

**Erhöhung der
Verkehrssicherheit
älterer Kraftfahrer
durch Verbesserung
ihrer visuellen
Aufmerksamkeit mittels
„Sehfeldassistent“**

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Fahrzeugtechnik Heft F 127

bast

Erhöhung der Verkehrssicherheit älterer Kraftfahrer durch Verbesserung ihrer visuellen Aufmerksamkeit mittels „Sehfeldassistent“

von

Stefan Kupschick
Juliane Bürglen
Thomas Jürgensohn

HFC Human-Factors-Consult GmbH
Berlin

Janna Protzak

Institut für Psychologie und
Arbeitswissenschaften
TU Berlin

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Fahrzeugtechnik Heft F 127

bast

Die Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlicht ihre Arbeits- und Forschungsergebnisse in der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen**. Die Reihe besteht aus folgenden Unterreihen:

A - Allgemeines
B - Brücken- und Ingenieurbau
F - Fahrzeugtechnik
M - Mensch und Sicherheit
S - Straßenbau
V - Verkehrstechnik

Es wird darauf hingewiesen, dass die unter dem Namen der Verfasser veröffentlichten Berichte nicht in jedem Fall die Ansicht des Herausgebers wiedergeben.

Nachdruck und photomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt bei der Carl Schünemann Verlag GmbH, Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen, Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in der Regel in Kurzform im Informationsdienst **Forschung kompakt** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos angeboten; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Ab dem Jahrgang 2003 stehen die **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)** zum Teil als kostenfreier Download im elektronischen BASt-Archiv ELBA zur Verfügung.
<http://bast.opus.hbz-nrw.de>

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt FE 82.0615/2014:
Erhöhung der Verkehrssicherheit älterer Kraftfahrer durch Verbesserung ihrer visuellen Aufmerksamkeit mittels „Sehfeldassistent“

Fachbetreuung
Heike Hoffmann

Herausgeber
Bundesanstalt für Straßenwesen
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach
Telefon: (0 22 04) 43 - 0
Telefax: (0 22 04) 43 - 674

Redaktion
Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit

Druck und Verlag
Fachverlag NW in der
Carl Ed. Schünemann KG
Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen
Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53
Telefax: (04 21) 3 69 03 - 48
www.schuenemann-verlag.de

ISSN 0943-9315
ISBN 978-3-95606-432-6

Bergisch Gladbach, Januar 2019

Kurzfassung – Abstract

Erhöhung der Verkehrssicherheit älterer Kraftfahrer durch Verbesserung ihrer visuellen Aufmerksamkeit mittels „Sehfeldassistent“

Senioren als Verkehrsteilnehmer stehen seit einigen Jahren vermehrt im Fokus der Verkehrspsychologie und der Unfallforschung. Da der Anteil der Senioren an der Gesamtbevölkerung immer weiter zunimmt, erhöht sich entsprechend auch deren Anteil an Autofahrern und anderweitigen Verkehrsteilnehmern.

Die Unfälle älterer Kraftfahrer unterscheiden sich von denen jüngerer Generationen in der Art der zugrundeliegenden Fahrfehler. Diese Fehler lassen sich wiederum auf bestimmte altersbedingte Rückgänge der sensorischen, kognitiven und motorischen Fähigkeiten zurückführen. Daher gilt es, Möglichkeiten für und Anforderungen an technische Unterstützung für ältere Autofahrer auszuloten. Ein Ansatz könnte sein, der Einschränkung des nutzbaren Sehfeldes (Useful Field of View) entgegenzuwirken, da alterskorrelierte Schwierigkeiten in der visuell-räumlichen Informationsverarbeitung teils darauf zurückgeführt werden, dass sich das nutzbare Sehfeld mit dem Alter verringert und damit Einbußen in der Verarbeitungsgeschwindigkeit und der Aufmerksamkeitssteuerung einhergehen.

Vorangegangene Laboruntersuchungen der BAST zu Aufmerksamkeitsprozessen und Sehfeld zeigten mithilfe von Doppeltätigkeitsparadigmen mit einer Spurhalte- und einer Reaktionsaufgabe, dass Senioren auf Lichtreize, die bilateral im peripheren Gesichtsfeld (60°-Sehwinkel vom zentralen Punkt des Sehens) präsentiert wurden, langsamer und weniger korrekt reagierten als auf Reize, die nahe dem zentralen Sehfeld (20°-Sehwinkel) dargeboten wurden. Ereigniskorrelierte Potenziale (ERP) aus dem Elektroenzephalogramm (EEG) der Älteren wiesen darauf hin, dass augenscheinlich nicht die abnehmende Sehleistung die Ursache der abnehmenden Leistungen der Älteren ist, sondern Schwierigkeiten in der kognitiven Verarbeitung von visuell-räumlichen Aufmerksamkeitsprozessen.

Aufbauend auf diesen Erkenntnissen wurden nach einer umfassenden Literaturanalyse zwei Fahrsimulatorstudien durchgeführt, einmal mit und einmal ohne EEG-Messung. Mit einem ähnlichen Paradig-

ma wie in den Vorgängerstudien, aber in einer realitätsnäheren Fahrumgebung, wurde untersucht, inwieweit ein Sehfeld-Assistent insbesondere ältere Fahrer bei der peripheren Objekterkennung von verkehrsrelevanten Reizen unterstützen kann. Ein solches Assistenzsystem wäre in der Lage, periphere Verkehrsinformationen in den zentraleren Bereich des Gesichtsfeldes zu bringen. Durch diesen Hinweis könnten Fahrer ihre Aufmerksamkeit in die angezeigte Richtung lenken, wodurch sich die Zeit bis zu einer angemessenen Reaktion verkürzen sowie die Reaktionsbereitschaft erhöhen könnte.

In beiden Studien wurde eine ältere Teilnehmergruppe (65+) mit einer jüngeren Kontrollgruppe (bis 45) verglichen. Es wurden sowohl Verhaltensdaten (Bremsreaktionszeit) als auch Blickbewegungen erfasst. Die Teilnehmer mussten, während sie geradeaus blickten, auf peripher (bei 60° Sehwinkel) auftauchende, vorfahrtsberechtigzte Fahrzeuge reagieren und das Bremspedal betätigen – in der Hälfte der Fälle mit einer gleichzeitig zentral eingeblendeten Warnung (das Wort ACHTUNG! bei 20° Sehwinkel). Im ersten Experiment wurden zusätzlich EEG-Daten erhoben, um den neuronalen Informationsverarbeitungsprozess abzubilden, beziehungsweise Erkenntnisse über eventuelle Unterschiede zwischen den Bedingungen (mit Warnung / ohne Warnung) und Altersgruppen zu erhalten. Um den EEG-Anforderungen gerecht zu werden, bestand die Simulation im ersten Experiment aus einer dichten Abfolge sehr vieler sich ähnelnder Kreuzungssituationen. Im zweiten Experiment lag der Fokus auf einem realitätsnahen Szenario im Fahrsimulator mit weniger Kreuzungen, aber unterschiedlichen, nicht so vorhersehbaren Vorfahrtssituationen.

Die Ergebnisse zeigen erwartungsgemäß, dass mit zentral eingeblendeter Warnung schneller auf die peripher erscheinenden Fahrzeuge mit Bremsen reagiert wurde, sowohl bei Senioren als auch bei der Kontrollgruppe. Die Senioren reagierten dabei im EEG-Experiment signifikant langsamer, in der zweiten Teilstudie tendenziell langsamer. Die Blickbewegungsdaten lassen in Kombination mit dem Bremsverhalten darauf schließen, dass in beiden Experimenten die peripher erscheinenden Fahrzeuge nicht direkt fixiert, sondern (wie durch die Instruktion im Studiendesign vorgesehen) peripher wahrgenommen wurden. Auch die Warnung wurde im Normalfall nicht direkt angeschaut, sondern peripher gesehen. Weiterhin gelang es auch, in der Fahrsimulatorumgebung frühe Ereigniskorrelierte Potenziale (EKP) im EEG zu messen. Die Ergebnis-

se der EEG-Analysen deuten darauf hin, dass durch die zentrale Präsentation von Warnhinweisen eine konstantere frühere Verarbeitung der visuellen Reize einsetzt. Diese wird durch ein ausgeprägtes N1-Potenzial in den Bedingungen mit zentralem Hinweisreiz verdeutlicht.

Die ermittelten Alters- und Interaktionseffekte für die Bremsdaten zeigen insgesamt auf, dass alle Fahrer von einem Assistenzsystem wie dem in dieser Studie prototypisch getesteten, profitieren könnten. In beiden Studien zeigten sich positive Effekte einer zentral eingeblendeten Warnung vor peripher auftauchenden Fahrzeugen für beide Probandengruppen: Die Bremsreaktionszeiten verkürzten sich, in den Blickbewegungsdaten zeigten sich Hinweise einer früheren Reaktion auf die peripheren Objekte, und in den frühen EKP der ersten Studie wurden Anzeichen für frühere und konstantere Verarbeitung gefunden. Ältere profitierten in noch höherem Maße als Jüngere von der Warnung. Vor einer Umsetzung in Fahrzeugen besteht allerdings noch weiterer Forschungsbedarf. Dabei sollte die Position und Darstellung, und vor allem Art und Charakter einer solchen Warnung untersucht werden.

Increasing traffic safety of older drivers by improvement of visual attention via “visual field assistant”

Senior road users have increasingly been gaining attention of traffic psychology and accident research in the recent years. As the proportion of elderly people in the overall population continues to expand, their share as drivers and as road users in general increases as well.

The types of driving errors made by elderly drivers in accidents differ from those by younger people. These errors can be traced back to particular age-related decline in sensory, cognitive, and motor capabilities. Therefore, looking at these differences is an approach to investigate feasibility of and requirements on technical assistance for elderly drivers. One option is to counteract the reduction of the Useful Field of View (UFOV). Age-related difficulties in visuo-spatial information processing are thought to be related to the decrease of the UFOV, and thereby correlated to impaired processing speed and attentional control.

Prior laboratory studies by the BASt (German Federal Highway Research Institute) investigated attention processes and the field of view using dual

task paradigms. They revealed decreased reaction times and accuracy levels of elderlies' responses to bilateral peripheral light signals in the 60° visual angle compared to stimuli at 20°. Results of analyses of event-related potentials (ERP) from the corresponding electroencephalography (EEG) data indicate that decreasing performance of the elderly is not caused by impaired vision, but by difficulties in cognitive attention mechanisms.

Based on these results a literature review was conducted and followed by two combined studies featuring a laboratory setting and a driving simulator. By transferring the paradigm into a more realistic environment, it was assessed how a Visual Field Assistant may help drivers (especially elderly drivers) to recognize traffic-related objects in the peripheral field of view. Such an assistance system would be capable of transferring peripheral traffic information to the central field of vision in such a way that drivers' attention can be lead to the indicated direction. Also response time can be reduced and responsiveness can be increased.

In both parts of the study, a group of seniors (65+) was compared to a younger control group. Brake response times and eye-tracking data were recorded. Drivers had to give the right of way at intersections. Vehicles appeared in in the periphery of the field of view (at a visual angle of 60°) – in half of the cases with an additional, centrally positioned warning saying ACHTUNG! (German: Caution!). As soon as participants perceived those, they had to brake. In the first experiment additional EEG data was collected, to illustrate neuronal processing during driving in a simulation, and to obtain information about potential differences between the conditions (warning or not) and the age groups. To meet the EEG methodological requirements, the simulation scenario consisted of a dense sequence of many similar intersection situations. The second experiment focused on a more realistic scenario in the driving simulator with fewer intersections, but more diverse situations concerning right of way.

Coherent with expectations, the results show that both age groups responded faster to cars in the periphery in trials with a centrally located warning. Seniors responded significantly slower in experiment 1, and by tendency in experiment 2. Eye-tracking data indicated that in both experiments cars in the periphery of view were not fixated but seen in peripheral vision, as it was instructed. The warning, positioned more centrally, was not directly fixated in

most cases either. Furthermore recording and analysis of ERP in the driving simulator, namely the P1 and N1 components was successful. The results point to a more constant, earlier processing of visual stimuli when a centrally positioned warning stimulus was presented. This is shown by a pronounced N1 in the conditions with the central warning.

Thereby, a field-of-view assistance renders to be a promising approach from the perspective of perception psychology, and has proven feasible in the simulator while producing good results: In both experiments, positive effects of the centrally positioned warning presented when cars appeared peripherally, were found for both participant groups. Brake response times were reduced, evidence in eye-tracking data pointed to an earlier reaction, and in the early ERP of the first experiment, evidence for earlier and more constant processing was found. The older participants benefited even more from the warnings than the younger ones. For practical application in cars, further research should be conducted on the position and display, and especially the kind and character of such warnings.

Inhalt

1	Einleitung	9	2.5	Stand der Forschung und Technik - Zusammenfassung und Ableitungen	23
2	Stand der Forschung	10	3	Konzept der empirischen Studien im Fahrsimulator	24
2.1	Altersbedingte physiologische Veränderungen	10	3.1	Versuchskonzept und Ziele	24
2.1.1	Wahrnehmung und Informations- verarbeitung während des Fahrens	10	3.2	Forschungsfragen Verhaltens- und Blickdaten.....	25
2.1.2	Altersbedingte Einschränkungen der visuellen sensorischen Verarbeitung	11	3.3	Seitenunterschiede.....	26
2.1.3	Altersbedingte Einschränkungen der kognitiven Verarbeitung und Aufmerksamkeit.....	12	3.4	Methodik und Forschungsfragen EEG	26
2.1.4	Bewegungsabläufe während des Fahrens.....	12	4	Technischer Aufbau: Beschreibung und Erweiterung des Fahrsimulators und der Messumgebung	28
2.1.5	Altersbedingte Einschränkungen der Motorik.....	13	4.1	Fahrsimulator und Modifikation der Fahrsimulatorsoftware.....	28
2.1.6	Altersbedingte strukturelle Veränderungen im Gehirn	13	4.1.1	Fahrsimulator-Hardware.....	28
2.1.7	Zusammenfassung physiologischer Veränderungen	13	4.1.2	Software-Architektur	28
2.2	Psychologie älterer Verkehrsteilnehmer	14	4.1.3	Realisierung der HUD-Anzeige im Fahrsimulator	28
2.2.1	Rolle und Probleme älterer Fahrzeugführer	14	4.1.4	Erstellen der Szenarien	30
2.2.2	Unfallbeteiligung	14	4.2	Blickbewegungsmessungen	31
2.2.3	Problembereiche	15	4.3	EEG-Messungen	32
2.2.4	Unfallursachen: sensorische, motorische, kognitive Faktoren	16	5	Kombinierte Fahrsimulator-Studie mit EEG und Eyetracking	32
2.2.5	Einfluss psychologischer Faktoren auf die Fahrleistung	17	5.1	Probanden	32
2.3	Altersgerechte technische Fahrassistentz... ..	18	5.1.1	Akquise	32
2.3.1	Überblick Fahrerassistenzsysteme	19	5.1.2	Screening.....	33
2.3.2	Forschung zum Bedarf.....	19	5.2	Versuchsdesign	33
2.3.3	FAS für Senioren: Entwicklungsstand.....	20	5.3	Versuchsablauf	34
2.3.4	Evaluationen: Wirkung von Assistenzsystemen.....	20	5.3.1	Vortests und Training	34
2.3.5	Systeme aus anderen Bereichen und mögliche Übertragung in den Fahrerassistenzkontext für ältere Verkehrsteilnehmer.....	22	5.3.2	Fahraufgabe	35
2.4	Vorgängerstudien	22	5.4	Auswertung.....	35
			5.4.1	Datenaufbereitung Verhaltens- und Blickdaten	35
			5.4.2	EEG-Analyse	36
			5.4.3	Vorverarbeitung EEG-Daten	37

5.4.4	Auswertung der ereigniskorrelierten Potenziale (EKP)	37
5.5	Ergebnisse	37
5.5.1	Deskriptive Statistiken	37
5.5.2	Vortests	38
5.5.3	Bremsreaktionen	38
5.5.4	Blickreaktionen	39
5.5.5	Ergebnisse EEG	40
5.6	Diskussion EEG	42
5.7	Diskussion der Verhaltens- und Blickdaten der kombinierten Studie mit EEG	44
6	Eyetracking-Fahrsimulator-Studie	45
6.1	Probanden	45
6.2	Versuchsdesign	45
6.3	Versuchsablauf	46
6.3.1	Vortests und Training	46
6.3.2	Fahraufgabe	46
6.4	Auswertung und Ergebnisse	46
6.4.1	Deskriptive Statistiken	47
6.4.2	Vortests	47
6.4.3	Bremsreaktionszeiten	47
6.4.4	Blickreaktionszeiten	48
6.4.5	Diskussion der Verhaltens- und Blickdaten der Eyetracking-Studie	49
7	Zusammenfassende Diskussion beider Studien	49
8	Fazit und Ausblick	52
	Literatur	53
	Bilder	61
	Tabellen	62
	Anhang	63

1 Einleitung

Senioren als Verkehrsteilnehmerinnen und -teilnehmer¹ stehen in den letzten Jahren vermehrt im Fokus der Verkehrspsychologie und der Unfallforschung, da ihr Anteil an der Gesamtbevölkerung und auch an den Autofahrern zunimmt. Das Thema hat Brisanz, da die demographische Entwicklung in den meisten Industrieländern in Richtung Alterung geht und die heutigen und zukünftigen Seniorengenerationen, (je nach Quelle werden Menschen ab 60 oder 65 Jahren hierzu gezählt), zunehmend mit dem Auto mobil sind und verschiedenste Probleme mit dieser Verkehrsteilnehmergruppe auftreten. Nach einer Erhebung zur Mobilität in Deutschland (FOLLMER et al., 2010) zeigten sich allein zwischen den Jahren 2002 und 2008 große Unterschiede im Mobilitätsverhalten von Senioren: Es gab 20 % mehr „Junge Alte“ bis 74 Jahre, die 23 % mehr gefahrene km pro Person aufweisen konnten, und 24 % mehr „Alte Alte“ ab 75, deren Personen-Kilometer um 36 % zunahmen. In Deutschland gibt es bisher keine Vorschriften zur Überprüfung der Fahrfähigkeit im Alter.

Die für alle sichere Mobilität und Teilhabe von Senioren ist deshalb von großem gesellschaftlichem Interesse. Deshalb ist geboten, weitere Erkenntnisse darüber zu erlangen, wie Mobilität im Alter so lange wie möglich erhalten werden kann, ohne dafür Einbußen in der Sicherheit von Senioren und anderen Verkehrsteilnehmern in Kauf nehmen zu müssen.

Es bieten sich generell drei Möglichkeiten an, die Verkehrssicherheit sowie allgemeine Mobilität älterer Fahrer zu verbessern: Erstens, altersgerechte Fahrtrainings anzubieten (siehe POSCHADEL, 2013). Zweitens die altersgerechte Verbesserung der Infrastruktur, um passend zu FULLERS „task-capability interface model“ (FULLER, 2000, 2005) durch vereinfachte Fahranforderungen einen Ausgleich zu verringerten Fahrfähigkeiten zu schaffen. Drittens die Ausstattung von Kraftfahrzeugen mit spezifischer technischer Assistenz. Auch im Empfehlungskatalogs der Konferenz „Ageing and Safe Mobility“ der Bundesanstalt für Straßenwesen im Jahr 2014 werden verschiedene Ansätze aufgezeigt. Eine der Empfehlungen lautet, Fahrerassistenzsysteme weiterzuentwickeln, die an Senioren

und ihre Bedürfnisse angepasst sind (Bundesanstalt für Straßenwesen, 2014a). Um eine Untersuchung dieser Möglichkeit handelt es sich im vorliegenden Projekt.

Die Unfälle älterer Kraftfahrer unterscheiden sich in der Art der zugrundeliegenden Fahrfehler von denen jüngerer Generationen. Hier kann angesetzt werden, wie u. a. VOLLRATH, BRIEST, SCHIESSL, DREWES und BECKER (2006) ausführen, um Möglichkeiten für und Anforderungen an technische Unterstützung für älteren Autofahrer auszuloten. BECKMANN (2013) nennt als wichtige Prinzipien zur Förderung dessen unter anderem „angepasste Verkehrsbedienung und Fahrzeugtechnik“ sowie „zuverlässige Bedienung“. Altersabhängige Schwierigkeiten in der räumlich-visuellen Informationsverarbeitung beim Führen eines Fahrzeugs werden teils darauf zurückgeführt, dass sich das während der Fahraufgabe nutzbare Sehfeld (Useful Field of View) mit dem Alter verringert, und damit Einbußen in der Verarbeitungsgeschwindigkeit und der Aufmerksamkeitssteuerung einhergehen.

In Studien der Bundesanstalt für Straßenwesen, die der vorliegenden Forschungsarbeit vorausgingen (HOFFMANN, FALKENSTEIN & FRIEG, 2013; HOFFMANN, WIPKING, BLANKE & FALKENSTEIN, 2013), wurden laborexperimentelle Untersuchungen durchgeführt, um die Gründe für Fahrfehler und daraus resultierende Unfälle älterer Kraftfahrer zu beleuchten. Mit diesen Erkenntnissen sollten Ansatzpunkte für die Entwicklung von angemessenen Fahrerassistenzfunktionen abgeleitet werden, die der Verkehrssicherheit älterer Kraftfahrer dienlich sind.

Da sich mit dem Alter typischerweise die Fähigkeit der peripheren visuellen Wahrnehmung verringert, obwohl diese eine wichtige Voraussetzung für sicheres Fahren ist, wurde dies experimentell untersucht. Hierbei lag der Schwerpunkt darauf, Einblick in die Mechanismen der neuronalen Informationsverarbeitung während des peripheren Sehens zu bekommen. Eine ältere und eine jüngere Gruppe wurden in einem Doppeltätigkeits-Paradigma (Spurhalteaufgabe, Lichtreizreaktionsaufgabe) getestet, während EEG abgeleitet wurde. Es stellte sich heraus, dass die Älteren die Spur weniger gut halten konnten als die Jüngeren, in der Doppelaufgabe war dieser Effekt noch stärker. Beide Gruppen reagierten gleich gut auf Lichtreize im Sehwinkel von 20 Grad, jedoch übersahen die Älteren mehr Reize im 60-Grad-Winkel als die Jüngeren.

¹ Zur besseren Lesbarkeit wird im Folgenden auf die gleichzeitige Verwendung weiblicher und männlicher Sprachformen verzichtet. Sämtliche Personenbezeichnungen gelten gleichermaßen für alle Geschlechter.

Aus der Auswertung der ereigniskorrelierten Potenziale schlussfolgerten die Autoren, dass nicht die Sehleistung an sich, sondern eine Einschränkung in der aufmerksamkeits sensitiven Verarbeitung visueller Informationen für spezifische Fahrfehler verantwortlich zu sein scheint. Dies wirft ein neues Licht auf Möglichkeiten für Assistenzsysteme, ältere Autofahrer zu unterstützen. In Kapitel 2.4 werden diese Vorgängerstudien näher beschrieben.

Im vorliegenden Forschungsprojekt wurden auf diesen Ergebnissen aufbauend zwei Folge-Experimente durchgeführt. Da sich im zentraleren Bereich des Sehfeldes bis 20° keine Einschränkungen ergeben haben, könnte es besonders für Senioren von Nutzen sein, dort während einer tatsächlichen Fahraufgabe einen Hinweis oder eine Warnung einzublenden, wenn im äußeren Bereich ab etwa 60° Sehwinkel etwas Verkehrsrelevantes passiert. Es war zu untersuchen, ob eine solche Assistenz zu schnelleren Reaktionen führt, was wünschenswert wäre.

Hierfür wurde ein neues Paradigma für den Einsatz in einem Fahr Simulator entworfen, sodass Fahrverhaltensdaten sowie EEG gemessen und durch Blickbewegungsmessungen angereichert werden. Eine Seniorengruppe ab 65 Jahren wurde mit jüngeren Autofahrern im Alter von bis zu 45 Jahren verglichen. Die gewonnenen Erkenntnisse sollten so in einem Szenario, das dem realen Autofahren mit Assistenzsystem näher ist, validiert und weiter vertieft werden.

2 Stand der Forschung

Im Folgenden wird eine Übersicht der nationalen und internationalen Literatur gegeben, die sich mit altersbedingten fahrrelevanten Veränderungen, deren Auswirkungen im Straßenverkehr sowie mit Möglichkeiten zur technischen Kompensation solcher Defizite beschäftigt.

2.1 Altersbedingte physiologische Veränderungen

2.1.1 Wahrnehmung und Informationsverarbeitung während des Fahrens

VOLLRATH und KREMS (2011) argumentieren, dass die Ebenen-Modelle des Fahrens wie das Drei-Ebenen-Modell nach MICHON (1985) beim Entwickeln von Assistenzsystemen sinnvoll sind, jedoch nicht die menschliche Informationsverarbei-

tung während des Fahrens abbilden. Diese bildet jedoch die Basis für die vorliegende Forschungsarbeit, sodass hier eine kurze Übersicht über den derzeitigen Forschungsstand zum Thema Wahrnehmung von Kraftfahrern gegeben wird.

Beim Autofahren wird die große Mehrheit der nötigen Information visuell aufgenommen (u. a. ABENDROTH & BRUDER (2009). Von zentraler Bedeutung ist hierbei die räumliche Wahrnehmung von Abständen, Winkeln und Orten (KERKHOFF, 1988). Dem auditiven Informationskanal fällt eine nicht zu vernachlässigende, wenn auch weniger wichtige Rolle zu. Im Rahmen dieses Berichts wird aber nicht näher darauf eingegangen.

COHEN (2008, S. 65) beschreibt den Zusammenhang zwischen Funktion der Sinnesorgane und der Fahrsicherheit: Intakte Sinnesorgane für die möglichst vollständige Aufnahme aller relevanten Informationen, vor allem die visuellen, ist eine „unerlässliche Voraussetzung [...] aber keine hinreichende Bedingung des Sicherheitsverhaltens“ des Autofahrers. Diese „Bottom-Up“-Verarbeitung, bedingt durch die Salienz und den Ort der Reize, interagiert mit dem gespeicherten, zum Zeitpunkt aktivierten Erfahrungswissen der Fahrer, das als „Top-Down“-Informationsstrom die Aufmerksamkeit lenkt - je nach Erwartung und beigemessener Relevanz (siehe auch WICKENS et al., 2003).

Nach VOLLRATH und KREMS (2011, S. 30f.) erfüllen sowohl foveales (zentrales) als auch peripheres Sehen für die Fahraufgabe wichtige Funktionen: Das foveale Sehen dient dem Erkennen des Straßenverlaufs und von Hindernissen sowie der Regulation von Geschwindigkeit und Abständen. Laut ROCKWELL (1972) finden sogar etwa 90% der Fixationen in einer auf +/-4° beschränkten Region um dem „focus of expansion“ statt. Demgegenüber dient nach VOLLRATH und KREMS (2011) das periphere Sehen dazu, Objekte und Veränderungen in der Peripherie zu erkennen und die Aufmerksamkeit darauf zu richten.

