem Anstieg der SDLP führen.

Geringere Variationen in der Spurhaltung bei Absolvierung von kognitiven Sekundäraufgaben stellten bereits Studien von unter anderem Brokkhuis et al. [65], Engström et al. [86] und Horrey et al. [87] fest. Die möglichen Erklärungen dafür sind vielfältig und werden in Kapitel 2.6 vorgestellt.

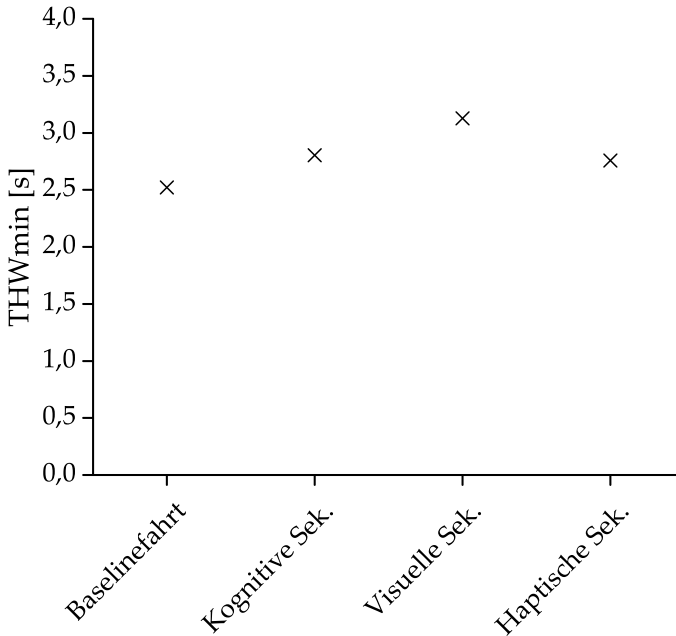
MINIMALER TIME HEADWAY (THW_{MIN})

Der THW bezieht sich auf die Zeit, die ein Fahrzeug zum Erreichen derselben Position des vorausfahrenden Fahrzeugs benötigen würde. Deshalb kann es nur für Fahrten mit vorausfahrendem Fahrzeug berechnet werden.

Der THW_{min} unterscheidet sich signifikant zwischen der Baselinefahrt und der Fahrt mit visueller Sekundäraufgabe ($p=0.004$, Mittlere

Differenz = 0,607 s). Dabei ist der THW_{\min} am niedrigsten bei der Baselinefahrt und am höchsten bei Fahrt mit visueller Sekundäraufgabe (siehe Abbildung 2.8).

Abbildung 2.8: Minimaler Time Headway (THW_{\min}) in Abhängigkeit von der Modalität



Ein signifikanter Haupteffekt ergibt sich für den Faktor Modalität ($F[3,54]=4.255$, $p=.009$). Es sind keine signifikanten Interaktionseffekte vorhanden.

Der minimale Zeitabstand zum vorausfahrenden Fahrzeug ist dann am geringsten (2,5 s), wenn die Probanden nicht von ihrer Fahraufgabe abgelenkt sind. Die Absolvierung einer Sekundäraufgabe während der Fahrt führt zu einer Erhöhung des THW_{\min} , wonach die Hypothese zum Abstandsverhalten bei Absolvierung von Sekundäraufgaben

Bestätigung findet. Dies könnte ein Indiz für Risikokompensation sein, indem die Teilnehmer bei Ablenkung ihren Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug der Situation entsprechend anpassen. Verglichen mit der Baselinefahrt wird der Anstieg des THW_{\min} von 0,6 s auf 3,1 s bei der Fahrt mit visueller Sekundäraufgabe besonders deutlich.

2.5.3 BLICKDATEN

PERCENT ROAD CENTRE (PRC)

Bei der Fahrt mit visueller Sekundäraufgabe ist der PRC signifikant niedriger als der PRC der Baselinefahrt ($p=0.000$, Mittlere Differenz = 30,489 %), der PRC bei Fahrt mit kognitiver ($p=0.000$, Mittlere Differenz = 38,750 %) und haptischer Sekundäraufgabe ($p=0.000$, Mittlere Differenz = 39,070 %) (siehe Abbildung 2.9). Außerdem ist der PRC bei Fahrt mit haptischer Aufgabe signifikant höher als der PRC der Baselinefahrt ($p=0.006$, Mittlere Differenz = 8,581 %).

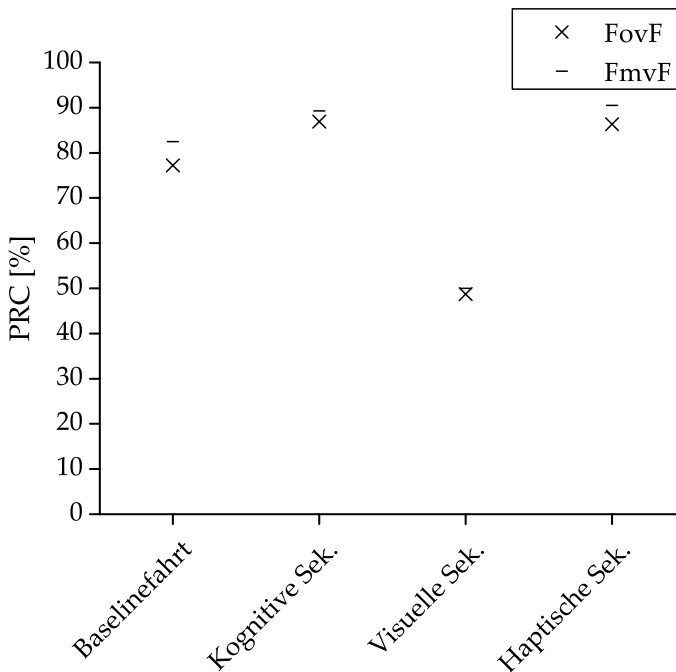
Bei der Fahrt mit visueller Sekundäraufgabe sinkt der PRC mit zunehmendem Schwierigkeitsniveau. Der PRC der anderen Modalitäten während der Fahrt bleibt nahezu unverändert bei Veränderung des Schwierigkeitsniveaus der Sekundäraufgaben.

Es zeigt sich beim Vergleich der Modalitäten ein signifikanter Haupteffekt ($F[3,15]=127.932$, $p=.000$). Des Weiteren zeigt sich ein signifikanter Interaktionseffekt zwischen der Modalität und dem Schwierigkeitsniveau ($F[6,30]=9.6175$, $p=.000$).

Der PRC bezieht sich auf Blicke, die auf das Verkehrsgeschehen gerichtet sind. Lediglich die visuelle Sekundäraufgabe erfordert zwingend Blickabwendungen vom Verkehr auf das im Fahrzeug montierte Display, dadurch sinkt der PRC auf 49,34 %. Mit steigendem Schwierig-

keitsniveau benötigen die Probanden mehr Zeit die visuelle Sekundäraufgabe zu lösen, was sich durch einen mit dem Schwierigkeitsniveau sinkenden PRC entsprechend äußert.

Abbildung 2.9: Percent road centre (PRC) in Abhängigkeit von der Versuchsbedingung (Fahrt ohne vorausfahrendes Fahrzeug (FovF) und Fahrt mit vorausfahrendem Fahrzeug (FmvF)) und der Modalität



Der PRC bei Fahrt mit haptischer (88,41 %) und kognitiver (88,10 %) Sekundäraufgabe liegt ungefähr 8 % höher, als der der Baselinefahrt (79,83 %). Jedoch unterscheidet sich nur der PRC bei der Fahrt mit visueller und haptischer Sekundäraufgabe statistisch signifikant von der Baselinefahrt. Dies ist auf die größere Varianz der Messwerte der kognitiven Sekundäraufgabe zurückzuführen, die bei der Berechnung

der Signifikanz einbezogen wird. Der höhere PRC bei der Fahrt mit haptischer und kognitiver Sekundäraufgabe könnte ein Hinweis auf einen Anstieg der Aufmerksamkeit auf das vordere Verkehrsgeschehen sein, um so die erhöhte Beanspruchung zu kompensieren. Die Ergebnisse bestätigen die Hypothese zum PRC bei Durchführung von Sekundäraufgaben während der Fahrt.

BLICKANZAHL, BLICKZUWENDUNGSZEIT UND MAXIMALE BLICKDAUER

Die im Folgenden ausgewerteten Blickparameter beziehen sich auf den LC-Bildschirm, der lediglich bei der visuellen Sekundäraufgabe zum Einsatz kommt. Tabelle 2.6 fasst die Mittelwerte der einzelnen Blickparameter zusammen.

Tabelle 2.6: Mittelwerte (M) und Standardabweichung (SD) der Blickparameter in Abhängigkeit von den Versuchsbedingungen (Fahrt ohne vorausfahrendes Fahrzeug (FovF) und Fahrt mit vorausfahrendem Fahrzeug (FmvF)) und den Schwierigkeitsniveaus (S-niv)

Blick-param.	Vers-bed.	S-niv 1		S-niv 2		S-niv 3	
		M	SD	M	SD	M	SD
Blick-anzahl	FovF	9,00	2,41	8,67	2,61	10,08	2,31
	FmvF	9,58	2,68	9,00	2,13	11,17	3,86
Blick-zuwendungszeit	FovF	8,37 s	1,74 s	11,33 s	2,39 s	14,40 s	2,66 s
	FmvF	9,02 s	2,26 s	11,35 s	1,96 s	14,34 s	2,60 s
Maximale Blickdauer	FovF	1,54 s	0,41 s	2,15 s	0,44 s	2,38 s	0,46 s
	FmvF	1,61 s	0,44 s	2,17 s	0,40 s	2,29 s	0,42 s

Steigt das Schwierigkeitsniveau an, dann führt dies zu einem Anstieg der Blickzuwendungszeiten, sowie der maximalen Blickdauer. Zwischen den Schwierigkeitsniveaus unterscheidet sich die Blickanzahl ($F[2,22]=6.230$, $p=.007$), die Blickzuwendungszeit ($F[1,14]=65.654$, $p=.000$), als auch die maximale Blickdauer ($F[2,28]=23.262$, $p=.000$) signifikant voneinander. Da das allgemeine lineare Modell mit Messwiederholung eine Verletzung der Sphärizitätsannahme bei der Analyse der Blickzuwendungszeiten ergibt, werden die nach Greenhouse-Geisser korrigierten Werte angegeben. Es ergeben sich keine signifikanten Interaktionseffekte.

Obwohl sich die Blickanzahl der verschiedenen Schwierigkeitsniveaus statistisch signifikant voneinander unterscheidet, sind die Unterschiede in der Blickanzahl vernachlässigbar gering.

Aufgrund der zunehmenden Komplexität der visuellen Sekundäraufgabe mit dem Schwierigkeitsniveau, benötigen die Versuchspersonen mehr Zeit die Aufgaben zu lösen. Dies äußert sich durch längere Blickzuwendungszeiten. Dagegen bleibt die Blickanzahl nahezu unverändert. Daraus resultieren mit steigenden Schwierigkeitsniveau längere maximale Blickdauern. Die Hypothese, die besagt, dass die Blickzuwendungszeit und die maximale Blickdauer auf das Display mit zunehmenden Schwierigkeitsniveau ansteigt, kann damit bestätigt werden.

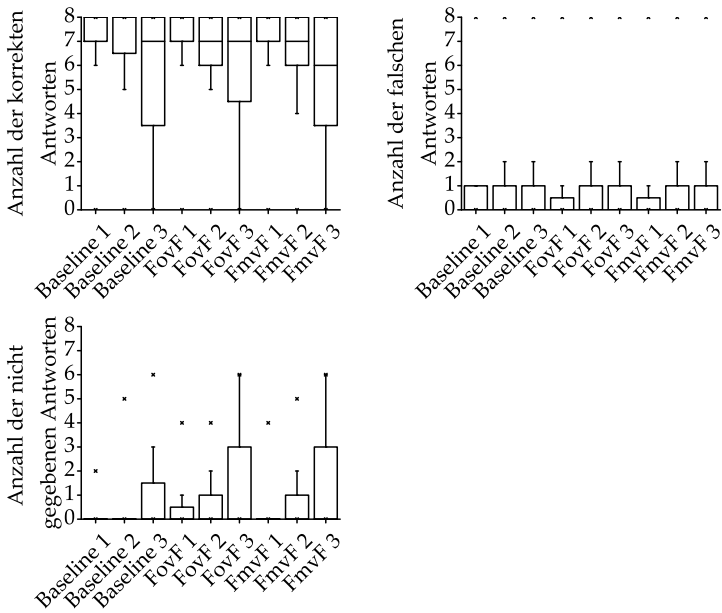
Maximale Blickdauern größer als zwei Sekunden führen nach Zwahlen [88] zu einer Beeinträchtigung der Verkehrssicherheit und tragen zu einer Erhöhung des Unfallrisikos bei. Dieser Wert wird bereits ab dem zweiten Schwierigkeitsniveau überschritten. Deshalb sollten besonders visuell anspruchsvolle Aufgaben während der Fahrt vermieden werden. Falls dies nicht möglich ist, sollten die Bedien- und Anzeigeelemente so gestaltet werden, dass die Informationen in mehreren Blicken mit kurzer Blickdauer, statt wenigen Blicken mit langer Blickdauer, erfasst werden können.

2.5.4 SEKUNDÄRAUFGABEN

KOGNITIVE SEKUNDÄRAUFGABE

Ausgewertet werden die Anzahl der richtigen, falschen und nicht gegebenen Antworten. Da die zugrundeliegenden Daten nicht normalverteilt sind, werden diese lediglich deskriptiv ausgewertet. Die Ergebnisse werden in Form von Boxplots in Abbildung 2.10 zusammengefasst.

Abbildung 2.10: Anzahl der richtigen, falschen und nicht gegebenen Antworten der kognitiven Sekundäraufgabe in Abhängigkeit von den Versuchsbedingungen (Baseline Sekundäraufgabe, Fahrt ohne vorausfahrendes Fahrzeug (FovF) und Fahrt mit vorausfahrendem Fahrzeug (FmvF)) und den Schwierigkeitsniveaus



Mit steigendem Schwierigkeitsniveau sinkt die Anzahl der korrekten Antworten und nimmt die Anzahl der nicht gelösten Rechenaufgaben zu. Die Anzahl der falschen Antworten unterscheidet sich kaum zwischen den einzelnen Schwierigkeitsniveaus. Außerdem gibt es bei den Ergebnissen zwischen den Versuchsbedingungen kaum Unterschiede.

Ein möglicher Grund für die Zunahme der nicht gelösten Rechenaufgaben mit dem Schwierigkeitsniveau könnte die Zeit sein, die zur Lösung der Rechenaufgabe zur Verfügung stand. Diese könnte für einige Probanden nicht mehr ausgereicht haben, um die Aufgabe entsprechend zu lösen. Da die Versuchspersonen bewusst Aufgaben ausgelassen haben, um sich auf das Fahren besser zu konzentrieren, könnte eine andere mögliche Erklärung für den Anstieg der nicht gelösten Rechenaufgaben mit dem Schwierigkeitsniveau sein.

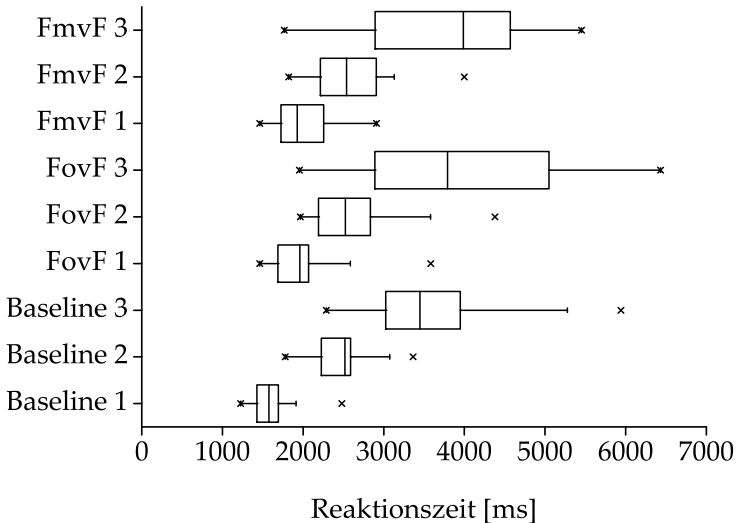
VISUELLE SEKUNDÄRAUFGABE

Neben den in Kapitel 2.5.3 ausgewerteten Blickparametern wird auch die Reaktionszeit, die der Proband zur Eingabe seiner Antwort benötigt, aufgezeichnet. Außerdem wird die Anzahl der korrekten und falschen Antworten ermittelt.

Bei der alleinigen Ausführung der visuellen Sekundäraufgabe (Baseline) sind die Reaktionszeiten signifikant niedriger als bei der Fahrt ohne ($p=0.043$, Mittlere Differenz = 355,200 ms) und mit vorausfahrendem Fahrzeug ($p=0.041$, Mittlere Differenz = 268,359 ms). Zwischen den Versuchsbedingungen unterscheiden sich die Reaktionszeiten nur geringfügig. Eine Erhöhung des Schwierigkeitsniveaus der visuellen Sekundäraufgabe ist mit einem signifikanten Anstieg der Reaktionszeit verbunden (siehe Abbildung 2.11). Paarweise Vergleiche zeigen, dass sich die Reaktionszeiten der Schwierigkeitsniveaus 1 und 2 mit einer

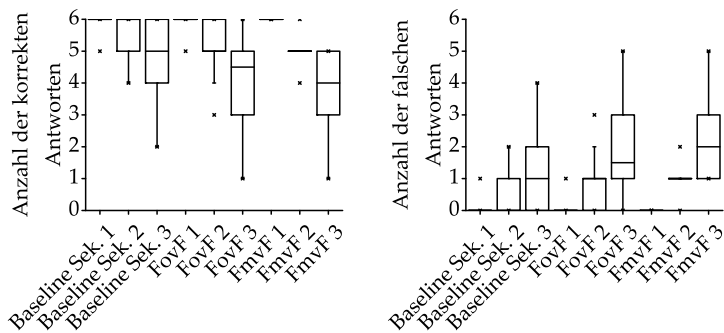
mittleren Differenz von 678 ms signifikant voneinander unterscheiden ($p=.000$). Des Weiteren unterscheiden sich die Reaktionszeiten der Schwierigkeitsniveaus 2 und 3 mit einer mittleren Differenz von 1190 ms signifikant voneinander ($p=.000$).

Abbildung 2.11: Reaktionszeit bei Ausübung der visuellen Sekundäraufgabe in Abhängigkeit von den Versuchsbedingungen (Baseline Sekundäraufgabe, Fahrt ohne vorausfahrendes Fahrzeug (FovF) und Fahrt mit vorausfahrendem Fahrzeug (FmvF)) und den Schwierigkeitsniveaus



Die Reaktionszeiten unterscheiden sich sowohl signifikant zwischen den verschiedenen Versuchsbedingungen ($F[2,38]=4.403$, $p=.019$) als auch signifikant zwischen den einzelnen Schwierigkeitsniveaus ($F[1,25]=64.228$, $p=.000$). Beim Faktor Schwierigkeitsniveau ergibt das allgemeine lineare Modell mit Messwiederholung eine Verletzung der Sphärizitätsannahme, weshalb für diesen Faktor die Greenhouse-Geisser korrigierten Werte angegeben werden. Die Interaktionseffekte sind nicht signifikant.

Abbildung 2.12: Anzahl der richtigen und falschen Antworten der visuellen Sekundäraufgabe in Abhängigkeit von den Versuchsbedingungen (Baseline Sekundäraufgabe, Fahrt ohne vorausfahrendes Fahrzeug (FovF) und Fahrt mit vorausfahrendem Fahrzeug (FmvF)) und den Schwierigkeitsniveaus



Neben der visuellen Sekundäraufgabe führt die Fahraufgabe zu einer zusätzlichen Belastung des Kraftfahrers, welches sich in steigenden Reaktionszeiten, im Vergleich zu den Reaktionszeiten bei alleiniger Durchführung der visuellen Sekundäraufgabe, bemerkbar macht. Mit dem Schwierigkeitsniveau der visuellen Sekundäraufgabe steigt die Belastung des Fahrers, welche sich ebenfalls in höheren Reaktionszeiten widerspiegelt.

Da die Anzahl der korrekten sowie falschen Antworten nicht normalverteilt sind, werden diese ausschließlich deskriptiv ausgewertet. Abbildung 2.12 stellt die Anzahl der richtig und falsch eingegebenen Antworten in Abhängigkeit von den Versuchsbedingungen und den Schwierigkeitsniveaus grafisch dar.

Zwischen den Versuchsbedingungen unterscheiden sich die Ergebnisse kaum. Mit dem Schwierigkeitsniveau nimmt die Fehlerhäufigkeit zu. Zum einen könnte die zur Verfügung stehende Zeit nicht ausreichend sein, um die visuelle Sekundäraufgabe korrekt lösen zu können.

Zum anderen könnte es vorkommen, dass einige Probanden aufgrund des Zeitdrucks und der Komplexität der Pfeilaufgabe sich vertippen oder schlichtweg raten.

HAPTISCHE SEKUNDÄRAUFGABE

Nebst der Anzahl der jeweils richtig und falsch einsortierten geometrischen Körper wird die Zeit ermittelt, die die Teilnehmer durchschnittlich zum Einsortieren von zwei geometrischen Körpern brauchen.

Tabelle 2.7 gibt einen Überblick über die korrekt und falsch zugeordneten geometrischen Körper in Abhängigkeit vom Schwierigkeitsniveau und den Versuchsbedingungen. Die Anzahl der korrekt einsortierten geometrischen Körper nimmt mit steigendem Schwierigkeitsniveau signifikant ab. Die Anzahl der korrekt einsortierten geometrischen Körper der Schwierigkeitsniveaus 1 sowie 2 unterscheiden sich mit einer mittleren Differenz von 0,717 signifikant voneinander ($p=0.027$). Ähnliche Ergebnisse liefert der paarweise Vergleich der Anzahl der korrekt einsortierten geometrischen Körper der Schwierigkeitsniveaus 2 und 3 ($p=0.032$, Mittlere Differenz = 0,833).

Die durchschnittliche Zeit, die zwischen der Einsortierung zweier geometrischer Körper liegt, fasst Tabelle 2.8 zusammen. Je höher der Schwierigkeitsgrad der Sekundäraufgabe ist, desto größer ist die durchschnittliche Zeitspanne, die zwischen der Einsortierung zweier geometrischer Körper liegt. Paarweise Vergleiche zeigen, dass sich die Zeitspanne, die zwischen der Einsortierung zweier geometrischer Körper liegt, sowohl zwischen den Schwierigkeitsniveaus 1 und 2 ($p=0.013$, Mittlere Differenz = 0,535 s) wie auch zwischen den Schwierigkeitsniveaus 1 und 3 ($p=0.000$, Mittlere Differenz = 1,304 s) signifikant unterscheidet.

Tabelle 2.7: Anzahl der korrekt und falsch sortierten geometrischen Körper über alle Probanden in Abhängigkeit vom Schwierigkeitsniveau (S-niv) und den Versuchsbedingungen (Baseline Sekundäraufgabe (Baseline Sek.), Fahrt ohne vorausfahrendes Fahrzeug (FovF) und Fahrt mit vorausfahrendem Fahrzeug (FmvF))

S-niv	Versuchsbedingungen	korrekt einsortiert	falsch einsortiert
1	Baseline Sek.	184	0
	FovF	178	1
	FmvF	174	1
2	Baseline Sek.	154	0
	FovF	159	0
	FmvF	158	0
3	Baseline Sek.	146	1
	FovF	137	7
	FmvF	127	2

Aus der Datenanalyse geht zwischen den unterschiedlichen Versuchsbedingungen kein signifikanter Unterschied hervor. Zwischen den verschiedenen Schwierigkeitsniveaus wird ein signifikanter Unterschied in der Zeitspanne, die zwischen der Einsortierung zweier geometrischer Körper liegt, festgestellt ($F[1,27]=15.146$, $p=.000$). Dabei werden aufgrund der Verletzung der Sphärizitätsannahme die nach Greenhouse-Geisser korrigierten Werte angegeben. Außerdem unterscheiden sich die korrekt sortierten geometrischen Körper zwischen den Schwierigkeitsniveaus signifikant voneinander ($F[2,38]=16.506$, $p=.000$). Es ergeben sich jeweils keine signifikanten Interaktionseffekte.

Mit steigendem Schwierigkeitsniveau benötigen die Probanden mehr Zeit die jeweiligen geometrischen Körper zu finden und diese der Form entsprechend einzusortieren. Im Vergleich zum dreiseitigen Pris-

ma und Würfel, lassen sich die Zylinder aufgrund ihrer Form schneller einsortieren. Deshalb steigt die Zeitspanne, die zwischen der Sortierung zweier geometrischer Körper liegt mit dem Schwierigkeitsniveau an und nimmt gleichzeitig die Anzahl der korrekt sortierten geometrischen Körper ab. Obwohl die Anzahl der falsch einsortierten geometrischen Körper mit dem Schwierigkeitsniveau steigt, ist deren absolute Anzahl gering gegenüber den korrekt einsortierten. Mögliche Gründe für diese Sortierfehler könnten Unachtsamkeit oder nachlassende Konzentration sein.

Tabelle 2.8: Zeitspanne (Mittelwert (M) und Standardabweichung (SD)) zwischen zwei sortierten geometrischen Körpern in Abhängigkeit vom Schwierigkeitsniveau (S-niv) und den Versuchsbedingungen (Baseline Sekundäraufgabe (Baseline Sek.), Fahrt ohne vorausfahrendes Fahrzeug (FovF) und Fahrt mit vorausfahrendem Fahrzeug (FmvF))

S-niv	Versuchsbedingungen	geom. Körper pro Sekunde	
		M	SD
1	Baseline Sek.	3,97	1,02
	FovF	3,98	0,75
	FmvF	4,21	1,13
2	Baseline Sek.	4,58	1,21
	FovF	5,12	2,68
	FmvF	4,95	2,02
3	Baseline Sek.	4,97	1,75
	FovF	5,40	1,90
	FmvF	5,88	2,66

2.5.5 SUBJEKTIVE SELBSTEINSCHÄTZUNG

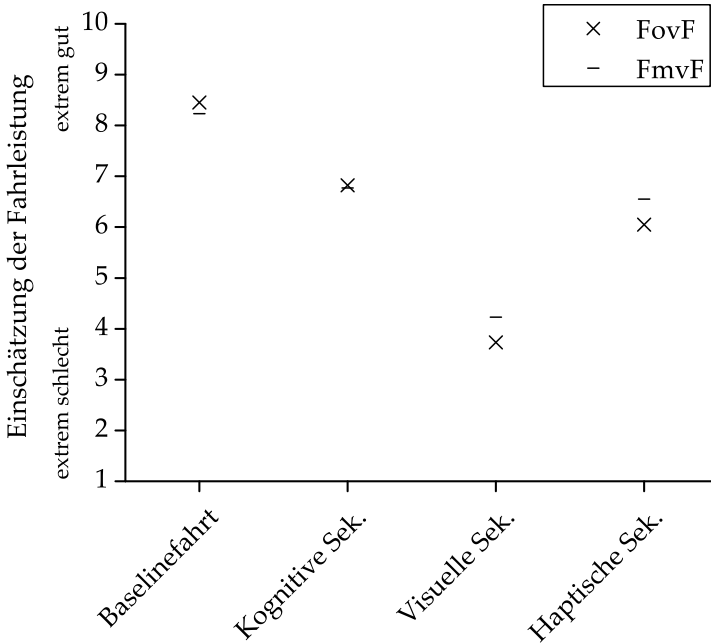
Nach Beendigung der Baselinefahrten und nach der Durchführung der jeweiligen Sekundäraufgabe werden die Probanden gebeten, ihr Fahrverhalten und die Ausübung der Sekundäraufgabe zu beurteilen. Dafür kommt jeweils eine Skala von 1-10 zum Einsatz, wobei „1“ mit „extrem schlecht“ und „10“ mit „extrem gut“ verbunden ist. Die Antwort erfolgt verbal.

Zunächst wird auf die Selbsteinschätzung des Fahrverhaltens eingegangen. Verglichen mit der Baselinefahrt wird das Fahrverhalten nach Einschätzung der Probanden durch Sekundäraufgaben negativ beeinträchtigt. Besonders negativ wirkt sich nach Einschätzung der Versuchspersonen die visuelle Sekundäraufgabe auf das Fahrverhalten aus (siehe Abbildung 2.13).

Paarweise Vergleiche zeigen, dass sich die subjektiv eingeschätzte Fahrleistung der Baselinefahrt signifikant von der Fahrleistung bei Fahrt mit kognitiver ($p=0.007$, Mittlere Differenz = 1,545), visueller ($p=0.000$, Mittlere Differenz = 4,364) und haptischer Sekundäraufgabe ($p=0.000$, Mittlere Differenz = 2,045) unterscheidet. Außerdem unterscheidet sich die empfundene Fahrleistung bei Fahrt mit visueller Sekundäraufgabe signifikant von der Fahrt mit kognitiver ($p=0.000$, Mittlere Differenz = 2,818) sowie haptischer Sekundäraufgabe ($p=0.000$, Mittlere Differenz = 2,318). Kein signifikanter Unterschied besteht in der Bewertung der Fahrleistung zwischen der Fahrt mit haptischer und kognitiver Sekundäraufgabe. Nach der Datenanalyse ergibt sich für den Faktor Modalität ein signifikanter Haupteffekt ($F[3,63]=50.274$, $p=.000$). Die Interaktionseffekte sind nicht signifikant.

Aufgrund der zusätzlichen Beanspruchung, die durch die Sekundäraufgaben während der Fahrt entsteht, bewerten die Versuchspersonen ihre Fahrleistung gegenüber der Baselinefahrt signifikant schlechter.

Abbildung 2.13: Selbsteinschätzung der Fahrleistung der Baselinefahrt sowie der Fahrleistung bei Fahrt mit Sekundäraufgaben (Sek.) in Abhängigkeit von den Versuchsbedingungen (Fahrt ohne vorausfahrendes Fahrzeug (FovF) und Fahrt mit vorausfahrendem Fahrzeug (FmvF))

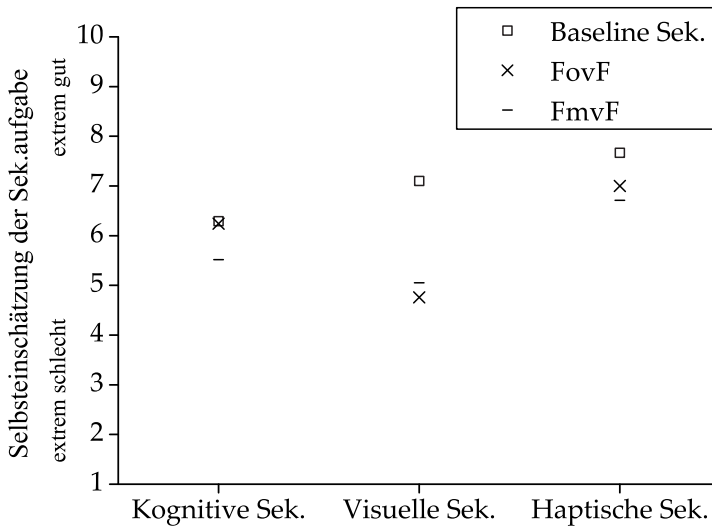


Die visuelle Sekundäraufgabe lenkt die Probanden nach eigenen Einschätzungen am stärksten von ihrer Fahraufgabe ab. Dies ist nicht verwunderlich, da lediglich bei der visuellen Aufgabe die Probanden gezwungen sind ihren Blick auf ein im Fahrzeug montiertes Display zu richten und damit das Verkehrsgeschehen nicht gleichzeitig foveal wahrnehmen können.