Einer der zentralen Aspekte für das Fahren scheint das nutzbare Sehfeld oder Useful Field Of View (UFOV) zu sein (u. a. MACKWORTH, 1976): Seine Größe wird als der Abstand zum Fixationspunkt in Grad beschrieben, bis zu dem der Mensch visuelle Information sinnvoll aufnehmen kann. Das Konzept des UFOV bezieht sich nicht nur darauf, wie weit von der Fovea centralis das periphere Sehen uneingeschränkt möglich ist. SEKULER, BENNETT und

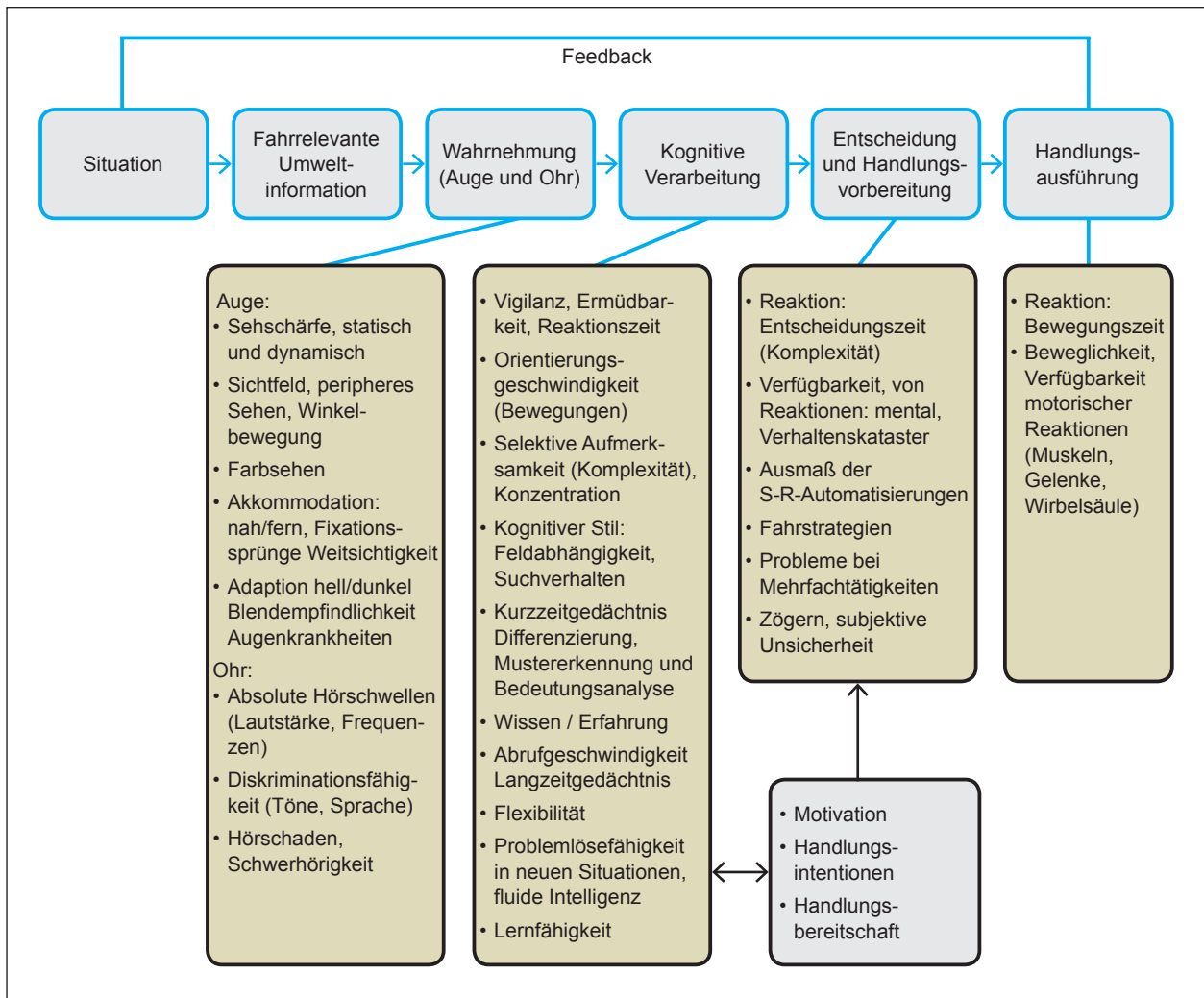


Bild 1: Problemfelder älterer Kraftfahrer in Wahrnehmung, Kognition und Handlung (aus SCHLAG, 2008, S. 29)

MAMELAK (2000) beschreiben seine Einschränkung als die abnehmende Effizienz, mit der jemand Informationen aus einer komplexen visuellen Szene extrahieren, speichern und darauf reagieren kann. LACHENMAYR (2006) weist darauf hin, dass der Bereich bis etwa 30° Sehwinkel von „kardinaler Bedeutung“ im Verkehr ist. Das nutzbare Sehfeld verändert sich nach je nach aktueller Beanspruchung, was auch beim Fahren demonstriert werden konnte und hier insbesondere wichtig wird (MIURA, 1990, zitiert nach RANTANEN und GOLDBERG, 1999). Sehr hohe mentale Beanspruchung führt zu einem verkleinerten UFOV (tunnel vision), siehe auch u. a. RANTANEN und GOLDBERG (1999). Es kann aber auch in gewissem Maße trainiert werden, denn es hängt stark vom Fahrer ab, ab wann eine Überbeanspruchung vorliegt. Man unterscheidet als Aspekte der Intelligenz einerseits Repräsentation und andererseits Kontrolle, von denen im Alter typischerweise eher der erstere erhalten bleibt (Erfahrung, Wissen etc.), die Fähigkeit der Kontrolle je-

doch eher abnimmt (schnelle Informationsverarbeitung, Abrufen von Informationen aus dem Gedächtnis, Aufgabenwechsel etc. siehe CRAIK und BIALYSTOK, 2006). FALKENSTEIN und SOMMER (2008) setzen dies in Zusammenhang damit, dass Kontrolle eine wichtige Funktion des präfrontalen Kortex ist, der, wie die Autoren nach RAZ et al. (1999) zitieren, als erstes Abbauerscheinungen zeigt. Als zentrales Defizit nennen die Autoren beeinträchtigte kognitive und motorische Inhibitionsprozesse, was erhöhte Ablenkbarkeit sowie ein zu hohes Maß an (falschen) automatisierten bzw. habituellen Reaktionen zur Folge hat. Ältere können sich somit schlechter an seltene Reize oder selten vorkommende Situationen anpassen.

2.1.2 Altersbedingte Einschränkungen der visuellen sensorischen Verarbeitung

Die für das Autofahren kritischsten Veränderungen sind nach DAVIDSE (2006) das verringerte periphe-

Aspekt	Veränderung im Alter
Akkommodationsbreite	nehmen ab
Dynamische Sehschärfe	
Statische Sehschärfe	
peripheres Sehen	eingeengt
Visuelle Orientierung	erschwert
Wahrnehmungsschwelle	nimmt stark zu

Tab. 1: Relevante Veränderung der visuellen Wahrnehmung im Alter nach COHEN (2008)

re Sehen und schlechtere Bewegungswahrnehmung. COHEN (2008) beschreibt umfassend die derzeit aus der Forschung bekannten Einschränkungen der visuellen Wahrnehmung, eine kurz zusammengefasste Übersicht der vom Autor als wichtigsten aufgeführten bietet Tabelle 1.

Nach KEIL (2011) werden beim Sehen weitere Unterfunktionen unterschieden, die auch jeweils spezifischen altersbedingten Einschränkungen unterliegen: Gesichts, Blick- und Umblickfeld verengen sich; Adaptionfähigkeit, Kontrastwahrnehmung sowie Tiefensehschärfe sind verringert. Die Akkommodationsfähigkeit nimmt auch bezüglich der Geschwindigkeit ab. Die Farbwahrnehmung nimmt für verschiedene Farben unterschiedlich ab. Die Blendempfindlichkeit nimmt hingegen zu.

Ältere Autofahrer konzentrieren sich öfter auf die eher wenig relevanten Teilnehmer der Verkehrssituation (DAVIDSE, 2006). Die Fähigkeit zu Mehrfachaktivitäten verringert sich, die Informationsverarbeitung verläuft eher seriell, und es fällt Senioren schwerer, die Aufmerksamkeit zu teilen und relevante von irrelevanten Stimuli zu unterscheiden (KÜTING & KRÜGER, 2002). Die Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit sowie die Entscheidungsfähigkeit nehmen ab. Vor allem in komplexeren Verkehrssituationen steigt deshalb im Alter die Reaktionszeit (FÄRBER, 2000). Alte Fahrer brauchen länger, um die relevanten Informationen aufzunehmen. Sie schauen nur einen kleineren Bereich der gesamten Verkehrssituation bei der visuellen Suche an. Senioren fixieren eher auf bestimmte Objekten oder Vorgänge, statt wie Jüngere die ganze Szene zu überschauen (MALTZ & SHINAR, 1999).

Teilweise erschweren sich ältere Fahrer jedoch auch selbst das Sehen und setzen sich unnötigen Risiken aus, indem sie ihre Sehhilfe nicht aktuell halten. Laut einer Analyse der UDV erreichten bei Fahrversuchen 40% der Probanden nicht die zum Fahren erforderliche Sehleistung mit der eigenen

Brille (Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V., 2012).

2.1.3 Altersbedingte Einschränkungen der kognitiven Verarbeitung und Aufmerksamkeit

WELLER und GEERTSEMA (2008) betonen, dass das chronologische Alter weniger stark mit verkehrsrelevantem Verhalten korreliert als die kognitive Leistungsfähigkeit – wobei diese sich mit zunehmendem Alter immer stärker innerhalb einer Altersgruppe unterscheidet. SCHLAG (2013) führt neben dem schon besprochenen verringerten Sehvermögen sowie psychologischen Aspekten (siehe Kapitel 2.2.5) die wichtigsten altersbedingten kognitiven Entwicklungen auf (Tabelle 2).

Ältere Fahrer zeigen Schwierigkeiten mit dem retrospektiven Gedächtnis und reagieren deshalb eventuell falsch bei kurzfristig veränderten oder kürzlich gesehenen Verkehrshinweisen (FALKENSTEIN & POSCHADEL, 2008). Senioren nehmen weiterhin visuelle Information phasenweise instabiler auf, mit vielen kleinen Blickbewegungen und kurzen Fixationen, die auf Orientierungsschwierigkeiten hindeuten. COHEN (2008) betont, dass dies „sporadische Augenblicke der Gefährdung“ sind. Er zitiert hierzu einerseits MALTZ und SHINAR (1999), die dies auf „eine rückgebildete visuelle Suchstrategie“ oder auf „eine massive Einschränkung des nutzbaren Sehfeldes“ zurückführen, wohingegen BALL, OWSLEY, SLOANE, ROENKER und BRUNI (1993) hier nur einen Mangel an Aufmerksamkeit sehen.

HOFFMANN, FALKENSTEIN und FRIEG (2013) fanden in einer weiteren dieser Forschungsarbeit vorangehenden Studie mit Spurhalte – und Lichtreizaufgabe, dass Ältere bis zu 50° Sehwinkel nur durch Kompensationsprozesse eine ausreichende Detektionsleistung erhalten können. Bei Reizen im Sehwinkel von 60° versagt die Kompensation und die Detektionsleistung wird deutlich schlechter. Aus ereigniskorrelierten Potenzialen ließ sich ableiten, dass nicht die frühe sensorische Sehleistung an sich hier schlechter war, sondern Defizite in nachfolgenden neuronalen Aufmerksamkeitsprozessen dafür verantwortlich gemacht werden können. Hier findet sich ein Ansatzpunkt für eine Sehfeldassistenz (siehe auch Kapitel 2.4).

2.1.4 Bewegungsabläufe während des Fahrens

Laut ENGELN und MORITZ (2013) ist Muskelkraft heutzutage für die Fahraufgabe nicht mehr so rele-

Aspekt	Verschlechterungen
Aufmerksamkeit	Mehrfachfähigkeiten, selektive / geteilte Aufmerksamkeit, Inhibitionskontrolle, Ablenkbarkeit
Leistungstempo	Informationsaufnahme, -verarbeitung, Entscheiden, Handlungsausführung
Mentale Beanspruchung	Überforderung, Ermüdung (Folge: kompensieren, Geschwindigkeit verringern etc.)
Top-Down-/Bottom-Up-Prozesse	Generelle Tendenz zu Top-Down (Bottom-Up ist erschwert): kritisch in überraschenden / seltenen Situationen
Leistungsfähigkeit	Überforderung, Resilienz gegenüber Störungen

Tab. 2: Altersbedingte kognitive Einschränkungen nach SCHLAG (2013)

vant, da Servolenkung und Bremskraftverstärkung weit verbreitet sind. Ein Mindestmaß an Kraft wird jedoch für die Pedale und das Schalten benötigt. Sehr wichtig ist dagegen die allgemeine Koordinationsfähigkeit, Schnelligkeit und Beweglichkeit – letztere vor allem für Schultern und Hals-/Kopfbereich, damit Schulterblicke problemlos ausgeführt werden können. Wichtig für die motorische Koordination ist auch die Steuerung selektiver Aufmerksamkeit (BACKS, 1997).

2.1.5 Altersbedingte Einschränkungen der Motorik

COHEN (2002) beschreibt, dass fortgeschrittenes Alter eine generelle Verlangsamung der motorischen Abläufe mit sich bringt, so dass sich die Muskulatur zurückbildet und die Kraft abnimmt. Auch Fingerfertigkeit und Geschicklichkeit nehmen ab, weniger Beweglichkeit wird vor allem an Kopf und Hals festgestellt, obwohl diese für Schulterblicke besonders wichtig beim Fahren sind (WILLIAMS, 2008; DAVIDSE, 2006).

KETCHAM und STELMACH (2004) geben eine ausführliche Übersicht über Studien zur Veränderungen der motorischen Reaktion: In vielen verschiedenen Forschungsarbeiten wurden mit dem Alter reduzierte Bewegungsgeschwindigkeit und Kraftkontrolle gefunden; die einzelnen motorischen Bestandteile von zusammenhängenden Bewegungen waren verändert, die Variabilität der Bewegungen erhöht, und es traten häufiger Koordinationschwierigkeiten auf.

In Studien mit Wahlreaktionsaufgaben (FALKENSTEIN, YORDANOVA & KOLEV, 2006, sowie KO-

LEV, FALKENSTEIN & YORDANOVA, 2006) zeigten ältere Probanden deutlich langsamere Reaktionen als jüngere. Wie mithilfe von EEG-Aufnahme gewährleistet werden konnte, waren Reizverarbeitung und Reaktionsauswahl jedoch bei den älteren Teilnehmern nicht verlangsamt, sondern nur die motorischen Komponenten zeigten sich verändert: Die motorische Reaktion von Älteren benötigte ein höheres Aktivierungslevel (das erst etwas später erreicht ist), und dies wird als Grund für die verlängerten Reaktionszeiten vermutet. Ein ähnliches Ergebnis findet sich bei YORDANOVA, KOLEV, HOHNSBEIN und FALKENSTEIN (2004), wo nicht die Reizverarbeitung, sondern nur die Reaktionsgenerierung im motorischen Kortex für Ältere verlangsamt war.

2.1.6 Altersbedingte strukturelle Veränderungen im Gehirn

Wie GRADY (2000) beschreibt, werden in den Neurowissenschaften Verfahren der Bildgebung verwendet, um Schlüsse über altersbedingte, strukturelle und physiologische Veränderungen des Gehirns zu ziehen. Ergebnisse daraus lassen vermuten, dass bei Älteren, eventuell um Effizienzdefizite in den üblichen aufgabenrelevanten Arealen zu kompensieren, oft andere funktionale Netzwerke aktiv sind als bei Jüngeren.

Nach POSCHADEL et al. (2012) liegt im gesamten Gehirn, kortikal und subkortikal, altersbedingt zunehmender Gewebeschwund (Atrophie) vor, vor allem in frontalen und parietalen Bereichen. Die Autoren nennen den präfrontalen und zusätzlich den parietalen Kortex als vom Rückgang betroffene Areale, wobei sich dies durch Gewebeschwund des Neokortex, verbreiterte Sulci oder erweiterte Ventrikel äußert. Der Rückgang im Bereich des Präfrontalkortex hängt nach Stand der Wissenschaft auch mit verringerter Arbeitsgedächtnisleistung zusammen, wie beispielweise FALKENSTEIN und SOMMER (2008) nach GRADY (2000) zitieren. Auf physiologische Veränderungen durch typische Alterskrankheiten wie Demenzen wird im Rahmen dieser Analyse nicht weiter eingegangen.

2.1.7 Zusammenfassung physiologischer Veränderungen

Als Fazit lässt sich sagen, dass sich bei Senioren sowohl in einzelnen Aspekten der Sehleistung, der kognitiven Verarbeitung und der Motorik viele Ein-

schränkungen finden, als auch in der Gesamtbeurteilung dieser Fähigkeiten. Gerade im kognitiven Bereich fällt auf, dass Aufmerksamkeit und mentale Belastungsfähigkeit besonders bei Mehrfachbelastung geringer werden. Damit übereinstimmend finden neurowissenschaftliche Untersuchungen Rückgänge im Gehirngewebe. Jedoch scheint die Tatsache, dass Senioren oft langsamer auf Reize reagieren, eher an der Reaktionsaktivierung als an der Reizverarbeitung an sich zu liegen. Die beschriebenen Entwicklungen finden sich nicht in bestimmten Lebensaltern wieder, sondern verlaufen individuell unterschiedlich; für eine weitergefasste Übersicht siehe auch (POTTGIEßER, 2012). In jedem Fall ist jedoch angebracht, bei der Entwicklung von seniorengerechter Technik im Fahrzeug diese Defizite zu beachten.

2.2 Psychologie älterer Verkehrsteilnehmer

2.2.1 Rolle und Probleme älterer Fahrzeugführer

Wissenschaft und Gesellschaft beschäftigen sich international schon lange mit dem Thema. Laut OECD-Bericht „Ageing and Transport“ (Organisation for Economic Cooperation Development, 2001) wird das „Problem ältere Fahrer“ seit den späten 1960er Jahren erkannt und untersucht. In den 80er und 90er Jahren wuchs das Bewusstsein dafür, dass ältere Fahrer einerseits keine homogene Gruppe sind, zweitens generell an weniger Unfällen beteiligt sind als nach der Zahl der schweren Unfälle zu vermuten war (frailty bias), und drittens, dass nicht nur Senioren als Problem untersucht werden, sondern sich der Untersuchungsgegenstand hin zum ganzen Verkehrssystem und die Ziele hin zur Mobilität für alle weiterentwickelten. Im Jahr 2000 sagten HAKAMIES-BLOMQVIST und PETERS (2000) voraus, dass sich die (europäische) Forschung in den kommenden Jahren viel mit „design for all“ und der Perspektive der Nutzer beschäftigen wird.

Die Frage, ob Menschen fortgeschrittenen Alters ein Risiko für den allgemeinen Straßenverkehr darstellen, wird national und international kontrovers diskutiert. Schon Titel von Konferenzen, Büchern und Artikeln sprechen für sich; als ein Beispiel sei das Buch von RUDINGER und KOCHERSCHIED (2011) sowie die gleichnamige Konferenz (Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V. & Deut-

sche Seniorenliga e. V., 2013) genannt: „Ältere Verkehrsteilnehmer – gefährdet oder gefährlich?“ Viele wissenschaftliche Evaluationen gehen der Frage nach, ob und wie sich Senioren als Kraftfahrer anders verhalten als Jüngere, und was dies für (Unfall-) Folgen mit sich bringt. Hierzu gibt das folgende Kapitel einen Überblick.

2.2.2 Unfallbeteiligung

Ein großer Anteil der vorliegenden Studien beschäftigte sich mit schweren Unfällen. Wie WELLER, STRAUZENBERG, HERLE, SCHLAG und RICHTER (2014) im Rahmen des EU-Projekts „SaMERU“ an Hand von Daten des Statistischen Bundesamts und einer Anzahl weiterer offizieller europäischer Quellen darlegen, waren im Jahr 2010 11% der über 65-jährigen Deutschen in Unfälle mit schweren Folgen verwickelt, allerdings waren es 1990 nur halb so viele. WELLER et al. berechneten auch, dass, obgleich die tödlichen Unfälle in Deutschland von 1991-2011 zurückgingen, dies in der Altersgruppe über 65 weniger deutlich ausfiel. Eine ebenda (WELLER et al., 2014, S. 46) zitierte, ähnliche Analyse der Europäischen Kommission aus dem Jahre 2011 zeigt, dass dieser Trend auch europaweit zu beobachten ist.

LANGFORD, BOHENSKY, KOPPEL und NEWSTEAD (2008) untersuchten anhand der Statistik australischer Unfälle mit Todesfolge in den 90er Jahren, inwieweit ältere Fahrer ein Risiko für andere Verkehrsteilnehmer darstellen. Hier zeigte sich, dass Ältere gemessen an der Anzahl der Führerscheinebesitzer so wie auch gemessen an der Gesamtbevölkerung ihrer Altersgruppe ein sehr geringes Risiko für andere sind. Pro gefahrenem Kilometer waren sie jedoch öfter für den Unfalltod anderer verantwortlich als der Durchschnitt der Gesamtbevölkerung.

Der Ausdruck „Low Mileage Bias“ wurde von HAKAMIES-BLOMQVIST, RAITANEN und O'NEILL (2002) geprägt. Er steht dafür, dass ältere Fahrer zwar wie beispielweise oben beschrieben mehr Unfälle pro gefahrenem Kilometer haben, dies jedoch daher rührt, dass bei Analysen Unterschiede in den pro Jahr gefahrenen Kilometern nicht berücksichtigt wurden. Rechnet man dies heraus, so ergibt sich kein erhöhtes Risiko für ältere Fahrer. Das Risiko erhöht sich, je weniger Fahrpraxis jemand hat, unabhängig vom Alter. Allerdings fahren viele ältere Menschen vergleichsweise wenig. Unter anderem

LANGFORD, METHORST und HAKAMIES-BLOM-QVIST (2006) replizierten diesen Effekt.

Auch die Tendenz dass Senioren häufiger in Unfallstatistiken mit Schwerverletzten auftauchen, ist oft untersucht worden und als „Frailty Bias“ bekannt. Dies resultiert nicht aus einem generell höheren Unfallrisiko, sondern daraus, dass Ältere im Falle eines Unfalles ungleich schwerer verletzt werden (WELLER et al., 2014; CASUTT, MARTIN & JÄNCKE, 2013).

Ob in Unfallstatistiken Kohorteneffekte zu finden sind, untersuchten HAKAMIES-BLOMQVIST und HENRIKSSON (1999) anhand finnischer Fahrer. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass sich Kohorten zwar teilweise etwas unterscheiden, für alle Fahrer aber mit dem Alter die Unfallwahrscheinlichkeit ohne Einfluss der Kohorte zunahm. Dies bedeutet, dass die Fahrer, je älter sie waren, desto häufiger verunfallten – unabhängig von den Geburtsjahrgängen, der sie angehörten. Hieraus schließt man, dass erhöhte Unfallwahrscheinlichkeit im Alter nicht nur in bestimmten Generationen vorkommt, sondern als allgemeiner Effekt betrachtet werden kann.

2.2.3 Problembereiche

Nicht alle Altersveränderungen sollten im Verkehr zwangsläufig als Defizit betrachtet werden. Schon der oben genannte OECD-Bericht „Ageing and Transport“ stellt fest, dass man in den Unfallmustern älterer Fahrer sowohl deren Schwächen (viele Kreuzungsunfälle) als auch deren Stärken (selten zu schnell, selten riskante Manöver) erkennen kann. (Organisation for Economic Cooperation Development, 2001). Unfälle von Senioren sollten insofern nicht als einheitliche Problematik, sondern differenziert betrachtet werden, um ein genaues Bild zu Häufungen und möglichen Ursachen zu erhalten, und Anhaltspunkte für Interventionen dort zu finden, wo sie sinnvoll sind. Dazu wird im Folgenden ein Überblick gegeben.

WELLER et al. (2014) fassten die Unfallmuster verschiedener Altersgruppen aus Daten des Statistischen Bundesamts (2012) in einer Grafik zusammen (Bild 2). Damit übereinstimmend fanden auch GERLACH, SEIPEL, POSCHADEL und BOENKE (2014), dass Ältere die am häufigsten in Abbiege-, Einbiege- und Kreuzunfällen verwickelte Altersgruppe sind.

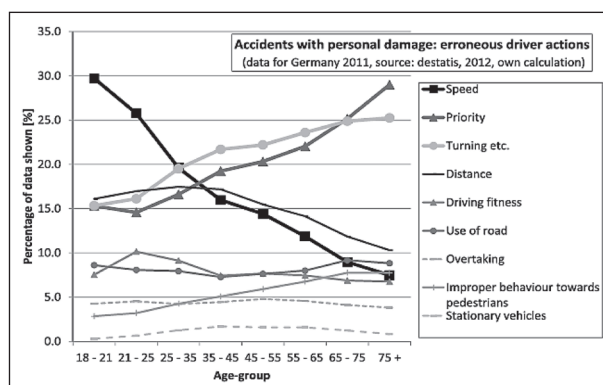


Bild 2: Verhaltensfehler von Fahrern, die Unfälle mit Personenschaden verursachen: Geschwindigkeit, Vorfahrt, Abbiegen, Abstand, Fahrfähigkeit, Straßennutzung, Überholen, unangemessenes Verhalten gegenüber Fußgängern, stehende Fahrzeuge, aus WELLER et al. (2014)

Ältere fahren meist eher langsam und haben weniger Unfälle wegen überhöhter Geschwindigkeit (u. a. VOLLRATH & KREMS, 2011). Auch in Fahrsimulatorstudien wie bei OWENS, WOOD und OWENS (2007) fahren Ältere langsamer, und überfahren (damit korreliert), weniger Spurmarkierungen. Trotzdem häufen sich bei ihnen Unfälle in komplexen Situationen, an Kreuzungen und Knotenpunkten, wo sie oft vorfahrtsberechtigter Verkehrsteilnehmer übersehen (VOLLRATH & KREMS, 2011). Beim Detektieren von Hindernissen gibt es nach OWENS und TYRRELL (1999) signifikante Verzögerungen gegenüber jüngeren Fahrern, und im Simulator machen sie mehr Fehler bei der Spurhaltung und beim Kontrollieren des Toten Winkels (WOOD et al., 2009). Das niedrigere Tempo kann auch zu Problemen führen, etwa wenn Manöver dadurch riskanter werden, wie beim Einfahren auf eine Schnellstraße mit Schwertransportern (DE WAARD, DIJKSTERHUIS & BROOKHUIS, 2009). In Situationen mit Zeitdruck oder der Notwendigkeit zu Mehrfachaktivitäten entstehen Probleme für ältere Fahrer, wobei nach BROUWER (1994) Aufmerksamkeitsdefizite eine größere Rolle spielen als rein sensorische Probleme.

KUBITZKI und JANITZEK (2009) stellen fest, dass die meisten Fehler im Alter beim Nichtbeachten von Vorfahrt entstehen, auch die Fehlerraten beim Abbiegen und Abstand halten steigen im Alter auf kritische Werte an. Auch bei FASTENMEIER (2005) findet sich, dass ältere Fahrer deutlich mehr Fehler beim Abbiegen in beide Richtungen machen. HOLE (2007) beschreibt, dass Senioren häufiger an Unfällen beteiligt sind, weil Schilder und Vorfahrtsregeln nicht beachtet werden.

Dazu passend, da Fahren im Innenstadtbereich eine hohe Dichte an den genannten Schwierigkeiten mit sich bringt, haben nach KÜTING und KRÜGER (2002) und PFAFFEROTT (1994) ältere Autofahrer vor allem im Innenstadtbereich Probleme: hier muss eine große Zahl an Informationen in kurzer Zeit verarbeitet werden. Deshalb wird dieser von alten Fahrern eher gemieden (BROUWER, 1994).

Eine Untersuchung von DAVIDSE (2007, S. 77 ff.) ergab, dass an Kreuzungen mit durch Verkehrszeichen geregelter Vorfahrt mehr Unfälle mit Seniorenbeteiligung passierten als an Kreuzungen mit Ampelregelung. Sie setzt dies in Zusammenhang mit den abnehmenden Fähigkeiten älterer Fahrer und vermutet, dass Kreuzungen schwieriger und somit unfallträchtiger sind, wenn sie nicht diesen begrenzten Fähigkeiten entsprechend designt wurden. Hierfür nennt sie unter anderem Kreisverkehre, frühzeitige Warnschilder, gut sichtbare Linksabbiegespuren des Gegenverkehrs, Straßenmarkierungen mit sehr hohem Kontrast, Ampeln auf als optischem Hintergrund fungierenden Platten, lange Distanzen mit freier Sicht sowie Ampelschaltungen, bei denen bei Grün keiner anderen Partei Vorfahrt gewährt werden muss.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass zwar das fortgeschrittene Alter an sich längst nicht so stark direkt mit Unfallraten zusammenhängt wie lange Zeit vermutet wurde, da oft die Tendenzen „Frailty Bias“ und „Low Mileage Bias“ für hohe Korrelationen sorgen.

Dennoch stellen die Unfallzahlen von Senioren, die eben oft Wenigfahrer sind und im Falle des Unfalls schwerer verletzt werden, ein Problem dar. Auch kann man wie HERZBERG (2008) danach fragen, ob nicht zukünftig, wenn noch zunehmend mehr sehr hochbetagte Menschen Auto fahren werden, das Problem wachsen wird.

Älteren Fahrern sollten nicht pauschal die Fahrfähigkeiten abgesprochen werden, da die Ausprägung dieser innerhalb der Gruppe der Senioren sehr stark variiert. Allerdings gehen typischerweise mit dem Alter verschiedene verkehrsrelevante Defizite einher – sie treten zwar zu sehr unterschiedlichen Zeitpunkten im Leben auf, über Tendenzen wurden in Laborexperimenten und Fahrversuchen schon viele Erkenntnisse gewonnen. Wenn Personen diese Defizite aufweisen, können sie Ursachen für Fahrfehler und Unfälle werden. In der diesbezüglichen Forschung gab und gibt es allerdings De-

batten um das methodische Vorgehen, beispielsweise mahnte HAKAMIES-BLOMQVIST (1998, S. 4): „When a plausible hypothetical explanation has been repeated in a sufficient number of studies there is a risk that it gets consolidated without ever having been tested. In this manner, the typical intersection accidents have been speculatively attributed to declines in attention and visual field deficits so often that the relation between these functional declines and risk increase in intersections almost seems thereby proved.“ Im Folgenden werden Ergebnisse aus Studien und Analysen zitiert, die diese Defizite mit Fehlleistungen älterer Fahrer und Unfällen in Verbindung setzen.

2.2.4 Unfallursachen: sensorische, motorische, kognitive Faktoren

Eine gute Übersicht zu den Wurzeln von Problemen älterer Autofahrer bietet Bild 1 im obigen Kapitel 2.1.4. Drei Faktoren nennen VOLLRATH und KREMS (2011) als besonders relevant: Beeinträchtigtes Sehvermögen, Aufmerksamkeitsverteilung, und Langsamkeit bei Entscheidungsprozessen, Planung und Handlungsausführung.

Hierzu ist wichtig anzumerken, dass aus Ergebnissen von Leistungstests im Labor, genau wie aus dem chronologischen Alter einer Person das Fahrvermögen derzeit nicht direkt vorhergesagt werden kann, obwohl ein solches Verfahren von vielen gewünscht wäre und auch weiterhin Vorhersagemodelle gesucht werden. Eine Analyse von HAKAMIES-BLOMQVIST, WIKLUND und HENRIKSSON (2005) versuchte, die Unfallbeteiligung Älterer aus ihrer (ebenfalls gestiegenen) Präsenz im Verkehr abzuleiten, überschätzten damit jedoch die Unfallraten.

Ein jüngeres und ausführliches Beispiel dafür liefert WELLER (2013), er verglich in einer groß angelegten Studie u. a. Leistungsdaten und Blickbewegungen aus dem Realverkehr mit Laborergebnissen (15 Tests zur Sehleistung, Aufmerksamkeit und kognitiver Leistung) sowie mit dem kalendarischen Alter. Obwohl es vereinzelt Zusammenhänge gab, konnte das Verkehrsverhalten insgesamt nur sehr begrenzt vorhergesagt werden. Andererseits kann nach ANSTEY, HORSWILL, WOOD und HATHERLY (2012) die potenzielle Fahrsicherheit einer Person (engl. Capacity to Drive Safely) zwar zum großen Teil durch ihre visuellen und kognitiven Fähigkeiten erklärt werden. Jedoch beruhen diese Berechnungen nicht auf Daten aus Fahrversuchen, sondern auf Maßen aus Labortests, die nur teilwei-

se gegen reale Fahrversuche validiert wurden. Eine andere Methode, Zusammenhänge zu suchen, verwendeten FRIEDMAN, MCGWIN, BALL und OWSLEY (2013), indem sie für ältere Fahrer derartige Testergebnisse mit Unfallzahlen in der Vergangenheit in Verbindung brachten. Teilnehmer mit schlechteren Ergebnissen in der visuellen Verarbeitung hatten signifikant höhere Unfallraten.

Die verringerte Sehfähigkeit im Alter erschwert nach LANGFORD und KOPPEL (2006) die Erkennung von Fußgängern und Objekten, sodass Konflikte und Gefahrensituationen wahrscheinlicher werden (siehe auch BROMBERG, ORON-GILAD, RONEN, BOROWSKY & PARMET, 2012).

Bei geringerer Helligkeit können Autofahrer allgemein weniger scharf sehen, jedoch wird dies oft selbst nicht bemerkt und vor allem jüngere überschätzen sich bei Nacht. Die „Selective Degradation“-Hypothese besagt, dass verschiedene Aspekte der visuellen Wahrnehmung nicht gleichmäßig durch Dunkelheit eingeschränkt werden; dass eben die Fähigkeit der visuellen Orientierung und dadurch das Lenken nicht fühlbar beeinträchtigt sind. Ältere Fahrer vermeiden oft Nachtfahrten und konnten in Fahrstudien auch nicht mehr so präzise lenken wie Jüngere, was darauf zurückgeführt wird, dass bei Ihnen Dunkelheit zu einer umfassenderen Einschränkung führt als bei den jüngeren (OWENS & TYRRELL, 1999; BROOKS, 2005; BROOKS, TYRRELL & FRANK, 2005).

Das nutzbare Sehfeld (UFOV) engt sich im Laufe des Alters zunehmend ein (COHEN, 2008). In einem Regressionsmodell von OWSLEY, BALL, SLOANE, ROENKER und BRUNI (1991) war das UFOV der wichtigste Faktor für die Unfallhäufigkeit. Augengesundheit und Visuelle Funktionen wirkten sich hier nach nur dann negativ aus, wenn sie das UFOV einschränken.

Viele Fähigkeiten, die in Zusammenhang mit der Fahraufgabe von Bedeutung sind, können auch (wieder) trainiert werden, hierzu existieren zahlreiche Studien. Für eine Übersicht siehe z.B. POSCHADEL, (2013) oder BALL, WADLEY und EDWARDS (2002).

2.2.5 Einfluss psychologischer Faktoren auf die Fahrleistung

Nicht nur die genannten messbaren Einschränkungen haben einen Einfluss darauf, wie ältere Fahrer

im Verkehr handeln und interagieren. Auch psychologische Aspekte führen zu Gewohnheits- und Verhaltensänderungen beziehungsweise auch veränderter innerer Einstellung dem Fahren gegenüber. SCHLAG (2013) nennt hierzu zwei Aspekte: Altersstereotype in der Gesellschaft zeichnen fahrende Senioren oft negativ, wobei diese selbst ein eher positives Selbstbild besitzen. Treffen diese Fremd- und Selbstbilder aufeinander, kann es in Verkehrssituationen dazu kommen, dass die Teilnehmer sich unangemessen verhalten beziehungsweise dieses bei anderen vermuten.

Weiterhin wird der eigene Alterungsprozess oft nicht in Gänze akzeptiert und Anzeichen ignoriert, weil er als Kränkung und drohender Verlust wahrgenommen wird, und damit Gewohnheiten nicht verändert werden müssen. So kann es dazu kommen, dass fälschlicherweise kein Problem mit der eigenen Fahrfähigkeit wahrgenommen wird und so mögliche Hilfen und Unterstützung gar nicht erst in Betracht gezogen werden.

Auch VOLLRATH und KREMS (2011) gehen darauf ein, dass nicht alle älteren, sensorisch oder kognitiv eingeschränkten Fahrer Kompensationsstrategien bzw. vorsichtiges oder Vermeidungsverhalten zeigen. Für diejenigen, die sich selbst fälschlich als leistungsfähige Fahrer betrachten, wird das Unfallrisiko höher eingeschätzt.

Bisher gibt es in Deutschland keine zwingende Überprüfung der Fahrfähigkeit für Ältere. Es wird allerdings verschiedentlich darüber geschrieben, wie eine solche Prüfung aussehen könnte, die über die generellen Leitlinien zur Kraffahreignung (Bundesanstalt für Straßenwesen, 2014b) hinausgeht und sich speziell an Senioren richtet (z. B. BUCHSTALLER, 2007), und unter welchen Voraussetzungen es überhaupt eine Einteilung in fahrfähige und nicht fahrfähige Menschen geben kann (HAKAMIES-BLOMQVIST, 2006). Die OECD schließt aus einem Vergleich internationaler Richtlinien und Praktiken, dass wenig für einen eindeutigen Nutzen solcher altersbasierter Tests spricht und kein bekannter Test sowohl ausreichend sensitiv als auch spezifisch ist (Organisation for Economic Cooperation Development, 2001, S. 87 ff.) und sich teils sogar gegenteilige Effekte fanden (HAKAMIES-BLOMQVIST, JOHANSSON & LUNDBERG, 1996).

Mentale Beanspruchung und Überforderung

Wenn Zeitdruck herrscht, sei es auf der Straße durch andere Verkehrsteilnehmer oder im Fahrsi-

mulator durch Aufgabenstellungen oder Szenarien, können ältere Fahrer ihre Defizite meist nicht mehr so gut kompensieren, die Leistung fällt ab (GELAU, SIREK & DAHMEN-ZIMMER, 2011). In komplexen, zeitkritischen Situationen ist die Kompensation von sensorischen/kognitiven Defiziten nur begrenzt möglich.

Die mentale Beanspruchung (mentaler Workload), gemessen durch Reaktionszeiten, war bei CANTIN, LAVALLIÈRE, SIMONEAU und TEASDALE (2009) für ältere Probanden beim Fahren im Fahrsimulator höher als für jüngere, obwohl die Gruppen ähnliche Ausgangswerte hatten. Bei komplexen Fahrmanövern (Überholen) verstärkte sich dieser Effekt noch. Auch in einer Erhebung von DAVIDSE (2007) für verschiedene Kreuzungstypen war der mentale Workload (in einem Peripheral Detection Task) durchweg bei älteren Fahrern höher als bei jüngeren, wobei sich keine eindeutigen Auswirkungen auf die Fahrleistung feststellen ließen. Auch WELLER und GEERTSEMA (2008) fanden, dass die mentale Beanspruchung beim Fahren bei älteren Menschen generell höher ist.

Bekannt ist aus vielen Studien der Zusammenhang des Workloads mit dem UFOV: Je stärker die mentale Beanspruchung, desto kleiner wird das nutzbare Sehfeld (u. a. COHEN, 1987; WALKER, MAST & SEDNEY, 1992). So hängt (auch ohne sensorische Einschränkungen) bei älteren Fahrern die vergleichsweise höhere mentale Beanspruchung bei der Fahraufgabe mit einem kleineren UFOV zusammen, was wiederum mit altersbedingt veränderter visueller Informationsverarbeitung und Schwierigkeiten mit geteilter Aufmerksamkeit einhergeht (OWSLEY et al., 1991).

Selbsteinschätzung und Kompensation

Dass sich manche Fähigkeiten unvermeidbar zurückbilden, wirkt sich aber nicht proportional darauf aus, wie viele Fahrfehler gemacht werden. Wie VOLLRATH und KREMS (2011, S. 105) es formulieren: „Ganz entscheidend ist, wie die Fahrer sich selbst und die Verkehrssituation einschätzen und wie sie entsprechend ihr Verhalten anpassen.“

Dies wird dadurch sehr deutlich, dass die Fahrleistung Älterer oft viel besser ist, als Labortests kognitiver und sensorischer Fähigkeiten vermuten ließen (BURGARD, 2005; FALKENSTEIN & SOMMER, 2008). FASTENMEIER und GSTALTER (2008) füh-

ren an, dass Autofahren als „selbstgetaktete“ Aufgabe gesehen werden kann, bei der der Fahrer bis zu einem gewissen Grad selbst beeinflusst, wie sich seine Beanspruchung entwickelt. Diese Beanspruchungshomöostase zielt darauf, zwischen Unterforderung und Überforderung einen angenehmen Mittelweg einzuschlagen.

Die Kompensationsmöglichkeiten stoßen jedoch oft an Grenzen, wenn die Situationen zu komplex werden, wie zum Beispiel innerstädtische große Kreuzungen (FASTENMEIER, 2005; FASTENMEIER & GSTALTER, 2008). Es fragt sich auch, ob Kompensieren nicht durch vermehrte kognitive Anstrengung zu schneller Ermüdung führt und somit ein Sicherheitsrisiko darstellt (FALKENSTEIN, POSCHADEL & WILD-WALL, 2011; FALKENSTEIN, POSCHADEL, WILD-WALL & HAHN, 2011). FALKENSTEIN, POSCHADEL und WILD-WALL (2008) unterscheiden eine Reihe an verschiedenen mobilitätsbezogenen Kompensationsstrategien: Reduktion von Zielen, Veränderung von Zielen, Restitution von Handlungsmitteln (z. B. Training, Ressourcen aktivieren) und Substitution von Handlungsmitteln (Hilfsmittel wie Brille oder auch ein FAS). Am besten empirisch zu beobachten ist bei älteren Verkehrsteilnehmern die Reduktion, der Rückzug aus für sie ungünstigen Bedingungen oder solchen, die einfach zu meiden sind. Dies führt dazu, dass sie hauptsächlich bestimmten Situationen beim Fahren begegnen. Oft schlägt sich dies darin nieder, unter welchen Umständen sie verunfallen (LANGFORD & KOPPEL, 2006). Es ist aber noch wenig über bewusste und unbewusste Kompensation im Zusammenspiel mit Feedback über die Fahrleistung bekannt (HASSAN, KING & WATT, 2015).

POTTGIEßER (2012) fasst einige Ergebnisse zur Persönlichkeit und zum Selbstbild älterer Fahrer zusammen. Hier zeigt sich, dass ein positives Bild der eigenen Fähigkeiten vorherrscht, Diskrepanzen in der Leistung nicht bemerkt oder eingestanden werden. Negative Fremdbilder verunsichern eher nicht, sondern spornen zu mehr Selbstbewusstsein an. Hingegen erwiesen sich Ältere in Bezug auf Emotionalität eher als der Sicherheit zugewandt.

2.3 Altersgerechte technische Fahrassistenz

Nach Berechnungen der Unfallforschung der Versicherer haben Fahrerassistenzsysteme auch große

ökonomische Vorteile, da sie das Potenzial haben, Sach- und Personenschäden in hoher Größenordnung zu verhindern (HUMMEL, KÜHN, BENDE & LANG, 2011).

2.3.1 Überblick Fahrerassistenzsysteme

Die Entwicklung von Fahrerassistenzsysteme geschieht aufbauend auf Anforderungen, die aus Analysen von unfallverursachenden Fahrfehlern und deren Ursachen abgeleitet werden (VOLLRATH et al., 2006). FAS können in zwei Gruppen unterteilt werden: Informationssysteme, die nicht in die Fahrtätigkeit eingreifen, und Assistenzsysteme im engeren Sinne, die dem Fahrer (Teil-)Aufgaben abnehmen. Eine feinere Abstufung bietet die Unterteilung nach dem Automatisierungsgrad: Information – Warnung – Unterstützung – Korrektur – Automatisch (VOLLRATH & KREMS, 2011). Für das vorliegende Projekt sind hierbei die ersten beiden relevant. Information und Warnung unterscheiden sich darin, dass die Warnung nur in konkret oder potenziell kritischen Situationen vom System abgesetzt wird; im Folgenden werden sie jedoch zusammen behandelt, da viele entsprechende Studien sich in Bezug auf den Nutzen für Senioren ähneln. Bei den Warnungen können wiederum handlungsauffordernde von rein aufmerksamkeitslenkenden unterschieden werden. Auf Systemen, die eine Handlung technisch unterstützen, sowie auf die Bereiche der Korrektur und Vollautomatisierung wird hier nicht näher eingegangen, da dies im vorliegenden Forschungsvorhaben keinen Schwerpunkt darstellt.

2.3.2 Forschung zum Bedarf

Im Folgenden wird eine Übersicht dazu gegeben, welchen Bedarf die Forschung an FAS sieht, wie der Stand der Technik sich darstellt, und wie die unterstützende Wirkung verschiedenartiger Assistenzsysteme in wissenschaftlichen Evaluationen ausfiel.

Assistenzen zur Verbesserung der Sicht gehören zu den besonders stark benötigten FAS (z. B. laut einer Expertenbefragung von FÄRBER, 2000). Zwei der wichtigsten Bedarfsfelder für FAS für Senioren sieht DAVIDSE (2006) im Bereich peripherer und Bewegungswahrnehmung: Da Ältere oft Schwierigkeiten haben, peripher auftauchende Objekte zu erkennen, sollten diese vom FAS signalisiert werden. Außerdem sollte ein FAS dabei unterstützen, Bewegung und Geschwindigkeit anderer Verkehrsteilnehmer besser einzuschätzen.

Die FAS-Entwicklung sollte nach GUO, BRAKE, EDWARDS, BLYTHE und FAIRCHILD, (2010) einen Schwerpunkt darauf legen, den Senioren Unterstützung und Feedback in dem Sinne zu geben, dass sie selbst ihre Schwächen erkennen und durch Hilfen ihre Fahrleistung und -sicherheit verbessern können. Einen Ansatz dazu, wie die aktuelle Fahrleistung erfasst werden kann, bieten u. a. EHMEN, GOEVERCIN, HAESNER, KISELEV und STEINHAGEN-THIESSEN, (2010).

Eine Konzeptualisierung der wichtigsten Technologien zur Assistenz findet sich in einer australischen Arbeit von RAKOTONIRAINY und STEINHARDT (2009): Der Fokus sollte auf komplizierten Verkehrssituationen wie Kreuzungen liegen, und dabei besonders auf der – nach MICHONS Fahrverhaltensmodell (1985) – taktischen und operationalen Ebene des Fahrens, nicht der strategischen. Die vielversprechendsten Ansätze für die Fahrsicherheit sind hiernach Kreuzungs- und Abbiegeassistenten. Gute Gebrauchstauglichkeit wird auch als sehr wichtig erwähnt.

Eine Empfehlung aus dem europäischen Projekt „Safe Mobility for Elderly Road Users“ enthält als wünschenswerte Möglichkeiten zur Verbesserung der Sicherheit drei FAS-Typen: Warnsysteme für den Toten Winkel, Spurhalteassistenten und Bremsassistenten zur Kollisionsvermeidung (MATHIESSON, DEAN, GOSS, FARTHING & HOOD, 2013). Die Autoren betonen, dass solche Systeme immer in Zusammenarbeit mit der älteren Zielgruppe und Altersforschern entwickelt werden sollten.

HAKAMIES-BLOMQUIST, SIRÉN und DAVIDSE (2004) fassen zusammen, welche Arten von Assistenzsystemen die Probleme älterer Fahrer mildern können, zusammen mit den verringerten Fähigkeiten, die sie adressieren: Kollisionswarnungen für Kreuzungen, Automatische Spurwechsel- und Einordnungsassistenten, Hindernisdetektion, Anzeige von geltenden Straßenschildern, Geschwindigkeitsanpassung (Intelligent Cruise Control) und Abbiege- bzw. Kreuzungsassistenten. Infrastrukturgestützte Systeme werden nach einer Analyse von HEINRICH, ORTLEPP, SCHMIELE und VOSS (2011) besonders an den auch für Senioren oft heiklen Knotenpunkten gebraucht. ARIKAN et al. (2014) schlagen vor, dass zur Verbesserung der Selbstwahrnehmung älterer Fahrer die Fahrleistung vom Fahrzeug aufgezeichnet und später rückgemeldet werden könnte, sodass das Bewusstsein für vorhandene Probleme geschärft wird und diese ggf.

ausgeglichen oder kompensiert werden können. Des Weiteren wird auch an der Fragestellung geforscht, ob es nicht sinnvoll wäre, spezielle Fahrzeuge für Senioren bereitzustellen (EBY & MOLNAR, 2012), obwohl dies laut der Autoren schwer zu vermarkten wäre.

2.3.3 FAS für Senioren: Entwicklungsstand

In den letzten Jahren wurde national und international vermehrter Forschungsbedarf zur Assistenz älterer Fahrer erkannt. (ROßNER, DETTMANN, JENTSCH & BULLINGER, 2013; ROßNER, HARTWICH & BULLINGER, 2012).

Bei visuell dargestellter Information wie in der vorliegenden Studie ist auch wichtig, die Darbietung so zu gestalten, dass dadurch keine zusätzliche Ablenkung oder Beanspruchung entsteht, sondern eine Entlastung des Fahrers erreicht werden kann. Head-up-Displays (HUDs) können bei älteren Autofahrern besonders geeignet sein, weil durch sie wenig zusätzliche Beanspruchung entsteht (CAIRD & CHUGH, 1997; GISH & STAPLIN, 1995; POHLMANN, GELAU, METKER & TRÄNKLE, 1994; BOUGLER et al., 2005), als besonders sicher gelten hierbei kontaktanaloge Displays (POITSCHKE et al., 2008; BERGMEIER, 2009).

Bei HUDs muss im Gegensatz zu konventionellen Displays nicht akkommodiert werden, es sind weniger Augen- und Kopfbewegungen nötig und der Blick kann vermehrt auf die Straße gerichtet sein (GISH & STAPLIN, 1995). Dies ist bei Älteren ein noch größerer Vorteil als bei Durchschnittsfahrern. Die Autoren geben aber auch zu bedenken, dass HUDs auch Nachteile haben können, wenn sie die Aufmerksamkeit anziehen oder für zu viel Unruhe im Gesichtsfeld sorgen, und dies ältere Nutzer auch stärker trifft. Deshalb sollte in der HUD-Forschung immer auf genügend ältere Tester im Entwicklungsprozess geachtet werden. Auch können HUDs bei überraschenden Situationen zu Zeitverlust statt Zeitgewinn führen: Ältere Fahrer bremsen laut einer Arbeit von CAIRD und CHUGH (1997) oft zu spät bei kritischen Situationen, da sie durch Aufgaben am HUD abgelenkt waren.

Als Informationssysteme gelten auch solche, die nicht-fahraufgabenrelevante Inhalte transportieren. Nach VOLLRATH, HUEMER, NOWAK und PION (2015) muss sowohl bei solchen als auch bei aufgabenrelevanten Informationen darauf geachtet werden, dass nicht zu sehr von der Verkehrssituation

abgelenkt wird und keine Gefährdung entsteht. Gerade weil es für Ältere im Verkehr oft schwer ist, alle relevanten Informationen gleichzeitig aufzunehmen, sollte kein Assistenzsystem die Nutzer visuell noch mehr fordern. Von Navigationssystemen ist bekannt, dass Senioren sie oft als zu schwierig empfinden. Beispielsweise fanden EMMERSON, GUO, BLYTHE, NAMDEO und EDWARDS (2013), dass Ältere eher die Audio-Information von Navigationssystemen aufnehmen, die visuelle Information auf dem Navi-Bildschirm wurde als zu kompliziert, zu beanspruchend und ablenkend empfunden. Ältere schauten wesentlich länger auf das Navigationssystem, um die Information aufzunehmen.

2.3.4 Evaluationen: Wirkung von Assistenzsystemen

In Studien zum Effekt von FAS werden unter anderem Reaktionszeiten (Bremsen), Blickbewegungen, Art und Korrektheit der Reaktionen (bspw. Ausweichen), und die mentale Beanspruchung gemessen, zusätzlich werden jedoch teils auch Bewertungen und Präferenzen der Versuchspersonen erhoben. Weiterhin ist oft die Nutzerakzeptanz von großem Interesse.

DAVIDSE, HAGENZIEKER, VAN WOLFFELAAR und BROUWER (2009) verglichen ältere mit jüngeren Fahrern in Bezug auf Verbesserung von sicherem Fahren und mentalem Workload durch eine Assistenz mit Informationen zu kommenden Kreuzungen (Meldungen zu Vorfahrtsgegebenheiten, Lücken im vorfahrtsberechtigten Verkehr, Sichtbehinderungen vor Kreuzungen). Bei keiner Gruppe reduzierte sich durch das FAS der Workload. Jedoch konnte für beide Altersgruppen eine sicherere Fahrleistung gezeigt werden.

ROßNER et al. (2013) führten eine Simulatorstudie mit zwei verschiedenen Warnungen durch: Einerseits die frühzeitige Ankündigung einer Kreuzung, an der Vorfahrt gewährt werden musste, und andererseits die Warnung vor einem Hindernis auf der Straße. Bei älteren Fahrern führte die Hinderniswarnung zu einer größeren Geschwindigkeitsreduktion als bei jüngeren. Alle Fahrer konnten durch die Warnung dem Hindernis besser ausweichen (allerdings mit mehr potenziell gefährlichen Spurübertretungen). Die Vorfahrtswarnung führte bei allen zu signifikanter Geschwindigkeitsreduktion, die Älteren begannen jedoch sofort damit, die Jüngeren erst etwas später. Die Autoren bewerten positiv, dass damit den Älteren mehr Zeit bleibt, um die Kreuzungs-

situation visuell zu erfassen, und sie somit vom FAS profitieren.

Welche Art von Warnungen in Assistenzsystemen geeignet ist, wurde in jüngster Zeit in einigen Studien untersucht. KAZAZI, WINKLER und VOLLRATH (2015) untersuchten im Simulator Fahrleistung und Blickbewegungen von älteren Fahrern, die mit zwei verschiedenen Warnkonzepten fuhren. Beide Systeme führten zu einer schnelleren Bremsreaktion als ohne Warnsystem. Besonders hervorzuheben ist hier, dass die handlungsauslösende Warnung (Stopp) vor allem bei den Älteren einen stärkeren Effekt hatte als die nicht handlungsorientierte.

WINKLER, KAZAZI und VOLLRATH (2015) verglichen auch nicht altersspezifisch die Wirkung verschiedener Warnkonzepte: Aufmerksamkeit lenkende Warnungen gegenüber handlungsorientierten und spezifische (die Gefahr benennende) gegenüber unspezifischen Warnungen (ACHTUNG!). Hierbei zeigte sich, dass die Fahrer bei einer Stopp-Warnung (unspezifisch, handlungsorientiert) am schnellsten reagierten, aber auch oft unnötig stark bremsen. Es kann angenommen werden, dass dies im Straßenverkehr zu Folgeproblemen führt. Zu den auf diesen Studien beruhenden Entscheidungen für das vorliegende Projekt siehe Kapitel 2.5.

Auch das Timing und die Art und Größe der Darstellung sind Gegenstand vieler Forschungsarbeiten. Bei einem Feldtest von WILSCHUT, KROON, DE GOEDE, CREMERS und HOEDEMAEKER (2014) wurde untersucht, ob es Präferenzunterschiede bei jüngeren und älteren Fahrern in Bezug auf den Zeitpunkt einer Warnung gibt. Hier bevorzugten die älteren Fahrer tendenziell eine etwas frühere Warnung. Ein Beispiel für eine Studie zur Darstellungsgröße findet sich bei ZIEFLE, PAPPACHAN, JAKOBS, CHRISTEN und WALLENTOWITZ (2007), wo gefunden wurde, dass das größere Display zu vorsichtigerer und besserer Fahrweise führte, besonders in der Nähe komplexer Kreuzungen.

Im Gegensatz zu den informierenden oder warnenden Assistenzsystemen nehmen handlungsunterstützende Systeme den Fahrern kleinere oder größere Aufgaben ab, führen jedoch nicht die Hauptaufgaben aus.

DOTZAUER, DE WAARD, CALJOUW, PÖHLER und BROUWER (2015) sowie DOTZAUER, CALJOUW, DE WAARD und BROUWER (2013) untersuchten Effekte von Kreuzungsassistenten in zwei

von wenigen Studien, die die Frage nach längerfristigen Effekten von handlungsunterstützender Assistenz stellen. Ältere sowie jüngere Fahrer fuhren im Zeitraum von zwei Monaten mehrmals in einem Fahrsimulator mit FAS, eine Kontrollgruppe beider Altersgruppen ohne FAS. Mit FAS konzentrierte sich die visuelle Aufmerksamkeit eher auf der Mitte der Straße, die Teilnehmer kamen generell schneller über die Kreuzungen, speziell die Älteren zögerten weniger und warteten weniger lang auf Lücken im Verkehr. Während die Autoren dies einerseits positiv werten, da dies einer effizienten Verkehrsabwicklung zugutekommt und die Teilnehmer mit FAS auch weniger Zusammenstöße hatten, beobachteten sie andererseits mit der Zeit bei den Älteren auch eine stark erhöhte Zahl von riskanten Überquerungen. Dies kann man als Über-Anpassung und zu großes Verlassen auf das Assistenzsystem werten. Auch wurden alle Teilnehmer „fauler“ im Blickbewegungsverhalten und observierten die seitlichen Teile der Kreuzung weniger. Die Autoren warnen vor derartigen Auswirkungen von FAS und schlagen vor, die Fahreraufmerksamkeit stärker auf die möglichen Gefahrenquellen zu lenken.

GELAU et al. (2011) untersuchten, ob ein FAS zur Unterstützung beim Linksabbiegen den Fahrern auch unter Zeitdruck Vorteile bringt. Sowohl Ältere als auch Jüngere konnten mit Assistenz auch in kleinere Lücken einbiegen, es konnten jedoch nur wenig Anzeichen für einen besonderen Vorteil für Ältere gefunden werden.

Ähnliches zeigte sich bei DAHMEN-ZIMMER et al. (2007) für eine Linksabbiege-Unterstützung mit Fahrern hohen und mittleren Alters im Fahrsimulator: Kleinere Lücken wurden durchfahren und beide Gruppen profitierten von besserer subjektiver Situationsbewältigung und Befindlichkeit.

Evaluationen: Akzeptanz

Nutzerakzeptanz ist bei Einbau von zusätzlicher Technologie im Auto besonders bei Älteren ein zentraler Faktor für die Nutzung (u.a. MEYER & COUGHLIN, 2001). Senioren lehnen (zu) komplizierte Assistenzsysteme eher ab, wie beispielsweise in Fokusgruppen bei FALKENSTEIN, POSCHADEL und JOIKO (2014). Sie standen einfachen Hilfsmitteln aber positiv gegenüber. Ähnliche Ergebnisse erhielten EMMERSON et al. (2013), wo komplizierte Bedienerschnittstellen und ein Übermaß an unnötigen Funktionen abgelehnt wurden.