Im Folgenden wird die Selbsteinschätzung zur Ausführung der Sekundäraufgabe ausgewertet (siehe Abbildung 2.14). Werden Sekun-

däraufgaben während der Fahrt durchgeführt, dann sinkt die selbst-
eingeschätzte Qualität der Ausübung der Sekundäraufgabe.

Abbildung 2.14: Selbsteinschätzung der Ausübung der Sekundäraufgabe (Sek.) in Abhängigkeit von den Versuchsbedingungen (Baseline Sekundäraufgabe (Baseline Sek.), Fahrt ohne vorausfahrendes Fahrzeug (FovF) und Fahrt mit vorausfahrendem Fahrzeug (FmvF))



Die subjektiv empfundene Bewältigung der Sekundäraufgabe bei Stillstand des Fahrzeugs unterscheidet sich signifikant von der subjektiv empfundenen Bewältigung der Sekundäraufgabe ohne ($p=0.000$, Mittlere Differenz = 1,016) wie auch mit vorausfahrendem Fahrzeug ($p=0.000$, Mittlere Differenz = 1,254). Am schwierigsten empfinden die Probanden die Durchführung der visuellen Aufgabe während der Fahrt, danach folgen die kognitive und schließlich die haptische Sekundäraufgabe, wodurch die letzte These Bestätigung findet. Diese besagt, dass die Ausübung der kognitiven und haptischen Sekundäraufgaben während der Fahrt weniger ablenkend eingeschätzt werden als die

visuelle Sekundäraufgabe. Im Vergleich zur haptischen Sekundäraufgabe wird die Bewältigung der visuellen Sekundäraufgabe signifikant schlechter eingeschätzt ($p=0.003$, Mittlere Differenz = 1,492). Für die Faktoren Versuchsbedingung ($F[2,40]=22.501$, $p=.000$) und Modalität ($F[2,31]=3.750$, $p=.045$) ergibt sich ein signifikanter Haupteffekt. Für den Faktor Modalität werden die nach Greenhouse-Geisser korrigierten Werte angegeben. Es liegen keine signifikanten Interaktionseffekte vor.

Die neben der Sekundäraufgabe bestehende zusätzliche Beanspruchung der Probanden durch die Fahraufgabe führt, im Vergleich zur Durchführung derselben Aufgabe bei Stillstand des Fahrzeugs, zu einer schlechteren Bewertung der Absolvierung der Sekundäraufgabe. Die Differenz in den Selbsteinschätzungen über die Ausübung der Sekundäraufgabe ist bei der visuellen Aufgabe am größten. Obwohl die Teilnehmer die visuelle Aufgabe nicht als schwer einstufen, fällt diese während der Fahrt den Versuchspersonen besonders schwer, da sie ihren Blick vom Verkehrsgeschehen auf das Display richten müssen und in diesen Momenten keine Möglichkeit besteht die Straßenszene zu fixieren. Die kognitive Sekundäraufgabe fällt den Teilnehmern auch schon bei Stillstand des Fahrzeugs schwer, da sie zum einen das Kurzzeitgedächtnis beansprucht, aber auch eine hohe Konzentration erfordert. Die Unterschiede in den Selbsteinschätzungen über die Absolvierung der Sekundäraufgabe sind, bei der kognitiven und haptischen Aufgabe, zwischen der Baseline der Sekundäraufgabe und den Versuchsbedingungen gering.

2.5.6 FRAGEBÖGEN

Die Auswertung bezieht sich auf die Aussagen von 23 Testpersonen. Mittels Fragebogen werden die Probanden vor der Testfahrt gebeten,

einzuschätzen, wie häufig sie sich mit diversen Sekundäraufgaben während Autofahrten mit einer Mindestgeschwindigkeit von 30 km/h beschäftigen. Nahezu 70 % der Teilnehmer beschäftigen sich sehr oft, beziehungsweise ziemlich oft mit einer der in Tabelle 2.9 zusammengefassten Sekundäraufgaben. Weitere 26 % befassen sich ab und zu mit einer dieser Aufgaben. Lediglich 4 % der Versuchspersonen geben an, sich selten mit Sekundäraufgaben während der Fahrt zu beschäftigen.

Weiterhin sollen die Teilnehmer den Einfluss der Sekundäraufgaben auf die Verkehrssicherheit im Vergleich zu Fahrten ohne Ausführung der entsprechenden Sekundäraufgabe abschätzen. 22 % der Probanden geben an, dass sich deren Fahrleistung durch mindestens eine in der Tabelle 2.10 zusammengefassten Sekundäraufgaben bedeutend verschlechtert. Die verbleibenden 78 % schätzen mindestens eine dieser Sekundäraufgaben so ein, dass dabei die Bewältigung der Fahraufgabe geringfügig negativ beeinflusst wird.

Die meisten Probanden beschäftigen sich nach eigenen Einschätzungen mindestens ab und zu während der Fahrt mit Sekundäraufgaben, obwohl sie sich bewusst sind, dass sich diese negativ auf ihre Fahrleistung auswirken können. Dies könnte zum einen daran liegen, dass die Teilnehmer den Einfluss von Sekundäraufgaben auf das Fahrverhalten und damit die Reduktion der Verkehrssicherheit bewusst in Kauf nehmen, indem sie die Folgen unterschätzen, oder aber das erhöhte Unfallrisiko verdrängen.

Tabelle 2.9: Subjektiv ermittelte Häufigkeit von während der Fahrt durchgeführten Sekundäraufgaben

Sekundär- aufgabe	Häufigkeit der Anwendung [%]				
	sehr oft	ziemlich oft	ab und zu	selten	fast nie
Navigations- system bedienen		4,3	21,7	17,4	56,5
Karte lesen			21,7	47,8	30,4
Telefonieren mit Freisprech- anlage	4,3	13,0	30,4	21,7	30,4
Telefonieren ohne Freisprech- anlage	8,7	13,0	30,4	26,1	21,7
SMS schreiben			4,3	21,7	73,9
SMS lesen		4,3	21,7	43,5	30,4
Bedienung Musik- anlage	26,1	30,4	34,8	8,7	
Essen	8,7	13,0	17,4	39,1	21,7
Trinken	13,0	13,0	43,5	30,4	
Schminken, kämmen, rasieren	4,3				95,7

Tabelle 2.10: Subjektiv ermittelter Einfluss von während der Fahrt durchgeführten Sekundäraufgaben auf die Verkehrssicherheit

Sekundäraufgabe	Geschätzte Beeinflussung der Fahrleistung [%]						
	Zunehmende Verbesserung	Leichte Verbesserung	Kein Unterschied	Leichte Verschlechterung	Zunehmende Verschlechterung	Keine Durchführung	Keine Aussage
Navi bedienen	4,3			26,1	13,0	21,7	34,8
Karte lesen				34,8	47,8	17,4	
Telefonieren mit Freisprechanlage			30,4	43,5		8,7	17,4
Telefonieren ohne Freisprechanlage			4,3	73,9	17,4	4,3	
SMS schreiben				13,0	39,1	34,8	13,0
SMS lesen			4,3	34,8	43,5	13,0	4,3
Bedienung Musikanlage			43,5	56,5			
Essen			13,0	60,9	4,3	17,4	4,3
Trinken			26,1	65,2			8,7
Schminken, kämmen, rasieren				4,3	4,3	65,2	26,1

2.6 DISKUSSION

Ziel der Studie ist die Untersuchung und der Vergleich von Auswirkungen unterschiedlicher Sekundäraufgaben auf das Fahr- sowie Blickverhalten. Daraus sollen Indikatoren zur Quantifizierung von Ablenkung im Straßenverkehr abgeleitet werden.

Aufgrund der visuellen Dominanz beim Führen des Fahrzeugs sind die Ergebnisse dieser Untersuchung nicht erstaunlich, so dass die Fahrleistung bei der Fahrt mit visueller Sekundäraufgabe, im Vergleich zur Fahrt mit kognitiver und haptischer Sekundäraufgabe, besonders stark degradiert. Um die visuelle Ablenkung zu kompensieren, wählen die Probanden geringere Geschwindigkeiten und vergrößern den Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug. Kognitive wie auch haptische Sekundäraufgaben beeinträchtigen die Fahrleistung nicht in diesem Ausmaß.

In dieser Untersuchung wird der Fahrer gezielt von der Fahraufgabe abgelenkt. Im Gegensatz dazu ist im realen Straßenverkehr der Fahrer sich oft nicht über seine ablenkenden Aktivitäten bewusst. Alle Testpersonen sind davon überzeugt, dass während der Fahrt absolvierte Sekundäraufgaben sich negativ auf die Bewältigung der Fahraufgabe auswirken können. Die Stärke dieses Einflusses ist von der Modalität und dem Schwierigkeitsgrad der Sekundäraufgabe sowie vom Fahrzeugführer abhängig. Ungeachtet dessen beschäftigen sich 96 % der Probanden, nach eigenen Einschätzungen, mindestens ab und zu mit einer der in Tabelle 2.9 zusammengefassten Sekundäraufgaben während der Fahrt. Es wird vermutet, dass sich die Probanden zum Teil nicht bewusst über das Ausmaß der Degradierung der Bewältigung der Fahraufgabe bei gleichzeitiger Ausübung einer Sekundäraufgabe sind, da sie den negativen Einfluss der entsprechenden Sekundäraufgabe auf die Fahrleistung unterschätzen, diesen Einfluss verdrängen, oder das Risiko der Verschlechterung der Fahraufgabe bewusst einge-

hen, weil ihr Verlangen die Sekundäraufgabe durchzuführen größer als die empfundene Beeinträchtigung der Verkehrssicherheit ist.

Wird eine Sekundäraufgabe während der Fahrt durchgeführt, dann geht dies nach subjektiven Einschätzungen der Probanden mit einer signifikanten Verschlechterung der Bewältigung der Fahraufgabe einher. Verglichen mit kognitiven und haptischen Sekundäraufgaben wird, laut Befragung der Teilnehmer, die Bewältigung der Fahraufgabe durch visuelle Sekundäraufgaben am stärksten negativ beeinflusst. Dies könnte unter anderem ein Grund dafür sein, dass zwischen zwei und sechs Prozent der Fahrzeugführer Mobiltelefone trotz nachweislicher Beeinträchtigungen der Fahrleistung [89] während der Fahrt nutzen.

Die Durchführung der visuellen Sekundäraufgabe fällt den Teilnehmern während der Fahrt besonders schwer, es folgt die kognitive und letztendlich die haptische Sekundäraufgabe. Demzufolge sollten Assistenz-, Informations- und Unterhaltungssysteme so gestaltet werden, dass sie während der Fahrt einfach und intuitiv mit möglichst haptischen Elementen bedient werden können, um für die Fahraufgabe notwendige Blicke in den Fahrzeuginnenraum zu minimieren, so dass der Aufmerksamkeitsfokus hauptsächlich auf dem Verkehrsgeschehen liegt und der Fahrer nicht unnötig von seiner Fahraufgabe abgelenkt wird.

Die Testfahrten finden sowohl mit als auch ohne dem Versuchsfahrzeug vorausfahrenden Fahrzeug statt. Die Versuchsbedingungen unterscheiden sich lediglich in der Durchschnittsgeschwindigkeit und der SDLP signifikant voneinander, wobei bei vorausfahrendem Fahrzeug die Durchschnittsgeschwindigkeit niedriger und die SDLP geringer ist. Um trotz hoher Geschwindigkeiten in gefährlichen Verkehrssituationen entsprechend reagieren zu können, wird ein hohes Maß an Aufmerksamkeit und Reaktionsvermögen des Fahrers gefordert [90]. Eine Aufmerksamkeitsteilung geht mit einem Anstieg der

Reaktionszeit einher, so dass die Kraftfahrer bei einem vorausfahrenden Fahrzeug bewusst oder unbewusst eine niedrigere Geschwindigkeit wählen und so den Sicherheitsabstand vergrößern, um dadurch die negativen Auswirkungen der Distraction zu kompensieren. Die Geschwindigkeit ist nach De Waard ([91] zitiert nach [92]) ein Maß für die empfundene Beanspruchung. Demzufolge wählt der Kraftfahrer geringere Geschwindigkeiten zur Kompensation der hohen Informationsdichte, was zu einer Entlastung der mentalen Kapazität führt.

Da die Peripherie hauptsächlich für die Spurhaltung genutzt wird [93, 94, 95, 96, 97], kann sich der Fahrer bei der Fahrt mit vorausfahrendem Fahrzeug, neben den Mittelmarkierungen und Fahrbahnbegrenzungslinien, zusätzlich an dem vorausfahrenden PKW zur Spurhaltung orientieren. Vorausfahrende Fahrzeuge können nach Salvucci und Gray [98] als eine zusätzliche Referenz für die Querführung herangezogen werden. Dies könnte eine mögliche Erklärung für die signifikant geringeren SDLP bei Vorhandensein eines vorausfahrenden Fahrzeugs sein.

Während des Versuchs beschäftigt sich der Proband mit kognitiven, visuellen und haptischen Sekundäraufgaben. Verglichen mit der Baselinefahrt, der Fahrt mit kognitiver und haptischer Sekundäraufgabe, ist bei der Fahrt mit visueller Sekundäraufgabe die Durchschnittsgeschwindigkeit signifikant niedriger, die SDLP signifikant höher und der PRC signifikant geringer. Um die visuelle Sekundäraufgabe durchführen zu können, müssen die Teilnehmer ihren Blick vom Verkehrsgeschehen auf das, in der Mittelkonsole befindliche, Display richten. Demzufolge verringert sich der PRC. Um dies zu kompensieren reduzieren die Probanden die Geschwindigkeit, dadurch wird beispielsweise bei vorausfahrendem Verkehr ein größerer Sicherheitsabstand erreicht. Gsalter et al. ([99] zitiert nach [92]) zufolge, ist die Reduktion der Geschwindigkeit eine Möglichkeit die empfundene Beanspruchung zu reduzieren und stellt demzufolge eine Art Kompensa-

tionsmechanismus dar. Jedoch können zu starke Abweichungen von der Soll-Geschwindigkeit gefährliche Gefahrensituationen verursachen [100]. Durch die Position des bei der visuellen Sekundäraufgabe eingesetzten Displays können für die Spurhaltung relevante Bereiche nur eingeschränkt wahrgenommen werden, welches sich in einem Anstieg der SDLP äußert. Anhand der untersuchten fahrdynamischen Parameter wird die Dominanz der visuellen Wahrnehmung beim Führen eines Kraftfahrzeuges deutlich. Der PRC bei der Fahrt mit kognitiver und haptischer Sekundäraufgabe ist gegenüber der Baselinefahrt erhöht, welches ein Hinweis auf die Verkleinerung des funktionalen Wahrnehmungsfeldes bei hoher Beanspruchung sein könnte (Tunneleffekt) [101, 102, 103, 104].

Im Gegensatz zur Baselinefahrt, ist die SDLP bei der Fahrt mit kognitiver Sekundäraufgabe signifikant geringer. Den Effekt der geringeren Variationen in der Spurhaltung bei kognitiver Beanspruchung zeigen auch diverse andere Studien [65, 86, 87]. Dafür werden in der Literatur unterschiedliche Erklärungen diskutiert. Da bei kognitiver Beanspruchung die Fahrzeugführer häufiger die Fahrbahnmittle und seltener die peripheren Bereiche der Straßenszene fixieren [105], geht Victor [82] davon aus, dass dieses veränderte Blickverhalten sich positiv auf die Spurhaltung auswirkt. Brookhuis et al. [65] nehmen dagegen an, dass die Steigerung der Aufmerksamkeit bei kognitiver Beanspruchung ursächlich für die geringeren Variationen der Spurhaltung sind. Törnros und Bolling's [106] Erklärung zufolge, bilden die Kraftfahrer einen „virtual safety margin“ zur linken und rechten Seite ihres Fahrzeugs, in der sie das Fahrzeug sicher halten können. Solange sich das Fahrzeug in diesem „Sicherheitskorridor“ befindet akzeptiert der Fahrer Veränderungen in der lateralen Position. Mit zunehmender kognitiver Beanspruchung verschiebt sich diese virtuell gesetzte Grenze zum Fahrzeug, so dass der Fahrer bestrebt ist sein Fahrzeug innerhalb des „Sicherheitskorridors“ zu halten, welches zu einer verbesserten Spur-

haltung führt. Die Geschwindigkeit bei Fahrt mit kognitiver sowie haptischer Sekundäraufgabe unterscheidet sich nicht signifikant von der Baselinefahrt. Wie sich auch in der Untersuchung von Alm und Nilsson [107] zeigt, reduzieren die Versuchspersonen nicht immer ihre Geschwindigkeit bei Durchführung von Sekundäraufgaben. Dahmen-Zimmer et al. ([108] zitiert nach [92]) konnte auch keinen Unterschied in der Geschwindigkeitswahl bei Versuchs- beziehungsweise Kontrollbedingung feststellen.

Die SDLP und der PRC bleiben bei Veränderung des Schwierigkeitsniveaus nahezu unverändert. Die SDLP und der PRC bei der Fahrt mit visueller Sekundäraufgabe bilden eine Ausnahme, indem diese mit dem Schwierigkeitsniveau ansteigen beziehungsweise sinken. Letzteres äußert sich durch einen signifikanten Anstieg der Blickanzahl, der Blickzuwendungszeiten sowie der maximalen Blickdauer auf das Display, welches die visuelle Sekundäraufgabe anzeigt. Ab dem zweiten Schwierigkeitsniveau werden maximale Blickdauern vom Verkehrsgeschehen von mehr als zwei Sekunden erreicht. Maximale Blickdauern von mehr als zwei Sekunden beeinflussen nach Klauer et al. [56] und Zwahlen et al. [88] die laterale sowie longitudinale Kontrolle des Fahrzeuges negativ und führen zu einem signifikanten Anstieg des Unfallrisikos. Zu komplexe visuelle Sekundäraufgaben erfordern längere Blickabwendungen vom Verkehrsgeschehen und sollten deshalb vermieden werden.

Der Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug ist bei Durchführung der visuellen Sekundäraufgabe am größten, für die Baselinefahrt ist dieser am geringsten. Der vergrößerte Sicherheitsabstand bei Absolvierung von Sekundäraufgaben weist darauf hin, dass die Teilnehmer den Abstand der Situation entsprechend anpassen und damit die geteilte Aufmerksamkeit kompensieren.

Ablenkung ist von vielen Faktoren abhängig und keine eindimensionale Größe. Einzelne Indikatoren die auf Ablenkung hinweisen,

wie beispielsweise erhöhte Blickdauern und Blickabwendungszeiten vom Straßenverkehr, können gleichzeitig ein Indikator für andere Zustände, wie zum Beispiel Stress oder Müdigkeit, sein. Deshalb ist es wichtig, sich nicht nur auf die Analyse eines einzelnen Indikators zu beschränken, sondern unterschiedliche Indikatoren in Kombination zu betrachten.

Neben der Analyse und Angabe von objektiven Messwerten sollten immer subjektive Daten erhoben und ausgewertet werden.

Für die Untersuchung kognitiver Beanspruchung eignen sich die SDLP und der PRC. Wird visuelle Ablenkung untersucht, dann sollte eine Analyse des Blickverhaltens nicht fehlen. Die Auswertung der SDLP, PRC und, im Fall eines vorausfahrenden Fahrzeuges, der THW wären eine sinnvolle Ergänzung. Die ausgewerteten dynamischen Fahrparameter sowie das Blickverhalten bei haptischer Ablenkung unterscheiden sich, mit Ausnahme der PRC, nicht signifikant von der Baselinefahrt. Ob Indikatoren wie beispielsweise die Anzahl der Fahrstreifenüberschreitungen, Steering Wheel Reversal Rate oder Throttle Hold, zur Messung von haptischer Ablenkung geeignet sind, müsste darüber hinaus in weiterführenden Studien überprüft werden. Da sich die vorliegende Arbeit auf visuelle Ablenkung konzentriert, wird dieser Ansatz an dieser Stelle nicht weiter verfolgt.

Ablenkungen lassen sich nur selten einer einzelnen Modalität zuordnen. Sehr häufig setzt sich Ablenkung aus diversen Kombinationen von kognitiven, visuellen und haptischen Elementen zusammen. Visuelle Sekundäraufgaben enthalten häufig kognitive und/oder haptische Komponenten. Bei der im Versuch gewählten visuellen Sekundäraufgabe ist dies auch der Fall, indem der Teilnehmer sich für eine Antwort entscheidet und diese auf dem Touchscreen eingibt, werden sowohl kognitive als auch haptische Sinnesempfindungen angesprochen.

Untersuchungen im Simulator zeichnen sich durch eine hohe Flexibilität, Reproduzierbarkeit und Standardisierbarkeit der Versuchsbedin-

gungen aus, die im Feld nicht realisiert werden kann. In diesem Simulatorversuch sind die Probanden aufgefordert ihre Aufmerksamkeit hauptsächlich auf die Sekundäraufgabe zu richten, damit Veränderungen der fahrzeugdynamischen Parameter und Blickparameter bei Ablenkung besser untersucht werden können. Im realen Straßenverkehr wäre ein solcher Versuch aufgrund des hohen Gefährdungspotentials generell nicht möglich. In diesem Fall würden die Kraftfahrer ihre Aufmerksamkeit auf die Sekundäraufgabe lediglich richten, wenn sie über freie mentale Kapazitäten verfügen.

Allerdings muss die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf den realen Straßenverkehr mit weiteren Studien überprüft werden. Um die Auswirkungen visueller Ablenkung auf die Verkehrssicherheit im Feld zu erforschen, wird im Kapitel 3 und 4 beispielhaft das Ablenkungspotential von Nachtsichtsystemen und Werbung untersucht. Aus technischen Gründen konnten allerdings nicht alle Fahrparameter untersucht werden.

KAPITEL 3

BLICKVERHALTEN DURCH KFZ-INTERNE EINFLÜSSE

Das Hauptziel der verkehrspsychologischen Forschung ist die Erhöhung der aktiven und passiven Sicherheit aller Verkehrsteilnehmer und damit die Reduktion der Verkehrsunfälle sowie die Verringerung von Unfallschäden. Da Unfälle nur relativ selten und unregelmäßig geschehen, lassen sich anhand der gewonnenen Unfalldaten nur in beschränktem Maße Erkenntnisse für Interventionsmaßnahmen gewinnen [104]. Risser und Chaloupka [109] gehen davon aus, dass im Vergleich zur Unfallrekonstruktion, mehr Erkenntnisse durch Forschung, welche sich mit der Identifizierung gefährlicher Verhaltensweisen beschäftigt, erreicht werden kann. Eine Alternative zur Unfallanalyse ist die Messung der Fahrerbeanspruchung. Mittels dieser können Belastungsspitzen im Straßenverkehr ermittelt werden, die zu einer Erhöhung des Unfallrisikos führen. Deshalb sollten Fahrerassistenz- und Fahrerinformationssysteme, die den Fahrzeugführer bei seiner Fahraufgabe unterstützen und entlasten sollen, auf ihre Belastungswirkung hin untersucht werden. Neben den objektiven Daten kann auch das subjektive Sicherheitsempfinden ein Indikator für möglicherweise zusätzliche mentale Beanspruchung oder Entlastung sein.

Fahrzeugführer werden heutzutage mit einer immer komplexeren Umgebung konfrontiert. Aufgrund des Informationsüberflusses muss der Fahrer irrelevante von relevanten Informationen trennen, um das Fahrzeug sicher durch den Straßenverkehr zu steuern. Besonders nachts

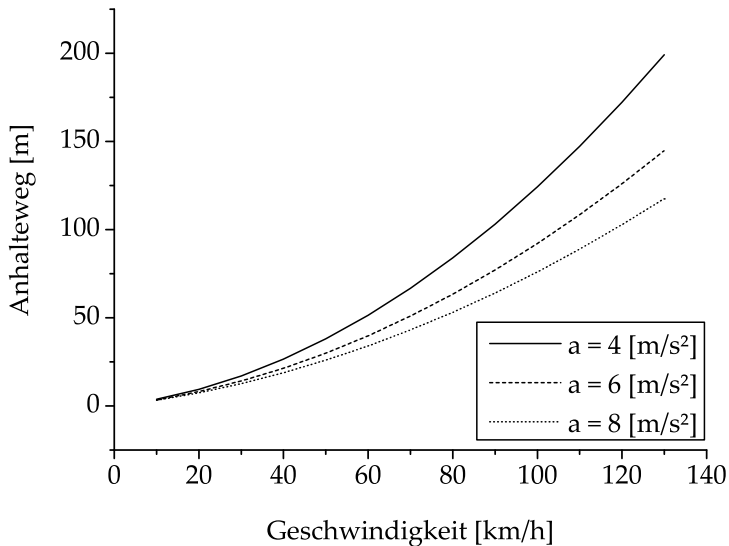
ist die Sicht eingeschränkt. Obwohl weniger als ein Viertel aller Unfälle in der Nacht geschehen [110], ist unter Berücksichtigung des Verkehrsaufkommens das Risiko in einen Unfall verwickelt zu werden nachts zwischen zwei- und viermal höher als tagsüber [111, 112]. 40-50 % der Unfälle sind auf Wahrnehmungsprobleme zurückzuführen [113, 28, 114, 115]. Meist sind sich die Fahrer über die visuellen Einschränkungen nachts nicht bewusst [116], so dass sie ihre Geschwindigkeit den Sehbedingungen nicht entsprechend anpassen [117, 118]. Nach §3 Abs. 1 Satz 2 StVO [119] verpflichtet sich der Fahrer seine Geschwindigkeit den Sichtbedingungen anzupassen, da dies aber nicht immer erfolgt, können zum Teil kritische Situationen oder Objekte nicht rechtzeitig erkannt [120, 121] und damit das Fahrverhalten nicht darauf angepasst werden. In einer von Sprute durchgeführten Befragung [122] gaben lediglich 4,9 % der Fahrzeugführer an, ihre Geschwindigkeit der Sichtweite anzupassen. Die verbleibenden orientieren sich an der zulässigen Höchstgeschwindigkeit.

Eine Geschwindigkeitserhöhung geht mit einem Anstieg des Anhaltewegs einher. Aufgrund des längeren Anhaltewegs bei höheren Geschwindigkeiten sollte nachts ab Geschwindigkeiten höher als 60 km/h möglichst das Fernlicht eingesetzt werden. Abbildung 3.1 stellt den Anhalteweg in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit für unterschiedliche Bremsverzögerungen dar.

Bei dicht vorausfahrenden und entgegenkommenden Fahrzeugen oder wenn es die Sicherheit des Verkehrs auf und neben der Straße fordert, gilt es abzublenden (StVO §17 Abs. 2 Satz 3) [119]. Die Abblendlichtverteilung stellt deshalb einen Kompromiss zwischen einer ausreichenden Ausleuchtung des Verkehrsraums vor dem eigenen Fahrzeug sowie der Blendungsvermeidung und übermäßiger Beeinträchtigung anderer Verkehrsteilnehmer dar (ECE R48 Abs. 2.7.10) [123]. Im Vergleich zur Fernlichtfahrt sind die Sichtbedingungen bei Fahrt mit Abblendlicht stark eingeschränkt. Es werden Erkennbarkeitsentfernungen zwi-

schen 40 und 60 m erreicht [124, 125, 126, 127]; demgegenüber stehen Erkennbarkeitsentfernungen zwischen 130-160 m [128] bei Fahrt mit Fernlicht.

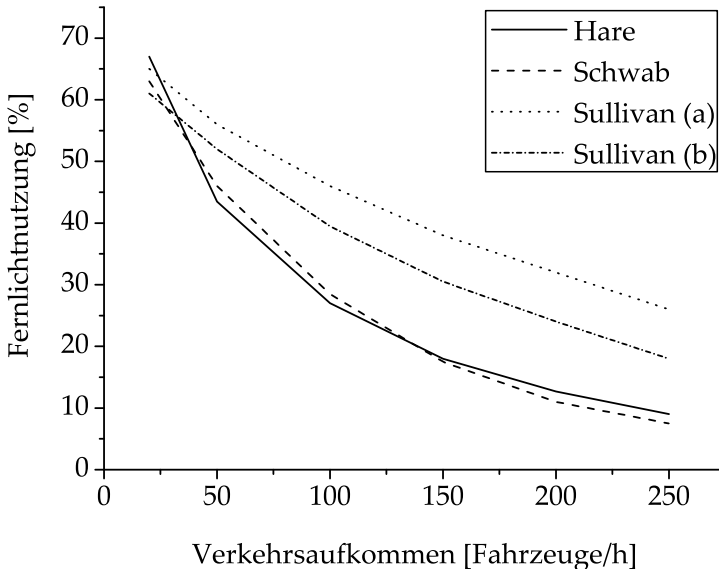
Abbildung 3.1: Anhalteweg für unterschiedliche Bremsverzögerungen (a) in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit bei einer angenommenen Reaktionszeit von 1 s [129]



Fernlicht dient dazu die Fahrbahn auf möglichst große Entfernung auszuleuchten (ECE R48 Abs. 2.7.9) [123], um die Erkennung des Fahrbahnverlaufs, die Detektion potentieller Hindernisse, wie anderer Fahrzeuge oder Fußgänger, und die Lesbarkeit von Verkehrsschildern nachts zu erleichtern [130]. Fernlichtscheinwerfer sind einerseits ein obligatorischer Bestandteil von Kraftfahrzeugen (§50 StVZO [131], ECE R48 Abs.6.1.1 [123]), andererseits gibt es kein Gesetz, das deren Nutzung vorschreibt. Das Fernlicht wird meistens seltener eingesetzt als dies die Verkehrssituation erlaubt hätte [128, 132, 122, 133]. Die Aktivierungsdauer des Fernlichtes ist neben der Verkehrsdichte (siehe

Abbildung 3.2) unter anderem von dem Straßentyp [134, 135] und den Witterungsbedingungen [126] abhängig. Aufgrund des unterschiedlichen Versuchsdesigns diverser Studien zur Fernlichtnutzung (siehe [128, 126, 135, 136, 122, 137]) liegt dessen Nutzungsgrad auf unbeleuchteten Landstraßen zwischen 19 % und 67 %.