Allerdings sprechen viele Befunde dafür, dass die bei Senioren oft gefundene Ablehnung neuer Technologien bei Fahrerassistenzsystemen wenig ausgeprägt ist und sie sowohl Bedarf sehen als auch Simulationen positiv bewerten und für nützlich halten. HARTWICH, WITZLACK und KREMS (2014) betonen hier die große Bedeutung der Benutzerfreundlichkeit. Die Autoren evaluierten in einer Simulationsumgebung ein explizit auf Ältere zugeschnittenes System, bei dem für nahende Verkehrsknotenpunkte die geltenden Vorfahrtszeichen auf der Straße eingeblendet wurden. Damit sollte die relevante Information einer komplexen Situation leichter erkannt werden. Die Akzeptanz unter älteren Teilnehmern war sehr hoch, etwas höher als die der jüngeren. Die Senioren waren im Vergleich viel zuversichtlicher, dass ihre Fahrleistung positiv beeinflusst wird.

Zu großes Vertrauen sollte allerdings auch vermieden werden, und es sollte realistisch über die Arbeitsweise von Assistenzsystemen aufgeklärt werden: WILSCHUT et al. (2014) fanden, dass Ältere einem FAS signifikant mehr Vertrauen entgegenbrachten als Jüngere, und dass Ältere auch eher den Aussagen zustimmten, mit einem solchen System habe man nie wieder Kollisionen mit Radfahrern, mit dem System sei man 100% sicher, und das System sei immer zuverlässig. Jüngere waren hier skeptischer.

Wie JAKOBS und ZIEFLE (2011) betonen, muss bei der Entwicklung und Verbreitung von FAS sehr darauf geachtet werden, Senioren nicht zu stigmatisieren: „Ältere lehnen Technologien ab, denen sie unterstellen, dass sie sie als „alt“, „hilfsbedürftig“ und „abhängig“ kennzeichnen.“ So sollten Technologien für diese Zielgruppe, wie FAS, unter direkter Einbeziehung der zukünftigen Nutzer entwickelt und ihre Bedürfnisse und Wünsche einbezogen werden. Die Autoren legen weiterhin Wert darauf, Assistenztechnik auf bestimmte Technikgenerationen zuzuschneiden, statt auf biologische (sehr heterogene) Altersgruppen.

Auch bei einer Befragung von GIANNOPOULOS et al. (2014), fand sich eine solche Unterscheidung wieder und es zeigten sich Faktoren dafür: Senioren setzten sich mit steigendem Bildungsgrad und Bezug zu jüngeren Menschen auch mehr mit den technischen Möglichkeiten der Mobilitätsunterstützung auseinander.

2.3.5 Systeme aus anderen Bereichen und mögliche Übertragung in den Fahrassistenzkontext für ältere Verkehrsteilnehmer

Befragungen und Simulatorexperimente von ENGBERS et al. (2013, 2014) untersuchten den Bedarf und den Effekt eines Warnsystems für Radfahrer, das von hinten kommenden Verkehr signalisiert. Die Reaktionen waren sehr positiv und besonders mit einem Vibrationssignal konnte erreicht werden, dass die Assistenz keinen erhöhten Workload zur Folge hatte.

Generell ist für FAS für Ältere gut vorstellbar, Warnungen in anderer Modalität als der visuellen darzubieten. Natürlich müsste dabei auch auf altersbedingte Veränderungen der anderen Sinne geachtet werden.

Im Flugzeugbereich gibt es eine lange Reihe von Entwicklungen für Assistenzsysteme, die darauf ausgelegt sind, Ablenkung und mentale Beanspruchung minimal zu halten. Auch wenn sie nicht an Senioren gerichtet sind, könnten hier Ansätze gefunden werden, die für altersgerechte Fahrerassistenzsysteme sinnvoll sind.

Eine Übersicht über kognitive und kooperative Systeme für Fahr- und Flugzeuge bieten FLEMISCH et al. (2013) und stellen unter anderem adaptive Pilotenunterstützungssysteme vor, die den Beanspruchungszustand des Piloten aus dem Verhalten ermitteln und entsprechend viel oder wenig Unterstützung bieten.

2.4 Vorgängerstudien

In zwei Laborexperimenten der Bundesanstalt für Straßenwesen wurden die Ursachen der Fahrfehler älterer Kraftfahrer näher erforscht, um aus den Ergebnissen Anhaltspunkte für die Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen abzuleiten (HOFFMANN, FALKENSTEIN et al., 2013; HOFFMANN, WIPKING et al., 2013). Aus wissenschaftlichen Untersuchungen (z. B. OWSLEY et al., 1991) ist bekannt, dass die visuelle Aufmerksamkeit einen direkten Zusammenhang zur Unfallhäufigkeit aufweist. In beiden BAST-Studien wurde daher während der Durchführung einer fahrähnlichen Doppelaufgabe der visuell-räumliche Aufmerksamkeitsprozess anhand von Verhaltensdaten (Reaktionszeiten, Anzahl von Auslassungen) und, um genauere Auf-

schlüsse über die kognitive Informationsverarbeitung zu erhalten, ereigniskorrelierten Potenzialen durch die Ableitung von Hirnströmen (EEG) gemessen. Die Aufgabe der Probanden bestand darin, während der Durchführung der Spurhalteaufgabe auf die in der Peripherie bilateral präsentierten Lichtreize (20°, 30°, 40°, 50° und 60° vom Punkt des schärfsten Sehens) per Tastendruck am Lenkrad zu reagieren.

Die Ergebnisse zeigen eindeutige Unterschiede in den visuellen Aufmerksamkeitsleistungen zwischen jüngeren und älteren Fahrern:

- Ältere zeigen im Vergleich zu den Jüngeren schlechtere Leistungen in der visuellen Informationsverarbeitung, nicht aber in der visuellen Informationsaufnahme.
- Ältere zeigen eine kompensatorische Erhöhung der Anstrengung, die bis 50 Grad Sehwinkel aufrechterhalten werden kann, bei 60 Grad aber dann deutlich absinkt. Das bedeutet, dass der Kompensationsprozess bei Älteren an sich schon mit einer erhöhten kognitiven Beanspruchung verbunden ist und ab einer bestimmten Entfernung eines Objektes vom zentralen Gesichtsfeld eine Kompensation von Älteren nicht mehr geleistet werden kann.

Aus diesen Ergebnissen lässt sich ableiten, dass ältere Fahrer vergleichbar gute Leistungen erbringen wie jüngere, wenn ihnen die peripheren Informationen (hier: Lichtreize) möglichst nahe dem zentralen Gesichtsfeld dargeboten werden.

2.5 Stand der Forschung und Technik - Zusammenfassung und Ableitungen

In dem vorliegenden Projekt soll nun untersucht werden, ob ältere Fahrer im peripheren Gesichtsfeld auftauchende Objekte (wie z. B. von der Seite herannahende Pkw-Fahrer) besser wahrnehmen können, wenn ihnen diese mithilfe einer technischen Unterstützung (einem Sehfeldassistent) möglichst nahe am zentralen Gesichtsfeld präsentiert werden. Eine technische Unterstützung durch ein Fahrerassistenzsystem könnte einen wesentlichen Beitrag zur sicheren Mobilität von älteren Kraftfahrern leisten. Unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Vorgängerstudien der BASt wurden in den vorliegenden experimentellen Fahrsimulatorstudien die vorfahrtsbe-

rechtigten Fahrzeuge im Sehwinkel von 60° von der Fovea centralis präsentiert.

Zu beachten ist jedoch, dass das Paradigma nicht nur etwas angepasst wurde, sondern, um realitätsnahes Fahren im Simulator zu ermöglichen, einiges verändert werden musste. Diese Änderungen sind im Detail in den Kapiteln 4.1.3 und 5.3 beschrieben: Die Versuchspersonen sollten im Simulator ohne Kinnstütze Kopf und Oberkörper bewegen können, es wurde lediglich instruiert, geradeaus auf die Straße zu schauen. Es gab keine bilateralen Lichtreize, sondern unilateral peripher bei 60° erscheinende Fahrzeuge beziehungsweise unilateral eine bei 20° eingeblendete Warnung. Somit war das Ziel nicht, die Ergebnisse direkt mit den vorangegangenen Laborstudien zu vergleichen, sondern auf deren Schlüssen aufbauend die ökologische Validität zu erhöhen und als Bindeglied für zukünftigen Einsatz im Realverkehr zu dienen.

Als Warnung vor dem peripher im 60°-Winkel erscheinenden vorfahrtsberechtigten Fahrzeug war anfangs geplant, ein Vorfahrtsschild als Warnung im Stil eines Head-up-Displays einzublenden. Ob im Straßenverkehr ein Warnsystem mit der (handlungsauffordernden) Anzeige eines Stoppzeichens sinnvoll ist oder eher eine aufmerksamkeitslenkende, ggf. spezifisch auf die Gefahrenquelle hinweisende Warnung, wie die Ergebnisse von WINKLER et al. (2015) suggerieren, ist weiterhin Forschungsgegenstand. Für das vorliegende Projekt wurde eine neutrale Warnung (ACHTUNG!) gewählt, die auf der Seite des auftauchenden Fahrzeugs, jedoch zentraler eingeblendet wurde.

Als Ort für die Einblendung der Warnung wurde 20° Abstand vom Zentrum des Sehfeldes (nach links oder rechts) gewählt, denn hier zeigten sich bei HOFFMANN, WIPKING et al. (2013) bei bilateraler Lichtreizdarbietung keine signifikanten Unterschiede zwischen den Altersgruppen und die Lichtreize waren gut detektierbar. Die Warnung wurde entsprechend der Empfehlungen für Head-up-Displays etwas unterhalb der Sichtachse und in einem seitlichen Winkel von ca. 20° platziert.

Wegen der Möglichkeit der Simulator-Übelkeit wurden einerseits Zeit- und Ressourcenpuffer eingeplant, als auch Vorkehrungen zur Unterstützung der schnellen Erholung getroffen.

Auch zu beachten war: Senioren sind die heterogenste aller Altersgruppen und können nicht ohne

weiteres einheitlich behandelt werden – zu sehr unterscheiden sich Gleichaltrige im biologischen und psychologischen Alter sowie in vielen anderen Faktoren wie beispielsweise ihrer Technikgeneration. Dennoch ist allen gemein, dass irgendwann die fürs Fahren wichtigen sensorischen, kognitiven und motorischen Fähigkeiten abnehmen. Für ein Laborexperiment wie dieses werden zwar die Teilnehmer trotzdem nach ihrem Alter rekrutiert, jedoch sollte darauf geachtet werden, die jeweiligen Fähigkeiten zu dokumentieren (zum Beispiel mit Seh- oder Aufmerksamkeitstests).

3 Konzept der empirischen Studien im Fahrsimulator

3.1 Versuchskonzept und Ziele

Im Fahrsimulator sollte ein Paradigma entwickelt werden, dass in realitätsnahen Fahrsituationen untersuchen lässt, wie sich Warnungen, die zentral im Gesichtsfeld eingeblendet werden, auf die Bremsreaktionszeiten auswirken. Es sollten situationsrelevante Objekte in der Peripherie erscheinen, auf die mit einer unmittelbaren Bremsbetätigung reagiert werden musste. Vorfahrtsberechtigzte Fahrzeuge an Kreuzungen boten sich als periphere Objekte an, wobei anders als im Straßenverkehr sofort reagiert (gebremst) werden musste, wenn das Fahrzeug wahrgenommen wurde – nicht erst, wenn die Kreuzung erreicht war. Dieses Versuchsszenario sowie der Sehwinkel, in dem die Fahrzeuge auftauchten, wurden ausgehend von den Ergebnissen der vorangegangenen Untersuchungen (HOFFMANN, FALKENSTEIN et al., 2013; HOFFMANN, WIPKING et al., 2013, siehe auch Kapitel 2.4) festgelegt. Im Gegensatz zu diesen Laborstudien tauchten die Reize hier jedoch unilateral, nicht bilateral auf.

In der Hälfte der Kreuzungssituationen wurde zusätzlich eine Warnung eines fiktiven Assistenzsystems (ACHTUNG!) etwa in 20° Sehwinkel von der Fovea centralis eingeblendet, wobei die Darstellung einem Head-up-Display nachempfunden war. Auch hier musste sofort reagiert werden, sobald die Warnung wahrgenommen wurde. Auf diese Weise sollten die Bremsreaktionen, die Blickreaktionen zwischen peripherem Reiz (vorfahrtsberechtigtes Fahrzeug) und der Warnung verglichen werden. Direkte Vergleichbarkeit mit ereigniskorrelierten Potenzialen der Vorgängerstudien war aufgrund von Verän-

derungen der Versuchsbedingungen, die der Realitätsnähe dienten, nicht möglich (vgl. Kap. 2.5). Das primäre Ziel der EEG-Analysen war es, Altersunterschiede in der neuronalen Verarbeitung der Warnreize zu untersuchen.

Bei der Entwicklung des Versuchskonzeptes lag eine Schwierigkeit darin, gegenläufigen Zielen gerecht zu werden: Um in einer möglichst realitätsnahen Fahrumgebung zu testen, sollten die Stimuli (vorfahrtberechtigte Fahrzeuge an Kreuzungen) nicht zu oft auftauchen, von beiden Seiten kommen, und es sollte auch Nullsituationen ohne Zielobjekt geben. Begleitend zur Hauptfragestellung sollten EEG-Messungen durchgeführt werden, um Altersvergleiche der sensorischen und kognitiven Verarbeitungsprozesse, welche möglichen Verhaltensunterschieden zugrunde liegen, zu betrachten. Die wissenschaftlichen Anforderungen an eine EEG-Studie setzen allerdings voraus, dass pro Bedingung eine hohe Anzahl an Durchgängen pro Person erhoben werden müssen, um die sehr kleinen EKPs herauszumitteln. Hierzu sollten für die größeren Potenziale, zu denen die P300 zählt, mindestens 60 Durchgänge pro Person erhoben werden (vgl. LUCK (2005); siehe auch Kapitel 3.2). Darüber hinaus sollte insbesondere bei älteren Versuchsteilnehmern eine maximale Fahrzeit von 60 bis 90 Minuten nicht überschritten werden, um starke Ermüdungseffekte zu vermeiden.

Um diesen Anforderungen möglichst gerecht zu werden, wurde die Studie in zwei Teilerperimente gegliedert, deren Designs im Detail in den Kapiteln 5.2 beziehungsweise 6.2 beschrieben werden:

- Die erste Teilstudie wurde mit zwanzig Teilnehmern je Altersgruppe mit EEG-Messung durchgeführt. In einer Fahrsimulatorumgebung mit sehr vielen, sehr ähnlichen, kurz hintereinander angelegten Kreuzungssituationen fand alle 10 bis 12 Sekunden ein Stimulusereignis (auftauchendes Fahrzeug) statt. So konnte eine Gesamtzahl von 325 Trials pro Person erreicht werden. Dies entsprach nicht einer natürlichen Fahrsituation, denn nach jeweils wenigen Metern kreuzte wieder eine neue Vorfahrtstraße, bei der die Teilnehmer jedoch selbst immer Vorfahrt gewähren mussten. Diese Situation hatte den Vorteil eines zumindest teilweise definierten Stimulus Onsets für die EEG-Auswertung und lieferte genügend Trials für eine sinnvolle EKP-Analyse.
- Der zweite Teil wurde dann mit gleich vielen Personen ohne EEG-Messung durchgeführt, dafür

in einer realistischeren Umgebung, d. h. in einer komplexeren Fahrstrecke mit verschiedenartigen Kreuzungs- und Vorfahrtssituationen in größerem Abstand.

So sollten Erkenntnisse darüber gewonnen werden, wie eine Veränderung des Paradigmas hin zu realistischen Simulatorfahrten möglich und sinnvoll ist und ob ähnliche Effekte in Verhaltens- und Blickdaten gefunden werden.

In beiden Studienteilen wurden mithilfe einer Eye-tracking-Brille, deren Bügel dünn genug waren, um peripheres Sehen zu erlauben, Blickdaten erhoben (vgl. Kapitel 4.2). Diese Daten waren von eher explorativem Interesse, da die periphere Wahrnehmung an sich nicht darin abgebildet werden kann. Jedoch wurde versucht, anhand von Sakkadendaten auch hier Reaktionszeiten zu analysieren.

3.2 Forschungsfragen Verhaltens- und Blickdaten

Ausgehend davon, dass in den Vorgängerstudien schneller und korrekter auf bilaterale Lichtreize im kleinen Sehwinkel von 20° als auf solche im großen Sehwinkel von 60° reagiert wurde (Kapitel 2.4), sollte das Design der Fahrsimulatorstudien hier ansetzen. Eine positive Wirkung des Assistenzsystems, das heißt der Warnung, sollte sich darin ausdrücken, dass die Versuchspersonen im Fahrsimulator schneller reagieren können, in diesem Fall das Bremspedal betätigen. Es wurde erwartet, dass für straßenverkehrsrelevante visuelle Reize, hier Fahrzeuge und Warnungen, ähnliche Effekte auftreten wie bei bilateral aufleuchtenden LEDs.

Hinzu kam die Blickbewegungsmessung, mit der einerseits kontrolliert werden sollte, ob die Teilnehmer wie instruiert den Blick (und den Kopf) geradeaus richten, damit die berechneten Sehwinkel stimmen, und mit der andererseits auf explorative Weise die auf die Ereignisse folgenden Blickreaktionen erhoben werden sollten. Hier blieb anfangs offen, ob eine statistische Analyse von Reaktionszeiten möglich werden konnte; wenn ja, so sollten analog auch hierbei in Durchgängen mit Warnung schnellere Reaktionen erfolgen.

So lässt sich erwarten, dass die bei 20° (siehe Kapitel 4.1.3) Sehwinkel eingeblendete Warnung dazu führt, dass die Reaktionszeiten kürzer sein werden

als in Kreuzungssituationen nur mit Querverkehr (60°).

- Wird mit Warnung schneller reagiert als ohne (Bremsen, ggf. Blicke)?

Aus der Forschungsliteratur (Kapitel 2.1.5) und den Vorgängerstudien (Kapitel 2.4) war zu erwarten, dass sich des Weiteren ähnliche Alterseffekte wie in den Vorgängerstudien zeigen würden, d. h. dass ältere Personen meist längere Bremsreaktionszeiten aufweisen als jüngere. Die in Kapitel 2.1 beschriebenen altersbedingten Einschränkungen der visuellen Wahrnehmung lassen vermuten, dass eventuell auswertbare Blickreaktionszeiten bei Senioren ebenfalls länger sind.

- Reagieren Ältere langsamer als Jüngere (Bremsen, ggf. Blicke)?

Weiterhin wurde aus den Laborstudien erwartet, dass sich für die Älteren Objekte im 60°-Sehwinkel schon im Randbereich des nutzbaren Sehfeldes befinden, diese für die Jüngeren jedoch problemlos wahrnehmbar sein sollten, da ihr nutzbares Sehfeld größer ist. Hieraus sollte sich ergeben, dass die Warnung bei den Senioren eine größere Wirkung hat als bei der Kontrollgruppe.

- Profitieren Senioren mehr von der Warnung als Jüngere, d. h. reduziert sich ihre Reaktionszeit mehr? (Interaktion zwischen Alter und Warnung)

Explorative Analyse der Blickdaten: Es wurde angenommen, dass die Versuchspersonen auf die Stimuli reagieren, sobald sie peripher wahrgenommen wurden. Die optischen Eigenschaften der Fahrzeuge bzw. der Warnung waren immer gleich gestaltet, sodass somit die Notwendigkeit und der Grund entfielen, den Blick auf das Objekt hinzuwenden, bevor gebremst wurde. So sollten sich laut Erwartung in den Blickdaten keine oder wenige Fixationen auf die vorfahrtsberechtigten Fahrzeuge finden lassen. Ob sich Merkmale in den Sakkadendaten finden ließen, die geeignet waren, Blickreaktionszeiten abzubilden, war eine offene Frage.

- Wie sind die Muster der Blickdaten, wenn die Fahrzeuge oder Warnungen peripher erkannt wurden, d. h. bei einer Bremsreaktion ohne erkennbare Sakkade zum Objekt? Wie oft sind Sakkaden zu den Warnungen vorhanden, bevor gebremst wird? Sind die Blickdaten geeignet zu statistischen Analyse der Sakkadenreaktionszeiten?

Die Teilung der Studie in zwei Teile bedeutete größere Unterschiede in Art, Abstand und Abfolge der Trials (Kreuzungssituationen). Hier sollte darauf geachtet werden, ob auf dem Weg hin zu mehr Realitätsnähe weiterhin die zu erwartenden Effekte in den Messdaten gefunden werden können.

- Inwieweit können in Teil 1 und Teil 2 vergleichbare Effekte bezüglich der Verhaltens- und Blickdaten gefunden werden?

3.3 Seitenunterschiede

Der Sehwinkel, in dem die Fremdfahrzeuge erschienen, betrug aufgrund der technischen Gegebenheiten nicht exakt 60°: Teilnehmer von unterschiedlicher Körpergröße mussten den Sitz im Fahrsimulator unterschiedlich einstellen, um das Fahren zu ermöglichen, d. h. sie hatten unterschiedlichen Abstand von den Monitoren. Die Einblendposition wurde für eine mittlere Sitzposition berechnet und war für alle Teilnehmer/innen die selbe. Die Probanden wurden instruiert, den Simulator möglichst mittig zu fahren und den Blick nach vorne auf die Straße gerichtet zu lassen, um die Varianz der tatsächlichen Sehwinkel minimal zu halten. Es konnte aber nicht ausgeschlossen werden, dass z. B. durch eine Lenk- oder Kopfbewegung die Straße nicht mehr exakt parallel zur Blickrichtung war. Weil im Fahrsimulator auf der rechten Spur der Straße gefahren wurde, die Autos aber im gleichen Abstand von der Mittellinie erschienen, ergab sich ein kleiner Unterschied von ca. 4°, in welchem Sehwinkel die Fahrzeuge auftauchten. Dies bedeutet, dass aus der Perspektive der Versuchsperson die erscheinenden Fahrzeuge links etwas weiter außen auftauchten als rechts. Deshalb wurden auch Seitenunterschiede untersucht. Die Warnungen wurden allerdings in gleichem Abstand von der Bildschirmmitte eingeblendet, d. h. im gleichen Sehwinkel nach links und rechts.

Hier ergibt sich eine weitere Frage für die Studie:

- Hat es einen Einfluss, dass die Fahrzeuge links um wenige Grad weiter außerhalb eingeblendet wurden als rechts, d. h. wurde links (in den Trials ohne Warnung) langsamer reagiert?

3.4 Methodik und Forschungsfragen EEG

Neben der Hauptfragestellung zur Auswirkung eines zentralen Hinweisreizes auf die Bremsreaktionsleistung sollten anhand der Aufzeichnung und Analyse der hirnelektrischen Aktivität durch das EEG Informationen über mögliche altersbedingte Unterschiede in Ausprägung und Zeitverlauf der perzeptuellen und kognitiven Verarbeitung der Reizdarbietung gewonnen werden. Durch die Messung und den Vergleich der Spannungsveränderungen, die durch die Präsentation eines spezifischen Reizes evoziert werden, sollten Rückschlüsse über die zugrundeliegenden neuronalen Mechanismen von etwaigen Kompensationsprozessen älterer Probandengruppen gezogen werden. Hierfür wird der verwendete Reiz wiederholt präsentiert und die jeweilig um den Zeitpunkt der Reizpräsentation aufgenommenen Spannungsverläufe aufgezeichnet und gemittelt. Ziel dieses Verfahrens ist es, die Anteile, die nicht mit dem Reiz assoziiert sind, zu minimieren. Die hier untersuchten ereigniskorrelierten Potenziale (EKP) werden als die für ein Ereignis in einem bestimmten Zeitfenster und mit einer bestimmten Topografie charakteristischen, positiven oder negativen Ausprägungen im mittleren zeitlichen Amplitudenverlauf verstanden.

Eine anteilige Weiterverfolgung der Fragestellung der Vorgängerstudien sollte mit dem übergeordneten Studienziel, der Untersuchung der direkten Bremsreaktionsleistung, in Einklang gebracht werden. Nach Diskussionen des Studiendesigns wurde entschieden, die Ausrichtung der experimentellen Aufgabe nicht auf die EEG-Erhebung auszulegen, sondern die Erhebung der Verhaltensdaten durch EEG-Aufnahmen zu ergänzen. Es wurde demzufolge nicht an die direkten Fragestellungen der vorangegangenen Studien angeknüpft und somit auch nicht die gleichen experimentellen Parameter erhoben. Im Folgenden werden die konkreten Unterschiede von den vorangegangenen Studien beschrieben. Es wurden keine bilateralen Lichtreize in abgestuften Sehwinkeln präsentiert. Stattdessen wurden während einer simulierten Fahraufgabe unilateral und in roter Schrift dargebotene zentrale Warnhinweise sowie in die Szenerie hineinfahrende Fahrzeuge als Stimulusmaterial verwendet. Demnach konzentrierten sich die vorliegenden Arbeiten im Gegensatz zu den stärker grundlagenorientierten Erhebungen der Vorgängerstudien primär darauf, ob durch das EEG Informationen gewonnen werden können, anhand derer mögliche Unter-

schiede in den Verhaltensdaten durch die Analyse der Reizverarbeitung ergänzend aufgeklärt werden können. Spezifisch lag das primäre Ziel der EEG-Analysen darin, zu untersuchen, ob bei der Präsentation des zentralen Reizes (ACHTUNG!) frühe Komponenten der Reizverarbeitung abbildbar sind und ob sich diese Prozesse zwischen den Altersgruppen unterscheiden.

In den Vorgängerstudien (HOFFMANN, FALKENSTEIN et al., 2013; HOFFMANN, WIPKING et al., 2013), siehe auch Kapitel 2.4, zeigte sich anhand von EEG-Analysen, dass sich Leistungseinbußen in einer an eine Fahraufgabe angelehnte Doppelaufgabentätigkeit bei Älteren nicht durch Defizite der frühen Verarbeitung peripherer Reize begründen lassen. Insgesamt waren die Amplitudenwerte für Lichtreize, die im Sehwinkel von 60° dargeboten wurden, bei jüngeren Probanden ausgeprägter als bei älteren Probanden. Für die im Sehwinkel von 20° präsentierten Reize zeigten sich keine Gruppenunterschiede. Im Gegenteil – für die ältere Probandengruppe zeigten sich bei den im Winkel von 20° präsentierten Reizen ausgeprägte mittlere P1-Amplituden. Entsprechend wurde sich für die Analyse der frühen Reizverarbeitung im hier vorliegenden Studiendesign auf die P1 als Korrelat der frühen Verarbeitung des zentral präsentierten Hinweisreizes konzentriert und die Untersuchung durch das außerdem für diese Stufe der Reizverarbeitung aussagekräftige N1-Potenzial ergänzt. Bei der P1 handelt es sich um eine Positivierung, deren maximale Amplitude überwiegend in einem Zeitfenster von 80-130ms nach Beginn der visuellen Stimulation gemessen wird. Ihre parietale Ausprägung wird als Index der frühen Verarbeitung visueller Reize (z.B. LUCK, HEINZE, MANGUN & HILLYARD, 1990) analysiert. Die N1, deren durchschnittliches posteriores Maximum bei 150-200ms nach der Reizpräsentation liegt, wird als Korrelat von Diskriminationsprozessen für Reize, deren Ausprägung durch Aufmerksamkeitsprozesse moduliert werden kann, verstanden (LUCK, 2005; VOGEL & LUCK, 2000). Folgende Forschungsfragen ergeben sich:

- Können Verarbeitungsprozesse für die zentral dargebotenen Hinweisreize in Form von ausgeprägten früheren Potenzialen der Reizverarbeitung (N1, P1) gemessen werden (wie es durch Lenkung des Aufmerksamkeitsfokus zu erwarten ist)?

- Treten etwaige Unterschiede in der früheren Verarbeitungsstufe des zentralen Hinweisreizes zwischen den Altersgruppen auf?

Die daran anschließenden Prozesse der späteren kognitiven Verarbeitung der in 20° dargebotenen Hinweisreize sollten anhand des P3-Potenzials betrachtet werden. Das zum P3-Komplex zählende P3b-Potenzial (oft auch als P300 referenziert) mit einem parietalen Maximum wurde überwiegend im Zusammenhang mit infrequenten, jedoch aufgabenrelevanten Stimuli beobachtet (SUTTON, BRAREN, ZUBIN & JOHN, 1965). POLICH (2007) interpretiert den der P3 zugrundeliegenden Verarbeitungsprozess als einen Mechanismus, der aktiviert wird, damit in Folge von Abweichungen in der Umgebungssituation das mentale Modell aktualisiert und Reaktionen situationsadäquat angepasst werden können. Es stellen sich folgende Forschungsfragen:

- Sind die P3-Potenziale – in Anlehnung an die Ergebnisse der Vorgängerstudien – in der älteren Probandengruppe geringer ausgeprägt?
- Existieren Gruppenunterschiede in Abhängigkeit der unilateralen Präsentation (linke / rechte Seite) in den unterschiedlichen Potenzialen?

Zusätzlich sollten mögliche Gruppenunterschiede in der Verteilung der Verarbeitungsressourcen auf die peripheren Reize untersucht werden. Da das periphere Eintreten des Fahrzeugs zu immer unterschiedlichen Zeitpunkten stattfand und somit kein eindeutiger Startzeitpunkt der Wahrnehmung der Reize definiert werden kann, werden keine ausgeprägten frühen Potenziale für die peripheren Reize erwartet. Für das P3-Potenzial soll gezeigt werden, ob eine Betrachtung der peripheren Reizverarbeitung möglich ist, da das Auftreten dieses üblicherweise stärker ausgeprägten Potenzials auch bei einer gewissen Variabilität des Onsets des Reizes zu erwarten ist und eine deskriptive Aussagekraft besitzen könnte. Folgende Forschungsfragen wurden formuliert:

- Setzen die P3-Potenziale, die mit der Verteilung der Verarbeitungsressourcen einhergehen, für die peripheren Reize verzögert ein?
- Tritt dieser Effekt verstärkt für die ältere Probandengruppe auf?

Ein zusätzliches Ziel bestand darin die Realisierung von EEG-Messungen im Fahrsimulator und die Korrektur von spezifischen Artefakten zu testen.

EEG-Forschung in Versuchssituationen, die natürliches Verhalten (inkl. Augenbewegungen) zulassen, befindet sich vergleichsweise in den Anfängen und es wurde im Hinblick auf die Realisierbarkeit ein deutlicher Erkenntnisgewinn erwartet, der als Grundlage für zukünftige Studien dienen könnte.

4 Technischer Aufbau: Beschreibung und Erweiterung des Fahrsimulators und der Messumgebung

4.1 Fahrimulator und Modifikation der Fahrimulatorsoftware

Die Versuche fanden in einem Fahrimulatorlabor statt, in dem konstante Lichtbedingungen herrschten. Der Simulator sowie die Entwicklungsarbeiten und Modifikationen an bestehender Hard- und Software, die für das vorliegende Forschungsvorhaben nötig waren, werden im folgenden (Hardware) und im nächsten (Software und Datenaustausch) Kapitel beschrieben.

4.1.1 Fahrimulator-Hardware

Der verwendete Fahrimulator (siehe Bild 3) ist eine Eigenentwicklung der HFC GmbH. Die Hardware besteht aus Standard-PC-Komponenten und ist daher kostengünstig zu erwerben, leicht auszutauschen und kann somit einfach durch leistungsfähigere Komponenten ersetzt werden.

Die Grafik wird auf drei Full-HD-Monitoren mit einer Bildschirmdiagonale von 103 cm dargeboten. Für die Fahrsimulation wird ein Lenkrad des Typs Sen-



Bild 3: Foto des verwendeten HFC-Simulators

soWheel der Firma SensoDrive verwendet. Dieses benutzt Force-Feedback-Technologie, d.h. es können Drehmomente auf das Lenkrad aufgebracht werden, wodurch sich physikalische Effekte realistisch darstellen lassen.

Der für die Fahrsimulation verwendete Sitz wird so auch in PKWs verbaut, ist verstellbar und verstärkt die realistische Anmutung des Fahrsimulators, gleiches gilt für die Pedalerie, welche aus Gas- und Bremspedal besteht. Eine Kupplung ist nicht vorhanden, so dass ein Automatikgetriebe simuliert wird. Per Ethernet können weitere Computer angeschlossen werden, um den Fremdverkehr zu simulieren. Ein Laptop mit angeschlossener Blickerfassungshardware sowie das EEG-Messsystem wurden per Parallelport angeschlossen und angesteuert (Bild 4).

4.1.2 Software-Architektur

Bei der Konzeption der Simulatorsoftware wurde auf eine modulare Architektur Wert gelegt, um vorher nicht vorhandene Funktionalitäten einfach und schnell integrieren zu können. Der HFC-Simulator ist wie folgt aufgebaut: Neben der Hauptinstanz des Simulators, welche als Taktgeber fungiert und den taktbasierten Datentransport zwischen den einzelnen Arbeitsknoten steuert, gibt es noch weitere, voneinander unabhängig laufende Simulatormodule: das Modul „Orchestra“ kümmert sich um das Abarbeiten des Szenarios durch das Auswerten von Ereignissen (den sogenannten Triggern, vgl. Kapitel 4.1.4 Szenarien). Das Modul Visualisierung stellt eine berechnete 3D-Umgebung grafisch dar, das Modul Fremdverkehr kann über externe Schnittstellen Fremdverkehr in die Simulation einbinden (Bild 5). In diesem Fall wurden drei Fahrzeuge, welche auf einem externen Rechner mittels der Software Simulink simuliert wurden, eingebunden.

4.1.3 Realisierung der HUD-Anzeige im Fahrimulator

Für die Darbietung der Information im nutzbaren Sehfeld (UFOV) wurden in Vortests zwei Lösungen evaluiert: Die Nutzung einer Holopro-Scheibe mit Beamer-Rückprojektion (Firma G+B pronova GmbH, Bergisch Gladbach, <http://www.holopro.de>) zur Nachbildung eines Head-up Displays (HUD), sowie andererseits das direkte Einrendern der Warninformationen in die Szenerie der Fahrsimulation.

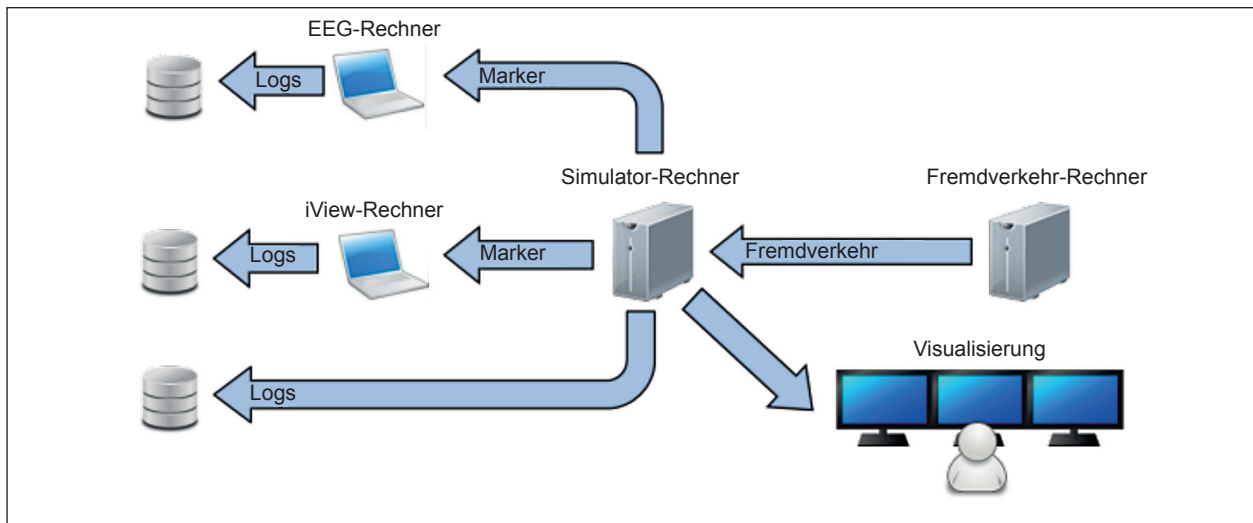


Bild 4: Aufbau Simulatorhardware

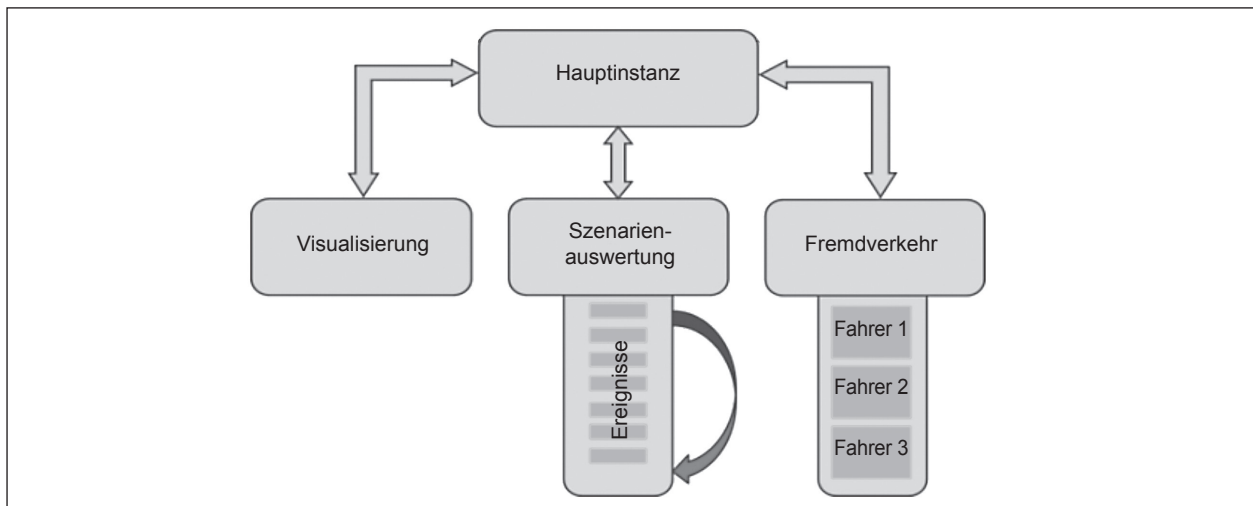


Bild 5: Softwarearchitektur des HFC-Simulators, in diesem Fall werden drei Fremdfahrzeuge simuliert

Die erste Lösung erwies sich als nicht praktikabel für die Studie, da auf diese Weise die in Fahrzeugen mit HUD übliche Verwendung einer Kollimator-Optik (d.h. eine spiegelnde, lichtdurchlässige Scheibe vor der eigentlichen Simulation) nicht nachgebildet werden kann. Dies bedeutet, dass die Probanden beim Fokuswechsel zwischen HUD und simulierter Umgebung zu oft akkomodieren müssten. Gerade unter dem Aspekt der Altersweitsichtigkeit, bei der sich die Fähigkeit zur Nahakkommodation verringert, ist dies abzulehnen.

In der zweiten Lösung werden die Warninformationen direkt in die Szenerie der Fahrsimulation eingeblendet. Diese Lösung wurde aufgrund der im Vergleich einfachen Implementierbarkeit und dem im Vergleich zur echten Kollimator-Optik nicht vorhandenen Akkomodationsproblem von HFC erfolgreich umgesetzt.

Um das HUD während der Simulation in die Visualisierung einblenden zu können, mussten die entsprechenden Schnittstellen innerhalb der Simulatorarchitektur geschaffen werden. Zur Anzeige der Warnung (ein eingeblendeter roter ACHTUNG!-Schriftzug) wurde die Visualisierung so erweitert, dass beliebige Grafiken während der Simulation an frei definierbaren Koordinaten ein- und ausgeblendet werden können. In Absprache mit dem Auftraggeber wurde beschlossen, den Schriftzug ACHTUNG! jeweils in 20° seitlich, etwas unterhalb der Sichtachse, im Simulatorbild einzublenden (vgl. Bild 6, die Mitte des eingeblendeten Schriftzuges befindet sich bei etwa 20° Sehwinkel). Die vorangegangenen Studien (HOFFMANN, FALKENSTEIN et al., 2013; HOFFMANN, WIPKING et al., 2013) zeigen, dass Informationen bis zu einem Sehwinkel von 20° von Älteren genauso gut verarbeitet werden können wie von Jüngeren. Darauf aufbauend wurde festgelegt, dass die



Bild 6: Simulation mit eingeblendetem ACHTUNG! – hier sind der mittlere und rechte Bildschirm dargestellt, um das bei 60° erscheinende Fahrzeug darstellen zu können (Studie EEG- und Eyetrackingstudie)

Warninformation im Winkel von etwa 20° eingeblendet wird (die 20° beziehen sich auf die Mitte der Warnung).

4.1.4 Erstellen der Szenarien

Die für den Simulator bei HFC entwickelte Szenariensprache auf XML-Basis musste, um den Anforderungen der Szenarien für dieses Projekt gerecht werden zu können, umfangreich modifiziert werden. Ein Szenario besteht hierbei aus einer Abfolge von bestimmten Aktionen, welche bei definierten Ereignissen eintreten. Ein solches Ereignis wird Trigger genannt. Im Projektkontext wurden Radius-Trigger, Pedal-Trigger und Zeit-Trigger verwendet. Ein Radius-Trigger wird aktiv, wenn ein bestimmtes Objekt sich innerhalb eines konfigurierbaren Radius eines Kreises an einer bestimmten Stelle der Karte befindet. Ein Pedal-Trigger wird aktiv, sobald ein Pedal (Gaspedal/Bremspedal) einen zu definierenden Wert über- bzw. unterschreitet. Ein Zeit-Trigger wird aktiv, sobald eine bestimmte Zeit abgelaufen ist. Mithilfe dieser Trigger weiß die Simulator-Software, wann bestimmte Aktionen ausgeführt werden müssen. Diese Aktionen sind z. B. das Losfahren- bzw. Anhaltenlassen eines bestimmten Fahrzeugs, das Einblenden eines Symbols oder eines Schriftzugs im Head-up-Display der Visualisierung oder auch das Versenden von Datenpaketen zum Zwecke der Synchronisation an extern angebundene Hardware, wie z. B. ein EEG-Messgerät oder eine Blickerfassungssoftware.

Folgende Situationen wurden für Studie 1 implementiert.

- Situation 1: Das vorfahrtberechtigte Fahrzeug erscheint im Sehwinkel von 60°, wenn das Ego-Fahrzeug einen bestimmten Abstand zur Kreuzung unterschreitet.
- Situation 2: Das vorfahrtberechtigte Fahrzeug bleibt stehen und wechselt die Farbe von grau auf entweder grün, blau oder rot, wenn der Proband die Bremse betätigt (er also das Fahrzeug, dem Vorfahrt gewährt werden muss, erkannt hat).
- Situation 3: Eine halbe Sekunde, nachdem das Fahrzeug stehen geblieben ist, verschwindet es aus der Simulation (Dies wurde implementiert, um Zeit zu sparen, da der Proband nicht warten muss, bis das vorfahrtberechtigte Fahrzeug die Kreuzung überquert hat).

Erstellung der 3D-Welt

Für die Erstellung der 3D-Welt wurde die Software TrianBuilder der Firma TrianGraphics verwendet. Mithilfe dieser Software ist es möglich, komplexe Strecken u. a. für Fahrsimulationen zu erstellen, diese aus der Vogelperspektive zu betrachten und zu editieren (siehe Bild 7). Zusätzlich wird die logische Struktur der Strecke im OpenDrive-Format erzeugt. Diese ist notwendig, damit sich die computergesteuerten Fahrzeuge autonom auf der Strecke bewegen können.

Die Strecke selbst ist von Häusern und Begrünung umsäumt, sodass sie einer vorstädtischen Umgebung ähnelt. Sie weist in unregelmäßigen Abständen Kurven auf und wird von im 90°-Winkel kreuzenden Vorfahrtsstraßen geschnitten. Durch diesen Aufbau wird eine vergleichsweise anspruchsvolle

Fahraufgabe gewährleistet, so dass die Versuchspersonen kognitiv beansprucht sind.

Die Strecke für die kombinierte Fahrstudie mit EEG und Eyetracking besteht aus insgesamt 360 Kreuzungen, von denen die ersten 325 für die Untersuchung verwendet wurden (vgl. Tabelle 3). Die Strecke wurde in 30 Segmente eingeteilt, jedes dieser Segmente ist aus einer geraden Straße mit 12 Kreuzungen sowie einer längeren Kurve zusammengesetzt, welche das Segment mit dem nächsten verbindet. So ist einerseits gewährleistet, dass für das EEG quasi-identische Bedingungen bei jeder Kreuzung herrschen und andererseits auch Phasen der Erholung für die Probanden vorhanden sind. Die Fahrspur ist 3,25 m breit, der Abstand zwischen den Kreuzungen auf dem geraden Streckenabschnitt beträgt 172 m, die Länge der Verbindungskurve zwischen den Segmenten variiert zwischen ca. 600 m und maximal 1000 m. Der Abstand zwischen den Kreuzungen ergab sich aus den Vorversuchen: Ziel war es, möglichst wenig Zeit zwischen den Trials vergehen zu lassen, ein gewisser Mindestabstand ergab sich jedoch aus der Anforderung, das Fremdfahrzeug in einem Winkel von 60° erscheinen zu lassen.

Für die Eyetracking-Fahrsimulatorstudie wurde die Umgebung grafisch deutlich aufgewertet, um eine realistischere Simulation gewährleisten zu können. So wurden beispielsweise Kreuzungen, welche nicht im Winkel von 90 Grad die zu befahrende Hauptstraße schneiden, implementiert. Des Weiteren wurden die beiden Verkehrszeichen „Vorfahrt gewähren“ (Zeichen 205, StVO) und „Vorfahrt an der nächsten Kreuzung oder Einmündung“ (Zeichen 301, StVO) vor die entsprechende Kreuzung gesetzt. Zusätzlich ist die Strecke kurviger und im Allgemeinen detaillierter dargestellt. (vgl. Bild 8). Die Fahrbahnbreite beträgt wie in der Studie mit EEG 3,25 m. Der Abstand der Kreuzungen variiert zwischen 150 m und 400 m, da im Gegensatz zur kombinierten Studie keine Restriktionen wegen der EEG-Messung eingehalten werden mussten.

Verhaltensdaten im Fahrsimulator

Die während der Simulation am Simulator mitgeloggten Daten bestehen zum einen aus den Eingaben des Probanden, also Lenkrad, Gas- und Bremspedal und zum anderen aus den Informationen über die ausgelösten Aktionen (entsprechender Zeitpunkt, Identifikationsnummer). Diese Informationen wurden zusammen in einem anonymisierten Logfile für jede Versuchsperson gespeichert.

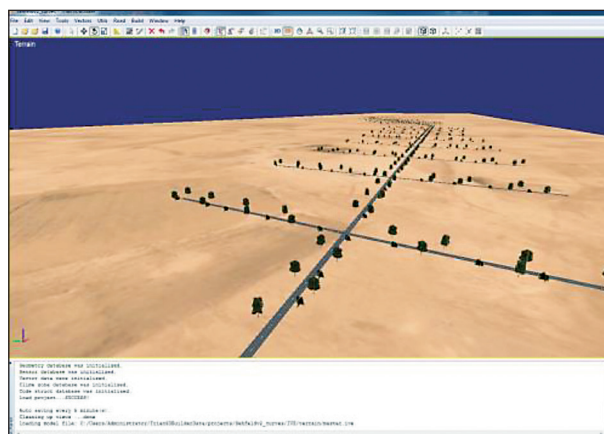


Bild 7: Beispiel einer Visualisierung einer Teststrecke mithilfe der Software TrianBuilder



Bild 8: Vorfahrtsschild in Studie 2

4.2 Blickbewegungsmessungen

Für die Versuche wurde eine Blickbewegungsmessbrille (SMI Eye Tracking Glasses, SMI SensoMotoric Instruments GmbH, Teltow, www.smivision.com) getestet, die in Verbindung mit EEG-Messungen erprobt ist. Diese lieferte im Allgemeinen zufriedenstellende Daten, jedoch stellte sich heraus, dass der Blickwinkel durch die relativ dicken Bügel stark eingeschränkt war, somit erwies sich dieses Modell als ungeeignet für Untersuchungen des peripheren Sehens.

Das aktuelle Design der Messbrille (SMI Eye Tracking Glasses 2) hat den Vorteil von weitaus schmalen Bügeln (ähnlich der einer handelsüblichen Brille oder Sonnenbrille), so dass eine Verwendung in dieser Untersuchung erfolgen konnte (siehe Bild 9). Da das System für die Vortests noch nicht zur Verfügung stand, wurden diese mit dem älteren Modell durchgeführt. Die Software des Blickbewegungsmesssystems wurde ebenso erfolgreich getestet (Bild 10).



Bild 9: SMI Eye Tracking Glasses 2



Bild 10: Test der Blickbewegungsmessung am Simulator: der Proband schaut auf das Haus (grüner Punkt).

4.3 EEG-Messungen

Zur Aufzeichnung der neurophysiologischen Daten wurden Produkte der Firma Brain Products GmbH (Gilchingen, Deutschland) verwendet. Zur Messung der hirnelektrischen Signale kamen 64 aktive Ag/AgCl-Elektroden sowie Elektrodenhauben zur Anwendung, die der Produktlinie ActiCap zugeordnet werden. Der Elektrodenanordnung liegt das international verwendete erweiterte 10-20-System zugrunde (KLEM, LÜDERS, JASPER, ELGER et al., 1999). Die von den Sensoren aufgenommene elektrische Aktivität wurde an die Verstärkermodule (BrainAmps), die speziell für die Ableitung von EEG-Signalen in der psychologischen und neuropsychologischen Forschung entwickelt wurden, weitergeleitet.

Ähnlich zur Blickbewegungsmessung sind auch bei der EEG-Auswertung externe Marker aus der Simulationsumgebung nötig, um einen synchronisierten Datensatz zu erhalten. Für jeden der 64 EEG-Kanäle liegt ein kontinuierlich aufgezeichnetes Signal vor, das um die Ereignismarker für jeden Trial ergänzt wird. Die Marker, welche in das EEG-Messsystem eingespeist werden, sind identisch mit denen der Blickbewegungsmessung.

5 Kombinierte Fahrsimulator-Studie mit EEG und Eyetracking

5.1 Probanden

5.1.1 Akquise

Im Zuge der Probandenakquise galt es, für den ersten Teil 20 Teilnehmer/innen im Alter ab 65 Jahren und 20 Teilnehmer/innen bis einschließlich 45 Jahren zu finden. Diese sollten im Besitz eines PKW-Führerscheins sein (keine Fahranfänger) und regelmäßig Auto fahren. Für die beiden Studienteile wurden zweimal 20 Personen benötigt, die das initiale Screening erfolgreich absolvierten, außerdem die Kontrollgruppen von zweimal 20 Personen unter 46 Jahren. Die Rekrutierung erfolgte über eine Anzeige auf einer Internetseite und in einer lokalen Tageszeitung, Aushänge in der Umgebung, sowie über einen eigenen Probandenpool. Hierzu wurden Aufrufe an E-Mail-Listen der generellen Probandendatenbank der Human-Factors-Consult GmbH versandt, sowie potenzielle Teilnehmer daraus telefonisch angefragt. Zudem gehörten Bekannte von Mitarbeitern der HFC Human-Factors-Consult GmbH zur Versuchsgruppe.

Auf einer Website wurde ein Teilnehmer-Formular eingerichtet, über das sich Interessierte selbst in eine Datenbank eintragen konnten. Hier wurden wichtige Daten wie Führerscheinbesitz bereits abgefragt und nur für Projektmitarbeiter einsehbar gespeichert.

In Wohngebieten in räumlicher Nähe zum Versuchslabor (in Südost-Berlin) wurden Flyer in Einkaufszentren, Gemeindezentren und ähnlichen stärker frequentierten Örtlichkeiten an Schwarzen Brettern aufgehängt bzw. zur Mitnahme ausgelegt. Die Flyer enthielten Kurzinformationen zur Studienteilnahme, Hinweise zum Studienzeitraum und im Abreißformat Kontakttelefonnummer, E-Mail-Adresse und Webadresse.

Um gezielt ortsansässige Senioren zu erreichen, wurde telefonischer Kontakt zu verschiedenen Seniorenfreizeitstätten und Vereinen aufgenommen, so dass die Flyer mit Einverständnis der vor Ort Verantwortlichen teils persönlich z. B. bei Veranstaltungen verteilt werden konnten. Wo dies nicht möglich war, konnte oft erreicht werden, dass Kontaktpersonen, die die Flyer entgegennahmen, der Studie positiv gegenüberstanden und weiteren Bekannten

dort davon erzählten. Des Weiteren erklärten sich auch Personen aus dem erweiterten Bekanntenkreis der Projektmitarbeiter bereit, teilzunehmen.

5.1.2 Screening

Bei bzw. nach der initialen Kontaktaufnahme wurde mit den potenziellen Teilnehmer/innen entweder ein Telefontermin vereinbart, bei dem die (Ausschluss-) Kriterien der Studie näher abgefragt wurden, oder eine Onlinebefragung mit demselben Inhalt durchgeführt. Für dieses Screening wurden ein Leitfaden beziehungsweise ein Onlineformular entwickelt (siehe Anhang), mit deren Hilfe die erforderlichen Informationen in die studienspezifische Probandendatenbank eingetragen wurden. Hierzu wurde als Basis die in der BAST-Studie von (HOFFMANN, WIPKING et al., 2013) verwendete Abfrage verwendet und etwas erweitert.

Linkshändigkeit, Augenerkrankungen, die Einnahme von Psychopharmaka oder neurologische Erkrankungen führten zum Ausschluss. Die Sehschärfe musste denselben Anforderungen wie in der Vorgängerstudie von (HOFFMANN, WIPKING et al., 2013) entsprechen. Auch eine Kontaktallergie gegen Alkohol wurde abgefragt, führte jedoch nicht zum Ausschluss, da eventuell Betroffene in der Probandengruppe für Teil 2 der Studie (ohne EEG-Messung) teilnehmen konnten.

Die Führerscheinprüfung musste zur Teilnahme länger als fünf Jahre zurückliegen, und der Führerschein durfte in den letzten zwei Jahren nicht (zeitweilig) entzogen worden sein. Zur Sicherstellung ausreichender Fahrpraxis wurde die jährlichen Kilometerleistung abgefragt; wenn diese unklar war, wurde auch als Antwortoption angeboten, wie oft monatlich der-/diejenige Auto fährt, aufgeteilt nach: im eigenen Stadtteil, innerstädtisch im Raum Berlin, oder weitere Strecken. Hier wurden als Untergrenze drei monatliche Fahrten über die Stadtteilgrenze hinaus oder mindestens fünf kurze Fahrten im Stadtteil festgesetzt. Des Weiteren wurde abgefragt, ob und wie stark die Interessenten unter Seerkrankheit bzw. Reiseübelkeit als Passagier im Flugzeug, Bus oder Auto litten und ob ihnen im Falle einer früheren Simulatorfahrt übel geworden war. In diesem Fall wurden diese Personen in leichten Fällen nachgeordnet eingeladen und in schweren Fällen ausgeschlossen.

Des Weiteren wurden den Interessenten die Ziele der vorliegenden Studie kurz erklärt. Sie erhielten

auch die Gelegenheit, telefonisch oder per E-Mail Fragen zu äußern und Unklarheiten anzusprechen.

Die EEG-Probanden wurden darüber informiert, dass Elektroden auf der Kopfhaut angebracht werden und sie mit frisch gewaschenem Haar (ohne Pflegemittel / Spülung) zur Studie erscheinen sollten, sowie über die Möglichkeit, sich nach dem Fahrversuch vor Ort die leitende Paste aus den Haaren zu waschen. Zuletzt wurden die Probanden aufgefordert, den Aufruf zur Teilnahme im Bekanntenkreis weiter zu verbreiten.

Ob das nutzbare Sehfeld den Eignungsrichtlinien zum Krafftahren entsprach (120°), und ob die kognitive Leistungsfähigkeit ausreichend gegeben war, wurde nicht im Screening erhoben, sondern Vortests am Tag des Versuchs. Nach dem positiv verlaufenen Screening sowie der (ggf. zeitlich getrennten) genauen Terminvereinbarung bekamen alle Teilnehmer mit E-Mail-Adresse eine Bestätigungsmail mit den genauen Informationen zu Ort, Zeit und Vorbereitung. Teilnehmer, die angaben, nicht regelmäßig Mails zu lesen, erhielten einen Erinnerungsanruf eine Woche vor dem Termin.

5.2 Versuchsdesign

Die Probanden bekamen im Fahrsimulator die Aufgabe, eine Strecke mit vielen Kreuzungen entlangzufahren und den Blick möglichst nach vorne auf die Straße gerichtet zu lassen. An vielen Kreuzungen erschien unilateral ein graues Fahrzeug im 60° -Sehwinkel auf der immer vorfahrtsberechtigten Querstraße und fuhr auf die Kreuzung zu. Sobald die Teilnehmer dieses im peripheren Sehfeld bemerkten, mussten sie sofort den Fuß vom Gas nehmen und die Bremse betätigen. In Folge der registrierten Bremsung hielt das Fremdfahrzeug an und wechselte die Farbe von grau nach rot, grün, oder blau. Die Teilnehmer mussten nun zum Fahrzeug schauen und laut die neue Farbe nennen. Auf diese Weise sollte sichergestellt werden, dass periphere Wahrnehmung und Blickzuwendung möglichst getrennt werden konnten. Die Nennung der Farbe diente hierbei jedoch nur dem Ziel, die Blickbewegungen zu strukturieren und die EEG-Analyse zu ermöglichen und wurde nicht ausgewertet (ohne Wissen der Probanden). Eine halbe Sekunde nach dem Bremsen verschwand das Fahrzeug wieder und man konnte weiterfahren (siehe auch Kapitel 5.3.2 und Bild 12).