Abbildung 3.2: Fernlichtnutzung in Abhängigkeit vom Verkehrsvolumen [126, 136, 137]



Um der Risikoüberhöhung nachts, die durch eingeschränkte Sichtverhältnisse hervorgerufen wird, entgegen zu wirken, werden zurzeit neue lichttechnische Fahrerassistenz- sowie Fahrerinformationssysteme entwickelt. Diese sollen den Fahrzeugführer bei seiner Fahraufgabe unterstützen, entlasten und informieren. Dazu zählt unter anderem das Nachtsichtsystem (NVES), welches zumeist den Informationssystemen zugeordnet wird. Das Wirkpotential zur Vermeidung von Unfällen durch das NVES wird in der Literatur unterschiedlich einge-

schätzt. Die Angaben reichen von einer Reduzierung der Unfalltoten von 20 – 25 % [138], über ein, auf alle Unfälle bezogenes, Wirkpotential kleiner 8 % [139], und einen Abfall von 2 % [140], bis hin sogar zu einem Anstieg der Unfallzahlen um 1 % [141].

NVES lassen sich nach dem Funktionsprinzip zufolge in zwei Arten unterteilen, nämlich in aktive Nahinfrarotsysteme (NIR) und passive Ferninfrarotsysteme (FIR). Tabelle 3.1 stellt die beiden Systeme gegenüber.

In der Fachliteratur finden sich bezüglich der Erkennbarkeitsentfernung von NVES widersprüchliche Ergebnisse. Einige Studien kommen zu dem Ergebnis, dass die Erkennbarkeitsentfernung bei Fahrt mit NVES gegenüber dem Abblendlicht signifikant erhöht wird [150, 151, 152, 153, 154, 155]. Mahlke et al. [156] hingegen konnten in ihrer Untersuchung von sechs verschiedenen NVES keine signifikante Erhöhung der Erkennbarkeitsentfernung im Vergleich zur Fahrt mit Abblendlicht feststellen.

Das Wirkpotential des NVES sollte bei Fahrten mit Abblendlicht, in denen aufgrund der Verkehrslage keine Fernlichtnutzung möglich ist, am größten sein [151]. Oft empfinden Fahrer die Differenz zwischen Abblend- und Fernlicht zu gering und erachten es deshalb nicht für sinnvoll, das Fernlicht zu nutzen oder vergessen das Umschalten [157].

Bisherige Studien zu NVES untersuchten lediglich deren Einfluss auf die Erkennbarkeitsentfernung [150, 151, 156, 152, 153, 154, 155]. Das Blickverhalten und die Nutzung des Fernlichts bei Fahrt mit einem NVES wurden bis dato noch nicht untersucht. Aus diesem Grund wird im Folgenden ein Feldversuch beschrieben, der neben dem Blickverhalten und der Fernlichtnutzung das subjektive Sicherheitsempfinden bei Fahrt mit einem NVES evaluiert. Um das NVES effektiv nutzen zu können, muss der Kraftfahrer das Display nach möglichen Gefahren absuchen. NVES können zum einen zu einer Erhöhung der

Tabelle 3.1: Vergleich aktiver und passiver NVES [142, 134, 143, 140, 144, 145, 146, 147, 148, 149]

Kennzeichen	Aktive NVES (NIR)	Passive NVES (FIR)
λ-bereich	750-3000 nm	6000-30000 nm
Technologie	Reflektierendes Verfahren, CCD-Kameras oder CMOS-Kameras	Thermografie
Einbauort Kamera	Hinter der Windschutzscheibe im Bereich des Rückspiegels	Im Bereich des Kühlergrills
Sonstiges	IR-Scheinwerfer erforderlich	Keine zusätzliche Ausleuchtung der Straßenszene nötig
Reichweite	ca. 150 m	ca. 300 m
Bilddarstellung	Realitätsnah, entspricht weitestgehend der Normalsicht bei Fahrt mit Fernlicht	Warme Objekte werden hell und kalte Objekte dunkel dargestellt; Einzelheiten aus der Umgebung, die keine Temperaturunterschiede aufweisen sind nicht darstellbar, wie z.B. Straßenschilder und Verkehrsschilder; Erfordert höheren Interpretationsaufwand

Verkehrssicherheit beitragen oder zum anderen den Kraftfahrer von seiner Fahraufgabe ablenken, indem die Fahrzeugführer verstärkt beziehungsweise nur noch das Display fixieren und das Fernlicht seltener oder gar nicht mehr aktivieren. Neben den objektiven Daten wird deshalb das subjektive Sicherheitsempfinden als Indikator für die Belastungswirkung analysiert.

3.1 ZIEL UND FRAGESTELLUNG

Ziel dieser Feldstudie ist die Evaluierung des Blickverhaltens und des subjektiven Sicherheitsempfindens bei Fahrt mit einem NVES sowie ein Vergleich der Fernlichtnutzung bei Fahrt mit als auch ohne NVES.

Außerdem wäre ein Vergleich des Blickverhaltens zwischen einem aktiven und passiven NVES sinnvoll. Zum Zeitpunkt der Untersuchung befanden sich lediglich passive NVES auf dem Markt, deren Display in der Mittelkonsole fest installiert war. Displays aktiver NVES waren hingegen immer im Armaturenbrett verbaut, so dass ein direkter Vergleich des Blickverhaltens auf das Display beider Systeme aufgrund der Einbauposition nicht sinnvoll erscheint. Da aktive NVES Bilder erzeugen, die nahezu den Eindruck einer nächtlichen, mit Fernlicht ausgeleuchteten Szene wiedergeben und deshalb ein erhöhter Interpretationsaufwand der dargestellten Informationen nicht zu erwarten ist, wird für diese Studie ein aktives NVES gewählt. Außerdem werden aufgrund der realistischen Darstellung von Experten Bedenken geäußert, dass die Anwender den Blick auf die Straßenszene sicherheitskritisch reduzieren und das NVES zur Orientierung verwenden [156, 158, 159]. Als weitere Gründe für die Beschränkung auf die Untersuchung nur eines NVES sind finanzielle und wirtschaftliche Aufwände anzuführen.

Mittels Feldversuch navigieren die Versuchspersonen ein mit aktivem NVES ausgestattetes Versuchsfahrzeug entlang eines vordefinierten Rundkurses. Dabei wird das Blickverhalten und die Fernlichtnutzung aufgezeichnet. Als Referenz dient eine Fahrt ohne NVES. Im Anschluss an die Testfahrt wird das subjektive Sicherheitsempfinden bei Fahrt mit aktiven NVES mittels Fragebogen erhoben.

Es werden folgende Hypothesen auf ihre Richtigkeit hin überprüft:

- Das untersuchte NVES wird hauptsächlich bei Fahrten außerorts fixiert.
- Die Fernlichtnutzung verringert sich bei Fahrten mit aktivem NVES gegenüber Fahrten ohne NVES.
- Nach subjektiven Einschätzungen der Mehrheit der Probanden zufolge, erhöht das aktive NVES das Sicherheitsempfinden.
- Subjektiven Einschätzungen zufolge, lenkt das aktive NVES die Mehrheit der Probanden nicht von ihrer Fahraufgabe ab.

3.2 VERSUCHSDESIGN

DESIGN

Zur Untersuchung des subjektiven Sicherheitsempfindens, der Nutzung des NVES und der Fernlichtnutzung wird ein 29 km langer Rundkurs gewählt, der von jedem Teilnehmer einmal mit und einmal ohne NVES durchfahren wird. Die Versuchsstrecke verläuft größtenteils über Landstraßen, enthält aber ebenso einen Autobahnabschnitt sowie eine Ortsdurchfahrt. Dafür wird ein Within-Subject-Design gewählt. Die Reihenfolge der Fahrten sowohl mit als auch ohne NVES erfolgt randomisiert, wobei die Reihenfolge der Straßentypen durch

die Teststrecke vorgegeben ist. Als abhängige Variable werden die Blickzuwendungszeit, die Anzahl der Blicke auf das NVES sowie die Fernlichtnutzung erhoben. Fahrparameter können aus wirtschaftlichen und technischen Gründen nicht erhoben werden. Die Versuchsfahrten finden ausschließlich bei trockenen Witterungsbedingungen statt.

BLICKDATEN

Die Blickdaten werden durch Analyse der aufgezeichneten Videos ausgewertet. Dabei wird die Teststrecke in Ortsdurchfahrt, Landstraße und Autobahn unterteilt.

Unter Ortsdurchfahrten werden Abschnitte verstanden, die innerorts liegen und sich durch seitliche Bebauung, Gehwege, ortsfeste Straßenbeleuchtung sowie eine Geschwindigkeitsbegrenzung von 50 km/h auszeichnen. Landstraßen sind unbeleuchtete Streckenabschnitte ohne Randbebauung mit einer Höchstgeschwindigkeit von maximal 100 km/h, ohne Mittelstreifen, mit seitlicher Begrenzung durch Leitpfosten oder Leitplanken, die sich außerorts befinden. Eine Höchstgeschwindigkeit von 130 km/h gilt für den ausgewerteten Abschnitt der Autobahn. Die entgegengesetzt befahrenen Fahrstreifen der Autobahn sind durch einen Mittelstreifen baulich voneinander getrennt. Teile der Versuchsstrecke, die sich nicht eindeutig einer dieser Kategorien zuordnen lassen, werden von der Analyse ausgeschlossen.

Es wird die Blickzuwendungszeit, die maximale Blickdauer sowie die Anzahl der Blicke auf das NVES bestimmt. Unter Blickzuwendungszeit wird die akkumulierte Gesamtzeit verstanden, in der der Proband das NVES fixiert.

Um eine Vergleichbarkeit der Blickzuwendungszeit und der Blickanzahl auf das NVES bei unterschiedlichen Rundenzeiten zu gewährleis-

ten, werden diese für jeden Probanden auf die entsprechende Rundenzeit bezogen. Daraus ergibt sich die prozentuale Blickzuwendungszeit wie auch die durchschnittliche Anzahl der Blicke pro Minute auf das NVES.

FERNLICHTNUTZUNG

Die Fernlichtnutzung wird nur auf der Landstraße ausgewertet, wenn Geschwindigkeiten von 60 km/h überschritten werden. Unterhalb dieser Geschwindigkeit reicht das Abblendlicht aus, um Gefahrensituationen rechtzeitig zu erkennen und um sicher zum Stehen zu kommen.

3.3 VERSUCHSAUFBAU

3.3.1 VERSUCHSTRÄGER

Als Versuchsfahrzeug dient ein Mercedes-Benz S320 CDI mit eingebautem aktiven NVES (siehe Abbildung 3.3).

Abbildung 3.3: Armaturenbrett des Versuchsfahrzeugs mit aktivem Nachtsichtsystem



Drei Kameras werden im Fahrzeug installiert. Die Straßenszene vor dem Fahrzeug wird mit einer Szenenkamera aufgezeichnet. Eine Trackingkamera ist auf das Gesicht des Fahrers gerichtet und nimmt dessen Blickverhalten auf. Die Dritte filmt das Display des NVES. Zudem wird die Fernlichtnutzung während der gesamten Versuchsfahrt geloggt. In einem Messrechner werden die Daten synchronisiert und aufgezeichnet.

3.3.2 FRAGEBÖGEN

Zur Klassifikation unterschiedlicher Personengruppen werden zwei Fragebögen erstellt. Im ersten werden demographische Daten und die Fahrerfahrung erhoben. Der zweite Bogen, der nach der Versuchsfahrt ausgehändigt wird, enthält Fragen zum NVES und zur Fernlichtnutzung. Dazu zählen beispielsweise Fragen zum Nutzungsverhalten, zur Sicherheit und zur Fernlichtnutzung, die auf einer siebenstufigen Likert-Skala beantwortet werden. Dabei wird „1“ mit „trifft überhaupt nicht zu“ und „7“ mit „trifft voll und ganz zu“ gleichgesetzt.

Zur Erkennung von Verzerrungseffekten durch Akquieszenz, der Tendenz Fragen unabhängig vom Inhalt zuzustimmen, werden zum Teil Items im Fragebogen invertiert. Neben positiv formulierten Items werden die gleichen Items in negativer Form dargeboten. Versuchspersonen, die den positiven Items zugestimmt haben, müssten theoretisch die negativen Items ablehnen. Eine erneute Zustimmung lässt auf Akquieszenz schließen [160]. Diese Antworten werden in der Auswertung der Daten nicht berücksichtigt.

Zur Evaluierung des subjektiven Sicherheitsempfindens eines NVES muss der Begriff der Sicherheit eingegrenzt und entsprechend definiert werden. Sicherheit wird charakterisiert durch den Schutz vor bekannter Gefahr, beziehungsweise vor einem kalkulierbaren Risiko [161].

Wird dies auf NVES bezogen, dann ist damit eine Verhinderung von eventuell auftretenden Unfällen aufgrund von eingeschränkten Sichtverhältnissen gemeint.

3.3.3 VERSUCHSSTRECKE

Als Versuchsstrecke wird ein ca. 29 km langer Rundkurs gewählt, der sich aus Ortsdurchfahrten (20 %), Autobahnen (15 %) und unbeleuchteten Landstraßen (65 %) zusammensetzt.

Um eventuell auftretende Störeinflüsse durch Fremdlicht zu minimieren, führen die Landstraßen größtenteils durch Wälder und unbebaute Gebiete.

Die durchschnittliche Rundenzeit beträgt 24 min. Das Verkehrsaufkommen während der Versuche liegt unter 40 Fahrzeugen pro Stunde.

3.3.4 STICHPROBE

Insgesamt nehmen 42 Probanden zwischen 21 und 63 Jahren an der Untersuchung teil, wobei die Geschlechter gleichmäßig über die Stichprobe verteilt sind.

Das Probandenkollektiv wird in zwei gleichgroße Altersgruppen „unter 40 Jahre“ (elf Frauen, zehn Männer) und „mindestens 40 Jahre“ (zehn Frauen, elf Männer) geteilt. 14 % der Probanden waren bereits vor der Untersuchung mit einem aktiven NVES im Automobil vertraut.

3.4 VERSUCHSABLAUF

Die Gesamtversuchsdauer pro Testperson beträgt ungefähr 2 h. Nach dem Ausfüllen des ersten Fragebogens werden die grundlegenden Bedienelemente des Fahrzeugs, mit denen sich der Versuchsteilnehmer während der ca. 25-minütigen Einfahrzeit vertraut machen kann, vorgestellt. Das NVES ist während der Einfahrzeit eingeschaltet. Daran anschließend wird der oben näher beschriebene Rundkurs zweimal durchfahren, einmal mit und einmal ohne NVES. Da das Zu- sowie Abschalten des NVES mit einer Form- sowie Positionsveränderung des Tachometers einhergeht und somit das Blickverhalten beeinflussen könnte, bleibt das NVES während der gesamten Testfahrt eingeschaltet. Während der Referenzfahrt ohne NVES, wird es mithilfe eines Shutters abgedeckt. Nach Abschluss der Versuchsfahrt wird dem Probanden ein zweiter Fragebogen zur Testfahrt und dem NVES ausgehändigt.

3.5 AUSWERTUNG

3.5.1 STATISTISCHE ANALYSEN

Die Auswertung der Daten erfolgt sowohl qualitativ als auch quantitativ. Zur Auswertung der Blickdaten und der Fernlichtnutzung wird die Statistiksoftware von IBM SPSS Statistik 19 verwendet. Die metrischen Daten werden mit Hilfe der einfaktoriellen Varianzanalyse ausgewertet. Dabei werden die Voraussetzungen der Normalverteilung wie auch der Varianzhomogenität erfüllt. Das Alpha-Niveau wird für alle durchgeführten Tests auf $\alpha=0,05$ festgelegt.

Auf einer siebenstufigen Likertskala sollten die Versuchspersonen das Sicherheitsempfinden bei Fahrt mit NVES bewerten. Da die Ant-

wortmöglichkeiten auf dieser Skala ordinalskaliert sind, werden die Fragebogendaten deskriptiv ausgewertet.

Ein Proband fährt während des gesamten Versuchs mit Fernlicht, ein anderer setzt das Fernlicht nie ein. Die entsprechenden Datensätze dieser Teilnehmer werden nicht weiter in der Auswertung berücksichtigt. Ausreißer werden mittels Boxplots ermittelt und von der weiteren Auswertung ausgeschlossen. Liegen Werte mehr als das zweifache der Boxhöhe vom 25 %-Perzentil nach unten, beziehungsweise vom 75 %-Perzentil nach oben, dann werden diese Werte als Ausreißer behandelt.

3.5.2 BLICKDATEN

Die Abbildungen 3.4 und 3.5 stellen die Anzahl der Blicke und die prozentuale Blickzuwendungszeit auf das NVES in Abhängigkeit vom Straßentyp dar.

Das NVES wird am längsten und am häufigsten auf Landstraßen und Autobahnen fixiert. Innerorts wird es hingegen selten genutzt (siehe Tabelle 3.2). Die These zur Nutzung des NVES kann damit bestätigt werden.

Die statistische Auswertung ergibt einen signifikanten Haupteffekt der prozentualen Blickzuwendungszeit auf das NVES ($F[2,118]=5.053$, $p=.008$) sowie der Blickanzahl ($F[2,120]=3,959$, $p=.022$) auf den Straßentyp. Der Bonferroni Post Hoc Test zeigt, dass die prozentuale Blickzuwendungszeit auf das NVES in der Stadt signifikant geringer ist als auf Landstraßen ($p=0.023$, Mittlere Differenz = 2,169 %) und auf Autobahnen ($p=0.019$, Mittlere Differenz = 2,197 %). Die Blickanzahl auf das NVES ist auf der Landstraße signifikant höher als in der Stadt ($p=0.028$, Mittlere Differenz = 1,351 min^{-1}).

Abbildung 3.4: Anzahl der Blicke auf das NVES, Vergleich nach Straßentyp

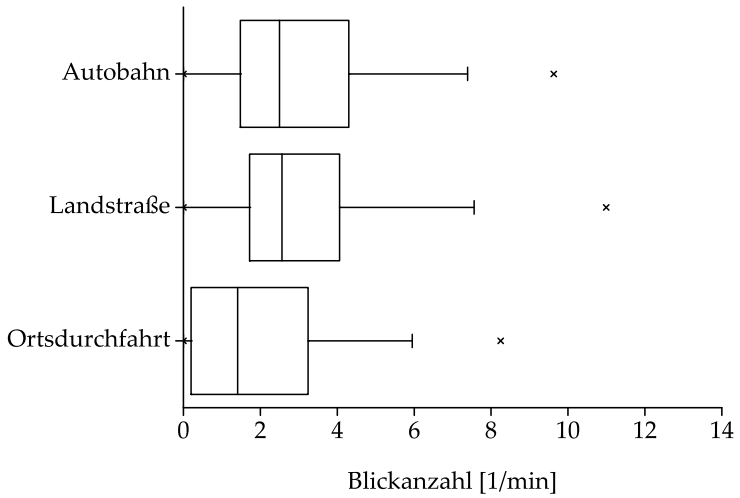


Abbildung 3.5: Prozentuale Blickzuwendungszeit auf das NVES, Vergleich nach Straßentyp

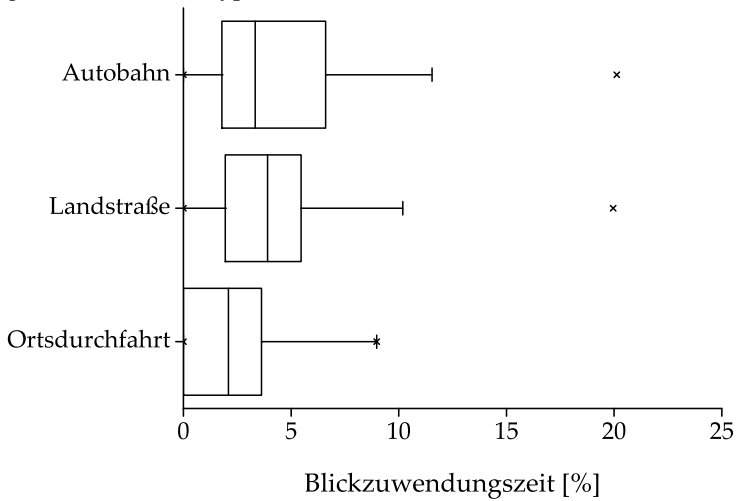


Tabelle 3.2: Mittelwert (M) und Standardabweichung (SD) der prozentualen Blickzuwendungszeit und Anzahl der Blicke auf das NVES nach Straßentyp

Straßentyp	Blickzuwendungszeit [%]		Blickanzahl [min ⁻¹]	
	M	SD	M	SD
Innerorts	2,4	2,5	1,9	2,0
Landstraße	4,6	4,0	3,3	2,7
Autobahn	4,6	4,0	3,0	2,1

Weder die prozentuale Blickzuwendungszeit noch die Anzahl der Blicke auf das NVES unterscheiden sich zwischen den Altersgruppen signifikant.

Aufgrund der stationären innerörtlichen Straßenbeleuchtung bringt das NVES gegenüber Fahrten auf unbeleuchteten Landstraßen und Autobahnen keine Verbesserung der Sichtverhältnisse mit sich, so dass das NVES entsprechend weniger genutzt wird. Im Vergleich zu Landstraßen und Autobahnen steigt innerorts die Anzahl von Objekten im Verkehrsraum signifikant an. Durch die komplexeren Bedingungen stehen dem Fahrer innerorts weniger kognitive Ressourcen zur Verfügung, um das NVES nutzen zu können.

Die Blickzuwendungszeit auf das NVES bei Fahrt entlang einer unbeleuchteten Landstraße liegt im Durchschnitt bei 781 ms mit einer Standardabweichung von 226 ms. Zwahlen [88] zufolge führen maximale Blickdauern von mehr als zwei Sekunden zu einer Beeinträchtigung der Verkehrssicherheit sowie zu einer Erhöhung des Unfallrisikos. Bei 38 % aller Probanden treten maximale Blickdauern auf das NVES von mehr als zwei Sekunden mindestens einmal auf. Wird die Anzahl der maximalen Blickdauern auf das NVES von mehr als zwei Sekunden, auf die Gesamtanzahl der Blicke auf das NVES bezogen, dann wird bei

1,8 % aller Blicke auf das NVES die maximale Blickdauer von zwei Sekunden überschritten. Die maximalen Blickdauern die größer als zwei Sekunden sind, liegen im Bereich zwischen 2040 ms und 31600 ms, wobei 74,8 % davon unter 4400 ms liegen.

Aufgrund der zum Teil langen maximalen Blickdauern, wird der direkte Blick durch die Windschutzscheibe auf das Verkehrsgeschehen durch Fixation des NVES zeitweise komplett ersetzt. In diesen Fällen trägt das NVES nicht mehr zu einer Unterstützung des Kraftfahrers bei, sondern lenkt den Fahrzeugführer von seiner Fahraufgabe ab.

3.5.3 FERNLICHTNUTZUNG

Bei einem Verkehrsaufkommen von weniger als 40 Fahrzeugen wird das Fernlicht, sowohl bei Fahrt mit als auch bei Fahrt ohne NVES, in mehr als der Hälfte der Zeit manuell aktiviert.

Es wäre eine theoretische Aktivierung des Fernlichtes von 64,17 % der Fahrzeit bei Fahrt ohne NVES und 67,47 % der Fahrzeit mit NVES möglich gewesen. Zum Einsatz kommt das Fernlicht bei Fahrt ohne NVES in 56,93 % der Fahrzeit und bei Fahrt mit NVES während 54,55 % der Versuchsdauer.

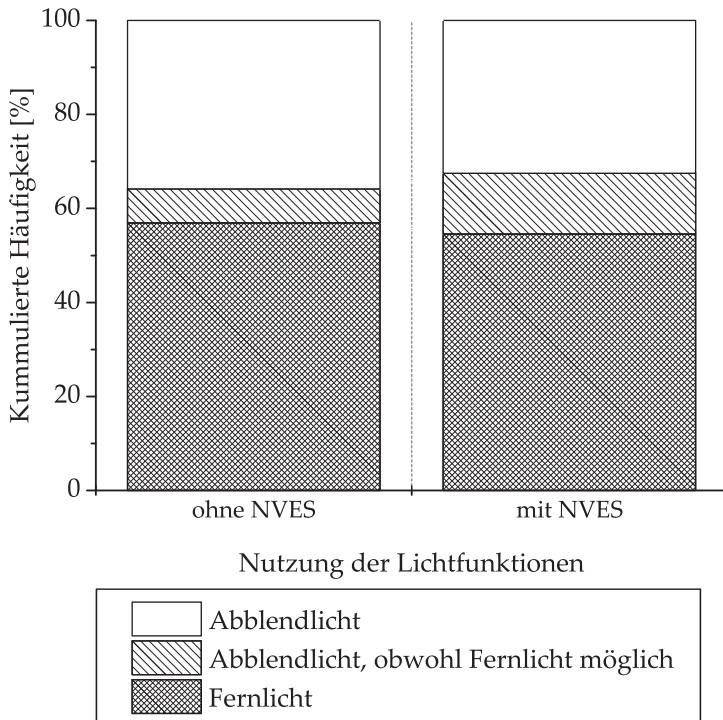
Abbildung 3.6 fasst die Fernlichtnutzung auf einer unbeleuchteten Landstraße ohne seitliche Randbebauung mit und ohne NVES zusammen.

Es werden dabei folgende drei Lichtverteilungen unterschieden:

- Fernlichtnutzung
- Abblendlichtnutzung, obwohl eine Nutzung des Fernlichts möglich gewesen wäre; weder vorausfahrender noch entgegenkommender Verkehr ist vorhanden

- Abblendlichtnutzung, da es die Verkehrssituation erfordert; eine Nutzung der Fernlichtfunktion ist aufgrund von vorausfahrenden beziehungsweise entgegenkommenden Verkehrs nicht möglich

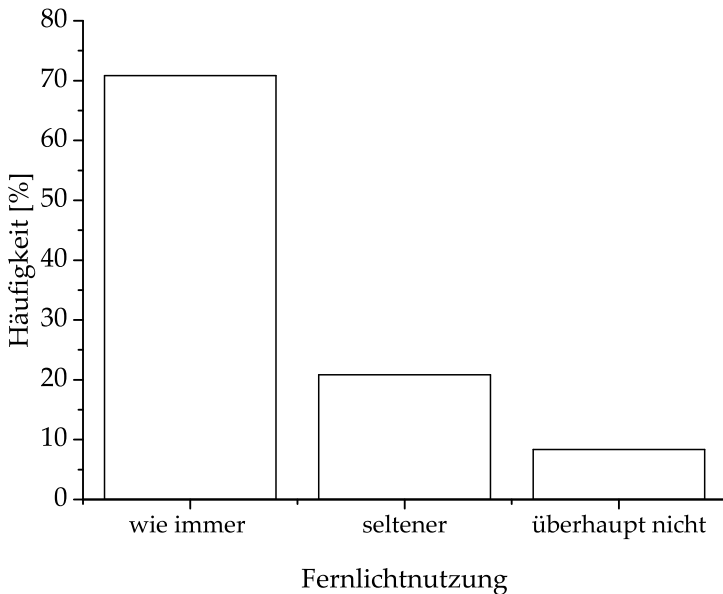
Abbildung 3.6: Fernlichtnutzung auf unbeleuchteten Landstraßen ohne seitliche Bebauung bei Geschwindigkeiten $v > 60$ km/h



Im Vergleich zur Fahrt ohne NVES steigt der Anteil der Abblendlichtnutzung, obwohl die Verkehrssituation eine Fernlichtnutzung zugelassen hätte, signifikant ($F[1,75]=70.958, p=.000$) um 5,68 % bei der Fahrt mit NVES an.

Die ältere Probandengruppe schaltet das Fernlicht signifikant weniger ein, sowohl bei Fahrt mit ($F[1,37]=30.421, p=.000$) als auch bei Fahrt ohne NVES ($F[1,36]=22.585, p=.000$). Die Fahrten mit Abblendlicht, obwohl ein Fernlichteinsatz möglich gewesen wäre, unterscheiden sich nicht signifikant zwischen beiden Altersgruppen. Dagegen fahren die älteren Teilnehmer signifikant mehr mit Abblendlicht bei Fahrten mit ($F[1,37]=22.559, p=.000$) und ohne NVES ($F[1,36]=22.275, p=.000$). 71,43 % der Probanden glauben, dass das NVES keinen Einfluss auf die Aktivierung des Fernlichts hat (siehe Abbildung 3.7).

Abbildung 3.7: Fernlichtnutzung bei Fahrt mit NVES nach Selbsteinschätzung



Bei Fahrt mit NVES tendieren die Versuchspersonen dazu, das Fernlicht seltener zu aktivieren, obwohl dessen Einsatz möglich gewesen wäre. Diese Abschnitte, in denen ein Fernlichteinsatz möglich gewesen

wäre, stattdessen aber das Abblendlicht eingeschaltet war, sind auch genau jene, in denen das NVES am häufigsten fixiert wird (6,1 % der Fahrzeit).

Tabelle 3.3 fasst die prozentuale Blickzuwendungszeit sowie die Anzahl der Blicke auf das NVES in Abhängigkeit der Fernlichtnutzung zusammen.

Tabelle 3.3: Median (M) und Standardabweichung (SD) der prozentualen Blickzuwendungszeit und Blickanzahl in Abhängigkeit der Fernlichtnutzung

Fernlichtnutzung	Blickzuwendungszeit [%]		Blickanzahl [1/min]	
	M	SD	M	SD
Abblendlicht	5,0	4,5	3,9	3,6
Abblendlicht obwohl Fernlichteinsatz möglich	6,1	9,1	3,9	4,7
Fernlicht	4,1	4,9	2,8	2,7

Das Ergebnis zur Fernlichtnutzung bei einem Verkehrsaufkommen von weniger als 40 Fahrzeugen ist mit den Ergebnissen verschiedener Literaturquellen konform [126, 136, 137]. Dennoch hätten die Teilnehmer das Fernlicht häufiger nutzen können. Diese Ergebnisse stehen außerdem im Einklang mit der Studie von Böhm et al. [162], die ebenfalls feststellten, dass das Fernlicht zu wenig genutzt wird, obwohl ein Einsatz des Fernlichts möglich gewesen wäre.

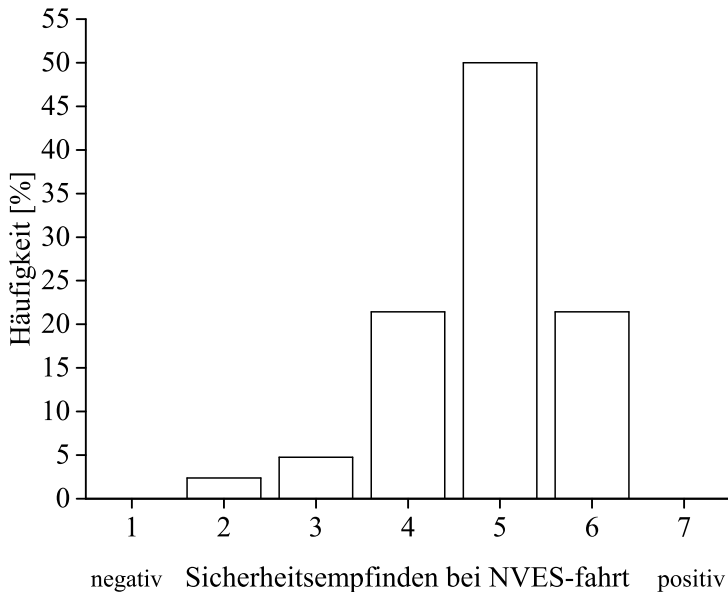
Bei Fahrten mit NVES steigt die Abblendlichtnutzung obwohl eine Fernlichtnutzung möglich gewesen wäre weiter an, wodurch die These zur Fernlichtreduktion bei Fahrt mit NVES Bestätigung findet. Während dieser Zeit wird das NVES am meisten genutzt. Dies könnte

daran liegen, dass die Teilnehmer die geringeren Erkennbarkeitsentfernungen bei Fahrt mit Ablendlicht durch die Nutzung des NVES versuchen zu kompensieren.

3.5.4 FRAGEBÖGEN

Abbildung 3.8 stellt ein Histogramm der Bewertung der Sicherheit für alle Probanden dar.

Abbildung 3.8: Subjektives Sicherheitsempfinden bei Fahrt mit NVES



Der Median der Sicherheitsbewertung des NVES liegt auf der Likertskala bei fünf. Insgesamt bewerten 79% der Versuchspersonen die Sicherheit des NVES als positiv (Wert > „4“ auf der Likertskala) und schreiben diesem einen Gewinn an Sicherheit zu. 17% der Probanden

geben an, dass sie mit Hilfe des NVES Gefahren, wie beispielsweise Tiere und Radfahrer, früher erkennen konnten, wobei diese Aussagen aufgrund der zumeist fehlenden Gefahrensituationen nicht repräsentativ sind, da diese nicht absichtlich herbeigeführt wurden. Der Median der empfundenen Sicherheit bei Fahrt mit NVES unterscheidet sich nicht zwischen den Altersgruppen. Die Bewertungen der älteren Versuchsteilnehmer sind geringer gestreut.

74 % der Probanden fühlen sich nicht durch das NVES von ihrer Fahraufgabe abgelenkt, wodurch die letzte Hypothese Bestätigung findet, die besagt, dass die Mehrheit der Versuchspersonen sich nicht vom NVES ablenken lassen. Lediglich eine Testperson ließ sich, nach eigener Einschätzung, durch das Display von seiner Fahraufgabe sehr stark ablenken. Die verbleibenden 24 % der Teilnehmer fühlen sich geringfügig durch das NVES von ihrer Fahraufgabe abgelenkt.

Positiv bewertet wird, im Vergleich zur direkten Betrachtung durch die Windschutzscheibe, der erhöhte Kontrast der Straßenszene im Display, die erhöhten Erkennbarkeitsentfernungen bei Fahrt mit Abblendlicht, die Einfachheit der Nutzung sowie die frühe Erkennung von Straßenschildern und Straßenbegrenzungspfosten. Kritisiert werden unter anderem der geringe Öffnungswinkel der Kamera, die Position sowie Größe des Displays, die zeitliche Verzögerung des angezeigten Bildes und der hohe Anschaffungspreis. Insgesamt fühlen sich die Versuchspersonen durch das NVES bei ihrer Fahraufgabe unterstützt und sicherer, im Vergleich zur Fahrt ohne NVES. Damit kann die These zum Sicherheitsempfinden bei Fahrt mit NVES bestätigt werden.

3.6 DISKUSSION

Das NVES wird hauptsächlich auf Landstraßen und Autobahnen genutzt. Innerorts wird es hingegen selten von den Teilnehmern fixiert.

Die Ergebnisse des Blickverhaltens stehen mit denen einer Befragung von Fahrzeugbesitzern mit eingebauten NVES im Einklang, der zufolge das NVES den Fahrzeugführer am besten bei Fahrten außerorts unterstützen kann [134]. Das NVES wird kaum im innerstädtischen Bereich zur Unterstützung der Fahraufgabe fixiert. Aufgrund der dort vorherrschenden komplexen Umgebungsbedingungen stehen dem Fahrer keine weiteren ausreichenden kognitiven Ressourcen zur Verfügung, um das NVES nutzen zu können. Durch die stationäre innerörtliche Straßenbeleuchtung werden, im Vergleich zu unbeleuchteten Straßen, höhere Erkennbarkeitsentfernungen erzielt, so dass der Fahrer keine zusätzliche Verbesserung der Sichtverhältnisse durch das NVES erwartet und dieses dementsprechend weniger nutzt.

Aufgrund der zum Teil sehr hohen maximalen Blickdauern auf das Display kann davon ausgegangen werden, dass mehrere Testpersonen den direkten Blick durch die Windschutz- und Seitenscheiben auf das Verkehrsgeschehen durch Fixation des NVES zeitweise komplett ersetzen und damit durch das NVES abgelenkt sind. In diesen Fällen trägt das NVES nicht mehr zu einer Unterstützung des Kraftfahrers bei seiner Fahraufgabe bei.

Das durch die zum NVES zugehörige Kamera aufgenommene Bild entspricht nicht dem Blickfeld des Fahrers, da die Kamera die Straßenszene aus einer anderen Perspektive heraus aufnimmt, einen begrenzten Öffnungswinkel hat und das Bild stark verkleinert wiedergibt. Dabei steht dem Fahrer ein erheblich größeres Blickfeld zur Verfügung, wenn er die Straßenszene durch die Windschutz- und Seitenscheiben wahrnimmt. Angesichts dieser geschilderten Nachteile des NVES sollten Fixationen des NVES nicht die direkten Fixationen des Verkehrsraums ersetzen.

Gegenüber NVES haben Warnsichtsysteme, wie beispielsweise Markierungslicht oder die adaptive Lichthupe, den entscheidenden Vorteil, dass der Kraftfahrer seinen Blick nicht vom Verkehrsgeschehen auf ein

Display abwenden muss und dennoch im entscheidenden Moment vor kritischen Situationen gewarnt wird. Dies ist beim untersuchten NVES nicht gegeben, da dieses dem Fahrzeugführer ständig zur Verfügung steht und dem Fahrer nicht mitteilt, wann er seine Aufmerksamkeit auf das Display richten sollte. Außerdem werden bei Verwendung von Warnsichtsystemen im Vergleich zum Abblendlicht signifikant höhere Erkennbarkeitsentfernungen erreicht [163, 164, 165, 166, 167, 168].

Das Fernlicht kommt während 56,93 % der Fahrzeit ohne NVES und in 54,55 % der Fahrzeit mit NVES auf unbeleuchteten Landstraßen ohne seitliche Bebauung zum Einsatz, dennoch wird dieses immer noch seltener eingeschaltet als es möglich wäre. Besonders deutlich wird das bei Fahrt mit NVES. Hierbei steigt, im Vergleich zur Fahrt ohne NVES, die Nutzung des Abblendlichtes signifikant an. Während dieser Zeit wird das NVES am meisten genutzt. Dennoch sollte ein NVES nicht zu einem Rückgang der Fernlichtnutzung führen, da durch Konzentration auf das Display die Aufmerksamkeit auf Ereignisse außerhalb des NVES vermindert wird [169] und damit beispielsweise wichtige Änderungen im Blickfeld übersehen werden können [170]. Eine weitere Gefahr des NVES besteht darin, dass die Fahrer lediglich nach dem Display fahren [171, 158, 172], was auch bei mehreren Teilnehmern für längere Zeiträume der Fall war. Allerdings kann ein NVES den Fahrzeugführer nur dann bei seiner Fahraufgabe unterstützen, wenn dieser seine Aufmerksamkeit im entscheidenden Moment auf das Display lenkt und, falls notwendig, entsprechende Maßnahmen ergreift.

Nicht fahrrelevante Informationen sollten auf ein Minimum beschränkt werden. Lediglich für die Fahraufgabe relevante Informationen sollten hervorgehoben werden, so dass diese auch über periphere Wahrnehmung erkannt werden können. Um die durch das System hervorgerufene Ablenkung zu senken, kann sich beispielsweise auf die Anzeige kritischer Objekte oder Ereignisse beschränkt werden [173],

was eine gute Bildverarbeitung voraussetzt. Der Fahrer braucht somit das Display nur in kritischen Situationen fixieren. Eine akustische Warnung stellt eine weitere Möglichkeit dar, den Fahrer vor potentiellen Gefahrensituationen rechtzeitig zu warnen [174]. Dennoch ist eine Akzeptanz dieser Systeme stark von der Reliabilität der Warnungen und der Anzahl an Fehlalarmen abhängig. Daher sollten Strategien zur Minimierung der Risiken entwickelt werden und zugleich die Potentiale dieser Systeme genutzt werden. Ein kontaktanaloges Head-Up Display, welches Warnungen und Informationen über die Windschutzscheibe dem Fahrer direkt in das Sichtfeld in unterschiedlich empfundenen virtuellen Entfernungen projiziert, wäre eine mögliche Alternative [175, 176]. Diese Systeme befinden sich allerdings noch in der Entwicklung [177].

Durch eine unnötige Reduzierung der Fernlichtnutzung steigt das Unfallrisiko an. Die durchschnittliche Nutzung des Fernlichts kann mithilfe eines Fernlichtassistenten gesteigert werden. Eine adaptive Hell-Dunkel-Grenze führt zu einer weiteren Erhöhung des Fernlichtanteils. Der Vorteil gegenüber dem Fernlichtassistenten steigt mit der Verkehrsdichte [178, 179]. Blendfreies Fernlicht, das beispielsweise durch eine vertikale Hell-Dunkel-Grenze oder Pixellicht realisiert wird, ermöglicht das Fahren mit Fernlicht ohne dabei entgegenkommende oder vorausfahrende Fahrzeuge zu blenden [180, 181].

Die Mehrzahl der Probanden steht dem NVES positiv gegenüber (vergleiche [134, 182, 183, 154, 184]). Allerdings hängt dies einerseits von der Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle und andererseits von den potentiellen Risiken des Systems, wie steigende Geschwindigkeit [185, 186], ansteigender Workload, [187, 188] und zunehmende Ablenkung [153] ab. Mit der Vermeidung potentieller Risiken steigt die Stärke des NVES.

Das subjektive Sicherheitsempfinden bei Fahrt mit NVES unterscheidet sich nicht zwischen den beiden Altersgruppen. Besonders ältere

Verkehrsteilnehmer sind nachts von den eingeschränkten Sichtbedingungen betroffen. Mit zunehmendem Alter steigt unter anderem die Blendempfindlichkeit, verringert sich die Kontrastempfindlichkeit und nimmt die Fähigkeit zur Anpassung an geringe Beleuchtungsniveaus ab [189, 190, 191, 192, 193, 121, 194, 154]. Deshalb stellt das NVES für die Mehrzahl der älteren Fahrzeugführer ein Gewinn an subjektiver Sicherheit dar [155]. Jüngere Fahrzeugführer sind zumeist aufgeschlossener gegenüber neuen Technologien und vertrauen auf die Technik, was sich in der positiven Bewertung des Sicherheitsempfindens bei Fahrt mit NVES widerspiegelt.

Im Vergleich zur direkten Fixation des Verkehrsraums durch die Fahrzeugscheiben, steht dem Kraftfahrer bei Nutzung des NVES nur ein verkleinertes, leicht versetztes Abbild der Straßenszene zu Verfügung. NVES liefern überwiegend redundante Informationen über das Verkehrsgeschehen vor dem Fahrzeug. Diese können zum einen den Fahrer bei seiner Fahraufgabe unterstützen, wenn dieser seinen Blick im entscheidenden Moment auf das Display richtet. Zum anderen kann das NVES den Fahrer ablenken, indem dieser seine Aufmerksamkeit hauptsächlich auf das System richtet und dabei zugunsten des NVES auf eine Fernlichtnutzung verzichtet.

Bei Fernlichtfahrt werden, im Vergleich zum NVES, höhere Erkennbarkeitsentfernungen erreicht. Deshalb sollte das Fernlicht, wenn es die Verkehrssituation zulässt, immer eingesetzt werden. Im untersuchten Fall wird das Display des NVES hauptsächlich bei Fahrt mit Abblendlicht genutzt, obwohl eine Fernlichtnutzung möglich gewesen wäre. In diesem Fall wird der Kraftfahrer durch die redundanten Informationen des NVES abgelenkt. Andererseits werden durch das NVES, welches eher den Informationssystemen zuzuordnen ist, durchaus sicherheitsrelevante Informationen dargestellt, was die Probanden als positiv bewerten. Deshalb wäre es wünschenswert, wenn der Kraftfahrer seinen Blick nur dann auf das Display richtet, wenn darauf

sicherheitsrelevante Informationen zu erkennen sind, die schneller über das NVES erkannt werden können, als bei direkter Fixation der Straßenszene durch die Fahrzeugscheiben. Die Anzahl an verwirrenden Einzeldetails auf dem Display des NVES tragen nicht zu einer schnellen Identifikation von potentiellen Gefahrensituationen bei und sollten daher stark reduziert werden und sich auf die Anzeige und Hervorhebung kritischer Situationen beschränken.

KAPITEL 4

BLICKVERHALTEN DURCH KFZ-EXTERNE EINFLÜSSE

Der Straßenverkehr ist in den letzten Jahren immer komplexer geworden. Dazu tragen unter anderem die zunehmende Anzahl von Werbeträgern bei, die zu einer Ablenkung des Fahrzeugführers von seinen Fahraufgaben führen können [195]. Hauptsächlich handelt es sich dabei um visuelle Ablenkung. Werbung am Straßenrand verfolgt das Ziel die Aufmerksamkeit der Verkehrsteilnehmer auf sich zu ziehen, um eine Botschaft zu vermitteln, die zumeist nicht relevant für die Fahraufgabe ist. Je auffälliger die Werbung ist, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit Aufmerksamkeit zu erregen. In den meisten Ländern gibt es Gesetze und Richtlinien zur Installation von Werbung am Straßenrand, die zum Teil sehr unterschiedlich sind. Damit werden unter anderem Anforderungen an Standorte (beispielsweise Vermeidung von Kreuzungen, Platzierung von Werbung außerhalb geschlossener Ortschaften), Größe und Leuchtdichte der Werbefläche sowie Länge und Schriftgröße der Werbebotschaft definiert und festgesetzt [196, 63, 197].

Unfallhäufigkeiten werden meist als ein Indikator der Verkehrssicherheit herangezogen. Weil der Kraftfahrer überflüssige oder bereits genutzte Informationen noch im Gedächtnis behält, treten häufig Fehler auf, die zu Unfällen führen können. Aufgrund der begrenzten Speicherkapazität des Kurzzeitgedächtnisses kann dadurch die Aufnahme von neuen fahrrelevanten Informationen gestört werden [198]. Deshalb haben zahlreiche Studien den Einfluss von Werbung auf das

Unfallgeschehen untersucht [199, 200, 201, 196, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209] . Da sich die Auswertung vieler Untersuchungen lediglich auf Korrelationen beschränkt, lassen sich daraus keine kausalen Beziehungen ableiten. Des Weiteren geschehen Unfälle relativ selten und unregelmäßig. Kritische Situationen entstehen durch das Zusammenspiel zwischen Fahrer, Fahrzeug und Infrastruktur, so dass die Zuschreibung einer einzelnen Ursache als Unfallauslöser nur in Ausnahmefällen möglich ist. Obwohl die Ergebnisse der Studien sich zum Teil widersprechen, kann davon ausgegangen werden, dass Werbung an bestimmten Stellen und unter bestimmten Bedingungen den Fahrer ablenken kann [210, 211] und somit eine nachweisbare unfallbegünstigende Wirkung haben könnte.

Ergebnisse aus Simulatorstudien zeigen, dass sowohl wechselnde Werbebotschaften als auch die Platzierung der Werbung im Verkehrsraum das Fahrverhalten beeinflussen, welches sich unter anderem durch erhöhte Schwankungen der lateralen Position und einer geringeren Geschwindigkeit beim Vorbeifahren bemerkbar macht [212, 213, 214, 215, 47, 216, 217]. Dass Werbung die visuelle Aufmerksamkeit auf sich zieht und damit das Blickverhalten beeinflusst, konnte durch einige Eye-Tracking Studien bereits nachgewiesen werden [218, 214, 219, 215, 220, 221, 222, 223, 211, 224, 216, 217].

Steigt die Anforderung an die Informationsverarbeitung, dann sinkt die Anzahl der in der Peripherie wahrgenommenen Reize [225]. Je mehr visuelle Reize vorhanden sind, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass der Fahrzeugführer abgelenkt wird und verkehrsrelevante Schilder übersieht [226, 47, 227, 228]. Die Reaktionszeit des Fahrers erhöht sich bei gleichzeitigem Vorhandensein von Werbeträgern und Verkehrsschildern im Verkehrsraum, welches mit einem Anstieg des Reaktionsweges einhergeht [229, 53, 230]. Erhöht sich die Reaktionszeit zum Beispiel um 1 s bei einer Geschwindigkeit von 70 km/h dann verlängert sich der Reaktionsweg um 19,5 m.

Aufgrund der vielen Lichtreize besteht besonders in den Dunkelstunden die Gefahr, dass wegen Reizüberflutung die für den Verkehr wichtigen Signale nicht oder zu spät wahrgenommen werden [231]. Die Kraftfahrer kommen bisher zumeist mit dieser Vielzahl von Signalen zurecht. Allerdings stellt sich dabei die Frage, inwieweit weitere Lichtsignale, wie beispielsweise selbstleuchtende Werbeträger in Form von elektronischen Werbetafeln, zu einer Reizüberflutung führen und somit eine Gefährdung des Verkehrs darstellen.

Bisher sind weder Richtlinien noch Standards vorhanden, die das Ablenkungspotential außerhalb des Fahrzeugs quantifizieren und im Hinblick auf die Verkehrssicherheit bewerten. Um den Einfluss von elektronischen Werbetafeln (ERS) auf die Verkehrssicherheit zu untersuchen, wurden 2009 von der schwedischen Regierung temporär zwölf ERS an Autobahnen erlaubt. Ziel der in den folgenden Kapiteln näher beschriebenen Untersuchung ist die Analyse von ERS auf das Blick- sowie Fahrverhalten.

4.1 ZIEL UND FRAGESTELLUNG

Ziel dieser Feldstudie ist die Untersuchung des Ablenkungspotentials von elektronischen Werbetafeln am Straßenrand unter photopischen als auch skotopischen Bedingungen. Es soll untersucht werden, ob Werbung die Aufmerksamkeit auf sich zieht, den Kraftfahrer von seiner Fahraufgabe ablenkt und damit zu einer Gefährdung der Verkehrssicherheit führen kann.

Zur Messung der Ablenkung wird das Blick- und Fahrverhalten am Tag und in der Nacht aufgezeichnet, analysiert und verglichen. Neben den Blickdaten auf die Werbetafeln werden Blickdaten auf Verkehrsschilder ausgewertet und gegenübergestellt. Die fahrzeugdynamischen Parameter werden im Annäherungsbereich an die Werbetafeln

sowie in einem Bereich, der sich direkt an die Werbetafeln anschließt, analysiert und ebenfalls miteinander verglichen. Mit Hilfe eines Fragebogens wird die Anzahl der auf der Teststrecke wahrgenommenen Werbetafeln ermittelt. Außerdem wird der subjektiv empfundene Einfluss von Werbung am Straßenrand auf das Fahrverhalten erhoben.

Folgende Hypothesen werden in diesem Feldversuch überprüft:

- Die Geschwindigkeit wird im Annäherungsbereich an die Werbetafeln reduziert.
- Die Standardabweichung der lateralen Position nimmt im Annäherungsbereich an die Werbetafeln zu.
- Das Time Headway nimmt im Annäherungsbereich an die Werbetafeln zu.
- Werbung wird nachts häufiger und länger fixiert als am Tag.
- Die Anzahl der Blicke auf die Werbetafeln ist höher als auf die Verkehrsschilder.
- Die Blickzuwendungszeiten auf die Werbetafeln sind länger als auf die Verkehrsschilder.
- Die maximale Blickdauer auf die Werbetafeln ist höher als auf die Verkehrsschilder.
- Mehr als die Hälfte der Studienteilnehmer erinnert sich an mindestens eine Werbetafel.

4.2 VERSUCHSDESIGN

DESIGN

Die Feldstudie verläuft, mit Ausnahme der Einfahrzeit, nahezu ausschließlich über ein Teilstück einer Autobahn an deren rechten Straßenrand insgesamt vier ERS platziert sind. Das Ablenkungspotential

dieser ERS wird mittels einer Blickverhaltensuntersuchung ermittelt. Dazu wird ein Between-Subject-Design gewählt, wobei der Tag- und der Nachtfahrt verschiedene Teilstichproben zugeordnet werden. Der Vergleich der Fragebogendaten, des Blickverhaltens sowie der fahrdynamischen Parameter erfolgt zwischen beiden Gruppen.

Die Versuchspersonen werden bezüglich des Untersuchungszwecks im Unklaren belassen und erst nach Beendigung des Versuchs darüber informiert. Deshalb wird den Probanden zunächst nur mitgeteilt, dass sie an einer Evaluierung eines Eye-Tracking Systems teilnehmen.

Als abhängige Variable werden Blick- sowie fahrdynamische Parameter erhoben. Bei ersteren handelt es sich um die Sichtbarkeit der Werbetafeln, der Blickanzahl, der Blickzuwendungszeit sowie der maximalen Blickdauer auf die ERS. Letztere beziehen sich auf die Durchschnittsgeschwindigkeit, die Standardabweichung der lateralen Position und das Time Headway. Die Versuchsfahrten finden ausschließlich bei trockenen Witterungsbedingungen statt.

FAHRDATEN

Die in Tabelle 2.2 auf Seite 17 näher beschriebenen lateralen sowie longitudinalen Parameter, wie Durchschnittsgeschwindigkeit, Standardabweichung der lateralen Position und Time Headway, werden für jeden Bereich ausgewertet, um zu testen inwieweit das Fahrverhalten durch elektronische Werbetafeln beeinflusst wird.

Streckenabschnitte mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit kleiner als 50 km/h werden von der Analyse ausgeschlossen. Laterale Daten werden weder bei Spurwechsel noch bei Überholvorgängen analysiert. Fahrdynamische Parameter werden in drei aneinandergrenzenden Bereichen um die Werbetafeln herum erhoben: Bereich 1 ist der

Abschnitt in dem die Werbetafel für den Probanden theoretisch sichtbar ist. Dieser beginnt sobald die Werbung sichtbar ist und endet mit der Vorbeifahrt an der Werbetafel. Bereich 2 ist die Strecke vor Bereich 1 und Bereich 3 der Streckenabschnitt nach Bereich 1. Alle Abschnitte sind gleich lang. Die Länge der Bereiche richtet sich nach dem Bereich 1 und ist aufgrund der sich verändernden Umgebung für alle Werbetafeln verschieden. Da das Verkehrsaufkommen und die Umgebungsbedingungen in einem Feldversuch schwer zu kontrollieren sind, werden die fahrzeugdynamischen Baselineparameter der Bereiche 2 sowie 3 im direkten Anschluss an den Bereich 1 erhoben.

BLICKDATEN

Ausgewertet werden folgende in Tabelle 4.1 beschriebenen Parameter, die sich auf sogenannte „Area of Interests“ (AOI), wie Werbetafeln oder Verkehrsschilder, beziehen.

Bisherige Untersuchungen zeigten, dass nicht auf das unmittelbare Verkehrsgeschehen gerichtete maximale Blickdauern größer als zwei Sekunden beziehungsweise größer als drei Sekunden bei einer Darbietungszeit von sechs beziehungsweise fünfzehn Sekunden die laterale sowie longitudinale Kontrolle des Fahrzeugs negativ beeinflussen sowie das Unfallrisiko erhöhen [56, 48, 33, 88]. Aus diesen Daten wird folgende Gleichung abgeleitet.

$$\text{Blickzuwendungszeit} \geq \frac{\text{Darbietungszeit}}{9} + \frac{4}{3} \quad (4.1)$$

Bei Blickzuwendungszeiten die oberhalb dieser Schwelle liegen, besteht eine erhöhte visuelle Ablenkung des Kraftfahrzeugführers, die zu einer Erhöhung des Unfallrisikos beiträgt. Die Gültigkeit dieser Gleichung beschränkt sich auf Darbietungszeiten des AOI zwischen sechs und fünfzehn Sekunden.

Tabelle 4.1: Beschreibung der Blickparameter

Blickparameter	Beschreibung
Sichtbarkeit des AOI	Ist das AOI für den Fahrer sichtbar: ja/nein, falls ja, wie lang ist dieses sichtbar, exklusive der Zeit, in der das AOI verdeckt ist, zum Beispiel durch vorausfahrende Lastkraftwagen
Blicke auf das AOI	Ein Blick umfasst die Summe aller Fixationen und Sakkaden auf ein AOI, solange bis die Augen einen neuen Bereich fixieren [77] Blickt der Fahrzeugführer auf AOI: ja/nein Anzahl der Blicke auf AOI
Blickzuwendungszeit	Dwell time, entspricht der Summe aller Fixationen und Sakkaden auf ein AOI
Prozentuale Blickzuwendungszeit	Entspricht dem Quotienten aus der Blickzuwendungszeit und der Zeit, in der das AOI für den Kraftfahrer sichtbar ist
Maximale Blickdauer	Dauer des längsten Blickes auf ein AOI

4.3 VERSUCHSAUFBAU

4.3.1 VERSUCHSTRÄGER

Ein Volvo V70 aus dem Jahre 2009 dient als Versuchsträger. Zur Aufzeichnung der fahrdynamischen Eigenschaften, wie beispielsweise Geschwindigkeit und Bremsverhalten, wird eine VBox von Race Logic, die Daten aus dem CAN-Bus ausliest und abspeichert, im Fahrzeug montiert und eingerichtet. Laterale Position und Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug werden mit Hilfe einer Kamera von MobileEye ermittelt. Alle Fahrzeugdaten werden mit einer Frequenz von

50 Hz aufgezeichnet. Zur Aufzeichnung des Blickverhaltens kommt ein Helm-basierendes Eye-Tracking System zum Einsatz.

4.3.2 EYE-TRACKING SYSTEM

Das Blickverhalten wird mit einem Helm-basierenden Eye-Tracking System iView von SensoMotoric Instruments (SMI) mit einer Genauigkeit von $0,5^\circ - 1^\circ$ aufgenommen (siehe Abbildung 4.1).

Abbildung 4.1: Proband mit einem Helm-basierenden Eye-Tracking System



Dieses System besteht im Wesentlichen aus drei Teilen: der Szenenkamera, die das Geschehen vor dem Fahrer aufnimmt, einer Trackingkamera zur Ermittlung der Blickrichtung des Fahrzeugführers und einem Computer. Beide Kameras sind an einem Helm befestigt und über ein Kabel mit dem Computer verbunden. Im Gegensatz zu einem remote Eye-Tracking System, wird lediglich ein Auge getrackt,

welches vom Versuchsleiter vor der Untersuchung frei gewählt werden kann. SMI wendet das Prinzip der Corneareflexmethode an, welches die Distanz zwischen Corneareflex und Pupillenzentrum misst, um daraus das Blickverhalten zu berechnen. Kopfbewegungen haben keinen Einfluss auf die relative Position des Corneareflexes zum Pupillenzentrum. Bewegt sich hingegen das Auge, dann verschiebt sich der Corneareflex gegenüber dem Mittelpunkt der Pupille systematisch, woraus die Blickrichtung ermittelt werden kann. Das Zentrum der Pupille wird über einen automatischen Bildverarbeitungsalgorithmus bestimmt [12]. Neben der Trackingkamera befinden sich Infrarot-Leuchtdioden, welche das Gesicht bestrahlen ohne dabei den Adaptationszustand der Augen des Fahrers zu beeinflussen. Dadurch wird ein Einsatz des Eye-Tracking Systems auch unter skotopischen Bedingungen ermöglicht. Um das Blickfeld geringst möglich durch die Trackingkamera einzuschränken, wird das Auge über einen halbdurchlässigen Spiegel, der vor dem Auge entsprechend positioniert wird, gefilmt. Der Blickvektor wird in einem Computer mit dem Video der Szenenkamera synchronisiert und überlagert, welcher durch ein rotes Kreuz visualisiert wird. Zudem werden die Blickdaten in einer Textdatei gespeichert. Die Videos werden mit 25 Hz und die Textdatei mit 50 Hz aufgezeichnet.

4.3.3 WERBETAFELN UND VERKEHRSSCHILDER

Untersucht werden vier baugleiche selbstleuchtende ERS (siehe Abbildung 4.2), die sich jeweils ungefähr 3 m rechts vom Standstreifen einer Autobahn befinden. Die Darstellung der Werbung beschränkt sich auf Standbilder, da das Schwedische Verkehrsministerium keine Werbeclips erlaubt. Die dargebotenen Werbebotschaften wechseln alle

sieben Sekunden, so dass ein Fahrer mit einer oder maximal zwei verschiedenen Werbebotschaften konfrontiert wird.

Abbildung 4.2: Werbetafel aus der Perspektive eines Fahrzeugführers auf der Autobahn nördlich von Stockholm



Des Weiteren wird das Blickverhalten auf retroreflektierende Verkehrszeichen (Zeichen 245), Entfernungstafeln (Zeichen 453) und Vorwegweiser auf Autobahnen (Zeichen 449) analysiert. Im Folgenden werden diese unter dem Begriff Verkehrsschilder (VS) zusammengefasst. Um vergleichbare Verkehrsbedingungen zu erhalten, befinden sich diese alle im Annäherungsbereich der Werbetafeln.

4.3.4 FRAGEBÖGEN

Zur Beschreibung der Stichprobe werden zwei Fragebögen erstellt. Der erste wird vor Beginn der Versuchsfahrt vom Teilnehmer ausgefüllt

und enthält allgemeine Fragen zum Geschlecht, dem Alter, dem Erwerb des Führerscheins, zum Fahrzeugbesitz und zur Fahrerfahrung (z.B. Fahrleistung im vergangenen Jahr, Anzahl der Fahrten in der Woche, Vertrautheit mit der Autobahn E4 nördlich von Stockholm). Der nach der Untersuchung ausgehändigte Fragebogen beinhaltet Fragen zur Versuchsstrecke, zu eventuellen Auffälligkeiten während der Fahrt und Fragen über elektronische Werbetafeln (z.B. Anzahl der bemerkten Werbetafeln auf der Versuchsstrecke, Werbeinhalt, Ablenkung durch Werbung, Geschwindigkeits- und Bremsverhalten).