		Je für Senioren / Kontrollgruppe
Warnung (Information am HUD)	Links	65
	Rechts	65
Keine Warnung	Links	65
	Rechts	65
Summe		260
Kreuzungen ohne Ereignis		65
Gesamt		325

Tab. 3: Trials für die Messung von Verhaltens-, Blick- und EEG-Daten in der kombinierten EEG- und Eyetrackingstudie

In der Hälfte dieser Durchgänge erschien zusätzlich die Warnung ACHTUNG! im Head-up-Display, das heißt, sie wurde etwas unterhalb der Sichtachse etwa im Sehwinkel von 20° auf der jeweiligen Seite des vorfahrtsberechtigten Fahrzeugs in die Simulation eingeblendet. Des Weiteren gab es ereignislose Kreuzungen, welche mit einer Wahrscheinlichkeit von 20 Prozent auftraten.

Operationalisiert wurde dieses Szenario durch einen 2x2x2 Versuchsplan mit den unabhängigen Variablen:

- Alter (jung: <45 Jahre, alt: >65 Jahre),
- Warnung (zentral dargestellter Warnhinweis ACHTUNG! im in die Simulation integrierten Head-up-Display (HUD); oder keine Information)
- Seite (vorfahrtsberechtigtes Fahrzeug von links oder rechts)

Als abhängige Variablen wurden untersucht:

- Reaktionszeit (Einleitung der Bremsreaktion)
- Blickbewegungsreaktion (Sakkaden)
- Ausprägung der durch die Zielreize evozierten EKP, (insbesondere P1, N1 und P3)

Mit dem vorliegenden Versuchsdesign konnte den Notwendigkeiten der EEG-Messungen Rechnung getragen werden, welche eine große Anzahl sich stark ähnelnder Trials verlangt (siehe Tabelle 3).

5.3 Versuchsablauf

Nach der Ankunft im Fahrsimulator-Versuchsraum wurden alle Probanden schriftlich und mündlich über die bei der Studie verwendeten Methoden, die erhobenen Daten und deren Verwendung, den Da-

tenschutz sowie über ihre Rechte und Pflichten aufgeklärt. Von allen Versuchsteilnehmern liegt die schriftliche Einwilligung vor.

5.3.1 Vortests und Training

Vor dem Versuch wurde mit jeder Versuchsperson das Montreal Cognitive Assessment (MoCA)-Verfahren durchgeführt (NASREDDINE et al., 2005). Somit sollte ausgeschlossen werden, dass Personen mit stärker ausgeprägten kognitiven Beeinträchtigungen wie Demenz an dem Versuch teilnahmen. Ein Gesamtscore von < 26 beim MoCA-Verfahren deutet auf leichte kognitive Einschränkungen hin (mild cognitive impairment, siehe NASREDDINE et al., 2005). Laut neueren Erkenntnissen kann der MoCA nicht als allgemein verlässlicher Indikator der Fahrfähigkeit der älteren Bevölkerung verwendet werden (siehe z.B. KWOK, GÉLINAS, BENOIT & CHILINGARYAN, 2015), jedoch korreliert bei Menschen mit schon diagnostizierten kognitiven Einschränkungen der Score mit dem Ergebnis eines standardisierten Fahrtests (HOLLIS, DUNCANSON, KAPUST, XI & O'CONNOR, 2015). Die Autoren sprechen hier ab einem Score von ≤18 davon, dass begründete Bedenken an der Fahrfähigkeit bestehen. In der vorliegenden Studie wurden Teilnehmer mit mindestens 23 Punkten zugelassen, sodass ein ausreichender Abstand zu dem genannten kritischen Wert gewährleistet war.

Für Personen, die nicht innerhalb des letzten Jahres einen Sehtest beim Optiker oder Augenarzt geleistet hatten, wurde die Sehschärfe zusätzlich mit dem Snellen-Test überprüft. Die Teilnehmer wurden schriftlich und mündlich über die Fahraufgabe instruiert und absolvierten ein etwa zehnminütiges Training im Fahrsimulator, noch ohne EEG. Danach wurde mithilfe des Simulator Sickness Questionnaire (SSQ) in der deutschen Version nach NEUKUM und GRATTENTHALER (2006) mögliche Simulator-übelkeit abgefragt und, wenn nötig, Gegenmaßnahmen wie frische Luft, Pause, Getränke oder Abbrechen angeboten.

Wenn das Training positiv verlief, wurde die EEG-Technik vorbereitet, während die Versuchsperson den Sehtest zur Peripheren Wahrnehmung (PP) des Wiener Testsystems der Firma Schuhfried absolvierte. Dieser Test besteht aus einer Doppelaufgabe, wobei beide Aufgabenteile erst einzeln und dann zusammen trainiert werden und danach der Haupttest folgt. Zum Apparat gehören ein PC mit der Software, ein auf einem Tisch platzierter Mo-

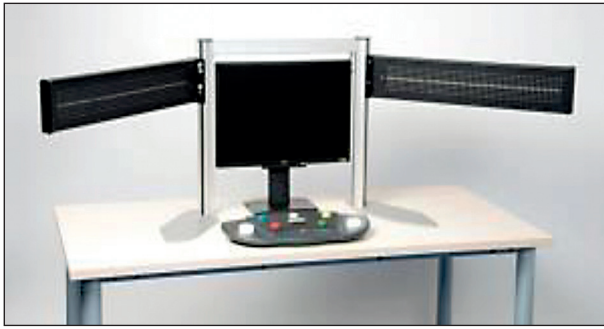


Bild 11: Apparatur des Peripheren Sehtests (PP) mit dem Wiener Testsystem (© Schuhfried)

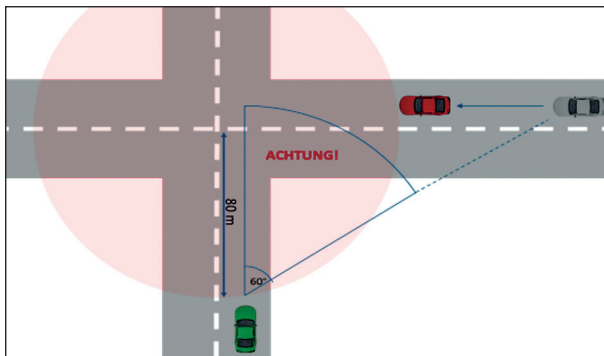


Bild 12: Kreuzungssituation kombinierte EEG- und Eyetracking Studie

nitor, eine Spezialtastatur, daneben ein Rahmen mit zwei diagonal zur Seite angeordneten LED-Anzeigen (siehe Bild 11) sowie zwei Fußpedale. Durch Abstandserkennung werden die Probanden gezwungen, den Kopf an der korrekten Position zu lassen. Für die Tracking-Aufgabe müssen die Versuchspersonen ein Fadenkreuz über einem sich horizontal bewegenden Kreis halten, indem sie einen Trackball mit einer Hand (ihrer Wahl) bewegen. Bei der peripheren Lichtreizaufgabe muss ein Pedal (mit dem Fuß der Wahl) getreten werden, sobald man links oder rechts eine unilateral erscheinende, vertikale Linie aus hellen Punkten zwischen ungeordneten Punkten erkennt. Zusammen benötigte dies etwa 15 Minuten. Für die Fahreignung ist ein gemessenes Sehfeld von 120° vonnöten.

Danach wurde der Hauptversuch in vier Blöcken durchgeführt. In den Pausen, deren Länge mindestens 5 Minuten betrug, konnten sich die Teilnehmer erholen; in der ersten Pause wurde wieder der SSQ ausgefüllt. Die Lichtbedingungen wurden hierbei konstant gehalten (leicht abgedunkelt).

5.3.2 Fahraufgabe

Die zu fahrende Strecke enthielt viele sehr ähnliche Vorfahrtssituationen an Kreuzungen in kurzen Abständen. Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer fuh-

ren die Strecke entlang und konnten Gaspedal, Bremspedal und Lenkrad nutzen. Beide Pedale durften nur mit dem rechten Fuß bedient werden, um vergleichbare Reaktionszeiten zu erhalten. Um eine einheitliche Geschwindigkeit sicherzustellen, wurde instruiert, möglichst oft mit Höchstgeschwindigkeit zu fahren, außer es musste gebremst werden. An jeder Kreuzung erschien entweder kein Fahrzeug, ein graues Fahrzeug alleine von links bzw. rechts, oder ein graues Fahrzeug begleitet von einer Warnung (ACHTUNG!) von links bzw. rechts. Es gab keine weiteren simulierten Verkehrsteilnehmer in der Szenerie. Die Probanden mussten hierbei den auftauchenden Fahrzeugen immer Vorfahrt gewähren. Fahrzeuge erschienen von beiden Seiten im Sehwinkel von ca. 60° , in der Hälfte der Fälle begleitet von einer ähnlich wie per Head-up-Display eingeblendeten Warnung im zentraleren Bereich des Sehfelds bei etwa 20° Sehwinkel.

Sobald sie ein Fahrzeug oder eine Warnung wahrnahmen (wobei instruiert war, immer geradeaus auf die Straße zu schauen), sollten die Probanden so schnell wie möglich bremsen, d. h. den rechten Fuß vom Gaspedal nehmen und das Bremspedal mindestens antippen. Dies löste bei dem Fahrzeug auf dem Bildschirm eine Farbänderung aus, es hielt an, und die Teilnehmer mussten zum Auto schauen und die neue Farbe nennen. Nach einer halben Sekunde verschwand es. Die korrekte Nennung der Farbe wurde nicht ausgewertet, da sie nur zur Unterstützung eines EEG-geeigneten Ablaufs diente: Das Blickverhalten der Teilnehmer sollte auf diese Weise gesteuert werden (siehe Vogelperspektive Bild 12 sowie Foto eines Probanden in Bild 13).

Um Eintönigkeit und Ermüdung entgegenzuwirken, gab es nach Abschnitten mit vielen Kreuzungen auch immer wieder leichte, langgezogene Kurven ohne Kreuzungen. Die drei Pausen wurden durch einen eingeblendeten Schriftzug für die Teilnehmer kenntlich gemacht, wonach sie anhalten sollten.

5.4 Auswertung

5.4.1 Datenaufbereitung Verhaltens- und Blickdaten

Die Datenaufbereitung und -Analyse wurde mithilfe der Software MATLAB 2013b durchgeführt. Insgesamt 30 Datensätze der Bremsdaten wurden in die erste Analyse einbezogen (für die anderen lag entweder keine ausreichende EEG-Datenqualität vor,



Bild 13: Proband während Studie 1 mit EEG und Blickerfassung

oder sie wurden aus anderen Gründen ausgeschlossen, z. B. Abbruch des Versuchs). Von den Daten, die in der Analyse verwendet wurden, stammten 14 von älteren und 16 von jüngeren Versuchspersonen.

Die Daten wurden auf fehlerhafte Bremsungen (Reaktionszeit $< 0.2s$ oder $> 2.8s$ oder an falschen Stellen gebremst) überprüft. Pro Versuch wurden zwischen 0 ($n = 23$) und 3 ($n = 1$) fehlerhafte Bremsungen aufgezeichnet. Die entsprechenden Reaktionen wurden aus dem Datensatz entfernt. Im Anschluss wurden die Datensätze auf Ausreißer überprüft. Als Ausreißer definiert wurden Reaktionszeiten, die größer oder kleiner als 3 Standardabweichungen vom Mittelwert des jeweiligen Datensatzes entfernt lagen (Die Ausreißer wurden für jede Bedingungskombination, also Warnung/links, Warnung/rechts etc. ermittelt). Es wurden zwischen 0 ($n = 2$) und 9 ($n = 1$) Ausreißer gefunden und anschließend entfernt.

Zusätzlich wurde für jeden Bremsvorgang einer Versuchsperson eine Grafik erstellt, die das Auftauchen des Fremdfahrzeugs und die anschließende Überschreitung des Brems-Schwellenwertes (> 0.2) visualisiert. Die Grafiken wurden stichpunktartig manuell gesichtet, um die Algorithmen, die für die Berechnungen u. a. der Winkel zu prüfen und eventuell fehlerhafte Aktivierungen der Bremse zu finden. Nach Entfernung der fehlerhaften Reaktionen und der Ausreißer verblieben pro Versuchsperson zwischen 187 und 261 ($M = 242$, $SD = 19.7$) gültige Vorfahrtssituationen (Trials).

Die hier verwendeten Blickdaten bestehen aus den vom Blickerfassungssystem intern aufgezeichneten x/y-Koordinaten des Blicks des Probanden sowie den Signalen aus der Simulationssoftware BeGaze, welche als externe Marker eingespeist wurden. Die-

se Marker wurden benötigt, um im Nachhinein einen zeitlich synchronisierten Datensatz zu erhalten. Mittels der SMI-Software BeGaze wurden die aufgezeichneten Datensätze im ASCII-Format exportiert, um eine automatische Auswertung vornehmen zu können. BeGaze wertete weiterhin automatisch aus, wann in den Blickdaten Sakkaden vorlagen. Diese Sakkadendaten wurden für die Analyse der Sakkadenreaktionszeiten verwendet.

5.4.2 EEG-Analyse

In einer Vielzahl an Laborstudien konnte gezeigt werden, dass die Untersuchung der neuronalen Grundlagen von einer im Alter veränderten Verarbeitung von Reizen durch das EEG möglich ist (z. B. ANDERER, SEMLITSCH & SALETU, 1996; POLICH, 1997). Die in dieser Studie intendierte Abbildung von natürlichem Verhalten während der Fahraufgabe außerhalb einer kontrollierten Laborumgebung setzt jedoch motorische Aktivität wie Augenbewegungen und Muskelaktivität voraus. Derartige Bewegungen gehen wie die hirnelektrischen Prozesse mit elektrischen Signalen einher und fließen in die an der Kopfoberfläche abgeleiteten EEG-Aufnahmen ein. Dadurch können sie das schwache EEG-Signal überlagern und ablenken. Durch solcherlei Störeinflüsse stößt ein klassischer EKP-Ansatz an seine methodischen Grenzen.

Für eine sinnvolle Interpretation von Daten, die von sich bewegenden Personen aufgenommen wurden, ist es notwendig, dass die hirnelektrischen Signalanteile aus denen mit Störsignalen vermischten Rohdaten extrahiert werden können. Dafür eignet sich die Methode der Independent Component Analysis (ICA). Der Begriff ICA steht für eine Gruppe von Algorithmen, anhand derer aus den Daten der EEG-Kanäle statisch maximal unabhängige Signalkomponenten mit einer relativen Gewichtung für jeden Elektrodenkanal bestimmt werden. Durch diese Gewichte können die an den Elektroden aufgenommenen Daten, die sich aus hirnelektrischer Aktivität und aus nicht dem Gehirn entstammenden Störsignalen zusammensetzen, anteilig den zugrundeliegenden distinkten Prozessen zugeordnet werden. Für eine Bereinigung der Elektrodenkanaldaten ist es anschließend möglich, die isolierten Anteile der Störeinflüsse anhand der jeweiligen relativen Gewichtung aus den Kanaldaten zu entfernen (JUNG et al., 2000). Auf Grundlage der derartig artefaktkorrigierten Daten wurden klassische EKP-Analysen durchgeführt.

Die Datensätze von sechs älteren und vier jüngeren Probanden und Probandinnen wurden nach einer Dateninspektion aus der Analyse ausgeschlossen. Von diesen Datensätzen war bei $n = 2$ Personen eine Bereinigung der okularen Artefakte nicht möglich. Die Datensätze von weiteren $n = 6$ Personen mussten aufgrund von nicht ausreichender Datenqualität ausgeschlossen werden. Für $n = 2$ Personen reichte die Datenmenge nicht für die Analyse aus.

5.4.3 Vorverarbeitung EEG-Daten

Die Auswertung der Daten wurde mit MATLAB 2015a und dem nichtkommerziellen Auswertepaket EEGLAB (Version 13.5.4b, DELORME & MAKEIG, 2004) durchgeführt. Hierfür wurden die Datensätze in die von der Software unterstützte Datenstruktur überführt und einer Reihe an standardisierten Vorverarbeitungsschritten unterzogen. Hierzu zählt die Justierung der Elektrodenpositionen mithilfe der Koordinaten eines Standardkopfmodells (Boundary Element Method (BEM), OOSTENDORP & VAN OOSTEROM, 1989), eine Bandpassfilterung von 0.1 -100Hz, eine automatisierte und visuelle Kanalbereinigung sowie eine Referenzierung am Durchschnittswert aller Elektroden und jedem Zeitpunkt. Im Anschluss wurden für jeden der derartig vorverarbeiteten Datensätze ICA-Gewichte mit Funktionen der Adaptive Mixture of Independent Component Analysis (AMICA, PALMER, MAKEIG, KREUTZ-DELGADO & RAO, 2008) berechnet und auf den Datensatz geladen. Für die daraus errechneten unabhängigen Komponenten aller Probanden wurden Kurvenverläufe und Topografien erstellt, anhand derer die Anteile der Augenbewegungen identifiziert und aus den Kanaldaten entfernt werden konnten (Bild 14).

Im Anschluss wurden ein für EKP-Analysen üblicher 40Hz-Tiefpassfilter auf die Daten angewendet und die Daten in Epochen von 2000ms Länge um

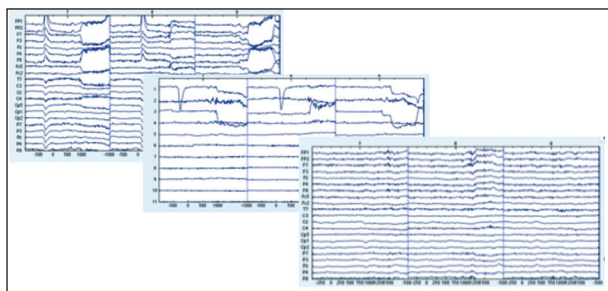


Bild 14: Exemplarischer Verlauf der Kanaldaten vor der Bereinigung (oben), der ICA-Komponentenverlauf (mittig) und der bereinigten Kanaldaten (unten)

das kritische Ereignis (Erscheinen der Warnung bzw. des Fahrzeugs) epochiert. In einem letzten Vorverarbeitungsschritt wurden die generierten Epochen automatisiert und anschließend visuell auf Störanteile inspiziert und die betroffenen Datenanteile wurden entfernt. Auf den daraus resultierenden Datensätzen wurden alle im Folgenden beschriebenen Berechnungen durchgeführt.

5.4.4 Auswertung der ereigniskorrelierten Potenziale (EKP)

Für die EKP-Analysen wurden die epochierten Daten über alle Personen und Durchgänge für die jeweiligen Bedingungen gemittelt. Anhand der gemittelten Amplitudenwerte wurden an den relevanten Elektroden für jede Bedingung Kurvenverläufe erstellt. Als Messbasis für die Berechnungen wurden der Mittelwerte des Zeitbereichs von -200 bis 0 Millisekunden vor dem Zielreiz (Erscheinen des Fahrzeugs) verwendet.

Die statistische Auswertung umfasste die Untersuchung möglicher Einflüsse des Alters (> 45 Jahre, >65 Jahre), der Warnung (mit oder ohne Warnhinweisreiz) und der Seite der Reizpräsentation im Sehfeld (links oder rechts) auf die an den Elektroden in den spezifischen Zeitfenstern gemessene mittlere Aktivität. Demnach wurden für die Zielvariablen der mittleren Amplituden (in μV) Varianzanalysen (Haupt- und Interaktionseffekte) mit zwei Messwiederholungsfaktoren (Warnung, „Seite“) und einem Gruppenfaktor (Altersgruppe) berechnet.

5.5 Ergebnisse

5.5.1 Deskriptive Statistiken

An dem Experiment nahmen insgesamt 50 Versuchspersonen teil, von denen 41 auswertbare Daten lieferten (Ausschlussgründe: Übelkeit im Simulator 6, Linkshänder 2, neurologische Erkrankung 1). Die Teilnehmer wurden in 2 Gruppen aufgeteilt (21 jüngere, 20 ältere). Das Mindestalter der jüngeren Versuchsgruppe betrug 25, das Höchstalter 38 Jahre. In der älteren Versuchsgruppe lag das Mindestalter bei 65, das Höchstalter bei 74 Jahren. Der Bildungsstand in beiden Altersgruppen war ausgeglichen. In beiden Gruppen befanden sich jeweils 17 Teilnehmer mit Abitur oder Studienabschluss. Alle Versuchspersonen hatten ihren Wohnsitz in Berlin.

Gruppe	N	M (Alter)	sd (Alter)	♂	♀
Jüngere	16	31,9	3,4	9	7
Ältere	14	71,0	4,2	10	4

Tab. 4: Deskriptive Statistik EEG für die kombinierte Studie

Gruppe	N	M	sd	♂	♀
Jüngere	14	33,3	3,2	10	4
Ältere	15	70,7	4,2	12	3

Tab. 5: Deskriptive Statistik Blickfassung für die kombinierte Studie

Stichprobe EEG

Von den insgesamt 41 auswertbaren Simulatorfahrten lieferten 30 Versuchspersonen ausreichende Qualität in den EEG-Daten. In Tabelle 4 sind der Altersdurchschnitt, die Standardabweichung, sowie die Geschlechterverteilung für diese Schnittmenge zu ersehen.

Stichprobe Blickdaten

In diese Analyse gingen insgesamt 29 Datensätze mit vollständigen Blick- und Verhaltensdaten ein. Für die restlichen Versuchspersonen fehlen auswertbare Blickdaten. Der resultierende Datensatz für die Blickdaten ist in Tabelle 5 beschrieben.

Simulatorübelkeit, Abbrecher

Nach dem Training sowie nach dem ersten Block des Hauptversuchs bearbeiteten die Versuchspersonen den Simulator Sickness Questionnaire (SSQ, KENNEDY, LANE, BERBAUM & LILIENTHAL, 1993; in der deutschen Version nach NEUKUM & GRATTENTHALER, 2006). Der Fragebogen enthält 16 vierstufige Items („keine Beschwerden“ bis „starke Beschwerden“), die den drei Subskalen Oculomotor (OScore), Disorientation (DScore) und Nausea (NScore) zugeordnet werden. Aus den Punktzahlen der Subskalen wird nach einer Gewichtungszurprozedur ein Gesamtwert (Total Score) berechnet. Da auf den Subskalen eine jeweils unterschiedliche Anzahl an Gesamtpunkten erreicht werden kann, sind in dieser Studie die Ergebnisse des SSQ als Prozentwerte vom jeweiligen maximal erreichbaren Wert angegeben.

Nach dem ersten Block lagen die SSQ-Punktzahlen im Mittel etwas höher als nach dem Training, das heißt, das Unwohlsein hatte sich etwas verstärkt, jedoch fast immer unter 10 % des maximal erreichbaren Wertes. Auf der okulomotorischen Subskala wurden dabei insgesamt die höchsten Punktzahlen erzielt. Sie enthält Beschwerden wie Unwohlsein, Müdigkeit, Kopfschmerzen und Konzentrationsschwie-

rigkeiten. Zudem steigt der OScore über den Versuch stärker an als die anderen Subskalen. Die SSQ-Gesamtwerte unterscheiden sich nur geringfügig zwischen den Versuchspersonengruppen.

Insgesamt fünf Personen brachen den Versuch aufgrund von Übelkeit während des Trainings, nach dem Training oder während des Versuchs ab. Dabei handelte es sich um ausnahmslos ältere Teilnehmer. Eine Versuchsperson nahm aufgrund von Übelkeit zwei Reisetabletten ein, woraufhin sie nach Besserung der Symptome den Versuch antrat und sich ihr SSQ-Gesamtwert von 32 % nach dem Training auf 27 % nach dem ersten Block verbesserte. Die Verbesserung äußerte sich bei allen drei Subskalen in gleichem Maße.

5.5.2 Vortests

MoCA (Montreal Cognitive Assessment)

Die erhobenen MoCA-Gesamtscores in Studie 1 reichten von 23 bis 30. Für die Kontrollgruppe lag der Mittelwert geringfügig höher ($m = 28.6$, $SD = 1.6$) als bei der älteren Gruppe ($m = 27.6$, $SD = 2.4$). Dieser Unterschied ist nicht signifikant. Drei der älteren Versuchspersonen erreichten Werte unter dem Normalwert von 26, jedoch mindestens 23. Von stärkeren kognitiven Beeinträchtigungen bzw. Demenz wird erst bei Werten von 21 oder geringer ausgegangen. So wurden keine Personen wegen ihrer MoCA-Ergebnisse vom Versuch ausgeschlossen.

Sehfeld (Peripherer Sehtest des Wiener Testsystems)

Für alle Versuchspersonen wurde ein Sehfeld von über 120° gemessen, sie waren somit nach Definition des Tests kraftfahrtauglich. Für die Kontrollgruppe ergab sich in diesem Test ein mittleres Sehfeld von $m = 167.4^\circ$ ($SD = 18.4^\circ$). Bei der älteren Versuchspersonengruppe war das Sehfeld im Mittel $m = 147^\circ$ ($SD = 15.2^\circ$) groß und damit signifikant kleiner ($t(28) = 3.27$, $p = .003$).

Der Unterschied zeigte sich dabei insbesondere auf der linken Seite. Dort war bei der älteren Versuchspersonengruppe das Sehfeld mit $M = 72.6^\circ$ um etwa zwei Grad kleiner als das rechte Sehfeld ($M = 74.5^\circ$). Bei der Kontrollgruppe betrug die Differenz weniger als ein Grad.

5.5.3 Bremsreaktionen

Insgesamt wurden von den Versuchspersonen 10.062 Kreuzungen mit Fremdverkehr durchfahren,

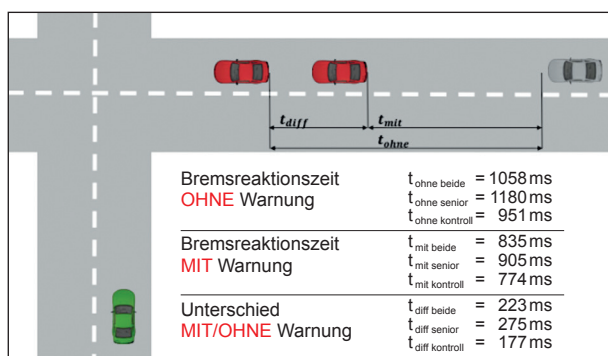


Bild 15: Bremsreaktionszeiten im Vergleich mit und ohne Warnung: Mit zentral eingeblendeter Warnung reagieren beide Gruppen schneller. Zur besseren Übersicht nur rechte Seite dargestellt.

davon wurde an 10052 Kreuzungen wie vorgegeben reagiert, also in 99,9% der Fälle. Somit wird auf eine Auswertung von Auslassungen verzichtet.

Die mittlere Bremsreaktionszeit (BRT) betrug $M = 853 \text{ ms}$ ($SD = 162 \text{ ms}$) bei der Kontrollgruppe und $M = 996 \text{ ms}$ ($SD = 207 \text{ ms}$) bei den älteren Teilnehmern (Bild 15). Die Wirkung der Innersubjekt-faktoren „Richtung des Fremdfahrzeugs“ und „Warnung“ sowie des Zwischensubjekt-faktors „Altersgruppe“ auf die Bremsreaktionszeit wurden mithilfe einer zweifaktoriellen ANOVA mit Messwiederholung auf Signifikanz überprüft (Bild 16). Es ergaben sich signifikante Haupteffekte der Faktoren „Warnung“ ($F_{1,39} = 153.9$, $p < .001$, $\eta^2 = .8$), „Seite“ ($F_{1,39} = 17.8$, $p < .001$, $\eta^2 = .3$) und „Altersgruppe“ ($F_{1,39} = 6.1$, $p = .018$, $\eta^2 = .14$). Mit Warnung erfolgte die Bremsreaktion schneller als ohne; bei von rechts kommenden Fahrzeugen schneller als von links; und Senioren bremsten später als die Kontrollgruppe. Zudem ergaben sich signifikante Wechselwirkungen zwischen den Faktoren „Warnung“ und „Altersgruppe“ ($F_{1,39} = 4.5$, $p = .041$, $\eta^2 = .1$), d. h. für die Senioren hatte die Warnung eine stärkere Wirkung auf die Reaktionszeit, sowie eine Interaktion für „Warnung“ und „Seite“ ($F_{1,39} = 4.4$, $p = .043$, $\eta^2 = .1$), d. h. der Unterschied zwischen beiden Seiten war ohne Warnung deutlicher.