4.3.5 VERSUCHSSTRECKE

Bis auf die Zufahrt, verläuft die Teststrecke ausschließlich auf einer Autobahn nördlich von Stockholm (E4). Aus Solna Zentrum kommend wird die Autobahn von der Auffahrt 167 zunächst in nördliche Richtung bis zur Abfahrt 174 nach Rotebro befahren. Dabei werden zwei Werbetafeln, die sich jeweils rechts von der Fahrbahn befinden passiert. Nach Befahren der Wendeschleife geht es wieder auf der selben Autobahn, vorbei an zwei weiteren Werbetafeln, zurück zum Ausgangspunkt. Die Länge der Versuchsstrecke beträgt ca. 40 km.

4.3.6 STICHPROBE

41 Probanden zwischen 25 und 59 Jahren werden über das schwedische Fahrzeugregister und über Werbung durch das staatliche Wege- und Transportforschungsinstitut (VTI) rekrutiert. Dabei werden nur Personen die regelmäßig Auto fahren sowie häufig auf Autobahnen unterwegs sind und deren Fahrleistung über 5000 km/Jahr liegt ausgewählt. Die Probanden werden gleichmäßig in zwei Gruppen aufgeteilt,

wobei 20 Teilnehmer (davon fünf Frauen und 15 Männer) mit einem Durchschnittsalter von 45 Jahren die Testfahrt am Tag und 21 Versuchspersonen (davon neun Frauen und zwölf Männer) mit einem Durchschnittsalter von 39 Jahren in der Nacht absolvieren.

4.4 VERSUCHSABLAUF

Die Dauer eines Versuchsdurchgangs beläuft sich auf ca. 90 min. Um Ermüdungserscheinungen vorzubeugen, wird die Gesamtfahrzeit auf 60 min begrenzt. Vor dem Beginn der Untersuchung füllen die Probanden eine Einverständniserklärung und einen ersten Fragebogen, der allgemeine Fragen zur Person beinhaltet, aus. Daran anschließend wird das Eye-Tracking System kalibriert. Nach einer Einweisung in die grundlegenden Fahrzeugfunktionen beginnt die Testfahrt. Die zehnminütige Zufahrt zur Autobahn, dient als Eingewöhnungszeit an das Versuchsfahrzeug wie auch an den Eye-Tracker. Abhängig vom Verkehrsaufkommen, dauert die Versuchsfahrt (exklusive der Eingewöhnungszeit) im Durchschnitt ca. 40 min.

Die Hälfte der Teilnehmer fährt am Tag zwischen 9.00 und 15.00 Uhr und die andere Hälfte fährt zwischen 18.30 und 21.30 Uhr bei Dunkelheit. Fahrten im Berufsverkehr werden dadurch vermieden.

Auf der Autobahn passieren die Teilnehmer insgesamt vier Werbetafeln, zwei in nördlicher Richtung und zwei in südlicher Richtung.

Um eine Beeinflussung der Testpersonen zu vermeiden und somit deren Erwartungshaltung zu beeinflussen, werden diese über den eigentlichen Versuchsgegenstand erst nach Beendigung der Versuchsfahrt aufgeklärt. Es wird ihnen zu Beginn der Untersuchung fälschlicherweise mitgeteilt, dass es sich bei der Untersuchung um die Erprobung des Eye-Tracking Systems im Feld handelt. Nach der Versuchsfahrt

füllen die Teilnehmer einen Fragebogen mit spezifischen Fragen zur Testfahrt und zu elektronischen Werbetafeln aus.

4.5 AUSWERTUNG

4.5.1 STATISTISCHE ANALYSEN

Die Daten werden sowohl qualitativ als auch quantitativ ausgewertet. Mit Hilfe des Statistikprogrammes von IBM SPSS Statistik 19 werden die Fragebogendaten, Blick- und Fahrdaten evaluiert. Die Fragebogendaten werden deskriptiv ausgewertet. Die Analyse des Blickverhaltens erfolgt mit der Auswertesoftware BeGaze 3.0 (SensoMotoric Instruments, Teltow, Deutschland). Dabei werden zuerst AOI, wie Werbetafeln und Verkehrsschilder definiert und anschließend im Videofilm markiert. Daraus berechnet die Software automatisch die Anzahl der Blicke, die Blickzuwendungszeit und die maximale Blickdauer auf jedes AOI.

Aufgrund von technischen Problemen und unzureichender Eye-Tracking Qualität werden zwei Testpersonen der Tagfahrt und drei der Nachtfahrt von der Auswertung ausgeschlossen. Für die verbleibenden 36 Probanden ergeben sich für die vier Werbetafeln insgesamt $36 * 4 = 144$ und für die Verkehrsschilder $36 * 6 = 216$ maximale Beobachtungsmöglichkeiten. Tabelle 4.2 fasst die Ergebnisse des Blickverhaltens zusammen.

11,67% der gesamten Blickdaten werden aufgrund unbefriedigender Datenqualität, Verdeckungen des AOI durch vorausfahrenden Verkehr oder durch eine heruntergeklappte Sonnenschutzblende von der Auswertung ausgeschlossen.

Das Blick- und Fahrverhalten wird mit einer zweifaktoriellen univariaten Varianzanalyse untersucht. Das Signifikanzniveau wird auf 5%

festgesetzt. Abhängige Variablen der verschiedenen Varianzanalysen zur Untersuchung des Blickverhaltens sind die verschiedenen Blickparameter, wie Anzahl der Blicke, Blickzuwendungszeit, prozentuale Blickzuwendungszeit und maximale Blickdauer. Als Faktoren werden AOIs (elektronische Werbetafeln versus Verkehrsschilder) und das Beleuchtungsniveau (Tag- versus Nachtfahrt) gewählt. Zur Untersuchung des Fahrverhaltens werden Durchschnittsgeschwindigkeiten, die Standardabweichung der lateralen Position und der Zeitabstand zum vorausfahrenden Fahrzeug mit den Faktoren Straßenabschnitt (Bereich 1-3) und Beleuchtungsniveau (Tag- versus Nachtfahrt) analysiert.

Tabelle 4.2: Prozentsatz der Probanden, die die Werbetafeln (ERS) beziehungsweise die Verkehrsschilder (VS) fixiert und nicht fixiert haben sowie der Anteil der Versuchspersonen bei denen keine Bewertung des Blickverhaltens möglich ist

AOI	Blickverhalten	Tagfahrt N=18	Nachtfahrt N=18	Gesamt N=36
ERS	fixiert	38,89 %	40,28 %	39,58 %
	nicht fixiert	43,06 %	52,78 %	47,92 %
	kein Tracking	18,05 %	6,94 %	12,50 %
VS	fixiert	14,81 %	25,00 %	19,91 %
	nicht fixiert	68,52 %	69,44 %	68,98 %
	kein Tracking	16,67 %	5,56 %	11,11 %

4.5.2 FAHRDATEN

Tabelle 4.3 stellt das Fahrverhalten anhand der fahrzeugdynamischen Parameter für die Faktoren Beleuchtungsniveau und Straßenabschnitt dar. Für keinen der Faktoren kann ein konsistenter Effekt festgestellt

werden. Die Geschwindigkeiten bei Annäherung an die Werbetafeln ERS 1 ($F[116,1]=11.55$, $p=.001$) und ERS 2 ($F[117,1]=62.75$, $p=.001$) sind nachts signifikant niedriger als am Tag. Des Weiteren ist der Time Headway des ERS 3 in der Nacht signifikant höher ($F[56,1]=4.71$, $p=.03$).

Signifikante Unterschiede in der Geschwindigkeit zwischen den einzelnen Bereichen ergeben sich für die Werbetafeln ERS 1 ($F[116,2]=12.55$, $p=.001$) und ERS 4 ($F[100,2]=6.08$, $p=.003$).

Tabelle 4.3: Mittelwert (M) und Standardabweichung (SD) der fahrdynamischen Parameter (Durchschnittsgeschwindigkeit, Standardabweichung der lateralen Position (SDLP) und Time Headway (THW_{\min})) in Abhängigkeit vom Beleuchtungsniveau und den einzelnen Bereichen

Fahrparameter	ERS	Tagfahrt					
		Bereich 1		Bereich 2		Bereich 3	
		M	SD	M	SD	M	SD
Ø-Geschwindigkeit [km/h]	1	86,41	5,53	81,94	5,19	88,03	5,88
	2	105,43	4,32	105,26	5,33	106,32	4,16
	3	88,48	8,04	90,85	5,41	90,53	4,30
	4	82,82	6,17	85,65	4,38	80,42	5,98
SDLP [m]	1	0,17	0,04	0,16	0,06	0,15	0,06
	2	0,13	0,03	0,16	0,04	0,14	0,10
	3	0,14	0,05	0,26	0,08	0,17	0,05
	4	0,16	0,05	0,18	0,05	0,14	0,05
THW_{\min} [s]	1	1,70	0,73	2,02	1,02	1,90	0,90
	2	1,86	0,85	1,81	0,84	1,91	0,88
	3	1,85	0,48	2,25	1,33	1,63	0,34
	4	1,53	0,60	1,63	0,63	1,65	0,46

Fahrparameter	ERS	Nachtfahrt					
		Bereich 1		Bereich 2		Bereich 3	
		M	SD	M	SD	M	SD
Ø-Geschwindigkeit [km/h]	1	83,30	6,93	78,09	5,93	84,28	5,14
	2	99,04	4,82	98,94	4,86	98,05	5,66
	3	89,97	5,95	90,31	6,06	89,79	6,63
	4	82,45	6,66	86,67	5,37	82,64	6,03
SDLP [m]	1	0,24	0,13	0,14	0,07	0,13	0,04
	2	0,18	0,12	0,17	0,06	0,14	0,07
	3	0,13	0,04	0,19	0,08	0,16	0,08
	4	0,16	0,05	0,20	0,07	0,16	0,07
THW _{min} [s]	1	1,79	0,82	1,64	0,91	2,32	1,14
	2	2,14	0,81	2,32	0,87	2,03	0,82
	3	2,89	1,29	2,56	1,54	2,22	0,98
	4	1,91	0,84	1,67	0,88	1,60	0,86

Die Standardabweichung der lateralen Position der Werbung ERS 1 ($F[85,2]=7.50$, $p=.001$) und ERS 3 ($F[95,2]=8.17$, $p=.001$) unterscheidet sich signifikant zwischen den Bereichen. Posthoc Analysen mittels t-Test zeigen, dass die fahrzeugdynamischen Parameter sich hauptsächlich in den Bereichen 2 und 3 voneinander unterscheiden.

Trotz den statistisch signifikant niedrigeren Durchschnittsgeschwindigkeiten nachts bei dem ERS 1 und ERS 2, unterscheiden sich die Durchschnittsgeschwindigkeiten der Tag und Nachtfahrt kaum voneinander, so dass fraglich ist, ob die Tageszeit tatsächlich zu einer Veränderung des Geschwindigkeitsverhaltens führt.

Leibowitz et al. [117] und Wördenweber et al. [118] zufolge passen die Kraftfahrer ihre Geschwindigkeit nicht den Sichtverhältnissen an, sondern orientieren sich, falls es die Verkehrslage zulässt, an der angegebenen Höchstgeschwindigkeit. Auch wenn die Geschwindigkeit

nachts nicht den Sichtverhältnissen angepasst wird, vergrößern die Teilnehmer nachts ihren Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug und erhöhen damit ihren Sicherheitsabstand.

Obwohl sich die Durchschnittsgeschwindigkeit und die Standardabweichung der lateralen Position bei einigen Werbetafeln zwischen den Bereichen statistisch signifikant unterscheiden, unterscheiden sich die absoluten Differenzen der Fahrparameter in den drei Bereichen kaum voneinander. Deshalb ist es fraglich, ob die Unterschiede in der Durchschnittsgeschwindigkeit und der Standardabweichung der lateralen Position zwischen den Bereichen tatsächlich aufgrund der Werbetafeln entstanden sind und nicht etwa durch die jeweilige Verkehrssituation. Dies kann mit den vorliegenden Daten nicht abschließend geklärt werden.

Da sich die Fahrparameter zwischen den einzelnen Bereichen nicht konsistent verhalten, wird vermutet, dass die Fahrparameter sich nicht aufgrund der Werbung am Straßenrand verändern, sondern aus anderen Gründen, wie beispielsweise der Verkehrssituation.

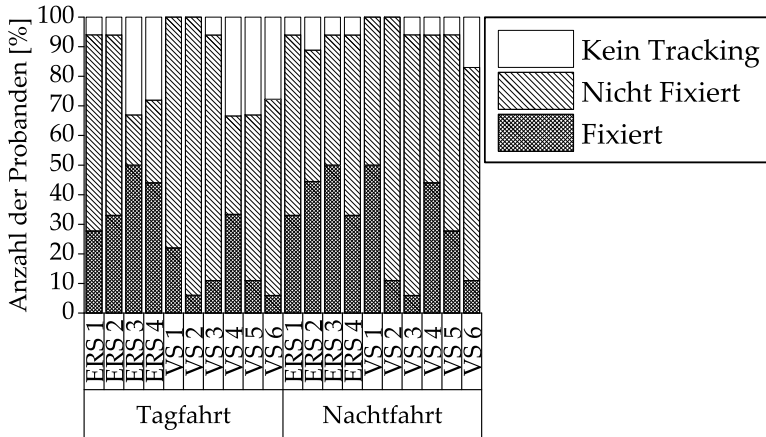
Die Hypothesen zur Veränderung der Fahrparameter im Annäherungsbereich an die Werbetafeln können nicht bestätigt werden.

4.5.3 BLICKDATEN

Abbildung 4.3 stellt die prozentuale Verteilung der Probanden in Abhängigkeit vom Beleuchtungsniveau dar, die ein AOI fixiert beziehungsweise nicht fixiert haben.

Durch beispielsweise Blendung oder Reflektionen auf der Sehhilfe wird die Datenqualität des Eye-Tracking Systems herabgesetzt („kein Tracking“), so dass diese Daten von der Auswertung ausgeschlossen werden.

Abbildung 4.3: Prozentsatz der Probanden, die Werbetafeln und Verkehrsschilder fixiert beziehungsweise nicht fixiert haben in Abhängigkeit vom Beleuchtungsniveau



Werden alle Werbetafeln (ERS 1 - ERS 4) und alle Verkehrsschilder zusammengefasst, dann fixieren im Vergleich zu den Verkehrsschildern ungefähr doppelt so viele Probanden die ERS. Die Anzahl der Teilnehmer die die ERS am Tag fixieren, unterscheiden sich nicht von der Teilnehmeranzahl der Nachtfahrt. Nachts werden die Verkehrsschilder von ungefähr 50 % mehr Versuchspersonen fixiert als am Tag. Im Folgenden wird sich ausschließlich auf die Probanden konzentriert, die mindestens ein AOI fixiert haben. Tabelle 4.4 fasst die Ergebnisse der Blickparameter zusammen. Im Vergleich zu den Verkehrsschildern sind bei den ERS die Anzahl der Blicke höher ($F[1,18]=18.6, p=.000$), die Blickzuwendungszeiten länger ($F[1,18]=16.4, p=.001$), und die maximale Blickdauer ($F[1,18]=5.7, p=.017$) größer. Kein signifikanter Unterschied besteht in den prozentualen Blickzuwendungszeiten. Zwischen den Blickparametern der Tag- und der Nachtfahrt kann kein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Abbildung 4.4 stellt die Blickparameter in Form von Boxplots graphisch dar.

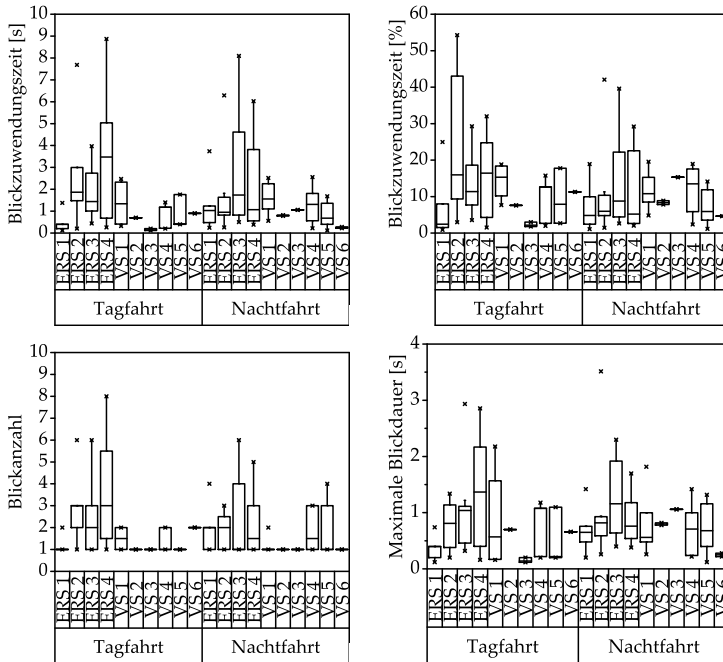
Tabelle 4.4: Mittelwert (M) und Standardabweichung (SD) der Blickparameter für die Werbetafeln (ERS) und die Verkehrsschilder (VS) in Abhängigkeit vom Beleuchtungsniveau

Blickparameter	Tagfahrt			
	ERS		VS	
	M	SD	M	SD
Blickzuwendungszeit [s]	2,23	2,26	0,84	0,74
Proz. Blickzuwendungszeit [%]	15,29	13,21	9,20	5,84
Anzahl der Blicke	2,68	1,93	1,29	0,47
Maximale Blickdauer [s]	0,95	0,78	0,62	0,57

Blickparameter	Nachtfahrt			
	ERS		VS	
	M	SD	M	SD
Blickzuwendungszeit [s]	2,09	2,21	1,17	0,74
Proz. Blickzuwendungszeit [%]	11,33	11,84	10,46	5,69
Anzahl der Blicke	2,10	1,37	1,52	0,89
Maximale Blickdauer [s]	1,00	0,73	0,71	0,43

Die Anzahl der Blicke auf die einzelnen ERS und Verkehrsschilder liegen bei der Mehrheit der Probanden zwischen eins und drei. Elf Versuchspersonen schauen zwischen vier und acht Mal auf die ERS. Lediglich eine Testperson fixiert die Verkehrsschilder mehr als drei Mal.

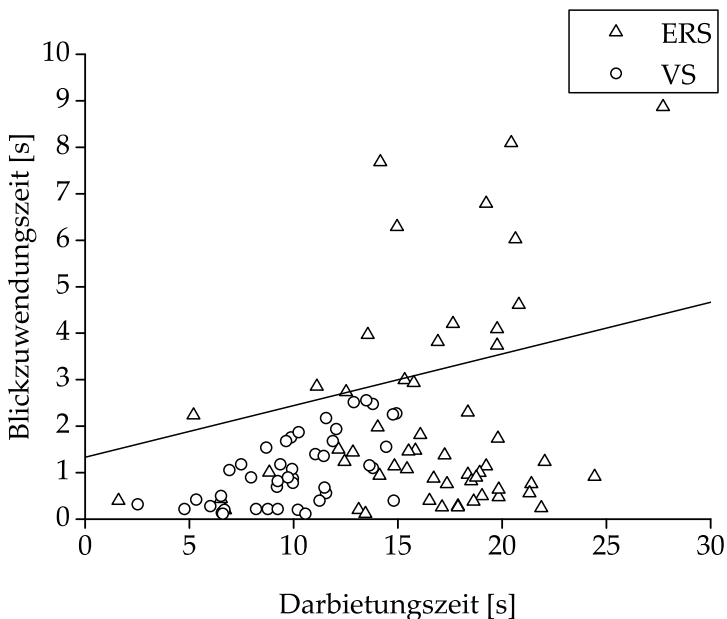
Abbildung 4.4: Blickzuwendungszeiten, prozentuale Blickzuwendungszeiten, Anzahl der Blicke und maximale Blickdauer auf die Werbetafeln (ERS) und die Verkehrsschilder (VS) in Form von Box-plots



Die Blickzuwendungszeiten auf die ERS sind bei 14 % der Probanden größer als sechs Sekunden. Alle Blickzuwendungszeiten auf Verkehrsschilder liegen unter 2,6 s. Die maximale Blickdauer auf die ERS ist bei sechs Teilnehmern größer als zwei Sekunden (im Bereich von 2,1–3,5 s). Nach Formel 4.1 sind fünf Fahrer durch ERS visuell abgelenkt. Darunter befinden sich zwei Probanden mit einer maximalen Blickdauer größer als zwei Sekunden. Außerhalb der Gültigkeitsgrenzen der Formel 4.1 sind weitere zehn Probanden durch ERS visuell abgelenkt (siehe Abbildung 4.5). Bei allen sechs Verkehrsschildern liegt die maximale

Blickdauer nur in einem Fall über zwei Sekunden (maximale Blickdauer 2,2 s). Fälle in denen maximale Blickdauern auf die AOI von mehr als zwei Sekunden auftreten, werden einer Einzelanalyse unterzogen. Diese Fälle unterscheiden sich weder im Verkehrsaufkommen noch in den Fahrparametern bei Annäherung an die entsprechenden ERS von den anderen Datensätzen.

Abbildung 4.5: Blickzuwendungszeiten auf elektronische Werbetafeln (ERS) und Verkehrsschilder (VS) in Abhängigkeit von der Darbietungszeit; die schwarze Linie stellt die Ablenkungsschwelle gemäß Formel 4.1 dar, Blickzuwendungszeiten die oberhalb der Linie liegen sind ein Hinweis auf visuelle Distraction



Die These, die besagt, dass Werbung nachts häufiger und länger fixiert wird als am Tag, kann durch die vorliegende Untersuchung nicht bestätigt werden. Nach gründlicher Inspektion der Daten ist das Ergebnis in

dieser Form nicht naheliegend interpretierbar. Blendungsvermeidung oder höhere nächtliche Konzentration auf die Verkehrssituation, aufgrund der nachts eingeschränkten Sichtverhältnisse, oder bewusstes ignorieren der ERS könnten mögliche Gründe dafür sein. Die weiteren Hypothesen zum Blickverhalten auf Werbetafeln und Verkehrsschilder können alle bestätigt werden. Im Vergleich zu den Verkehrsschildern fixieren mehr Probanden die Werbetafeln. Außerdem werden die Werbetafeln häufiger und länger im Gegensatz zu den Verkehrsschildern fixiert. Deshalb kann davon ausgegangen werden, dass die Werbetafeln für die Probanden visuell attraktiver sind als die Verkehrsschilder. Dies kann zum einen an den wechselnden Werbeinhalten liegen, aber auch an den Kontrasten, der Schriftgröße und -art sowie den Inhalt der Werbung. Die Anzahl möglicher Verkehrsschilder ist begrenzt, diese sind dem Kraftfahrer bekannt. Im Gegensatz dazu, ist der Werbeinhalt der Tafeln unvorhersehbar, was zu längeren Blickzuwendungszeiten, einen Anstieg der Blickanzahl und höheren maximalen Blickdauern auf die Werbetafeln führen kann. Zwahlen et al. [88] und Klauer et al. [56] zufolge, beeinflussen maximale Blickdauern von mehr als zwei Sekunden die laterale und longitudinale Fahrzeugkontrolle, führen damit zu einer Beeinträchtigung der Verkehrssicherheit und einer Erhöhung des Unfallrisikos. Zum Teil wird bei den Werbetafeln die maximale Blickdauer von zwei Sekunden überschritten. Obwohl es sich um Ausnahmen handelt, sollten diese nicht ignoriert werden. Es sind genau die Fälle, bei denen der Kraftfahrer durch Werbung so stark abgelenkt ist, dass dies zu einer Gefährdung des Verkehrs führen kann.

4.5.4 FRAGEBÖGEN

Nach der Testfahrt werden die Probanden über Auffälligkeiten während der Fahrt befragt. Dabei fällt am Tag einen und in der Nacht drei Teilnehmern etwas auf. Die Werbung am Straßenrand wird dabei aber nicht genannt. Direkt nach ERS gefragt erinnern sich während der Tag- beziehungsweise der Nachtfahrt 55 % respektive 62 % der Teilnehmer an mindestens eine Werbetafel. Damit wird die Hypothese, dass sich mindestens die Hälfte aller Versuchspersonen an die Werbetafeln erinnern, bestätigt. Tabelle 4.5 fasst die Antworten für beide Probandengruppen zusammen.

Tabelle 4.5: Anzahl, der von den Probanden wahrgenommenen elektronischen Werbetafeln

Tageszeit	Keine Tafel	Eine Tafel	Zwei Tafeln	Drei Tafeln	Vier Tafeln
Tagfahrt	9	5	2	2	2
Nachtfahrt	8	5	2	4	2
Gesamt	17	10	4	6	4

Jeweils zwei Versuchspersonen aus den einzelnen Gruppen haben alle vier ERS wahrgenommen. Von den Personen, die mindestens ein ERS gesehen haben, können sich in der Tagfahrgruppe drei von elf an die Werbebotschaft sowie an ein konkretes Produkt erinnern. Währenddessen erinnern sich nachts acht von dreizehn an eine Werbebotschaft, davon kann aber nur die Hälfte dieser der Werbung ein Produkt zuordnen. Visuell abgelenkt durch die ERS fühlen sich am Tag fünf von elf (45 %) und in der Nacht acht von dreizehn (62 %) Probanden. Zwei respektive vier Teilnehmer der Tag- beziehungsweise Nachtfahrt geben an, dass Werbung ihre Fahrweise beeinflusst. Allerdings beeinflusst nach Beurteilung der Versuchspersonen, die mindestens eine Werbetafel

fel gesehen haben, Werbung weder die Geschwindigkeitswahl noch das Bremsverhalten.

Ein Vergleich der Fragebogendaten mit den Eye-Tracking Daten ist nicht möglich, da sich die Testpersonen nicht an die Positionen der wahrgenommenen Werbetafeln erinnern können.

Bei einer Enthaltung sprechen sich 73 % aller Teilnehmer der Untersuchung für ein Verbot der ERS aus.

4.6 DISKUSSION

Größe, Position, Reflexionseigenschaften und Kontrast unterscheiden sich zwischen den ERS und den Verkehrsschildern maßgeblich. Dieses sind Faktoren die die Auffälligkeit von Objekten beeinflussen [47, 232, 233]. Verkehrsschilder liefern dem Fahrzeugführer für den Verkehr relevante Informationen. Kraftfahrer können sich meist nicht an Verkehrsschilder erinnern, die keine Relevanz zur Fahraufgabe haben [234, 235, 236]. Dies ist ein Zeichen dafür, dass die Fahrer in der Lage sind die Verkehrsschilder zu ignorieren oder diese erkennen, ohne sie dabei bewusst wahrzunehmen. Werbung hingegen dient dazu, die Aufmerksamkeit gezielt auf sich zu lenken, einen bleibenden Eindruck zu hinterlassen und eine Botschaft zu vermitteln, die zumeist nicht relevant für die Fahraufgabe ist.

Die Untersuchung zeigt, dass Werbetafeln das Blickverhalten beeinflussen können und diese mehr visuelle Aufmerksamkeit auf sich ziehen als die untersuchten Verkehrsschilder. Verglichen mit den Verkehrsschildern sind bei den ERS die Anzahl der Blicke höher, die Blickzuwendungszeiten länger, die prozentuale Blickzuwendungszeit höher und die maximalen Blickdauern größer. Damit werden Blickverhaltensuntersuchungen im Simulator von beispielsweise Crundal

et al. [214], Edquist et al. [215] und Horberry [221] gestützt. Auch sie konnten nachweisen, dass Werbung die Aufmerksamkeit auf sich ziehen kann und somit ihren eigentlichen Zweck erfüllt.

Gemäß Tabelle 4.2 blicken 48 % der Fahrer nicht auf ERS. Dies könnte dafür sprechen, dass die Fahrer in der Lage sind die ERS zu ignorieren [237]. Allerdings kann mit Hilfe der angewendeten Methoden nicht festgestellt werden, ob die Versuchspersonen die ERS bewusst ignoriert haben oder diese nicht erkannt und wahrgenommen haben. Ein Anti-Sakkaden-Test [238] könnte Abhilfe schaffen. Die vorherrschende Verkehrslage oder die Bekanntheit der ERS von früheren Vorbeifahrten könnten Gründe dafür sein, warum diese von einigen Probanden bewusst ignoriert worden sind.

Der Literatur zufolge [56, 88] existieren bisher lediglich Grenzwerte für die maximale Blickdauer, gemäß deren ein Fahrer visuell abgelenkt ist und die bei Überschreitung zu einer Erhöhung des Unfallrisikos führen. Für die Anzahl der Blicke ist bisher noch keine Grenze gesetzt worden, die besagt, ab wieviel Blicken ein Fahrer visuell abgelenkt ist. Obwohl aufgrund des höheren nächtlichen Kontrasts der ERS zur unmittelbaren Umgebung längere Blickzuwendungszeiten und häufigere Blicke auf diese zu erwarten wären [47], kann kein Unterschied zwischen den Blickparametern der Tag- und Nachtuntersuchung festgestellt werden. Vermeidung von Blendung, verstärktes Fixieren der Straße aufgrund der eingeschränkten nächtlichen Sichtbedingungen oder bewusstes Ignorieren der ERS könnten mögliche Gründe dafür sein. Aufgrund fehlender technischer Ausstattung konnten keine Leuchtdichtebilder erstellt und keine Kontraste ermittelt werden.

Das Blickverhalten wird unter anderem durch das Alter [239, 240], die Fahrerfahrung [241] und die Vertrautheit der Strecke [242] beeinflusst. Um die Streuungen zwischen den Teilnehmern möglichst gering zu halten, wird eine homogene Stichprobe gewählt. Alle Probanden bekommen die Anweisungen zum Verlauf der Teststrecke vom

Versuchsleiter mitgeteilt, so dass sie weder auf Verkehrsschilder mit Navigationsinformationen schauen müssen, noch ein Bedarf besteht die ERS zu fixieren. Da die Fahrer bereits vor der Untersuchung mit der Strecke vertraut sind, liegt die Vermutung nahe, dass alle fixierten AOI bewusst angeschaut werden.

Außerdem ist das Blickverhalten von der inneren Einstellung jedes Kraftfahrers abhängig und somit subjektiv wie auch selektiv [243]. Interessiert sich der Kraftfahrer für die Werbebotschaft und versucht er diese zu verstehen, dann geht dies oft mit häufigeren und längeren Blicken auf die Werbung und einer Reduzierung der Aufmerksamkeit auf das Verkehrsgeschehen einher.

Die Auswertung der fahrzeugdynamischen Parameter ergibt kein eindeutiges Bild. Das könnte daran liegen, dass sie nur für drei definierte Bereiche ausgewertet werden und nicht gesondert für die Zeiträume in denen die Fahrer die AOI's fixieren. Deshalb könnten sich die fahrzeugdynamischen Parameter durchaus bei Blicken auf die einzelnen AOI's verändert haben. Es kann aber auch möglich sein, dass die zur Verfügung stehenden kognitiven Ressourcen der Probanden ausreichen und es somit nicht zu einer Veränderung der untersuchten Fahrparameter kommt.

Um das Fahrverhalten natürlich zu gestalten und geringst möglich zu beeinflussen, dürfen die Versuchspersonen den Fahrstreifen frei wählen. Dadurch werden die AOI bei einigen Probanden durch Lastkraftwagen verdeckt. Somit steht diesen Fahrern weniger Zeit zur Verfügung die AOI zu fixieren. Deshalb wird zusätzlich die Darbietungszeit, die Zeit in der die Testperson das AOI fixieren könnte, ermittelt und daraus die prozentuale Blickzuwendungszeit berechnet.

Alle vier untersuchten ERS befinden sich am rechten Straßenrand, so dass bei Fixation von ERS das Verkehrsgeschehen vor dem Fahrzeug peripher wahrgenommen werden kann. Periphere Wahrnehmung

nutzen Fahrer mit Fahrerfahrung unter anderem zur Spurhaltung [93, 94, 95, 96, 97]. Dies könnte die geringen Unterschiede in der Standardabweichung der lateralen Position zwischen den untersuchten Bereichen erklären.

Alle Daten werden in einem Feldversuch erhoben. Dadurch wird eine hohe Validität erreicht. Eine reliable Erfassung der Blickparameter erfolgt durch das Eye-Tracking System. Aufgrund unzureichender Qualität können nicht alle Blickdaten ausgewertet werden. Inwieweit diese Datenverluste systematisch sind, konnte aufgrund von zeitlichen Restriktionen nicht abschließend geklärt werden.

Da die Untersuchungen des Blickverhaltens in erster Linie auf Fixationen basieren, wird nur das foveale Blickverhalten gemessen. Es lassen sich damit keine Aussagen, sondern lediglich Vermutungen, über die Rolle der peripheren Wahrnehmung und somit der Spurhaltung, treffen. Wird das auf den Fahrkontext bezogen, dann bedeutet dies zum Beispiel, dass mittels Blickverhaltensuntersuchungen festgestellt werden kann, wohin der Kraftfahrer blickt, wie häufig und wie lange er bestimmte Objekte oder Personen während der Fahrt fixiert, aber nicht welche Objekte oder Personen der Fahrer in der Peripherie wahrnimmt.

Die Erkennung von Objekten und Personen erfordert beispielsweise die Trennung von Figur und Hintergrund, die Organisation von Objektmerkmalen zu Einheiten, die Berücksichtigung von wechselnden Beobachtungs- und Darbietungsbedingungen (z.B. Entfernung, Beleuchtungsbedingung, Perspektive) und die Ergänzung nicht sichtbarer Objekteile [244]. Die Interpretation von dem Gesehenen kann nicht durch das Eye-Tracking System, sondern nur durch eine Befragung der Probanden ermittelt werden.

Weil die ERS schon vor der Untersuchung vorhanden waren, ist kein Vorher-Nachher-Vergleich möglich. Deshalb werden Bereiche vor sowie nach dem ERS-Bereich (Bereich 1) als Referenz gewählt. Da diese

dem Bereich 1 in der Straßencharakteristik, der Verkehrsdichte, den Witterungsbedingungen und den Beleuchtungsbedingungen ähneln, werden diese als Referenz verwendet.

Da die Auffälligkeit von Objekten hauptsächlich von der Position dieser im Verkehrsraum abhängt [245, 214], wäre ein Simulatorversuch geeignet, verschiedene Platzierungen von ERS und deren Einfluss auf die Verkehrssicherheit unter kontrollierten Bedingungen zu testen. Eine Simulatorstudie ermöglicht die Erhebung von subjektiven Daten, die Messung des Blickverhaltens und der Fahrdaten, ohne diese im Feld vorher praktisch zu realisieren und ist damit kostengünstiger.

Die Ergebnisse dieser Studie lassen sich nicht eins zu eins auf andere Werbeträger am Straßenrand übertragen, auch wenn diese die gleiche Leuchtdichte, Größe, Höhe und Abstand zur Fahrbahn haben. Der Einfluss auf das Fahr- und Blickverhalten einer Werbetafel im ländlichen Bereich mit geringer Umgebungshelligkeit und einer Werbetafel in der Stadt könnte, aufgrund des unterschiedlichen Kontrasts der Werbetafel zu ihrem Hintergrund, durchaus sehr verschieden sein. Desweiteren spielen Farbe von Figur und Hintergrund, Schriftgröße und -art und Werbeinhalt eine große Rolle [246]. Letztere Faktoren werden nicht näher ausgewertet. Die Ergebnisse geben Hinweise darauf, dass ERS unter bestimmten Voraussetzungen zu einer Verkehrsgefährdung führen können. Ziel sollte die Entwicklung eines Standards zur Regulierung von beispielsweise der Größe, der Leuchtdichte und der Position von Werbetafeln sein [247]. Blickverhaltensuntersuchungen, wie diese, können dazu beitragen.

KAPITEL 5

ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Da Ablenkung durch unterschiedliche Objekte, Personen, Ereignisse oder Aktivitäten innerhalb oder außerhalb des Fahrzeugs ausgelöst werden kann, verschiedene Sinnesempfindungen angesprochen werden und der Kraftfahrer kontinuierlich während der Fahrt mit potentiellen Distractionen konfrontiert wird, ist die Untersuchung von Ablenkung sehr komplex und vielschichtig. Deshalb muss sich bei der Untersuchung von Ablenkung auf Teilaspekte beschränkt werden, die entsprechend tiefergehender erforscht werden können. Das Konstrukt der Ablenkung lässt sich erst nach einer Operationalisierung in Form von beispielsweise Fahr- und Blickparametern messen.

Der Mensch besitzt eine natürliche Neigung, seinen Aufmerksamkeitsfokus auf Neues und Ungewöhnliches zu richten. Aufgrund eines immer mobileren Lebensstils wird die Fahrzeit zunehmend als unproduktive Zeit angesehen und damit als eine Möglichkeit gesehen sich währenddessen bewusst anderen Aufgaben zu widmen, wie zum Beispiel persönliche Kontakte zu pflegen, sei es per SMS vom Mobiltelefon oder per Mail vom Smartphone. Der Einfluss verschiedener Ablenkungsarten auf das Fahr- beziehungsweise Blickverhalten variiert stark. Zum Teil ist dieser Einfluss kaum nachweisbar. Andererseits kann Ablenkung unter gewissen Umständen zu einer Gefährdung des Verkehrs führen, welches sich in den Unfallzahlen widerspiegelt. Einer natürlichen Fahrstudie zufolge war in nahezu 80 % aller Unfälle der Fahrer drei Sekunden vor Unfalleintritt abgelenkt [55].

In der vorliegenden Arbeit wurde der Einfluss von Ablenkung im Straßenverkehr mittels eines Simulatorversuchs und zweier Feldversuche untersucht. Dabei nahmen insgesamt 107 Probanden teil. Neben der Untersuchung unterschiedlicher Arten von Ablenkung auf das Fahrwie auch Blickverhalten wurde jeweils für den Fahrzeuginnenraum wie auch den Verkehrsraum stellvertretend eine Beispieluntersuchung für einen potentiellen Distraktor vorgestellt.

Im ersten Teil der vorliegenden Arbeit wurde ein Simulatorversuch beschrieben. Mithilfe von 24, nach definierten Kriterien ausgewählten, Probanden wurde der Einfluss kognitiver, visueller und haptischer Sekundäraufgaben auf fahrdynamische Größen sowie Blickparameter analysiert und miteinander verglichen. Als Referenz dient die Baselinefahrt.

Bei Ausübung der visuellen Sekundäraufgabe wurde die Fahrleistung am stärksten beeinträchtigt. Im Vergleich zu den Fahrten mit kognitiven und haptischen Sekundäraufgaben und der Baselinefahrt, nahmen bei der Fahrt mit visueller Sekundäraufgabe die Variationen in der lateralen Position zu, wurden niedrigere Geschwindigkeiten gewählt und der Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug vergrößert. Letztere beiden fahrdynamischen Parameter wählten die Probanden um die Ablenkung zu kompensieren. Die durch die kognitive Sekundäraufgabe erzeugte Beanspruchung zeigte bezüglich der Spurhaltung positive Effekte. Ansonsten zeigten sich keine signifikanten Veränderungen der Fahrparameter bei Ausübung der kognitiven sowie haptischen Sekundäraufgabe. Subjektiven Einschätzungen der Probanden zufolge, wurde deren Fahrleistung besonders stark bei Durchführung der visuellen Sekundäraufgabe beeinflusst, es folgten die haptische und schließlich die kognitive Sekundäraufgabe. Damit kann die visuelle Dominanz beim Führen eines Kraftfahrzeugs mithilfe dieser Untersuchung bestätigt werden.

Neue und bestehende Assistenz- (FAS), Informations- (FIS) und Unterhaltungssysteme im Automobil sollten so gebaut werden, dass sie den Fahrzeugführer nicht unnötig von seiner Fahraufgabe ablenken. Um Blickabwendungen vom Straßenverkehr möglichst gering zu halten, sind Systeme mit einer geringen Komplexität, die sich auf die wichtigsten Funktionen beschränken und intuitiv bedient werden können, zu empfehlen. Außerdem wären haptische oder akustische Elemente zur Reduzierung visueller Ablenkung wünschenswert. Im Hinblick auf den demografischen Wandel sollten bei der Entwicklung und Gestaltung von FAS und FIS die Belange der älteren Kraftfahrer stärker berücksichtigt werden, da FAS einen wesentlichen Beitrag zur Erhöhung der Verkehrssicherheit von älteren Fahrzeugführern leisten können.

Der zweite Teil der vorliegenden Arbeit beinhaltet die Evaluierung des Blickverhaltens bei Fahrt mit einem aktiven Nachtsichtsystem (NVES) sowie die Untersuchung des subjektiven Sicherheitsempfindens. Des Weiteren wurde untersucht, inwieweit sich die Fernlichtnutzung bei Fahrt mit NVES im Vergleich zur Fahrt ohne NVES verändert, welches als Ablenkung des Kraftfahrers angesehen werden kann, wenn die Versuchspersonen dabei ausschließlich das Display fixieren. In einem Feldversuch wurden die Blickparameter und die Fernlichtnutzung von 42 Probanden auf einem Rundkurs, bestehend aus Landstraßen, Autobahnabschnitten und Ortsdurchfahrten, ermittelt. Dabei wurde dieser Rundkurs von jedem Teilnehmer insgesamt zweimal durchfahren – einmal mit und einmal ohne NVES.

Der Datenauswertung zufolge, wurde das NVES hauptsächlich auf Landstraßen und Autobahnen fixiert. Fahrten mit NVES führten zu einem signifikanten Anstieg der Abblendlichtnutzung, obwohl eine Fernlichtnutzung möglich gewesen wäre. Während dieser Zeit fixierten die Teilnehmer das NVES verstärkt, was zum Teil, aufgrund maxi-

maler Blickdauern von mehr als zwei Sekunden, zu einer Ablenkung des Kraftfahrers geführt hat.

Teilweise wurden sehr hohe maximale Blickdauern auf das Display erreicht, diese liegen im Bereich zwischen 2040 ms und 31600 ms. In diesen Fällen ersetzten die Probanden den direkten Blick durch die Fahrzeugscheiben auf das Verkehrsgeschehen durch Fixation des NVES zeitweise komplett. Während dieser Zeit kann nicht mehr von einer den Fahrer unterstützenden Funktion durch das NVES gesprochen werden, sondern es ist davon auszugehen, dass das NVES den Kraftfahrer von seiner Fahraufgabe ablenkt. Obwohl das NVES den Fahrzeugführer von seiner Fahraufgabe ablenken kann, trägt nach Auswertung der Fragebögen das NVES zur Erhöhung des Sicherheitsempfindens bei.

Den empfundenen Anstieg an Sicherheit bei Fahrt mit NVES, gegenüber der Fahrt ohne NVES, beeinflusste die Versuchspersonen zum Teil zur Reduktion des Fernlichteinsatzes. Im Vergleich zur Fernlichtfahrt können durch das NVES keine höheren Erkennbarkeitsentfernungen erreicht werden, so dass die Fernlichtnutzung nicht zugunsten des NVES reduziert werden sollte.

Das NVES kann den Fahrer nur dann bei seiner Fahraufgabe unterstützen, wenn er seine Aufmerksamkeit auf das Display richtet. Dabei besteht die Gefahr der Ablenkung indem die Fahrzeugführer sich verstärkt dem Display widmen, statt die Straßenszene durch die Fahrzeugscheiben zu fixieren. Um dies zu umgehen, sollte sich auf die Anzeige kritischer Objekte und Ereignisse beschränkt werden. Eine Möglichkeit wäre ein kontaktanaloges Head-up Display, mittels welchen die kritischen Objekte und Ereignisse direkt in der Windschutzscheibe markiert werden könnten. Eine andere Möglichkeit bei der auf ein Display verzichtet werden kann, wären Warnsichtsysteme, wie beispielsweise das Markierungslicht oder die adaptive Lichthupe.

Der Einfluss elektronischer Werbetafeln auf das Blick- sowie Fahrverhalten wurde im dritten Teil der vorliegenden Arbeit untersucht. An dem Feldversuch nahmen 41 Probanden teil, die die Testfahrt entweder am Tag oder in der Nacht absolvierten. Die Blickparameter der ERS wurden mit den Blickparametern auf Verkehrsschilder verglichen. Ab einer maximalen Blickdauer von mehr als zwei Sekunden wird davon ausgegangen, dass der Fahrer visuell abgelenkt ist.

Beim Vergleich der Blickparameter der Verkehrsschilder mit denen der ERS, ergaben sich für die ERS eine höhere Blickanzahl, längere Blickzuwendungszeiten sowie größere maximale Blickdauern. Das Blickverhalten der Tagfahrt unterschied sich nicht signifikant von dem der Nachtfahrt. Eine Analyse der fahrzeugdynamischen Parameter ergab keine eindeutig interpretierbare Tendenz.

Lediglich für die ERS, nicht für die Verkehrsschilder, konnten mehrere maximale Blickdauern von mehr als zwei Sekunden festgestellt werden. Damit konnte gezeigt werden, dass ERS das Blickverhalten des Fahrzeugführers beeinflussen, diesen von seiner Fahraufgabe ablenken können und damit zu einer Erhöhung des Unfallrisikos beitragen können. Allerdings lassen sich die Ergebnisse nicht eins zu eins auf andere Werbetafeln übertragen, da das Blick- sowie Fahrverhalten von vielen Faktoren, wie beispielsweise Position, Leuchtdichte, Werbeinhalt und Darbietungsform der ERS, abhängen.

Im Verkehrsraum sollte darauf geachtet werden, dass die Fahrzeugführer nicht unnötig durch überflüssige Informationen überlastet werden. Weiterhin sollten verkehrsrelevante Beschilderungen auf ein Minimum reduziert und so gestaltet werden, dass eine schnelle Informationsaufnahme möglich ist, ohne dabei den Fahrzeugführer von seiner Fahraufgabe abzulenken.

In der vorliegenden Arbeit wurde Ablenkung aus unterschiedlichen Perspektiven empirisch erforscht. Damit konnte gezeigt werden, dass

Ablenkung durch unterschiedliche Sinnesempfindungen ausgelöst werden kann, die visuelle Ablenkung das Blick- und Fahrverhalten am stärksten beeinträchtigt und durch unterschiedliche Faktoren ausgelöst werden kann. Um die Verkehrssicherheit zu erhöhen, sollte deshalb bei der Gestaltung des Fahrzeuginnenraums sowie des Verkehrsraums ein ganzheitlicher Ansatz gewählt werden, indem nicht nur Aspekte des Designs, der Funktionalität und der Wirtschaftlichkeit, sondern auch die Interaktion zwischen Verkehrsraum, Fahrzeug und Kraftfahrer Berücksichtigung finden.

Weiterführende Untersuchungen zum Thema Ablenkung im Straßenverkehr wären, aufgrund zunehmender Komplexität im Fahrzeug wie auch im Verkehrsraum, nicht nur von wissenschaftlichem Interesse, sondern auch vor dem Hintergrund der Verkehrssicherheit nötig. Es sollte geklärt werden, welche Ablenkung am häufigsten, wann, wo und warum auftritt, welchen Einfluss sie auf die Verkehrssicherheit hat und wie stark das Unfallrisiko dadurch erhöht wird. Daraus lassen sich präventive Maßnahmen entwickeln. Jedoch ist dazu die Zusammenarbeit von Wissenschaft, Gesetzgebung und Industrie notwendig. Außerdem wäre eine Kooperation über Ländergrenzen hinweg und zwischen verschiedenen Industriezweigen (Fahrzeughersteller, Aftermarket und Konsumerelektronik) sinnvoll. Des Weiteren sollten Kampagnen zur Information des Kraftfahrers über die Auswirkungen von Ablenkung während der Fahrt gestartet werden.

ANHANG A

BEGRIFFSDEFINITION ABLENKUNG

Das Konstrukt der Ablenkung bezieht sich in dieser Arbeit lediglich auf den Fahrzeugführer im Straßenverkehr. Dabei führt die Ablenkung zu einer Aufmerksamkeitsverschiebung unter Verwendung der auditiven, biomechanischen, kognitiven oder visuellen Kapazitäten, oder einer Kombination aus diesen, von der Fahraufgabe zu einer Person, einem Objekt, einer Aktivität oder einem Ereignis, welches nicht relevant für die Fahraufgabe ist [32, 33, 34].

ANHANG B

FRAGEBÖGEN

Die im Folgenden aufgeführten Fragebögen enthalten ausschließlich die studienbezogenen Fragen. Nicht enthalten sind rechtliche Fragen wie auch Fragen, die zur Auswahl der Versuchsteilnehmer dienen. Dazu zählen beispielsweise Fragen zum Alter, Geschlecht, Führerschein- sowie Fahrzeugbesitz und den Fahrgewohnheiten.

B.1 ABLENKUNG IM STRASSENVERKEHR

Enkäten som besvarades innan körningen.

1. Hur ofta använder du dig av följande system/gör du följande samtidigt som du kör bil i minst 30 km/h?

	mycket ofta	ganska ofta	då och då	sällan	(nästan) aldrig
navigationssystem (inbyggt i bilen)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
navigationssystem (eftermonterad)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
läsa en karta/ vägbeskrivning	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

FRAGEBÖGEN

	mycket ofta	ganska ofta	då och då	sällan	(nästan) aldrig
prata i mobiltelefon (hanhållen)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
prata i mobiltelefon (handsfree)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
skriva sms	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
läsa sms	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
byta radiokanal eller mp3-låt eller CD etc.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
äta	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
dricka	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
raka/sminka/ kamma dig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

2. Hur påverkas hur säkert du kör utav att du använder följande system/gör följande, jämfört med när du kör utan att använda systemet/utföra aktiviteten?

	körningen förbättras avsevärt	körningen förbättras lite grann	ingen skillnad	körningen försämras lite grann	körningen försämras avsevärt	vet ej
navigationsystem (inbyggd i bilen)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
navigationsystem (eftermonterad)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
läsa en karta/ vägbeskrivning	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
prata i mobiltelefon (hant hållen)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
prata i mobiltelefon (handsfree)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
skriva sms	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
läsa sms	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
byta radiokanal eller mp3-låt eller CD etc.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
äta	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
dricka	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
raka / sminka / kamma dig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

B.2 FAHRVERHALTEN BEI KFZ-INTERNEN EINFLÜSSEN

Fragebogen der nach der Versuchsfahrt ausgefüllt wird.

1. Wie beurteilen Sie das Nachtsichtsystem (NVES) bezüglich seiner Sicherheit?

Bitte beurteilen sie die Aussagen auf einer Skala von 1 bis 7, wobei 1 – „trifft überhaupt nicht zu“ und 7 - „trifft voll und ganz zu“ bedeutet. Dazwischen können Sie Ihre Meinung abstufen.

	1	2	3	4	5	6	7
Verglichen mit Autos ohne NVES, ist die Nutzung von NVES im Auto gefährlich.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich denke nicht, dass NVES gefährlich sind.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich glaube, dass NVES gefährlich sind.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich glaube, dass mehr Unfälle bei Nutzung des NVES geschehen als ohne NVES.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
NVES führen zu einem Sicherheitsgewinn.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

2. Können Sie reelle Gefahrensituationen mit dem Nachtsichtsystem früher einschätzen?

Nein

Ja

Falls ja, beschreiben Sie kurz die Situation:

.....

3. Wie nutzen Sie mit dem Nachtsichtsystem Ihr Fernlicht?

wie immer

seltener

überhaupt nicht

4. Wie beurteilen Sie eine Fahrt ohne im Vergleich zur Fahrt mit dem Nachtsichtsystem (NVES)?

Bitte beurteilen sie die Aussagen auf einer Skala von 1 bis 7, wobei 1 – „trifft überhaupt nicht zu“ und 7 - „trifft voll und ganz zu“ bedeutet. Dazwischen können Sie Ihre Meinung abstufen.

	1	2	3	4	5	6	7
Ich habe mehr Objekte bei Fahrt mit Abblendlicht ohne NVES erkannt, als mit eingeschalteten NVES.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ohne eingeschaltetes NVES fahre ich konzentrierter.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mit eingeschaltetem NVES fahre ich entspannter.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das NVES hat mein Fahrverhalten negativ beeinflusst.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich fahre sicherer mit eingeschalteten NVES, als ohne NVES.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das NVES hat mich von der Fahraufgabe stark abgelenkt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich fühle mich mit eingeschaltetem NVES sicherer als ohne.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Beim Betrachten des NVES verpasse ich relevante Informationen im Straßenverkehr.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

B.3 FAHRVERHALTEN BEI KFZ-EXTERNEN EINFLÜSSEN

Enkäten som besvarades efter körningen.

1. Hur ofta har du kört den sträcka som du precis körde?

- Aldrig tidigare
 <5 gånger
 Mellan 5 till 10 gånger
 Kör den varje vecka
 Kör den varje arbetsdag
 Annat:

2. I hur stor utsträckning upplevde du trygghet/lugn under körningen? Ringa in den siffra som bäst motsvarar din upplevelse.

Inte alls 1 2 3 4 5 6 7 Mycket hög utsträckning

3. I hur stor utsträckning upplevde du stress under körningen? Ringa in den siffra som bäst motsvarar din upplevelse.

Inte alls 1 2 3 4 5 6 7 Mycket hög utsträckning

4. Tyckte du att det hände något utöver det vanliga under körningen?

- Nej
 Ja

5. Om, ja, beskriv din upplevelse av vad som hände?

.....

Under körningen passerade du ett antal elektroniska reklamskyltar. Vi vill ställa några frågor om dessa specifikt:

6. Hur många elektroniska reklamskyltar såg du under körningen? Om ja, var satt de (försöksledaren visar dig bilder). Om nej gå till fråga 14.

.....

7. Minns du vilket budskap som visades på skyltarna?

Nej

Ja

Om ja, förklara vilka.

.....

8. Tyckte du att din körning påverkades av reklamskyltarna?

Nej

Ja

Om ja, hur?

.....

9. Tyckte du att den omgivande trafiken påverkades av reklamskyltarna?

Nej

Ja

Om ja, hur?

.....

10. Tyckte du att din hastighet påverkades av skyltarna?

Nej

Ja

Om ja, hur?

.....

11. Tyckte du att den omgivande trafikens hastighet påverkades av skyltarna?

Nej

Ja

Om ja, hur?

.....

12. Tyckte du att du bromsade när du passerade skylten?

Nej

Ja

Om ja, hur?

.....

13. Tyckte du att du blev visuellt distraherade av skylten, d.v.s. tittade du på skylten istället för trafiken?

Nej

Ja

14. Tycker du att man skall tillåta att ha elektroniska reklamskyltar vid väggkanten på motorvägen?

Nej

Ja

15. Försökte du medvetet undvika att titta på de elektroniska reklamskyltarna när du passerade dem?

Nej

Ja

ANHANG C

ABKÜRZUNGEN, SYMBOLE UND EINHEITEN

C.1 ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

Abkürzung	Beschreibung
AOI	Area of Interest
Base.	Baseline
Blickparam.	Blickparameter
CAN	Controller Area Network
CCD	Charge-coupled Device
CMOS	Complementary metal-oxide-semiconductor
DLP	Digital Light Processing
ECE	Economic Commission for Europe
ERS	Elektronische Werbetafel
FAS	Fahrerassistenzsysteme
FIS	Fahrerinformationssysteme
FIR	Ferninfrarotsysteme
FmvF	Fahrt mit vorausfahrendem Fahrzeug
FovF	Fahrt ohne vorausfahrendes Fahrzeug
HASTE	Human Machine Interface And the Safety of Traffic in Europe
Hap.	Haptische Sekundäraufgabe
Kfz	Kraftfahrzeug
Kog.	Kognitive Sekundäraufgabe

Abkürzung	Beschreibung
LCD	Liquid Crystal Display
Mod	Modalität
NIR	Nahinfrarotsysteme
NVES	Nachtsichtsystem
PRC	Percent Road Centre
SDLP	Standardabweichung der lateralen Position
Sek.	Sekundäraufgabe
S-IVIS	Surrogate In-Vehicle Information Systems
SMI	SensoMotoric Instruments
S-Niv	Schwierigkeitsniveau
StVO	Straßenverkehrsordnung
StVZO	Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung
THW	Time Headway
THW _{min}	minimaler Time Headway
Versbed.	Versuchsbedingung
Vis.	Visuelle Sekundäraufgabe
VS	Verkehrsschilder
VTI	Statens väg- och transportforskningsinstitut

C.2 SYMBOLE UND EINHEITEN

Abkürzung	Beschreibung
a	Bremsverzögerung
Hz	Hertz
km/h	Kilometer pro Stunde
m	Meter
M	Mittelwert
min	Minuten
ms	Millisekunden

Abkürzung	Beschreibung
N	Anzahl
p	Irrtumswahrscheinlichkeit
s	Sekunden
SD	Standardabweichung
v	Geschwindigkeit
°	Grad
°/s	Grad pro Sekunde
%	Prozent
α	Alpha-Niveau
λ	Wellenlänge
Ø	Durchschnitt

ANHANG D

BETREUTE ARBEITEN

- Nagel, J., Diehl, V., Füller, P. Ginzky, V. „*Gefährdung des Straßenverkehrs durch Werbung*“, Hector Seminar, Karlsruhe 2008
- Rabel, P. „*Verkehrsraumanalyse zur optimierten Segmenteinteilung eines LED-Fernlichts*“, Diplomarbeit, Karlsruhe 2008
- Backmann, N. „*Analyse von Nachtunfällen im Hinblick auf Fahrerassistenzsysteme*“, Diplomarbeit, Karlsruhe 2009
- Stockey, S. „*Blickverhalten von Autofahrern im Straßenverkehr*“, Studienarbeit, Karlsruhe 2009
- Martin, M. „*Untersuchung des Blickverhaltens in Kurven am Tag*“, Studienarbeit, Karlsruhe 2009
- Maurer, C. „*Untersuchung des Komfort und Sicherheitsgewinns eines aktiven Nachtsichtsystems*“, Studienarbeit, Karlsruhe 2009
- Panguluri, P. „*Usage of high beam while driving with a Night Vision System*“, Studienarbeit, Karlsruhe 2010
- Gut, C. „*Untersuchung des Blickverhaltens in Kurven in der Nacht*“, Studienarbeit, Karlsruhe 2011
- Nguyen, D. T. „*Untersuchung des Blickverhaltens in Abhängigkeit vom dynamischen Kurvenlicht*“, Bachelorarbeit, Karlsruhe 2011

ANHANG E

VERÖFFENTLICHUNGEN

KONFERENZBEITRÄGE MIT VORTRAG

- Kettwich, C., Neumann, C., „Suitable colours for head-up displays“, ISAL, Darmstadt 2013
- Kettwich, C., Nguyen, T. D., Neumann, C., „Führt dynamisches Kurvenlicht zu einer Veränderung des Blickverhaltens?“, 20. Gemeinschaftstagung Licht 2012, Berlin 2012
- Kettwich, C., Neumann, C., „Active night vision enhancement systems and high-beam usage“, ISAL, Darmstadt 2011
- Kettwich, C., Neumann, C., „Fernlichtnutzung bei Fahrt mit Nachtsichtsystem“, Lux Junior, Ilmenau 2011
- Kettwich, C., Maurer, C., Neumann, C., „Untersuchung des Komfort- und Sicherheitsgewinns eines NIR-Nachtsichtsystems“, 19. Gemeinschaftstagung Licht 2010, Wien 2010
- Kettwich, C., Backmann, N., Lemmer, U., „In-depth analysis of accidents with respect to driver assistance systems“, ISAL, Darmstadt 2009
- Kettwich, C., Klinger, K., Lemmer, U., „Do advertisements at the roadside distract the driver?“, Proceedings SPIE 7003, 7003B-99, Straßburg 2008
- Kettwich, C., Kooß, D., Klinger, K., Lemmer, U., „Beeinflusst selbstleuchtende Dachwerbung auf Kraftfahrzeugen unser Fahrverhalten?“, Vortrag, 18. Gemeinschaftstagung Licht 2008, Ilmenau 2008

- Kettwich, C., Klinger, K., Lemmer, U., „Influence of advertisements on the driver's behaviour in the road traffic scene", ISAL, Darmstadt 2007
- Kettwich, C., Klinger, K., Lemmer, U., „Beeinflusst Werbung unser Fahrverhalten?", Lux Junior, Ilmenau 2007

KONFERENZBEITRÄGE MIT POSTER

- Kettwich, C., Backmann, N., Lemmer, U., „Analyse von Nachtunfällen in Hinblick auf Fahrerassistenzsysteme", Lux Junior, Ilmenau 2009
- Kettwich, C., Klinger, K., Lemmer, U., „Are advertisements a distraction for the driver?", SWAET, Lund 2008

VORTRÄGE

- Kettwich, C., Neumann C., „High-beam usage while driving with an active night vision enhancement system", 13th International Conference Intelligent Automotive Lighting, Wiesbaden 2013
- Kettwich, C., Fors, C., „Drivers' visual behaviour at cycle crossings", Human Factors and Ergonomics Society Europe Chapter, Annual Meeting, Leeds 2011
- Kettwich, C., Stockey, S., Lemmer, U., „Visual behaviour of car drivers in road traffic", Driver Behaviour and Training, Amsterdam 2009

- Kettwich, C., Kooß, D., Lemmer, U., „Blickzuwendungsprozesse bei Lichtwerbung im Straßenverkehr“, Jahresversammlung der Hochschulgemeinschaft für Lichttechnik, Karlsruhe 2008

POSTER

- Kettwich, C., „High beam usage while driving with an active night vision enhancement system“, Karlsruhe Days of Optics & Photonics, Karlsruhe 2011
- Kettwich, C., Stockey, S., Lemmer, U., „Car drivers' gaze behavior“, ECEM, Southampton 2009
- Kettwich, C., Maurer, C., Neumann, C., „Investigation of an active night vision enhancement system with respect to driving behavior“, VISION, Versailles 2010
- Kettwich, C., „Object recognition in road traffic“, Karlsruhe School of Optics & Photonics Summer School, Bad Herrenalb 2009

EIGENSTÄNDIGE WERKE

- Kettwich, C., Fors, C., „Driver gaze behaviour at cycle crossings in daylight and at night“, VTI rapport 433A, Linköping 2011

BUCHABSCHNITTE

- Kettwich, C., Fors, C., „Drivers' visual behaviour at cycle crossings“, Human Factors of Systems and Technology, S. 265-276, 2012
- Kettwich, C., Neumann, C., „Untersuchungen des Komforts und Sicherheitsempfindens eines aktiven Nachtsichtsystems“, Handbuch der Beleuchtung, 51. Ergänzungslieferung, Landsberg: Ecomed Sicherheit, 2011
- Kettwich, C., Stockey, S., Lemmer, U., „Visual behaviour of car drivers in road traffic“, Driver Behaviour and Training, Volume IV, S. 307-315, 2010
- Kettwich, C., Stockey, S., „Blickverhalten von Autofahrern im Straßenverkehr zu unterschiedlichen Tageszeiten“, Handbuch der Beleuchtung, 45. Ergänzungslieferung, Landsberg: Ecomed Sicherheit, 2009
- Kettwich, C., Kooß, D., „Selbstleuchtende Dachwerbung auf Kraftfahrzeugen – inwieweit beeinflusst sie unser Fahrverhalten?“, Handbuch der Beleuchtung, 43. Ergänzungslieferung, Landsberg: Ecomed Sicherheit, 2009

ZEITSCHRIFTENARTIKEL

- Dukic, T., Ahlstrom, C., Patten, C., Kettwich, C., Kircher, K., „Effects of Electronic Billboards on Driver Distraction“, Traffic Injury Prevention, Volume 14, Issue 5, S. 469-476, 2013

ANHANG F

DANKSAGUNG

Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen meiner Tätigkeit als wissenschaftliche Mitarbeiterin des Lichttechnischen Instituts des Karlsruher Instituts für Technologie.