5.5.4 Blickreaktionen

Explorative Analyse

Die aufgenommenen Blickbewegungs-Videos der Simulatorfahrten wurden visuell daraufhin inspiziert, wie im Verlauf eines Trials typischerweise die Fixationen und Sakkaden verliefen. Es wurde festgestellt, dass in der großen Mehrheit aller Fälle nur zu Beginn des Trainings die Fremdfahrzeuge und die Warnungen merkbar fixiert wurden. Schon nach

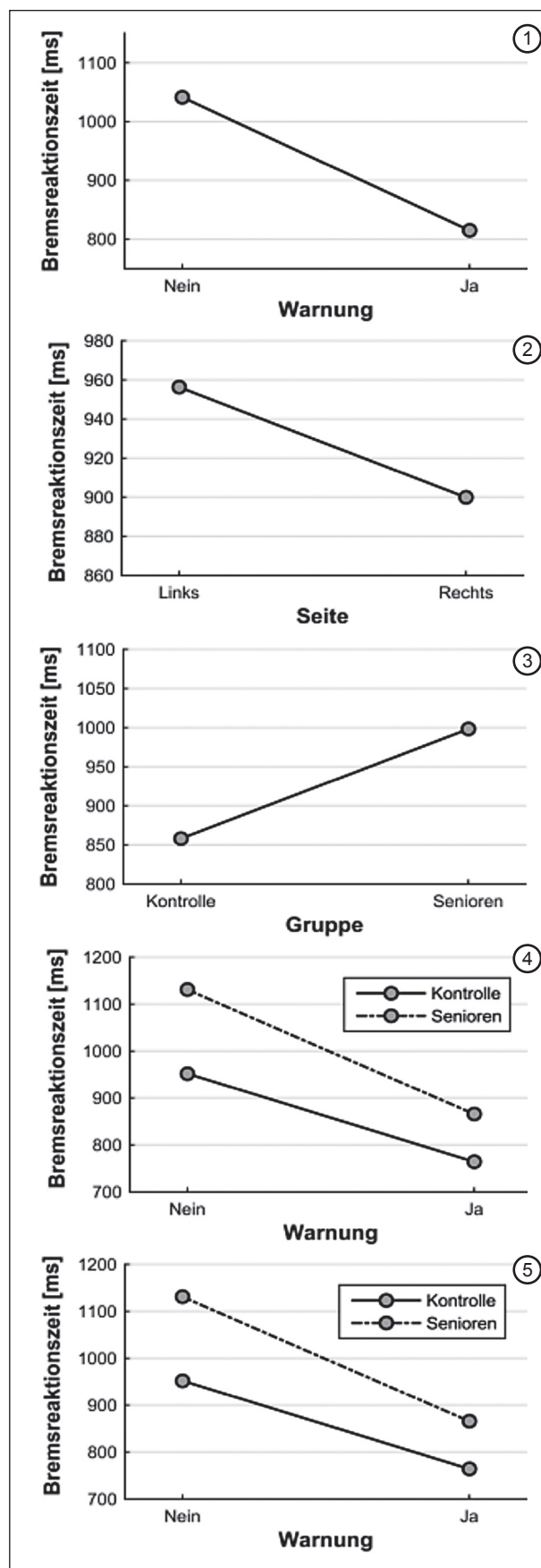


Bild 16: Bremsreaktionszeiten: Haupteffekte für Warnung (1), Seite (2) und Altersgruppe (3), Interaktion: Warnung und Altersgruppe (4) sowie Seite und Altersgruppe (5)

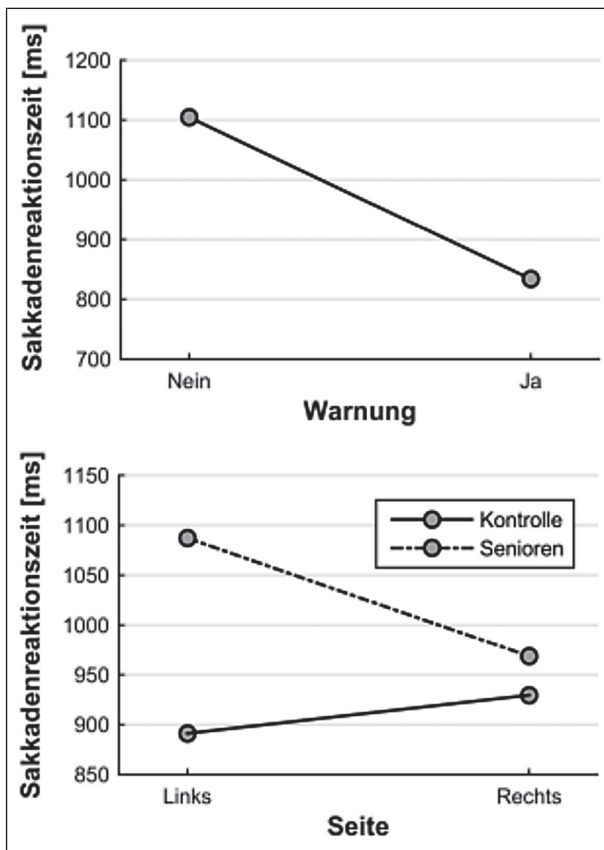


Bild 17: Sakkadenreaktionszeiten: Haupteffekte für Warnung (oben) und Seite (unten)

einigen gefahrenen Kreuzungssituationen blieb der Blick wie instruiert nach vorne auf die Mitte der Straße gerichtet und die Stimuli wurden peripher erkannt (messbar durch Bremsreaktionen). Nachdem durch das Bremsen der Querverkehr angehalten hatte, fixierten nach ein paar Durchgängen auch nur noch wenige Probanden die Fahrzeuge direkt, um die Farbe zu nennen, sondern es fanden sich teils auch nur Sakkaden in die passende Richtung, die Farbe wurde auch so richtig benannt. So kann zusammengefasst werden, dass es nicht sinnvoll wäre, hier Fixationen statistisch auszuwerten. Sakkaden wurden jedoch relativ häufig kurz nach dem Reiz in Richtung des Fremdfahrzeugs oder in Richtung der Warnung erkannt, sodass der Versuch der statistischen Analyse von Blickreaktionszeiten anhand dieser Sakkaden aussichtsreich schien.

Sakkadenreaktionszeiten

Es wurde der Zeitraum zwischen dem Auftauchen des Fremdfahrzeugs bzw. der Warnung und der größten Sakkade, welche noch vor dem Bremsen entdeckt werden konnte, gemessen. Die Daten über Fixationen und Sakkaden wurden direkt aus der Software BeGaze (SMI) übernommen (vgl. Kapitel 4.2). In diese Analyse gingen insgesamt 29 Da-

tensätze ein (14 x Kontrollgruppe, 15 x Ältere). Für die restlichen Versuchspersonen war die Menge auswertbarer Blickdaten nicht ausreichend, da die Blickerkennung in vielen Fällen entweder nicht ausreichend stabil funktionierte (oft bei Brillenträgern) oder Synchronisationsprobleme mit dem Simulator-system auftraten.

Es wurden die Effekte und Interaktionen der Zwischensubjektfaktoren „Warnung“ und „Richtung“ sowie der Innersubjektfaktor „Altersgruppe“ per ANOVA mit Messwiederholung überprüft, die signifikanten Ergebnisse finden sich in Bild 17.

Bei den Sakkadenreaktionszeiten ($n = 29$) ergab sich ein signifikanter Haupteffekt für den Faktor „Warnung“ ($F_{1,27} = 54.5$, $p < .001$, $\eta^2 = .67$), d. h. die Sakkadenreaktion hin zur Warnung erfolgte schneller als die Sakkadenreaktion in Richtung des Fahrzeugs, wenn keine Warnung kam. Es ergab sich eine signifikante Wechselwirkung der Faktoren „Seite“ und „Altersgruppe“ ($F_{1,27} = 9.4$, $p = .005$, $\eta^2 = .26$), in der sich erkennen lässt, dass die Sakkadenreaktion der Senioren bei Stimuli von links langsamer erfolgte, die der Kontrollgruppe jedoch nach links etwas schneller.

Insgesamt sollte jedoch davon ausgegangen werden, dass die Datenlage eine verlässliche Aussage nicht zulässt.

5.5.5 Ergebnisse EEG

Korrelation mit (muskulären) Artefakten

Die durch die ICA-Analyse ermittelten Anteile der Augenbewegungen konnten für alle Probanden und Probandinnen individuell identifiziert und aus den Kanaldaten entfernt werden, wodurch einer Korrelation der EKP-Verläufe mit Augenbewegung entgegen gewirkt wurde (Bild 14).

In Bild 18 wird der Effekt von Augenbewegungen grafisch durch die Abbildung des Spannungsverlaufs an den frontopolen und somit in direkter Nähe zu den Augen platzierten Elektroden FP1 und FP2 verdeutlicht. In den oberen Abbildungen der Elektroden mit Korrektur zeigt sich, dass die auf der y-Achse abzulesende Ausprägung des Signals ohne Korrektur (untere Abbildung der Elektroden) massiv durch Augenbewegungen überlagert wurde. In den um Augenbewegungen bereinigten Daten wurde jedoch in den gemittelten Verläufen eine weitere spätere (ab 450-600 ms) invertierte Aktivität bei einseitig lateraler

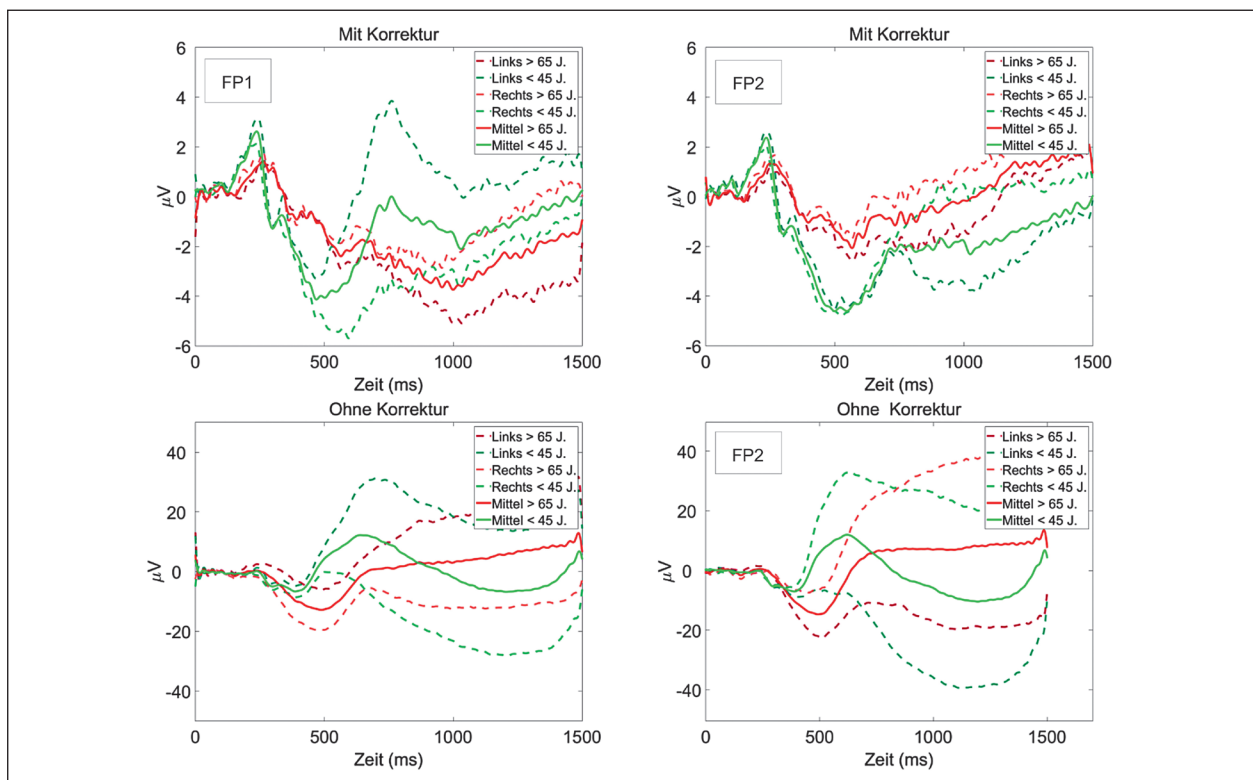


Bild 18: Kurvenverläufe an den frontalen Elektroden FP1 (linke Abbildungen) und FP2 (rechte Abbildungen) vor (obere Abbildungen, links FP1, rechts FP2) und nach (untere Abbildungen, links FP1, rechts FP2) der Bereinigung. Durch die gestrichelten Linien werden die lateralisierten Abweichungen vom mittleren Signal (durchgezogenen Linien) abgebildet. Zu beachten sind die unterschiedlichen Skalenausprägungen der Aktivität in (y-Achse, in μV).

Reizdarbietung sichtbar, die darauf hinweist, dass zusätzliche systematische Artefakte in den Kanaldaten enthalten sein können. Dies wird durch die gegenläufigen Abweichungen der Kurven, für die auf der linken und rechten Seite präsentierten Reize (gestrichelte Linien), von der Kurve der gemittelten Aktivität (durchgezogene Linien) sichtbar.

Im Hinblick auf das Versuchsdesign liegt die Vermutung nahe, dass es sich hierbei um Muskelaktivität handelt, die für die Bewältigung der Fahraufgabe aufgebracht werden musste. Hierzu zählen u. a. die für Lenkbewegungen notwendige Aktivität des Oberkörpers sowie Blick- und Kopfbewegung zum lateral in das Sichtfeld einfahrende Fahrzeug bzw. der damit verbundenen Aktivität der Nackenmuskulatur. Eine saubere Quellentrennung der entsprechenden Komponenten war wider Erwarten mit der Auflösung der Messung (64 Elektroden) nicht möglich. Bei einer Eliminierung der entsprechenden Komponenten hätte nicht ausgeschlossen werden können, dass anteilig hirnelektrische Aktivität entfernt worden wäre. Entsprechend muss von einer systematischen Überlagerung der späten Potenziale (P3) ausgegangen werden. Demnach muss in den Analysen auf Interpretationen der späten Potenziale verzichtet werden. Diese Einschränkungen

beziehen sich nicht auf die Auswertung der frühen visuell evozierten Potenziale.

Frühe visuell evozierte Potenziale, P1-N1-Komplexe

Für die gemittelten Amplituden der an der parietal-okzipitalen Elektrodenposition POz gemessenen Aktivität wurde der Einfluss der Bedingung (mit oder ohne Hinweisreiz), der Seite der Reizpräsentation (links, rechts) und der Altersgruppen (>60 Jahre, <45 Jahre) sowie möglicher Interaktionseffekte varianzanalytisch ausgewertet (Bild 19).

Das P1 Potenzial der gemittelten Aktivität erreicht für die jüngere Probandengruppe in den Durchgängen mit Warnhinweisreiz im Mittel ein Maximum bei 124 ms, bei den Älteren bei 140 ms (vgl. Bild 20). Eine individuelle Bestimmung der Maximalamplitude war aufgrund der teilweise sehr geringen oder mehrgipfligen Ausprägungen des Potenzials nicht zuverlässig möglich. Für die Analysen wurden der Mittelwert eines 50 ms-Zeitfensters, das auf 25 ms vor und nach der Maximalamplitude des über alle Probanden gemittelten Aktivierungsverlaufs festgelegt wurde (Jüngere: 99-149 ms, Ältere: 115-165 ms, (vgl. Bild 20).

Es zeigten sich größere Amplituden der P1 in den Durchgängen, in denen der Zielreiz auf der linken

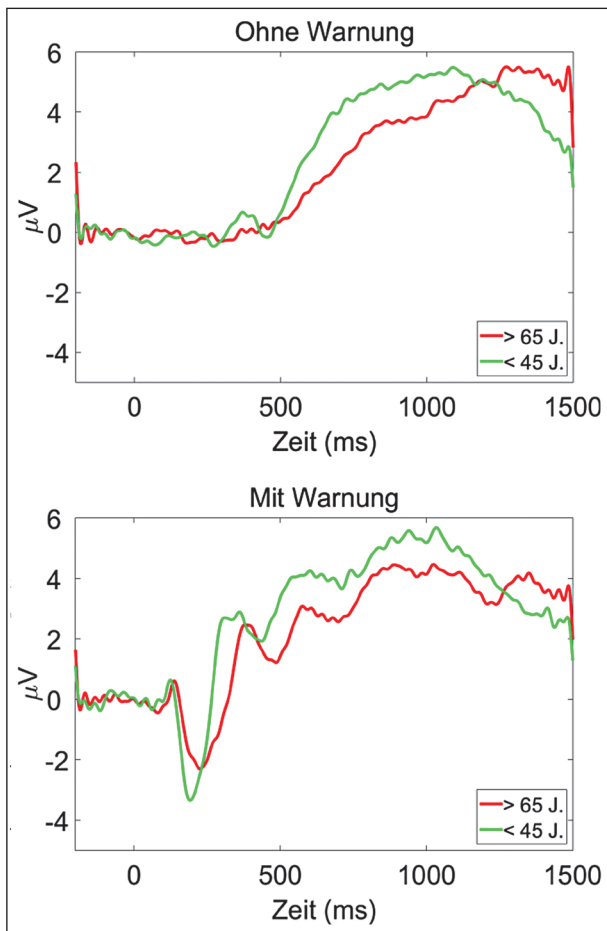


Bild 19: Mittlerer Amplitudenverlauf an der Elektrode Oz bei der Altersgruppen (< 45 in grün; > 65 in rot) für die Bedingung mit (oben) und ohne (unten) Hinweisreiz

Seite des visuellen Feldes präsentiert wurde, $F(1, 28) = 6.46$, $p = .017$ (vgl. Bild 22). Es zeigten sich keine weiteren signifikanten Effekte oder Interaktionen. Im Zeitbereich der N1 lag das Maximum der gemittelten Aktivität in der jüngeren Probandengruppe bei 192ms und bei der älteren Teilnehmergruppe bei 228ms. Hieraus ergaben sich die folgenden, in Relation zum Zielreiz gewählten Zeitfenster, aus denen die gemittelte Aktivität in die Analysen einging: 167-217 ms für die Jüngeren und 203-253 ms für die Älteren (vgl. Bild 21). Signifikant größere Amplituden wurden bei der Darbietung eines zentralen Hinweisreizes gemessen, $F(1, 28) = 42.22$, $p < .001$. Es ergaben sich keine weiteren signifikanten Haupteffekte oder Interaktionen.

5.6 Diskussion EEG

Altersbedingte Unterschiede in der Verarbeitung zentraler Hinweisreize

In dieser Studie war von Interesse, ob sich zwischen den Altersgruppen Unterschiede in den frü-

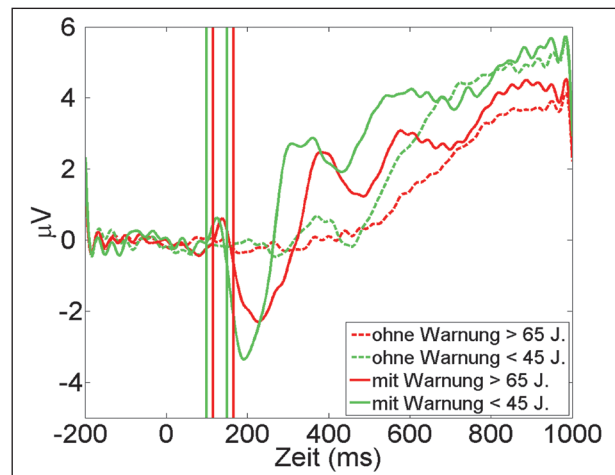


Bild 20: Mittlerer Amplitudenverlauf an POz, vertikale Linien zeigen in der jeweiligen Farbe der Probandengruppe das Zeitfenster für die P1, das in die Analyse einging

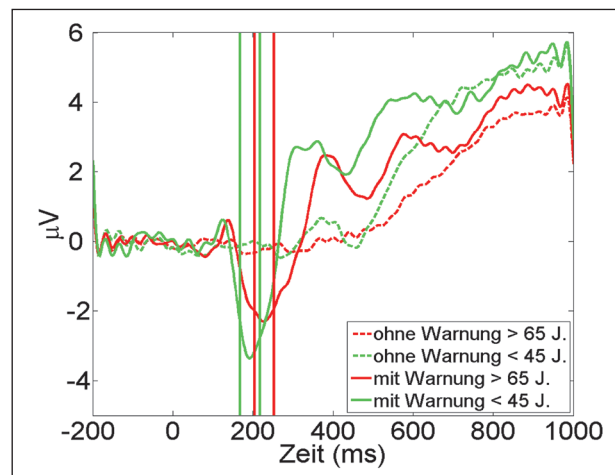


Bild 21: Mittlerer Amplitudenverlauf an POz, vertikale Linien zeigen in der jeweiligen Farbe der Probandengruppe das Zeitfenster für die N1, das in die Analyse einging

hen Verarbeitungsstufen finden lassen (siehe Forschungsfragen EEG). Die Ausprägungen der P1 und N1 unterschieden sich in der Bedingung mit Hinweisreizen nicht zwischen den Gruppen. Die visuell sichtbare breitere Aktivierung mit einer späteren N1-Peak-Amplitude im mittleren Verlauf der älteren Probanden weist jedoch auf eine höhere Varianz in den Ausprägungen und den Latenzen des Potentials innerhalb dieser Probandengruppe hin.

Die Unterschiede im zeitlichen Verlauf konnten nicht statistisch analysiert werden, da keine verlässliche individuelle Latenzbestimmung möglich war. Gerade bei durchschnittlich kleineren Potentialen, wie die der N1 und P1, wird die reliable Bestimmung des Zeitpunkts der maximalen Latenz pro Person und Bedingung durch ein individuell hohes Signal-Rauschverhältnis und einen oftmals nicht kanonischen Verlauf erschwert (vgl. KIESEL, MILLER,

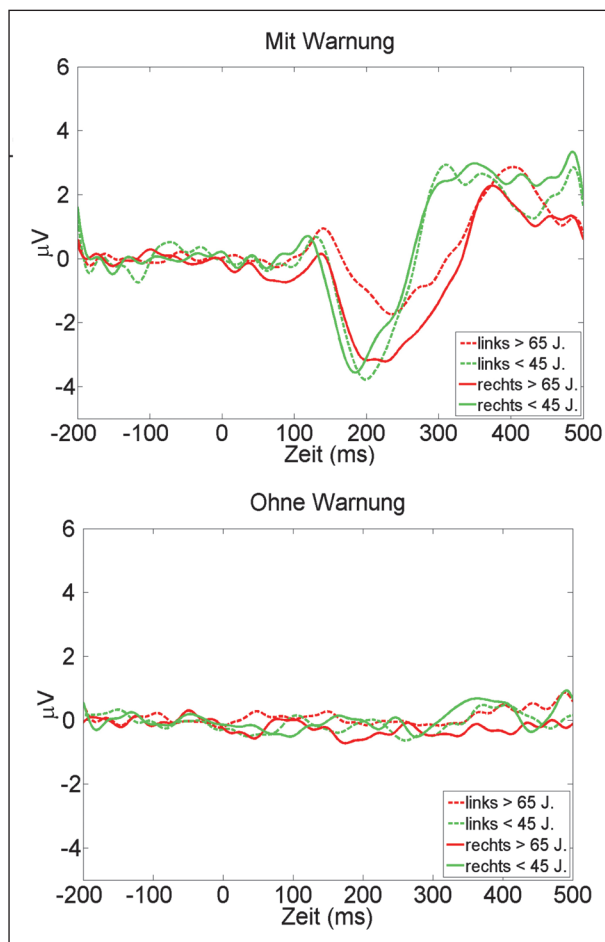


Bild 22: Seitenunterschiede der P1 im mittleren Amplitudenverlauf für die Bedingung mit (oben) und ohne (unten) Warnhinweis.

JOLICØ EUR & BRISSON, 2008; LUCK, 2005). Da die Identifikationskriterien einer eindeutigen Latenzbestimmung nicht für alle Datensätze dieser Studie umgesetzt werden konnten, wurde von einer Auswertung abgesehen. Die im Mittel ersichtlichen Unterschiede zwischen den Altersgruppen können jedoch als Hinweis dafür gewertet werden, dass die durch die N1 widergespiegelten Prozesse der früheren Informationsverarbeitung bei der Gruppe der älteren Versuchsteilnehmer und Teilnehmerinnen deutlich verspätet einsetzt.

Für diese Ergebnisse muss jedoch die für eine Analyse dieser frühen Potentiale mit geringer Amplitudenausprägung niedrige Trial-Anzahl beachtet werden. Das vorliegende Paradigma war aufgrund der Komplexität der Durchgänge primär auf die Interpretation von Reaktionszeitunterschieden und die Analyse des robusteren P3-Potentials ausgelegt und sollte für detailliertere Folgestudien der frühen Potentiale und adäquate Latenzbestimmungen entsprechend angepasst werden.

Seiteneffekte der P1

In den Forschungsfragen (Kapitel 3.4) wurde formuliert, dass eventuelle Unterschiede der Amplituden oder Latenzen der frühen Potentiale, die durch die unilaterale Präsentation auftreten könnten, zu analysieren sind. Der Seiteneffekt zeigte sich als erhöhte Amplitude, unabhängig von der Warnung und der Altersgruppe im Zeitfenster der P1 für Reize mit linker Präsentationsseite. Der in Kapitel 3.3 thematisierte größere Schinkel für Fahrzeuge von links kann für diesen Effekt nicht erschöpfend als Erklärung dienen, da sich, im Gegensatz zu den Bremsreaktionszeiten (siehe folgendes Kapitel 5.7), hier im EEG kein Interaktionseffekt von Warnung und Seite und somit auch für die konstant zentral dargebotenen Hinweisreize zeigte. Eine mögliche Erklärung dieses Unterschieds könnte ein ähnliches Phänomen sein, wie es als sogenannter Simon-Effekt bekannt ist (z. B. HEDGE & MARSH, 1975; SIMON, 1969).

Decken sich Stimulations- und Reaktionsseite, werden generell kürzere Zeiten für eine Reaktion in einer Wahlreaktionsaufgabe gemessen. Im hier vorliegenden Paradigma, welches allerdings einer einfachen Reaktionsaufgabe entspricht, musste immer mit dem rechten Fuß auf Objekte von links und rechts reagiert werden und es zeigten sich damit konforme längere Reaktionszeiten für Objekte von links. In Bezug auf die EKP-Messungen ist der Einfluss dieses Effekts eher für spätere Verarbeitungsstufen bekannt (z. B. VALLE-INCLÁN, 1996; für eine Überblicksarbeit siehe LEUTHOLD, 2011) und wäre für die P3-Potenzial zu erwarten gewesen. Die beobachtete Modulation der frühen Reizverarbeitung, die durch die P1 abgebildet wird, könnte andeuten, dass schon in dieser früheren Stufe der perzeptuellen Verarbeitung des Reizes Lateralitätseffekt einen Einfluss haben. Da es sich hierbei um einen für diese Verarbeitungsstufe untypischen Effekt handelt, könnte dieser kontrolliert in anderem Rahmen näher untersucht werden.

Es zeigten sich keine statistisch signifikanten Interaktionen zwischen der Präsentationsseite und Altersgruppe, auch wenn diese bei der Betrachtung der grafischen Abbildung (vgl. Bild 22) vermutet werden könnten.

Vergleich von peripheren und zentralen Zielreizen

In den Forschungsfragen wurde die Erwartung formuliert, dass keine ausgeprägten frühen Potentiale für die peripheren Reize auftreten. Insgesamt ließen sich die frühen Potentiale der visuellen Reiz-

verarbeitung nur für die Bedingung mit zentral präsentem Hinweisreiz abbilden. Jedoch zeigte sich ein signifikanter Effekt nur im Zeitfenster der N1. Interessanterweise treten die N1-Effekte üblicherweise in Paradigmen auf, in denen eine Diskrimination des Zielreizes stattfinden muss (z.B. MANGUN, 1995). In der hier vorliegenden Aufgabe waren die Probanden dazu aufgefordert, möglichst schnell auf die immer gleich gestalteten Hinweisreize zu reagieren und es musste nicht zwischen verschiedenen Warnungen unterschieden werden. Dies scheint darauf hinzuweisen, dass für die Verarbeitung der Warnung aus dem Darbietungsfluss der komplexen visuellen Szenerie, und der damit verbundenen Determination der Handlungsrelevanz, Diskriminationsprozesse benötigt werden, die einer Wahl-Reaktionsaufgabe ähneln. In den Bedingungen ohne Warnung scheinen diese Prozesse nicht bzw. mit einer geringer Konstanz aufzutreten. Ein möglicher Erklärungsansatz liefert die Ausrichtung des vorliegenden Paradigmas. Die Probanden und Probandinnen waren durch die Fahraufgabe dazu aufgefordert, die Aufmerksamkeit zentral auf den Straßenverlauf zu richten. Erschien der Warnhinweis in diesem Bereich, zeigte sich in den neurophysiologischen Daten gesteigerte räumliche Verarbeitungsprozesse (z.B. LUCK & HILLYARD, 1995), die für peripher dargebotene und somit nicht im Aufmerksamkeitsfokus liegende Reize nicht gemessen wurden. Bei diesem Ergebnis muss jedoch berücksichtigt werden, dass eine Konfundierung mit den unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften der Zielreize (rotes ACHTUNG! und graues Auto) nicht ausgeschlossen werden kann.