Mein besonderer Dank gilt gleichermaßen meinem Doktorvater und Betreuer Prof. Cornelius Neumann für seinen wissenschaftlichen Rückhalt und Prof. Uli Lemmer, der mich am LTI als Doktorand aufgenommen hat. Ohne das mir entgegengebrachte Vertrauen und die Unterstützung wäre die vorliegende Arbeit nicht möglich gewesen.

Ebenfalls möchte ich mich bei Prof. Christoph Schierz für die Übernahme des Koreferates herzlich bedanken.

Darüber hinaus danke ich den Herren Dr. Karl Manz, Dr. Dieter Koof sowie Dr. Karsten Köth für ihre Unterstützung in Form zahlreicher wissenschaftlicher Anregungen und Diskussionen.

Besonders herzlich bedanke ich mich bei allen Probanden, ohne diese die Arbeit nicht möglich gewesen wäre.

Für die Förderung meines Auslandsaufenthaltes am schwedischen staatlichen Wege- und Transportforschungsinstituts (Statens väg- och transportforskningsinstitut VTI) in Linköping danke ich dem Karlsruher House of Young Scientists.

Bei meinen schwedischen Kollegen aus dem VTI bedanke ich mich für die Möglichkeit als Gastwissenschaftlerin zu forschen. Dank ihnen habe ich viele Einblicke in die Arbeit des Forschungsinstituts erhalten

und neue Erkenntnisse gewonnen. Für die tolle Zusammenarbeit und der Unterstützung meines Promotionsvorhabens bedanke ich mich besonders bei Dr. Jan Andersson, Carina Fors, Dr. Katja Kircher, Dr. Christer Ahlström, Dr. Tania Willstrand, Dr. Lena Nilsson und Anders Andersson.

Des Weiteren gilt mein Dank den von mir betreuten Studenten und studentischen Hilfskräfte, deren Mithilfe entscheidend zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen hat.

Ebenso möchte ich mich bei allen Korrekturlesern für das aufmerksame Lesen meiner Dissertation sowie für die konstruktive Kritik und die Verbesserungsvorschläge bedanken.

Außerdem möchte ich meinen Arbeitskollegen der gesamten Abteilung Optische Technologien im Automobil/Allgemeine Lichttechnik für den fachlichen Austausch, das angenehme Arbeitsklima und das freundschaftliche Miteinander, welches sich nicht nur auf alle Aspekte des Arbeitsalltags beschränkt, danken. Im Besonderen danke ich Dr. Christian Jebas, Steffen Michenfelder und Tino Fettke für die tolle Zusammenarbeit.

Abschließend gilt mein ganz besonderer Dank meiner Familie, die mich auf privatem und beruflichen Weg stets unterstützt und motiviert hat.

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] PEDEN, M., SCURFIELD, R., SLEET, D., MOHAN, D., HYDER, A. A., JARAWAN, E., MATHERS, C. (Herausgeber): *World report on road traffic injury prevention*. World Health Organisation, 2004.
- [2] STATISTISCHES BUNDESAMT: *Statistisches Jahrbuch 2008*, 2008.
- [3] ENKE, K.: *Möglichkeiten zur Verbesserung der aktiven Sicherheit innerhalb des Regelkreises Fahrer-Fahrzeug-Umgebung*. In: 7. Tagung über Sicherheitsfahrzeuge, 1979.
- [4] ALEXANDER, G. J., LUNENFELD, H.: *Driver Expectancy in Highway Design and Traffic Operations*. Technischer Bericht, U.S. Department of Transportation, 1986.
- [5] BENGLER, K.: *Modelling Driver Behaviour in Automotive Environments: Critical Issues in Driver Interactions with Intelligent Transport Systems*, Kapitel Subject Testing for Evaluation of Driver Information Systems and Driver Assistance Systems - Learning Effects and Methodological Solutions, Seiten 123–134. Springer, 2007.
- [6] EVANS, L.: *Traffic Safety and the Driver*. Van Nostrand Reinhold, 1991.
- [7] DEWAR, R., OLSON, P., ALEXANDER, G.: *Human Factors in Traffic Safety*, Kapitel Perception and Information Processing, Seiten 11–32. Lawyers and Judges Publishing, 2007.
- [8] BÄUMLER, H.: *Die Bedeutung der Fahrerreaktionszeit bei der Vermeidung von Verkehrsunfällen*. Zeitschrift für Verkehrssicherheit, 3:170–174, 2013.
- [9] DORNHÖFER, S. M., PANNASCH, S., UNEMA, P. J. A.: *Augenbewegungen und deren Registrierungsmethoden*, Seminar: Augenbewegungen und Aufmerksamkeit Auflage.

- [10] BERKE, A.: *Augenmuskeln und Augenbewegungen*. Optometrie , 1:13–27, 2000.
- [11] UNEMA, P. J. A.: *Eye movements and mental effort*. Shaker Verlag, 1995.
- [12] JOOS, M., RÖTTING, M., VELICHKOVSKY, B. M.: *Psycholinguistik/ Psycholinguistics. Ein internationales Handbuch/ An International Handbook*, Kapitel Spezielle Verfahren I: Bewegungen des menschlichen Auges: Fakten, Methoden, innovative Anwendungen, Seiten 142–168. Walter de Gruyter GmbH, 2003.
- [13] HOFFMANN, K.-P., WEHRHAHN, C.: *Neurowissenschaft: vom Moleküll zur Kognition*, Kapitel Zentrale Sehsysteme, Seiten 407–428. Springer-Lehrbuch. Springer, 2001.
- [14] CARPENTER, R. H. S.: *Movements of the Eyes*. Pion Limited, 1988.
- [15] JUST, M.A., CARPENTER, P.A.: *Eye fixations and cognitive processes*. Cognitive Psychology, 8(4):441–480, 1976.
- [16] STÖPPLER, R.: *Mobilitäts- und Verkehrserziehung bei Menschen mit geistiger Behinderung*. Klinkhardt, J., 2002.
- [17] HAHN, D.: *Mobilitätstraining als Beitrag zum Empowerment bei geistig behinderten Menschen in Werkstätten für behinderte Menschen*. GRIN Verlag, 2005.
- [18] ENGSTRÖM, J.: *Understanding attention selection in driving: From limited capacity to adaptive behaviour*. Doktorarbeit, Doktorsavhandlingar vid Chalmers tekniska högskola, Göteborg, 2011.
- [19] ENGSTRÖM, I., GREGERSEN, N. P., HERNETKOSKI, K., KESKINEN, E., NYBERG, A.: *Young novice drivers, driver education and training. Literature review*. Technischer Bericht, Swedish National Road and Transport Research Institute (VTI), Linköping, 2004.
- [20] HOFFMANN, H.: *Experimentelle Untersuchung möglicher Ursachen der Fahrfehler älterer Kraftfahrer - Hinweise für die Entwicklung*

- von FAS für ältere Kraftfahrer. Zeitschrift für Verkehrssicherheit, 3:175–179, 2013.
- [21] POSCHADEL, S., FALKENSTEIN, M.: *Verkehrssicherheitsrelevante Leistungspotenziale, Defizite und Kompensationsmöglichkeiten älterer Autofahrer*, Band Reihe Mensch und Sicherheit. Bundesanstalt für Straßenwesen, Bremerhaven, 2012.
- [22] HAKAMIES-BLOMQVIST, L., SIRÉN, A., DAVIDSE, R.: *Older drivers - a review*. Technischer Bericht, Swedish National Road and Transport Research Institute (VTI), Linköping, 2004.
- [23] HÜTTER, A.: *Verkehr auf einen Blick*. Technischer Bericht, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden, 2013.
- [24] RÜHMANN, H., BUBB, H.: *Fahrerassistenzsysteme - Ein Gewinn an Sicherheit und Komfort oder elektronischer Schnickschnack*. Ergonomie aktuell., Seiten 2–13, 2006.
- [25] ECHTERHOFF, W.: *Lexikon der Psychologie*. Verlag Hans Huber, 2014.
- [26] FORSTER, S., LAVIE, N.: *Failures to Ignore Entirely Irrelevant Distractors: The Role of Load*. Journal of Experimental Psychology: Applied, 14(1):73–83, 2008.
- [27] VOLLRATH, M.: *Interview: Prof. Dr. Mark Vollrath über Ablenkung im Straßenverkehr*. Abgelenkt, Seiten 28–29, 2014.
- [28] ECKERT, M.: *Lichttechnik und optische Wahrnehmungssicherheit im Straßenverkehr*. Verl. Technik, Berlin [u.a.], 1. Aufl. Auflage, 1993.
- [29] FASTENMEIER, W.: *Verkehrstechnische und verhaltensbezogene Merkmale von Fahrstrecken - Entwicklung und Erprobung einer Typologie von Straßenverkehrssituationen*. Doktorarbeit, Technische Universität München, 1994.
- [30] LACHENMAYR, B., BUSER, A., KELLER, O.: *Sehstörungen als Unfallursache*. Technischer Bericht, 1997.

- [31] SIVAK, M.: *The information that drivers use: is it indeed 90% visual?* Perception, 25(9):1081–1089, 1996.
- [32] PETTITT, M., BURNETT, G., STEVENS, A.: *Defining Driver Distraction*. In: *World Congress on Intelligent Transport Systems*, 2005.
- [33] WIERWILLE, W. W.: *Automotive Ergonomics*, Kapitel Visual and manual demands of in-car controls and displays, Seiten 299–320. Taylor & Francis, 1993.
- [34] YOUNG, K., REGAN, M., HAMMER, M.: *Driver distraction: A review of the literature*. Technischer Bericht 206, Monash University, 2003.
- [35] AMADO, S., ULUPINAR, P.: *The effects of conversation on attention and peripheral detection: Is talking with a passenger and talking on the cell phone different?* Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 8(6):383–395, 2005.
- [36] BURNS, P. C., PARKES, A., BURTON, S., SMITH, R. K., BURCH, D.: *How dangerous is driving with a mobile phone? Benchmarking the impairment to alcohol*. Technischer Bericht, TRL547, 2002.
- [37] DONMEZ, B., BOYLE, L. N., LEE, D. N.: *Safety implications of providing real-time feedback to distracted drivers*. Accident Analysis & Prevention, 39(3):581–590, 2007.
- [38] HORBERRY, T., ANDERSON, J., REGAN, M. A., TRIGGS, T. J., BROWN, J.: *Driver Distraction: The effects of concurrent in-vehicle tasks, road environment complexity and age on driving performance*. Accident Analysis & Prevention, 38(1):185–191, 2006.
- [39] LANSDOWN, T. C., BROOK-CARTER N., KERSLOOT, T.: *Distraction from multiple in-vehicle secondary tasks: vehicle performance and mental workload implications*. Ergonomics, 47(1):91–104, 2004.
- [40] RANNEY, T. A., MAZZAE, E., GARROTT, R.: *NHTSA Driver Distraction Research: Past, Present, and Future*. Technischer Bericht, Transportation Research Center Inc. East Liberty, 2000.

- [41] YOUNG, K. L., SALMON, P. M., CORNELISSEN, M.: *Distraction-induced driving error: An on-road examination of the errors made by distracted and undistracted drivers*. Accident Analysis & Prevention, 58(0):218–225, 2013.
- [42] BROWN, J., HORBERRY, T., ANDERSON, J., REGAN, M. A., TRIGGS, T. J.: *Investigation of the Effects of Driver Distraction*. In: *Policing and Education Conference*, 2003.
- [43] STUTTS, J. C., REINFURT, D. W., STAPLIN, L., RODGMAN, E. A.: *The role of driver distraction in traffic crashes*. Technischer Bericht, AAA Foundation for Traffic Safety, 2001.
- [44] TREAT, J. R., TUMBAS, N. S., MCDONALD, S. T., SHINAR, D., HUME, R. D., MAYER, R. E., STANSIFER, R. L., CASTELLAN, N. J.: *Tri-level study of the causes of traffic accidents*. Technischer Bericht, Indiana University, Bloomington, Institute for Research in Public Safety, 1979.
- [45] *Road Safety Information*. The Royal Society for the Prevention of Accidents, 2007.
- [46] GREEN, P.: *Human Factors in Traffic Safety*, Kapitel Where do drivers look while driving (and for how long)?, Seiten 77–110. Lawyers and Judges Publishing, 2002.
- [47] HUGHES, P. K., COLE, B. L.: *What Attracts Attention When Driving?* Ergonomics, 29(6):377–391, 1986.
- [48] KLAUER, S. G., GUO, F., SUDWEEKS, J. D., DINGUS T. A.: *An Analysis of Driver Inattention Using a Case-Crossover Approach 100-Car Data: Final Report*. Technischer Bericht, National Highway Traffic Safety Admin. (NHTSA), 2010.
- [49] LAND, M. F., LEE, D. N.: *Where we look when we steer*. Nature, 369:742–744, 1994.

- [50] SAYER, J. R., DEVONSHIRE, J. M., FLANNAGAN, C. A.: *The Effects of Secondary Tasks on Naturalistic Driving Performance*. Technischer Bericht, University of Michigan, 2005.
- [51] STUTTS, J., FEAGANES, J., REINFURT, D., RODGMAN, E., HAMLETT, C., GISH, K., STAPLIN, L.: *Driver's exposure to distractions in their natural driving environment*. Accident Analysis & Prevention, 37(6):1093–1101, 2005.
- [52] STUTTS, J., FEAGANES, J., RODGMAN, E., HAMLETT, C., MEADOWS, T., REINFURT, D., GISH, K., MERCADANTE, M., STAPLIN, L.: *Distractions in Everyday Driving: Causes and Consequences*. Technischer Bericht, AAA Foundation for Traffic Safety, Washington, DC, 2003.
- [53] CAIRD, J., DEWAR, R.: *Human Factors in Traffic Safety*, Kapitel Driver Distraction, Seiten 195–229. Lawyers and Judges Publishing, 2007.
- [54] SUSSSMAN, E.D., BISHOP, H., MADNICK, B., WALTER, R.: *Driver Inattention and Highway Safety*. Transportation Research Record, 1047:40–48, 1985.
- [55] DINGUS, T. A., KLAUER, S. G., NEALE, V. L., PETERSEN, A., LEE, S. E., SUDWEEKS, J., PEREZ, M. A., HANKEY, J., RAMSEY, D., GUPTA, S., BUCHER, C., DOERZAPH, Z. R., JERMELAND, J., KNIPLING, R. R.: *The 100-Car Naturalistic Driving Study: Phase II - Results of the 100-Car Field Experiment*. Technischer Bericht, National Highway Traffic Safety Administration, Washington, DC, 2006.
- [56] KLAUER, S. G., DINGUS, T. A., NEALE, V. L., SUDWEEKS, J. D., RAMSEY, D. J.: *The impact of driver inattention on nearcrash/crash risk: An analysis using the 100-car naturalistic driving study data*. Technischer Bericht, National Highway Traffic Safety Administration, 2006.

- [57] WANG, J-S., KNIPLING, R. R., GOODMAN, M. J.: *The role of driver Inattention in crashes; new statistics from the 1995 crashworthiness data system.* In: *Proceedings of the 40th annual conference of the association for the advancement of automotive medicine*, Seiten 377–392, 1996.
- [58] MCEVOY, S. P., STEVENSON, M. R., WOODWARD, M.: *The prevalence of, and factors associated with, serious crashes involving a distracting activity.* *Accident Analysis & Prevention*, 39(3):475–482, 2007.
- [59] MCEVOY, S. P., STEVENSON, M. R., WOODWARD, M.: *The Impact of Driver Distraction on Road Safety: Results from a representative survey in two Australian States.* *Injury Prevention*, 12:242–247, 2006.
- [60] STUTTS, J., KNIPLING, R. R., PFEFFER, R., NEUMANN, T. R., SLACK K. L., HARDY, K. K.: *Guidance for Implementation of the AASHTO Strategic Highway Safety Plan, Volume 14: A Guide for Reducing Crashes Involving Drowsy and Distracted Drivers.* Technischer Bericht, Transportation Research Board, 2005.
- [61] NEYENS, D. M., BOYLE, L. N.: *The influence of driver distraction on the severity of injuries sustained by teenage drivers and their passengers.* *Accident Analysis & Prevention*, 40(1):254–259, 2008.
- [62] RANNEY, T. A.: *Driver distraction: A review of the Current State-of-Knowledge.* Technischer Bericht, National Highway Traffic Safety Administration, 2008.
- [63] FARBRY, J., WOCHINGER, K., SHAFER, T., OWENS, N., NEDZESKY, A.: *Research review of potential safety effects of electronic billboards on driver attention and distraction.* Technischer Bericht, Human Centered Systems Team, Office of Safety Research and Development, Federal Highway Administration, 2001.

- [64] ALM, H., NILSSON, L.: *The effects of a mobile telephone task on driver behaviour in a car following situation*. Accident Analysis & Prevention, 27(5):707–715, 1995.
- [65] BROOKHUIS, K. A., DE VRIES, G., DE WAARD, D.: *The effects of mobile telephoning on driving performance*. Accident Analysis & Prevention, 23(4):309–316, 1991.
- [66] CHIANG, D. P., BROOKS, A. M., WEIR, D. H.: *On the highway measures of driver glance behavior with an example automobile navigation system*. Applied Ergonomics, 35:215–223, 2004.
- [67] DEY, M., GSCHWEND, B., BAUMGARTNER, T. JÄNCKE, P. JÄNCKE, L.: *Effekte von Musik auf das Fahrverhalten*. Zeitschrift für Verkehrssicherheit, 1:32–36, 2006.
- [68] DUKIC, T., HANSON, L., FALKMER, T.: *Effect of drivers' age and push button locations on visual time off road, steering wheel deviation and safety perception*. Ergonomics, 49(1):78–92, 2006.
- [69] HARBLUK, J. L., NOY, Y. I.: *The impact of cognitive distraction on driver visual behaviour und vehicle control*. Technischer Bericht, Ergonomics Division, Road Safety Directorate and Motor Vehicle Regulation Directorate, 2002.
- [70] MCKNIGHT, A., MCKNIGHT, S.: *The effect of cellular phone use upon driver attention*. Accident Analysis & Prevention, 25(3):259–265, 1993.
- [71] PRAXENTHALER, M.: *Experimentelle Untersuchung zur Ablenkungswirkung von Sekundäraufgaben während zeitkritischer Fahr-situationen*. Doktorarbeit, Universität Regensburg, 2003.
- [72] LUFF, K.: *Die Orientierung im Strassenverkehr bei Nachtfahrten*, Kapitel Probleme des verkehrsgerechten Sehens, Seiten 83–98. TÜV Rheinland, 1988.

- [73] BARRETT, J.: *Side Effects of Virtual Environments: A Review of the Literature*. Technischer Bericht, Australian Government, Department of Defence, 2004.
- [74] KNAPPE, G., KEINATH, A., MEINECKE, C.: *Empfehlungen für die Bestimmung der Spurhaltegröße im Kontext der Fahrsimulation*. MMI-Interaktiv, 11:3–13, 2006.
- [75] ROSKAM, A. J., BROOKHUIS, K. A., DE WAARD, D., CARSTEN, O. M. J., READ, L., JAMSON, S. ET AL.: *HASTE deliverable 1 - development of experimental protocol*. Technischer Bericht, 2002.
- [76] VOGEL, K.: *A comparison of headway and time to collision as safety indicators*. Accident Analysis & Prevention, 35(3):427–433, 2003.
- [77] J2396, SAE: *SAE Definitions and Experimental Measures Related to the Specification of Driver Visual Behavior Using Video Based Techniques*.
- [78] JUST, M.A., CARPENTER, P.A.: *A theory of reading: From eye fixations to comprehension*. Psychological Review, 87(4):329–354, 1980.
- [79] ÖSTLUND, J., NILSSON, L.; CARSTEN, O.; MERAT, N., JAMSON, H.; JAMSON, S.; MOUTA, S., CARVALHAIS, J., SANTOS, J., ANTILA, V., SANDBERG, H., LUOMA, J., DE WAARD, D, BROOKHUIS, K. JOHANSSON, E., ENGSTRÖM, J., VICTOR, T., HARBLUK, J., JANSSEN, W. BROUWER, R.: *HASTE Deliverable 2 - HMI and Safety-Related Driver Performance*. Technischer Bericht, Human Machine Interface and the Safety Traffic in Europe, 2004.
- [80] AHLSTROM, C., KIRCHER, K., KIRCHER, A.: *Considerations when calculating percent road centre from eye movement data in driver distraction monitoring*. In: *Proceedings of the Fifth International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design*, 2009.

- [81] RECARTE, M. A., NUNES, L. M.: *Effects of verbal and spatial-imagery tasks on eye fixations while driving*. Journal of Experimental Psychology: Applied, 6(1):31–43, 2000.
- [82] VICTOR, T. W.: *Keeping Eye and Mind on the Road*. Doktorarbeit, Uppsala Universitet, 2005.
- [83] VICTOR, T. W., HARBLUK, J. L., ENGSTRÖM, J. A.: *Sensitivity of eye-movement measures to in-vehicle task difficulty*. Transportation Research Part F, 8(2):167–190, 2005.
- [84] KIRCHER, A. VOGEL, K., TÖRNROS, J., BOLLING, A., NILSSON, L., PATTEN, C., MALMSTRÖM, T., CECI, R.: *Mobile telephone simulator study*. Technischer Bericht, VTI, 2004.
- [85] PATTEN, C., KIRCHER, A., ÖSTLUND, J., NILSSON, L.: *Using mobile telephones: cognitive workload and attention resource allocation*. Accident Analysis & Prevention, 36:341–350, 2004.
- [86] ENGSTRÖM, J., JOHANSSON, E., ÖSTLUND, J.: *Effects of visual and cognitive load in real and simulated motorway driving*. Transportation Research Part F, 8(2):97–120, 2005.
- [87] HORREY, W. J., SIMONS, D. J.: *Examining cognitive interference and adaptive safety behaviours in tactical vehicle control*. Ergonomics, 50(8):1340–1350, 2007.
- [88] ZWAHLEN, H. T., ADAMS, C. C., DEBALD, D. P.: *Safety aspects of CRT touch panel controls in automobiles*. In: GALE, A.G., FREEMAN, M.H., HASLEGRAVE, C.M., SMITHAND P.A., TAYLOR, S.P. (Herausgeber): *Vision in Vehicles II*, Band 2, Seiten 335–344, Amsterdam, 1988. Elsevier.
- [89] KIRCHER, A. PATTEN, C., AHLSTRÖM, C.: *Mobile telephones and other communication devices and their impact on traffic safety. A review of the literature*. Technischer Bericht rapport 729A, VTI, 2011.

- [90] ROHDE, K.: *Haftung und Kompensation bei Strassenverkehrsunfällen: eine rechtsvergleichende Untersuchung nach deutschem und neuseeländischem Recht*. Band 232 Studien zum ausländischen und internationalen Privatrecht. Mohr Siebeck, 2009.
- [91] GSTALTER, H., FASTENMEIER, W.: *Definition und Validierung von Kriterien für die Ablenkungswirkung von MMI-Lösungen*. Technischer Bericht, 1996. Motiv-Teilprojekt MMI AP/5.
- [92] THEOFANOU, D.: *Maße zur Erfassung von visueller Ablenkung bei verschieden komplexen Streckenabschnitten*. Doktorarbeit, Universität Regensburg, 2002.
- [93] MOURANT, R. R., ROCKWELL, T. H. : *Visual information seeking of novice drivers*. In: *International Automobile Safety Conference Compendium*, New York, 1970. SAE.
- [94] MOURANT, R. R., ROCKWELL, T. H. : *Strategies of visual search by novice and experienced drivers*. *Human Factors*, 14(4):325–335, 1972.
- [95] ROCKWELL, T. H.: *Eye Movement Analysis of Visual Information Acquisition in Driving : An Overview*. In: *Proceedings of the 6 th. Conference of the Australian Road Research Board*, Band 6, Seiten 316–329, 1972.
- [96] SUMMALA, H.: *Risk control is not risk adjustment: the zero-risk theory of driver behaviour and its implications*. *Ergonomics*, 31(4):491–506, 1988.
- [97] SUMMALA, H., NIEMINEN, T., PUNTO, M.: *Maintaining Lane Position with Peripheral Vision during In-Vehicle Tasks*. *Human Factors*, 38:442–451, 1996.
- [98] SALVUCCI, D. D., GRAY, R.: *A two-point visual control model of steering*. *Perception*, 33(10):1233–1248, 2004.

- [99] GSTALTER, H., FASTENMEIER, W.: *Ablenkungskritische Situationen: Theoretische Konzepte und praktische Hinweise*. Technischer Bericht, 1998. Motiv-Teilprojekt MMI AP/5.
- [100] VERWEY, W.: *Evaluating safety effects of in-vehicle information systems (IVIS). A detailed research proposal*. Technischer Bericht, TNO Institute for Perception, Soesterberg, 1996.
- [101] COHEN, A. S.: *Einflussgrößen auf das nutzbare Sehfeld*. Technischer Bericht, Bast-Bericht, 1984.
- [102] MIURA, T.: *Eye movements: From physiology to cognition*, Kapitel Behavior orientated vision: Functional field of view and processing resource under a free eye movement condition, Seiten 563–572. North Holland Press, 1987.
- [103] MIURA, T.: *Visual search in intersections - an underlying mechanism*. IATSS Research, 16(1):42–49, 1992.
- [104] URBAS, L., LEUCHTER, S., PAPE, N., TRÖSTERER, S.: *Prospektive Gestaltung der Ablenkungswirkung von In Vehicle Information Systems*. In: *Tagungsband der 2. Berliner Fachtagung Fahrermodellierung 2008*, VDI-Verlag Fortschritts-Berichte, Reihe 22. VDI-Verlag Düsseldorf, 2009.
- [105] HARBLUK, J. L., NOY, Y. I., TRBOVICH, P. L., EIZENMAN, M.: *An on-road assessment of cognitive distraction: Impacts on drivers' visual behavior and braking performance*. Accident Analysis & Prevention, 39(2):372–379, 2007.
- [106] TÖRNROS, J. E. B., BOLLING, A. K.: *Mobile phone use - Effects of handheld and handsfree phones on driving performance*. Accident Analysis & Prevention, 37(5):902–909, 2005.
- [107] ALM, H., NILSSON, L.: *Changes in driver behaviour as a function of handsfree mobile phones - A simulator study*. Accident Analysis & Prevention, 26(4):441–451, 1994.

- [108] DAHMEN-ZIMMER, K., HUBER, M., KAISER, I., SCHEUFLER, IM PIECHULLA, W., PRAXENTHALER, M., VOGEL, K., ZIMMER, A.: *Definition und Validierung von Kriterien für die Ablenkungsauswirkung von MMI-Lösungen*. Technischer Bericht, 1998.
- [109] RISSER, R., CHALOUPKA, C.: *Zur Entwicklung eines Instrumentariums zur Identifizierung gefährlicher Verhaltensweisen*. Zeitschrift für Verkehrssicherheit, 36(3):117–123, 1990.
- [110] STATISTISCHES BUNDESAMT: *Verkehrsunfälle, Fachserie 8 Reihe 7*. Technischer Bericht, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden, 2013.
- [111] SIGTHORSSON, H.: *Unfallgeschehen bei Helligkeit, Dämmerung und Dunkelheit*. Zeitung für Verkehrssicherheit, 42(4):149–155, 1996.
- [112] SULLIVAN, J. M., FLANNAGAN, M. J.: *Characteristics of Pedestrian Risk in Darkness*. Technischer Bericht, The University of Michigan, Transportation Research Institute, Ann Arbor, Michigan, 2001.
- [113] CAVALLO, V. E. , COHEN, A. S.: *Traffic psychology today*, Kapitel Perception, Seiten 63–89. Kluwer, 2001.
- [114] HILLS, B. L.: *Vision, visibility, and perception in driving*. Perception, 9(2):183–216, 1980.
- [115] NAGAYAMA, Y.: *Role of visual perception in driving*. IATSS Research, 2:64–73, 1978.
- [116] OWENS, D., TYRELL, R.: *Effects of luminance, blur, age on nighttime visual guidance: A test of selective degradation hypothesis*. Journal of Experimental Psychology: Applied, 5(2):115–128, 1999.
- [117] LEIBOWITZ, H., OWENS, D., TYRELL, R.: *The assured clear distance ahead rule - Implications for nighttime traffic safety and the law*. Accident Analysis & Prevention, 30(1):93–99, 1998.
- [118] WÖRDENWEBER, B., LACHMAYER, R., WITT, U., KREMS, J. F.: *Intelligente Frontbeleuchtung*. Automobiltechnische Zeitschrift, 98(10):546–551, 1996.

- [119] BECK JURISTISCHER VERLAG: *Straßenverkehrs-Ordnung (StVO)*, 11. Auflage, 2009.
- [120] JOHANNSON, G., RUMAR, K.: *Visibility distances and safe approach speeds for night driving*. *Ergonomics*, 11(3):275–282, 1968.
- [121] OLSON, P.L.: *Vision and perception*. In: PEACOCK, B.; KARWOWSKI, W. (Herausgeber): *Automotive Ergonomics*, Seiten 161–183. Taylor & Francis, 1993.
- [122] SPRUTE, J., HAFFERKEMPER, N., KHANH, T.: *Fernlichtnutzung: Fehlbedienung und Risikokompensation durch Autofahrer - Potenziale für Fernlichtassistenzsysteme*. *Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik*, 2:44–50, 2010.
- [123] BECK JURISTISCHER VERLAG: *Regelung Nr. 48 der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa, Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung der Fahrzeuge hinsichtlich des Anbaus der Beleuchtungs- und Lichtsignaleinrichtungen*, 2008. Amtsblatt der Europäischen Union.
- [124] BLANCO, M. , HANKEY, J. M. , DINGUS, T. A.: *Evaluating new technologies to enhance night vision by looking at detection and recognition distances of nonmotorists and objects*. In: *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, Band Volume 45 , Seiten 1612–1616, 2001.
- [125] FLANNAGAN, M. J., SIVAK, M., TRAUBE, E.C., KOJIMA, S.: *Effects of Overall Low-Beam Intensity on Seeing Distance in the Presence of Glare*. *Transportation Human Factors*, 2(4):313–330, 2000.
- [126] HARE, C. T.. HEMION, R. H.: *Headlamp beam usage on U.S. highways*. Southwest Research Institute, San Antonio, 1968.
- [127] LOCHER, J., VOELKER, S.: *The Influence of Vehicle Beam Patterns on Safety and Acceptance*. In: *Lighting*, Seiten 227–231. Society for Automotive Engineers, 2004.

- [128] BÖHM, M., KREMS, J. F., LOCHER, J.: *Efficacy of adaptive Front-Lighting Systems - A field Study Under Further Consideration of Drivers' Customary Highbeam Usage Behavior*. In: *Proceedings of the 8th International Symposium on Automotive Lighting*, Seiten 238–242. Utz Verlag, München, 2009.
- [129] KROCHMANN, J.: *Reaktionszeit von Kraftfahrern*. 1979.
- [130] SIVAK, M., FLANNAGAN, M. J.: *Human factors considerations in the design of vehicle headlamps and signal lamps*. In: PEACOCK, B., KARWOWSKI, W. (Herausgeber): *Automotive ergonomics*, Seiten 185–204. Taylor & Francis, 1993.
- [131] SAXONIA: *Fahrzeug-Zulassungsverordnung und Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung: Textsammlung*, 2. Auflage, 2013.
- [132] DREIER, B., ROSENHAHN, E.-O.: *Kameragesteuerte adaptive Scheinwerfer-Lichtfunktionen: Adaptive Reichweite und Teilfernlicht als Beitrag zur Verkehrssicherheit*. In: *Optische Technologien in der Fahrzeugtechnik VDI-Berichte Nr. 2090*, VDI Verlag, Seiten 71–82, Karlsruhe, 2010.
- [133] WÖRDENWEBER, B., NEWE, B., LAUBER, R., EICHHORN, K., GRIMM, M.: *Hella Licht, Research and Development Review 2000*. Technischer Bericht, Hella KG Hueck und Co, Lippstadt, 2000.
- [134] BUTTNER, C.: *Vision enhancement for night driving infrared technology for automotive application*. In: *Vehicle and Infrastructure Safety Improvement in Adverse Conditions and Night Driving*, Seiten 1–3, 2002.
- [135] MEFFORD, M. L., FLANNAGAN, M. J., BOGARD, S. E.: *Real-world use of high-beam headlamps*. University of Michigan, Transportation Research Institute, 2006.
- [136] SCHWAB, R. N., HEMION, R. H., ALLEN, M. J., OYLER, R. W.: *Improvement of Visibility for Night Driving*. Highway Research Record, (377):1–23, 1971.

- [137] SULLIVAN, J. M., ADACHI, G., MEFFORD, M. L., FLANNAGAN, M. J.: *High-Beam Headlamp Usage on Unlighted Rural Roads*. University of Michigan, Transportation Research Institute, 2003.
- [138] LUNEFELD, H., STEPHENS, B. W.: *Human factors considerations in the development of an IVHS system*. Technischer Bericht, ITE Compendium of Technical Papers, 1991. S. 120-124.
- [139] UNFALLFORSCHUNG DER VERSICHERER: *Nur eingeschränktes Wirkpotential von Nachtsichtsystemen bei Fußgänger-Pkw-Kollisionen*. Zeitschrift für Verkehrssicherheit, 54(1):41, 2008.
- [140] GRÜNDL, M.: *Fehler und Fehlverhalten als Ursache von Verkehrsunfällen und Konsequenzen für das Unfallvermeidungspotenzial und die Gestaltung von Fahrerassistenzsystemen*. Doktorarbeit, Universität Regensburg, 2005.
- [141] FÄRBER, H. T. E.: *Determining information needs of the driver*. In: PARKES, A. M.; FRANZEN, S. (Herausgeber): *Driving future vehicles*, Seiten 69–76. Taylor & Francis, 1993.
- [142] ABEL, H.-B., ADAMIETZ, H., LEUCHTENBERG, B., SCHMIDT, N.: *Integration von Night-Vision und Head-up-Display im Kraftfahrzeug*. Automobiltechnische Zeitschrift, 107(11):984–989, 2005.
- [143] EICHHORN, K., ABEL, B., BURG, M.: *Verbesserte Nachtsicht mit Infrarot-Scheinwerfern*. Automobiltechnische Zeitschrift, 103(9):780–785, 2001.
- [144] KESSELER, W., KLEINKES, M., BIERLEUTGEB, G., KÖNNING, T.: *Verbesserte Sicht durch aktive Nachtsichtunterstützung - Aspekte des Gesamtsystems*. In: *Optische Technologien in der Fahrzeugtechnik*, Band 1731, Düsseldorf, 2003. VDI-Verlag.
- [145] KÄLLHAMMER, J.-E.: *Night vision: requirements and possible roadmap for FIR and NIR systems*. In: *Photonics in the Automobile II*, Band 6198, 2006.

- [146] KNOLL, P. M.: *Automotive Night Vision System with Picture Presentation*. In: *SID Symposium Digest of Technical Papers*, Band 37, 2006.
- [147] KÜPPER, L., SCHUG, J.: *Active Night Vision Systems*. In: *SAE Technical Paper*, 2002.
- [148] RÖSLER, D., KREMS, J.: *Es werde Licht: Möglichkeiten und Grenzen von Nachtsichtsystemen*. *Zeitschrift für Verkehrssicherheit*, 2:77–83, 2007.
- [149] SCHMIDT, N., GRIMMEL, R.: *Verbesserung der Nachtsicht des Fahrers im Nutzfahrzeug*. *Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik*, 43(12):305–312, 2005.
- [150] GISH, K. W., STAPLIN, L., PEREL, M.: *Human factors issues related to use of vision enhancement systems*. *Transportation Research Record*, 1694:1–9, 1999.
- [151] LOCHER, J., KLEINKES, M., VÖLKER, S., BIERLEUTGEB, G.: *Night Vision: Erhöhung der Verkehrssicherheit durch Infrarot-Nachtsichtsysteme*. In: *VDI-Tagung Optische Technologien in der Fahrzeugtechnik*, VDI Bericht 1731, Seiten 173–183, Düsseldorf, 2003.
- [152] MCLAUGHLIN, S. B., HANKEY, J. M., DINGUS, T. A.: *Enhanced Night Visibility Series, Volume XIII, Phase III Study 1, Comparison of Near Infrared, Far Infrared, High Intensity Discharge, and Halogen Headlamps on Object Detection in Nighttime Clear Weather*, 2005. URL: <http://trid.trb.org/view.aspx?id=782628>. Stand: 5.1.2012.
- [153] RUMAR, K.: *Infrared Night Vision Systems and Driver Needs*. In: *SAE 2003 World Congress & Exhibition*, Seiten 603–608, 2003.
- [154] STÄHL, A., OXLEY, P., BERNTMAN, M., LIND, L.: *The use of vision enhancements to assist elderly drivers*. In: *Proceedings of the First*

- World Congress on Applications of Transport Telematics and Intelligent Vehicle-Highway Systems*, Seiten 1999–2007, Washington, DC, 1995. National Academy of Sciences.
- [155] TSIMHONI, O., BÄRGMAN, J., MINODA, T., FLANNAGAN, M. J.: *Pedestrian Detection with Near and Far Infrared Night Vision Enhancement*. Technical Report UMTRI-2002-38, University of Michigan Transportation Research Institute, 2004.
- [156] MAHLKE, S., RÖSLER, D., SEIFERT, K., KREMS, J. F., THÜRING, M.: *Evaluation of six night vision enhancement systems: Qualitative and quantitative support for intelligent image processing*. *Human Factors*, 49(3):518–531, 2007.
- [157] RUMAR, K.: *Relative merits of the US and ece highbeam maximum intensities and of two- and four headlamp systems*. University of Michigan, Transportation Research Institute, 2000.
- [158] MEITZLER, T., LANE, K., BRYK, D., SOHN, E. J., JUSELA, D., EBENSTEIN, S., SMITH, G., RODIN, Y.: *Eyetracker analysis of fixation points using an IR HUD in an automobile*. *International Journal of Vehicle Design*, 26(4):374–384, 2001.
- [159] RUMAR, K.: *Night vision enhancement systems: What should they do and what more do we need to know?* Technischer Bericht, University of Michigan, Transportation Research Institute, 2002.
- [160] JONKISZ, E., MOOSBRUGGER, H., BRANDT, H.: *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion*. Springer Medizin Verlag, 2008.
- [161] BUBB, H.: *Fahrerassistenz primär ein Beitrag zum Komfort oder für die Sicherheit?* In: *Der Fahrer im 21. Jahrhundert VDI Berichte Nr. 1768*, VDI Verlag, Seiten 25–44, 2003.
- [162] BÖHM, M., NEUMANN, C., LOCHER, J.: *Sicht und Sicherheit: Entwicklungen in der automobilen Lichttechnik*. *Zeitschrift für Verkehrssicherheit*, 2:64–69, 2009.

- [163] JEBAS, C.: *Physiologische Bewertung von Warnsichtsystemen*. Doktorarbeit, Karlsruher Institut für Technologie, 2012.
- [164] JEBAS, C., NEUMANN, C.: *Physiologische Bewertung von Warnsichtsystemen*. In: *Tagungsband Lux Junior*, Ilmenau, 2011. Technische Universität Ilmenau.
- [165] JEBAS, C., NEUMANN, C.: *Physiologische Bewertung von Warnsichtsystemen*. *Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik*, 9:303–309, 2011.
- [166] STROOP, P., KOSLOWSKI, A., KUBITZA, B.: *Markierungslicht beim Fahren mit Fernlicht*. In: *Optische Technologien in der Fahrzeugtechnik*, Band 2154 der Reihe VDI Berichte, Seiten 97–104, 2012.
- [167] STROOP, P., KOSLOWSKI, A., KUBITZA, B., ROSLAK, J.: *Safety Benefit of Marking light - an empirical study*. In: *9th International Symposium on Automotive Lighting*, Seiten 315–319, 2011.
- [168] STROOP, P., LOCHER, J.: *Operationalisierung von Sicherheit und Akzeptanz am Beispiel Markierungslicht*. In: *Tagungsband Lux Junior*, 2011.
- [169] TIJERINA, L., BROWNING, N., MANGOLD, S. J., MADIGAN, E. F., PIEROWICZ, J. A.: *Examination of Reduced Visibility Crashes and Potential IVHS Countermeasures*. National Highway Traffic Safety Administration, U.S. Department of Transportation, 1995.
- [170] BOSSI, L. L. M., WARD, N. J., PARKES, A. M.: *The effect of enhanced image Head-Up Displays on driver peripheral visual performance*. In: *12th Congress of the International Ergonomics Association*, Toronto, 1994.
- [171] LOCHER, J., KLEINKES, M.: *Jenseits des Sichtbaren - Zur Leistungsfähigkeit von Infrarot-Nachtsichtsystemen im Kraftfahrzeug*. In: *Tagung Licht*, Seiten 201–206, Dortmund, 2004.

- [172] PADMOS, P., ERP, J. B. F.: *Driving with camera view*. In: BROWN, I. D.; GALE, A. G.; HASLEGRAVE, C. M.; TAYLOR, S. P. (Herausgeber): *Vision in Vehicles V*, Seiten 219–228. Elsevier Science Publishers, 1996.
- [173] TSIMHONI, O., FLANNAGAN, M. J., MINODA, T.: *Pedestrian Detection with Night Vision Systems Enhanced by Automatic Warnings*. University of Michigan, Transportation Research Institute, 2005.
- [174] MAHLKE, S.: *Night Vision Enhancement Systems. Ist es ausreichend, bei Nacht mehr zu sehen?*, 2005. URL: http://www.zmms.tu-berlin.de/~sma/ressourcen/slides/050701_-NightVisionEnhancement_Mahlke.pdf. Stand: 5.1.2012.
- [175] KETTWICH, C.; KLINGER, K.: *Untersuchungen für Head-Up Displays, Teil 1*. Auftraggeber: Robert Bosch GmbH, 2008.
- [176] KETTWICH, C.; KLINGER, K.: *Untersuchungen für Head-Up Displays, Teil 2*. Auftraggeber: Robert Bosch GmbH, 2010.
- [177] KNOLL, P. M.: *Automotive Night Vision Systems - Status and Development Trends*. In: *Optische Technologien in der Fahrzeugtechnik VDI-Berichte Nr. 2090*, VDI Verlag, Seiten 157–168, Karlsruhe, 2010.
- [178] BÖHM, M., KLEY, F., KALTHOFF, S.: *Improving Detection Distances by an Adaptive Cut-Off Line System*. In: *Proceedings of the 7th International Symposium on Automotive Lighting*, Seiten 451–457. Utz Verlag, München, 2007.
- [179] BÖHM, M., LOCHER, J., KREMS, J.F.: *Effizienz adaptiver Kraftfahrzeugscheinwerfersysteme am Beispiel der adaptiven Helldunkelgrenze*, Seiten 95–100. VDI Verlag. Karlsruhe, 2010.
- [180] KALZE, F. J., SCHMIDT, C.: *Dynamic Cut-Off-Line geometry as the next step in forward lighting beyond AFS*. In: *Proceedings of the 7th International Symposium on Automotive Lighting*, Seiten 346–354. Utz Verlag, München, 2007.

- [181] WALLASCHEK, J., ROSLAK, J.: *Aktive Kfz-Lichtverteilungen zur kollektiven Ausleuchtung des Verkehrsraumes*. In: GAUSEMEIER, J., LÜCKEL, J., WALLASCHEK, J. (Herausgeber): *1. Paderborner Workshop Intelligente Mechatronische Systeme, 20. und 21. März 2003, Heinz Nixdorf Institut*, Band 122 der Reihe *HNI-Verlagsschriftenreihe, Paderborn*. Heinz Nixdorf Institut, Universität Paderborn, 2003.
- [182] FANG, C.: *Culture Differences and HMI design. Comparison study between China and Sweden*, 2011. URL: <http://iqpc.com/uploadedFiles/EventRedesign/Germany/2011/September/-19069002/Assets/CultureDifferencesandHMIdesignchinaandsweden.pdf>. Stand: 5.1.2012.
- [183] LLANERAS, R. E.: *Exploratory Study of Early Adopters, Safety-Related Driving with Advanced Technologies*. Final Report, National Highway Traffic Safety Administration, Rockville, 2006.
- [184] WELLER, G., SCHLAG, B.: *Verhaltensadaptation nach der Einführung von Fahrerassistenzsystemen: Vorstellung eines Modells und Ergebnisse einer Expertenbefragung*. In: SCHLAG, B. (Herausgeber): *Verkehrspsychologie. Mobilität - Sicherheit - Fahrerassistenz*, Seiten 351–370. Pabst Science Publishers, 2004.
- [185] NILSSON, L., ALM, A.: *Effects of a vision enhancement system on drivers ability to drive safely in fog*. In: BROWN, I. D.;GALE, A. G.;HASLEGRAVE, C. M.;TAYLOR, S. P. (Herausgeber): *Vision in Vehicles V*, Seiten 263–271. Elsevier Science Publishers, 1996.
- [186] STANTON, N. A., PINTO, M., WITT, U., KREMS, J. F.: *Behavioural compensation by drivers of a simulator when using a vision enhancement system*. *Ergonomics*, 43(9):1359–1370, 2000.
- [187] KIEFER, R. J.: *Human Factors Issues Surrounding an Automotive Vision Enhancement System*. In: *Proceedings of the Human Factors*

- and Ergonomics Society Annual Meeting*, Band 39, Seiten 1097–1101, 1995.
- [188] WARD, N. J., STAPLETON, L., PARKES, A. M.: *Behavioural and cognitive impact of nighttime driving with HUD contact analogue infrared imaging*. In: *Proceedings of the 14th International Technical Conference on Enhanced Safety of Vehicles*, Seiten 319–324, Washington, DC, 1994. National Highway Traffic Safety Administration.
- [189] ARNOLD, K., LANG, E.: *Altern und Leistung im Strassenverkehr*. ADAC Schriftenreihe Straßenverkehr, 34:48–58, 1995.
- [190] BALL, K., OWSELY, C.: *The Useful Field of View Test: A New Technique for Evaluating Age-Related Declines in Visual Function*. Journal of American Optometric Association, 64(1):71–79, 1993.
- [191] BIERMANN, H., WEISSMANTEL, H.: *Regelkatalog SENSI Geräte, Bedienungsfreundlich und barrierefrei durch das richtige Design*. TU Darmstadt. Vorlesungsskript.
- [192] GERSTLE, W. J., KUZIAMKO, L., BOSTICK, C. W.: *Night vision and accident involvement*. In: *Proceedings of the AAAM 15th conference*, Seiten 361–375, Colorado Springs, 1971. American Association for Automotive Medicine.
- [193] MAYCOCK, G.: *The safety of older car-drivers in the European Union*. AA Foundation for Road Safety Research, 1997.
- [194] PUELL, M. C., PALOMO, C., SANCHEZ-RAMOS, C., VILLENA, C.: *Mesopic contrast sensitivity in the presence or absence of glare in a large driver population*. Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol., 242(9):755–761, 2004.
- [195] WALLACE, B.: *Driver distraction by advertising: genuine risk or urban myth?* Municipal Engineer, ME3:185–190, 2003.
- [196] CAIRNEY, P., GUNATILLAKE, T.: *Roadside advertising signs - A review of the literature and recommendations for policy*. Technischer Bericht, arrb Transport Research, 2000.

- [197] NZ TRANSPORT AGENCY: *Can I put up an advertising sign alongside a state highway?*, 2011.
- [198] CRUNDALL, D., UNDERWOOD, G., CHAPMAN, P. R.: *Driving experience and the functional field of view*. *Perception*, 28:1075–1087, 1999.
- [199] ADY, R. W.: *An Investigation of the Relationship Between illuminated Advertising Signs and Expressway Accidents*. *Traffic safety*, 3:9–11, 1967.
- [200] BERGERON, J.: *An Evaluation of the Influence of Roadside Advertising on Road Safety in the greater Montreal Region*. In: *Proceedings of the 1997 Conference of the Northeast Association of State Transportation Officials*, Seiten 527–542, 1997.
- [201] BLANCHE, E. E.: *The roadside distraction*. *Traffic Safety*, 10:24–37, 1965.
- [202] MCMONAGLE, A.: *Traffic accidents and roadside features*. *Highway Research Board Bulletin*, 55:38–48, 1952.
- [203] STAFFELD, P. R.: *Accidents Related to Access Points and Advertising Signs in Study*. *Traffic Quarterly*, 7(11):59–74, 1953.
- [204] TANTALA, A. M., TANTALA, M. W.: *A study of the relation between digital billboards and traffic safety in Cuyahoga county, Ohio*. *Technischer Bericht*, Tantala Associates, 2007.
- [205] TANTALA, M., TANTALA, P.: *An Examination of the Relationship between Advertising Signs and Traffic Safety*. In: *84th Transportation Research Board (TRB) Annual Conference Proceedings*, Washington, D.C., 2005.
- [206] TANTALA, M. W., TANTALA, A. M.: *A Study of the Relationship between Digital Billboards and Traffic Safety in Albuquerque, NM*. *Technischer Bericht*, Tantala Associates, 2010.

- [207] WACHTEL, J.: *State of the driver distraction: A review of research and implications for policy*. In: *First Conference on Driver Distraction and Inattention*, 2009.
- [208] WEINER, S.: *Review of report*. Unpublished Internal Memorandum, Federal Highway Administration, Environmental Design and Control Division, 1979.
- [209] WISCONSIN DEPARTMENT OF TRANSPORTATION: *Milwaukee county stadium, variabel message sign study*. Technischer Bericht, Wisconsin Department of Transportation, 1994.
- [210] HORBERRY, T., REGAN, M. A., EDQUIST, J.: *Driver distraction from roadside advertising*. In: *First International Conference on Driver Distraction and Inattention*, 2009.
- [211] SMILEY, A., PERSAUD, B. N., BAHAR, G., MOLLETT, C., LYON, C., SMAHEL, T., KELMAN, W. L.: *Traffic safety Evaluation of Video Advertising Signs*. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 1937:105–112, 2005.
- [212] BENDAK, S., AL-SALEH, K.: *The role of roadside advertising signs in distracting drivers*. International Journal of Industrial Ergonomics, 40(3):233–236, 2010.
- [213] CHATTINGTON, M., REED, N., BASACIK, D., FLINT, A., PARKES, A.: *Investigating driver distraction: The effects of video and static advertising*. Technischer Bericht CPR208, Transport Research Laboratory, Crowthorne, UK, 2009.
- [214] CRUNDALL, D., VAN LOON, E., UNDERWOOD, G.: *Attraction and distraction of attention with roadside advertisements*. Accident Analysis & Prevention, 38(4):671–677, 2006.
- [215] EDQUIST, J., HORBERRY, T., HOSKING, S., JOHNSTON, I.: *Effects of advertising billboards during simulated driving*. Applied Ergonomics, 42(4):619–626, 2011.

- [216] YOUNG, M. S., MAHFOUD, J. M.: *Driven to Distraction: Determining the Effects of Roadside Advertising on Driver Attention*. Technischer Bericht, Brunel University, London, 2007.
- [217] YOUNG, M. S., MAHFOUD, J. M., STANTON, N. A., SALMON, P. M., JENKINS, D. P., WALKER, G. H.: *Conflicts of interest: The implications of roadside advertising for driver attention*. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 12(5):381–388, 2009.
- [218] BEIJER, D., SMILEY, A., EIZENMAN, M.: *Observed Driver Glance Behavior at Roadside Advertising Signs*. *Journal of the Transportation Research Board*, 1899:96–103, 2004.
- [219] EDQUIST, J.: *The Effects of Visual Clutter on Driving Performance*. Doktorarbeit, Monash University, 2009.
- [220] HATFIELD, J.: *Roadside electronic advertising installments and road safety: Literature review and recommendations*, 2008.
- [221] HORBERRY, T.: *Bridge strike reduction: the design and evaluation of visual warnings*. Doktorarbeit, University of Derby, UK, 1998.
- [222] LEE, S. E., MCELHENY, M. J., GIBBONS, R.: *Driving Performance and Digital Billboards*. Technischer Bericht, Virginia Tech Transportation Institute, 2007.
- [223] LUOMA, J.: *Drivers' eye fixations and perceptions*. In: GALE, A. G. (Herausgeber): *Vision in Vehicles II*. Elsevier Science Publishers B.V., 1988.
- [224] SMILEY, A., SMAHEL, T., EIZENMAN, M.: *Impact of Video Advertising on Driver Fixation Patterns*. *Transportation Research Record*, 1899:76–83, 2004.
- [225] LIEDEMIT, F.: *Informationsverarbeitung im Strassenverkehr und die Funktion des Kurzzeitgedächtnisses: Ingenieurpsychologische und kybernetische Aspekte zur Theorie und Gestaltung des Strassenverkehrs*. *Verkehrsmedizin*, 24:10–30, 1977.

- [226] HOLAHAN, C., CULLER R. E., WILCOX, B. L.: *Effects of Visual Distraction on Reaction Time in a Simulated Traffic Environment*. *Human Factors*, 20(4):409–413, 1978.
- [227] LUOMA, J.: *The acquisition of visual information by the driver: interaction of relevant and irrelevant information*. Technischer Bericht, Liikenneturva, Central Organization for Traffic Safety, Research Department, 1986.
- [228] WALLACE, B.: *External-To-Vehicle Driver Distraction*. Technischer Bericht, Scottish Executive Social Research, 2003.
- [229] AKAGI, Y., SEO, T., MOTODA, Y.: *Influence of visual environments on visibility of traffic signs*. *Transportation Research Record*, 1553:53–58, 1996.
- [230] CLARK, O.J., DAVIES, S.P.: *Ads on the road: a study into the effects of perceptual load and expertise on reaction time to road signs*. In: *British Psychology Society Annual Conference*, 2008.
- [231] WIERWILLE, W. W., TIJERINA, L.: *Modelling the Relationship between Driver In-Vehicle Visual Demands and Accident Occurrence*. In: *Vision in Vehicles VI*, 1998.
- [232] IMBEAU, D., WIERWILLE, W. W., BEAUCHAMP, Y.: *Automotive Ergonomics*, Kapitel Age, display design and driving performance, Seiten 339–357. Taylor & Francis, 1993.
- [233] REINISCH, R., BODROGI, P., KHANH, T.Q.: *Modell zur Berechnung der subjektiv empfundenen Komplexität nächtlicher Bundesautobahn szenarien*. *Straßenverkehrstechnik*, 4:253–258, 2010.
- [234] JOHANSSON, G., BACKLUND, F.: *Drivers and road signs*. *Ergonomics*, 13:749–759, 1970.
- [235] JOHANSSON, G., RUMAR, K.: *Drivers and road signs: A preliminary investigation of the capacity of car drivers to get information from road signs*. *Ergonomics*, 9:57–62, 1966.

- [236] SPRENGER, A., SCHNEIDER, W., DERKUM, H.: *Traffic signs, visibility and recognition*. In: *Vision in Vehicles VII Conference, 1997*.
- [237] THEEUWES, J.: *Visual search at intersections: An eye-movement analysis*. In: GALE, A. G., BROWN, I. D., HASLEGRAVE, C. M., TAYLOR, S. P. (Herausgeber): *Vision in Vehicles V*, 125–134, Amsterdam, 1996. Elsevier.
- [238] HALLETT, P.: *Primary and secondary saccades to goals defined by instructions*. *Vision Research*, 18:1279–1296, 1978.
- [239] DE WAARD, D., VAN DER HULST, M., BROOKHUIS, K. A.: *Elderly and young drivers' reaction to an in-car enforcement and tutoring system*. *Applied Ergonomics*, 30(2):147–158, 1999.
- [240] PONDS, R. W., BROUWER, W. H., VAN WOLFFELAAR, P. C.: *Age differences in divided attention in a simulated driving task*. *Journals of Gerontology*, 43(6):151–156, 1988.
- [241] PAEGLIS, R., BLUSS, K., ATVARIS, A.: *Driving experience and special skills reflected in eye movements*. In: *Infrared Sensors, Devices, and Applications; and Single Photon Imaging II*, Band 8155. SPIE Proceedings, 2011.
- [242] MOURANT, R. R., ROCKWELL, T. H., RACKOFF, N. J.: *Drivers' eye movements and visual workload*. *Highway Research Record*, 292:1–10, 1969.
- [243] FRANK, H.: *Influence of the Visual Surroundings on the Recognizability of Road Signs in Daylight and by Darkness*. In: *Proceedings of the 6th International Symposium on Automotive Lighting*, 2005.
- [244] GEGENFURTNER K., SPERING M.: *Handbuch Psychologie: Wissenschaft - Anwendung - Berufsfelder*, Kapitel Visuelle Wahrnehmung, Seite 102. Springer Verlag, 2006.
- [245] COLE, B. L., HUGHES, P. K.: *A Field Trial of Attention and Search Conspicuity*. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 26(3):299–313, 1984.

- [246] MOLINO, J. A., WACHTEL, J., FARBRY, J. E., HERMOSILLO, M. B., GRANDA, T. M.: *The Effects of Commercial Electronic Variable Message Signs (CEVMS) on Driver Attention and Distraction: An Update*. Technischer Bericht, Office of Safety Research and Development Federal Highway Administration, 2009.
- [247] BIRDSALL, M. S.: *The debate over digital billboards: Can new technology inform drivers without distracting them?* ITE Journal, 78:22–27, 2008.

SPEKTRUM DER LICHTTECHNIK

Lichttechnisches Institut Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

ISSN 2195-1152

- Band 1 Christian Jebas
**Physiologische Bewertung aktiver und passiver
Lichtsysteme im Automobil.** 2012
ISBN 978-3-86644-937-4
- Band 2 Jan Bauer
**Effiziente und optimierte Darstellungen von
Informationen auf Grafikanzeigen im Fahrzeug.** 2013
ISBN 978-3-86644-961-9
- Band 3 Christoph Kaiser
**Mikrowellenangeregte quecksilberfreie
Hochdruckgasentladungslampen.** 2013
ISBN 978-3-7315-0039-1
- Band 4 Manfred Scholdt
**Temperaturbasierte Methoden zur Bestimmung der
Lebensdauer und Stabilisierung von LEDs im System.** 2013
ISBN 978-3-7315-0044-5
- Band 5 André Domhardt
**Analytisches Design von Freiformoptiken
für Punktlichtquellen.** 2013
ISBN 978-3-7315-0054-4
- Band 6 Franziska Herrmann
Farbmessung an LED-Systemen. 2014
ISBN 978-3-7315-0173-2
- Band 7 Simon Wendel
Freiform-Optiken im Nahfeld von LEDs. 2014
ISBN 978-3-7315-0251-7
- Band 8 Carmen Kettwich
**Ablenkung im Straßenverkehr und deren
Einfluss auf das Fahrverhalten.** 2014
ISBN 978-3-7315-0288-3



Lichttechnisches Institut
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Der Verkehrsraum sowie der Fahrzeuginnenraum wird für den Kraftfahrer zunehmend komplexer. Trotz einer sehr hohen Informationsdichte, muss der Fahrer die für den Verkehr relevanten Objekte und Ereignisse rechtzeitig wahrnehmen, um sicher fahren zu können. Kleinere Fehler, sowie Unaufmerksamkeiten, können schwerwiegende Folgen mit sich bringen. An ausgewählten Beispielen wird in der vorliegenden Arbeit Ablenkung im Straßenverkehr und deren Einfluss auf das Fahrverhalten analysiert.