Zusätzlich ist für die Interpretation der Aktivierungsverläufe der Bedingung ohne Hinweisreiz bedeutsam, dass die Auswertung immer in Relation zur initialen Präsentation des Fahrzeugs stattfand. Dies bedeutet jedoch nicht, dass diese berücksichtigte zeitliche Referenz mit dem Zeitpunkt der Wahrnehmung übereinstimmt. Demnach wurden in dieser Bedingung die Daten in Bezug auf das Auftauchen des Fahrzeuges und nicht in fester Relation zum Zeitpunkt der tatsächlichen Wahrnehmung des Reizes ausgewertet. Für EKP-Messungen ist es bedeutsam, dass die Auswertungen möglichst phasenstarr und zumindest in fester zeitlicher Relation zum Auftreten des relevanten Ereignisses stattfinden, da durch Variabilität die in den Messungen generell kleiner ausgeprägten Effekte der frühen visuellen Wahrnehmung sich gegenseitig herausmitteln können und entsprechend in den Verläufen nicht

sichtbar werden. Dies zeigt wiederum, dass durch einen zentralen Warnhinweis eine konstantere frühere Verarbeitung des visuellen Zielreizes einsetzt, was durch die deutliche Ausprägung der N1 abgebildet wird. Wie in Kapitel 5.5.5 ausgeführt, musste auf eine Interpretation der späteren Potenziale wie der P3 verzichtet werden, sodass die zu diesem Thema formulierte Forschungsfrage nicht beantwortet werden kann. Im Hinblick auf das in den Forschungsfragen formulierte Ziel, Erkenntnisse zur Realisierbarkeit derartiger Studien im Fahr Simulator zu gewinnen, ist dies für zukünftige Forschung bedeutsam. In der zusammenfassenden Diskussion beider Studien (Kapitel 7) finden sich auch daraus folgenden Empfehlungen für etwaige EEG-Folgestudien.

5.7 Diskussion der Verhaltens- und Blickdaten der kombinierten Studie mit EEG

In der ersten Forschungsfrage zu den Brems- und Blickdaten wurde erwartet, dass in der Bedingung mit Warnung schneller reagiert wird als in der Bedingung ohne Warnung. Da sich übereinstimmend hiermit für die Bremsreaktionszeiten ein signifikanter Haupteffekt der Warnung ergab, kann geschlossen werden, dass die Veränderung des Laborparadigmas hin zum Fahren im Fahr Simulator erfolgreich war. Obwohl verglichen mit der Vorgängerstudie die Fahrumgebung viel realistischer war, die bilateralen LEDs durch Objekte in der Simulation ersetzt wurden und sich der Kopf des Probanden frei bewegen konnte, traten die erwarteten Effekte in den Verhaltensdaten auf. In Durchgängen mit Warnung wurde schneller gebremst als in solchen ohne Warnung.

Eine wichtige Annahme des Versuchs lautete, dass die erscheinenden Fahrzeuge tatsächlich peripher gesehen, d.h. nicht fixiert werden. Die explorative Blickbewegungsanalyse (Sichtung der Videos) ergab nur sehr wenige Fixationen auf den Warnungen oder den Fahrzeugen, was bedeutet, dass die Instruktionen von den Probanden gut umgesetzt wurden und die Annahme zutraf. Es ergab sich folgendes Muster in den Blickdaten: Nur ganz am Anfang des Trainings schauten die Versuchsteilnehmer direkt auf die vorfahrtsberechtigten Fahrzeuge. Danach hielten sie den Blick, auf eine Kreuzung zukommend, nach vorne gerichtet. In den Daten ließen sich Sakkaden in Richtung der Fahrzeuge beziehungsweise der Warnungen erkennen, zum ei-

nen direkt nachdem diese erschienen waren, und andererseits nach dem Farbwechsel. Es fehlten zwar manche Datenpunkte, sodass die Qualität nicht als gut bezeichnet werden kann, jedoch schien es lohnenswert, trotzdem (mit der nötigen Vorsicht beim Ziehen von Schlüssen) eine Reaktionszeitanalyse durchzuführen, um eventuelle Tendenzen erkennen zu können. Diese Analyse bezog sich auf die Zeitpunkte des Einblendens von Fahrzeug und/oder Warnung. Die auswertbaren Sakkadenreaktionszeiten waren mit Warnung kürzer als ohne Warnung, sodass dies zu den Bremsreaktionseffekten sowie zur Forschungsfrage passte.

Übereinstimmend mit der Erwartung der Forschungsfrage zu Altersunterschieden, in der angenommen wurde, dass Ältere langsamer reagieren als Jüngere, zeigten sich beim Bremsen ähnliche Alterseffekte wie in den Vorgängerstudien. Senioren wiesen signifikant längere Bremsreaktionszeiten auf als die jüngere Kontrollgruppe. Entgegen der aus der Literatur (z.B. WELLER, 2013) herrührenden Vermutung, dass dies auch auf die Blickbewegung zutreffen könnte, fand sich in den Sakkaden kein Alterseffekt. Zwar wurde eine Wechselwirkung der Faktoren „Seite“ und „Altersgruppe“ gefunden, nach der die Sakkadenreaktion der Senioren bei Stimuli von links langsamer erfolgte, die der Kontrollgruppe nach links etwas schneller, jedoch sollte aufgrund der oben erwähnten nicht sehr guten Datenqualität hier nicht zu viel interpretiert werden.

Die dritte Frage lautete, ob, wie aus den Vorgängerstudien vermutet, die Warnung bei den Senioren eine stärkere Wirkung hat als bei der Kontrollgruppe, ob sich also ihre Reaktionszeiten im Verhältnis stärker reduzieren. Tatsächlich fanden sich Interaktionen zwischen den Faktoren Warnung und Altersgruppe in den Bremsreaktionen, die darauf hinweisen, dass Senioren noch mehr von einer solchen Warnung profitieren könnten.

Weiterhin musste zusätzlich die Frage nach einem Effekt der Seite beachtet werden, das heißt, ob die erwähnte leichte Verschiebung der Sehwinkel des Auftauchens der Fahrzeuge Auswirkungen hatte. In den Bremsdaten fand sich, dass die Reaktion bei von rechts kommenden Fahrzeugen schneller war als für diejenigen von links. Zudem ergab sich eine Interaktion für Warnung und Seite, d.h. der Unterschied zwischen beiden Seiten war ohne Warnung deutlicher. Da die Warnung links und rechts genau im gleichen Abstand von der Bildschirmmitte angezeigt wurde, Fahrzeuge von links jedoch weiter au-

ßen erschienen als von rechts, passt dieser Effekt zu der Verschiebung.

6 Eyetracking-Fahrsimulator-Studie

6.1 Probanden

Im zweiten Teil wurde ein abgewandelter Versuch mit weiteren 40 Teilnehmern (20 je Altersgruppe) durchgeführt, diesmal ohne EEG-Messung. Rekrutierung, Auswahl und Screening der Senioren (ab 65 Jahre) und Kontrollpersonen (23-45 Jahre) erfolgten auf die selbe Weise wie bei der kombinierten ersten Studie mit EEG, sodass zur besseren Übersichtlichkeit auf den Kapitel 5.1 verwiesen wird.

6.2 Versuchsdesign

Hierbei war das Ziel eine realitätsnähere Evaluation der Wirkung eines solchen möglichen Sehfeld-Fahrerassistenzsystems. Aufgrund der EEG-Messung im ersten Teil konnte dort nur ein Szenario umgesetzt werden, indem die Fahrer nie Vorfahrt hatten und somit sehr vorhersehbar immer bremsen mussten, wenn ein Fahrzeug erschien. Diesmal wurde den Teilnehmern und Teilnehmerinnen kurz vor der jeweiligen Kreuzung durch Straßenschilder in der Simulation angezeigt, ob sie auf der jeweils kommenden Kreuzung Vorfahrt gewähren mussten oder Vorfahrt hatten (siehe auch Kapitel 6.3).

Die Umgebung wurde angereichert und mit mehr Details wie verschiedenen Häusertypen und Bepflanzung versehen. Die Anzahl der Stimulusereignisse (Kreuzungen) wurde erheblich auf ein natürlicher wirkendes Szenario reduziert (das Zeitintervall zwischen zwei relevanten Kreuzungen betrug eine bis drei Minuten, vgl. Kapitel 6.3.2). Die Fahrzeuge erschienen auch hier von links oder rechts, es gab Nullsituationen, diesmal ergänzt durch nicht-rechtwinklige Querstraßen und Variationen in den zeitlichen Abständen, sodass die Ereignisse weniger vorhersehbar waren. Insgesamt kamen zu gleichen Teilen Kreuzungen mit Vorfahrt und ohne Vorfahrt im Versuch vor.

Die Verhaltens- und Blickbewegungsdaten wurden analog zum ersten Teil erhoben. In dieser realistischer wirkenden Simulation galt es wiederum, die Auswirkung eines zentral eingeblendeten Hinwei-

	Je für Senioren / Kontrollgruppe	
Keine Vorfahrt, mit Warnung im HUD	Links	8
	Rechts	8
Keine Vorfahrt, keine Warnung	Links	8
	Rechts	8
Summe relevanter Trials	32	
Kreuzungen mit Vorfahrt für VP, ohne Ereignis, und/oder nicht rechtwinklig	64	
Gesamt	96	

Tab. 6: Trials für die Verhaltensdatenmessung in Studie 2

ses auf die Bremsreaktion zu untersuchen und auf diese Weise dazu beizutragen, den Nutzen einer solchen Warninformation zur Unterstützung der peripheren Wahrnehmung zu eruieren. Es kam wiederum der 2x2x2-Versuchsplan des ersten Teils mit denselben unabhängigen Variablen zum Einsatz, die abhängigen Variablen jedoch ohne EEG.

6.3 Versuchsablauf

6.3.1 Vortests und Training

Wie in der ersten Teilstudie mit EEG absolvierten die Versuchspersonen den Peripheren Sehtest des Wiener Testsystems, gegebenenfalls den Snellen-Sehschärfetest und den MoCA-Test zur kognitiven Leistungsfähigkeit. Jeder Teilnehmer wurde ausführlich schriftlich und mündlich instruiert und führte ein mehrminütiges Training durch, um die Aufgabe zu verinnerlichen sowie Simulatorübelkeit abzutesten.

Nach dem Training sowie nach dem ersten Versuchsblock bekam jeder den SSQ-Fragebogen. Bei Verdacht auf Übelkeit haktten die Versuchsleiter entsprechend nach und boten gegebenenfalls Maßnahmen wie Warten, frische Luft, Getränke oder Abbruch an.

6.3.2 Fahraufgabe

Im Hauptversuch im Fahr Simulator mit Blickbewegungsmessung durchfuhren die 20 älteren und 20 jüngeren Teilnehmerinnen und Teilnehmer eine etwas komplexere Szenerie mit verschiedenen Vorfahrtssituationen an insgesamt weniger Kreuzungen in größerem Abstand. Bei einem Teil der Kreuzungssituationen hatten die Probanden Vorfahrt, beim anderen nicht, was jeweils vorher durch ein Straßenschild angezeigt wurde (Vorfahrt gewähren / Nächste Kreuzung Vorfahrt). Es musste nur dann



Bild 23: Proband bei Studie 2 mit Blickerfassung

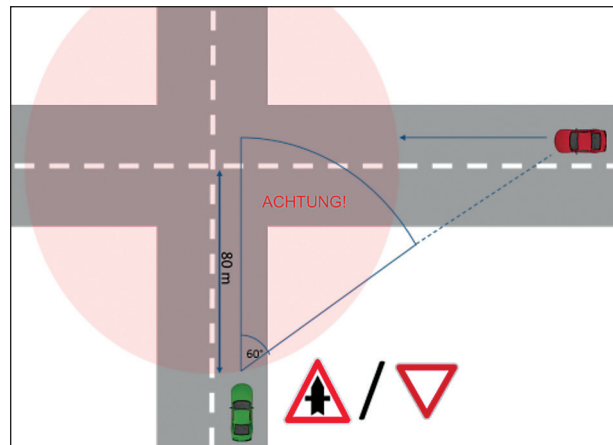


Bild 24: Kreuzungssituation Eyetracking-Studie

gebremst werden, wenn an einer Kreuzung ohne Vorfahrt ein Fahrzeug (mit oder ohne gleichzeitige Warnung) in der Peripherie auftauchte. Diese Fahrzeuge überquerten dann die Kreuzung. Wenn keine Vorfahrt gewährt werden musste, erschien auch keine Warnung, und die Fahrzeuge hielten automatisch an der Kreuzung, um die Probanden vorbeizulassen. Wieder wurden sie instruiert, beide Pedale mit dem rechten Fuß zu betätigen. Diesmal wurden nur Bremsreaktionen und Blickbewegungen erhoben. Es gab keinen Farbwechsel des Fahrzeugs (Bild 23, Bild 24).

Auch in diesem Studienteil erschienen die Fahrzeuge von links in einem etwas größeren Winkel als von rechts. Von links erschienen sie im Mittel bei 66° ($SD = 3.9^\circ$), von rechts bei 57° ($SD = 4^\circ$).

6.4 Auswertung und Ergebnisse

Die Vorverarbeitung und Aufbereitung der Brems- und Blickdaten entsprach dem Vorgehen in der ers-

Gruppe	N	M	sd	♂	♀
Jüngere	19	33	5,6	13	6
Ältere	16	69	2,6	9	7

Tab. 7: Deskriptive Statistik Bremsdaten für Eyetracking-Studie

Gruppe	N	M	sd	♂	♀
Jüngere	18	32	5,7	12	6
Ältere	13	70	2,7	7	6

Tab. 8: Deskriptive Statistik Blickerfassung für Eyetracking-Studie

ten, kombinierten EEG-/Eyetracking-Studie, vgl. hierzu Kapitel 5.4.1.

6.4.1 Deskriptive Statistiken

Stichproben

An diesem Experiment nahmen insgesamt 46 Versuchspersonen teil, von denen 35 auswertbare Simulatordaten lieferten. Der hauptsächliche Ausschlussgrund war hierbei Übelkeit im Simulator ($n = 7$). Des Weiteren mussten drei vollständige Datensätze aus der Auswertung entfernt werden, weil die Probanden die Aufgabenstellung nicht zufriedenstellend lösen konnten (z. B. wegen ständigem, viel zu spätem oder ausbleibendem Bremsen). Die Teilnehmer wurden in 2 Gruppen aufgeteilt (19 jüngere, 16 ältere). Das Mindestalter der jüngeren Versuchsgruppe betrug 23, das Höchstalter 44 Jahre. In der älteren Versuchsgruppe lag das Mindestalter bei 65, das Höchstalter bei 75 Jahren. In Tabelle 7 sind der Altersdurchschnitt, die Standardabweichung, sowie die Geschlechterverteilung zu ersehen.

Bei einigen Versuchspersonen funktionierte die Blickerfassung nicht zufriedenstellend. Für eine statistische Analyse der Blickdaten mussten diese (insgesamt 4) ebenfalls aus dem Datensatz entfernt werden. Der resultierende Datensatz für die Blickdaten ist in Tabelle 8 beschrieben.

Der Bildungsstand in beiden Altersgruppen war annähernd ausgeglichen. In der jüngeren Gruppe befanden sich 15 Teilnehmer mit Abitur oder Studienabschluss, in der älteren Gruppe 13.

Simulatorübelkeit, Abbrecher

Wie in der EEG-Studie lagen die SSQ-Werte nach dem ersten Versuchsblock jeweils etwas höher als nach dem Training. Dies betrifft Subskalen und Gesamtscores gleichermaßen. Die Gruppe der älteren Versuchsteilnehmer erreichte insgesamt höhere SSQ-Werte, also stärkeres Unwohlsein, als die

Kontrollgruppe. Auf der Subskala der okulomotorischen Symptome wurden meistens die höchsten Werte erzielt.

Sieben Versuchspersonen brachen den Versuch aufgrund von Übelkeit ab und mussten nacherhoben werden. Davon gehörten fünf zur älteren und zwei zur Kontrollgruppe. Sieben Personen klagten über Übelkeit oder Schwindel, brachen den Versuch jedoch nicht ab. Diese Personen erreichten SSQ-Gesamtwerte zwischen 6 % und 40 % ($m = 29$ %, gemessen nach dem Versuch).

6.4.2 Vortests

MoCA (Montreal Cognitive Assessment)

In Studie 2 lag der MoCA-Gesamtscore bei $m = 28.5$ ($SD = 1.47$) bei der Kontrollgruppe bzw. bei $m = 28.1$ ($SD = 1.2$) bei der älteren Gruppe von Versuchspersonen. Der Unterschied war nicht signifikant (2-seitiger t-test für unabhängige Stichproben). Keine Versuchsperson musste aufgrund des MoCA vom Versuch ausgeschlossen werden, denn alle erreichten Werte von mindestens 23.

Sehfeld (PP, Wiener Testsystem)

Bei den Teilnehmern der Kontrollgruppe ergab sich eine mittlere Sehfeldgröße von $m = 171^\circ$ ($SD = 16.7$) bei den Senioren waren es $m = 154^\circ$ ($SD = 11.2$); auch hier musste niemand ausgeschlossen werden, denn alle erreichten die zum Führen eines Kraftfahrzeuges nötigen 120° . Bei beiden Gruppen war das Sehfeld wiederum nach links etwas stärker begrenzt als nach rechts, die Differenz zum rechten Sehfeld lag bei $\Delta = 1.9^\circ$ (Kontrollgruppe) bzw. $\Delta = 2.8^\circ$ (Senioren). Der Unterschied bzgl. der Größe des gesamten Sehfeldes zwischen den beiden Altersgruppen ist signifikant ($t(33) = 3.4$, $p = .002$).

6.4.3 Bremsreaktionszeiten

Für jede der 35 Versuchspersonen wurden die 32 relevanten Trials ausgewertet, das heißt: Die Kreuzungen, an denen sie bremsen mussten, um Vorfahrt zu gewähren. Die Probanden absolvierten demnach insgesamt 1.120 auswertungsrelevante Trials. Von diesen waren insgesamt 98,67 %, (1.105 Vorfahrtssituationen) erfolgreich, die durchzuführende Bremsung fand in angemessener zeitlicher Nähe zum Erscheinen des Fahrzeugs statt. Einige wenige Fehlreaktionen gab es an Kreuzungen, an denen eigentlich nicht gebremst werden musste; diese Durchgänge sind jedoch nicht von Interesse

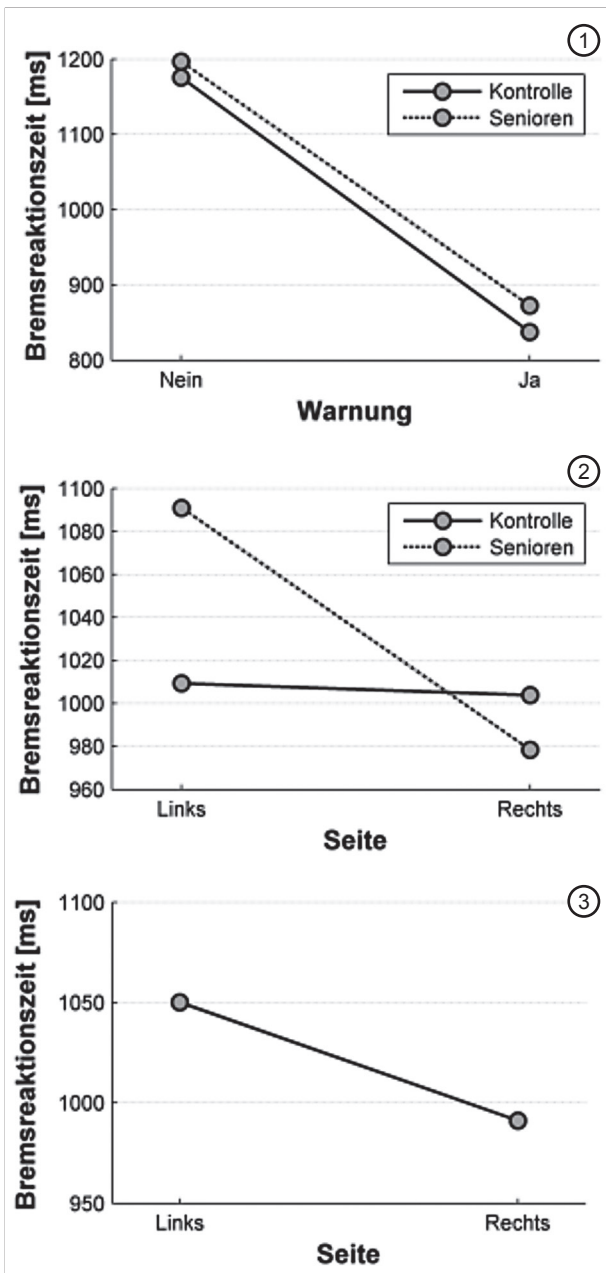


Bild 25: Haupt- und Interaktionseffekte in den Bremsreaktionszeiten: Warnung und Gruppe (1); Seite und Gruppe (2); Seite (3)

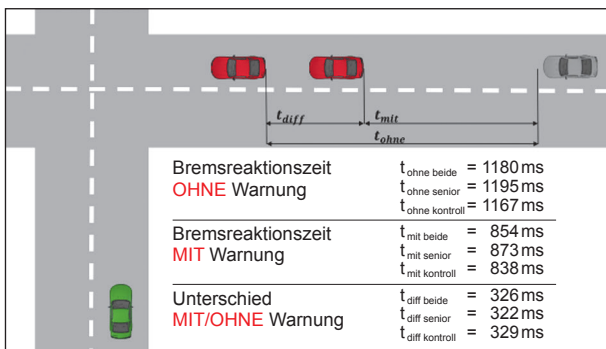


Bild 26: Vergleich der Bremsreaktionszeiten mit bzw. ohne Warnung für die jeweiligen Gruppen

für die Fragestellung. So braucht auch hier keine systematische Analyse der Auslassungen erfolgen.

Per mehrfaktorieller ANOVA mit Messwiederholung wurden die Faktoren „Altersgruppe“, „Warnung“ und „Richtung des Fremdfahrzeugs“ auf ihre Auswirkungen auf die abhängige Variable (Bremsreaktionszeit) überprüft (siehe Bild 25). Es zeigte sich ein signifikanter Haupteffekt für den Faktor „Warnung“ ($F_{1,33} = 54, p < .001, \mu_p^2 = 0.621$) sowie für die Seite, aus der das Fremdfahrzeug erschien ($F_{1,33} = 7.6, p = .009, \mu_p^2 = 0.187$). Somit waren die Reaktionszeiten mit Warnung kürzer als ohne, und für links länger als für rechts. Die Altersgruppen unterschieden sich diesmal nicht signifikant (die Senioren reagierten nur tendenziell langsamer), jedoch bestand eine signifikante Interaktion der Faktoren „Seite“ und „Altersgruppe“ ($F_{1,33} = 6.26, p = .18, \mu_p^2 = 0.16$), was den Schluss zulässt, dass es in der Seniorengruppe einen größeren Seiteneffekt gab. Die Interaktion von „Seite“ und „Warnung“ wurde allerdings nicht signifikant. Ein grafischer Vergleich der Bedingungen findet sich in Bild 26.

6.4.4 Blickreaktionszeiten

Wie in der EEG-Studie wurde auch hier durch visuelle Inspektion eine explorative Analyse durchgeführt, mit derselben Tendenz: Schon kurz nach Beginn des Trainings fanden sich keine Fixationen mehr auf den Fremdfahrzeugen oder Warnungen, die Sakkaden jedoch zeigen sich öfter in der Richtung des Reizes. So wurde wie vorher die Zeitspanne zwischen dem Auftreten des Triggers und der ersten Sakkade gemessen und als Sakkadenreaktionszeit definiert. Allerdings lagen hier noch weniger Daten vor und die Datenqualität ließ gegenüber der ersten Teilstudie nach: In diese Analyse gingen 31 Datensätze ein, für die restlichen fehlen verwertbare Blickdaten. Von den 31 analysierten Datensätzen enthielten nur 14 (8 Jüngere, 6 Senioren) vollständige Daten zur Sakkadenauswertung, diese wurden weiter untersucht.

Mithilfe einer mehrfaktoriellen ANOVA mit Messwiederholung wurden die Innersubjekteffekte „Warnung“ und „Seite“ sowie der Zwischensubjektfaktor „Altersgruppe“ untersucht. Einzig für den Faktor „Warnung“ ergibt sich ein signifikanter Haupteffekt auf die Sakkadenreaktionszeit ($F_{1,12} = 13.6, p = .003, \mu_p^2 = 0.531$), siehe auch Bild 27.

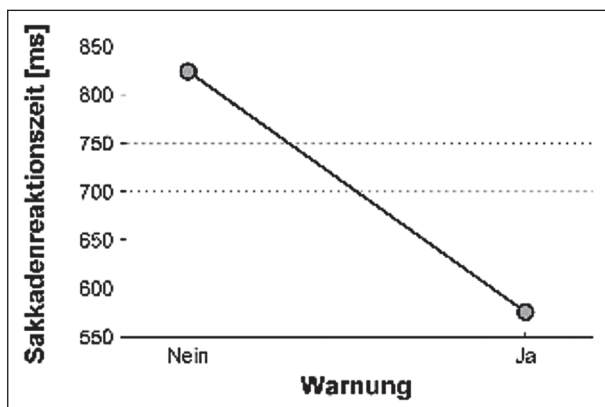


Bild 27: Haupteffekt der Warnung in den Sakkadenreaktionszeiten

6.4.5 Diskussion der Verhaltens- und Blickdaten der Eyetracking-Studie

Es wurde erhoben, ob auch in einer realitätsnäheren Fahrumgebung mit verschiedenen Situationen (bremsen / nicht bremsen) und mit weniger Trials wieder vergleichbare Effekte wie in der ersten Teilstudie beobachtet werden konnten. Die Forschungsfragen formulierten auch hierfür die Vermutung, dass die Blickreaktion mit Warnung schneller stattfindet als ohne Warnung. Wie auch in der ersten Studie konnten mittels Blickbewegungsmessung nicht genügend auswertbare Datensätze für eine aussagekräftige Analyse erzeugt werden. Dies lag zum einen an der geringeren Trialanzahl im Vergleich zur EEG-Studie, so dass bei einem ohnehin kleinen auswertbaren Anteil, dieser noch weiter schrumpfte. Somit können anhand der Blickbewegungsmessung zwar keine eindeutigen Schlüsse gezogen werden, die statistischen Ergebnisse werden hier jedoch berichtet. Die Blickbewegungsmuster aus der explorativen Analyse ergaben, dass der geradeaus gehende Blick vor den Kreuzungen jeweils durch die „Vorfahrt“ anzeigenden Straßenschilder unterbrochen wurde, da diese fixiert wurden. Es zeigte sich jedoch auch wieder wie in der ersten Teilstudie, dass nur ganz zu Anfang (im Training) die Fahrzeuge und Warnungen fixiert und somit normalerweise instruktionsgemäß peripher wahrgenommen wurden, so wie es im Versuch vorgesehen war. Oft ließ sich dabei eine etwas größere Sakkade in Richtung des Reizes (des Fahrzeugs oder der Warnung) erkennen. Insofern konnten in der explorativen Blickanalyse keine relevanten Unterschiede im Blickmuster zur ersten Studie festgestellt werden.

Für beide abhängigen Variablen wurde in den Forschungsfragen ein Haupteffekt der Warnung vermutet. Dieser konnte auch in der Eyetrackingstudie

in der erwarteten Richtung gefunden werden. Mit Warnung wurde schneller gebremst als ohne. Der zeitliche Abstand zwischen Warnung und den Sakkaden war hierbei kürzer als jener zwischen dem Erscheinen der Fahrzeuge (ohne Warnung) und den Sakkaden.

Für die Bremsreaktionszeiten zeigte sich ein Seiteneffekt. Wie in der Forschungsfrage aus den etwas unterschiedlichen Orten des Erscheinens der Fahrzeuge erwartet, wurde für Fahrzeuge von links etwas langsamer gebremst. Weiterhin gab es eine Interaktion zwischen Seite und Altersgruppe, was den Schluss zulässt, dass es in der Seniorengruppe einen größeren Seiteneffekt gab. Dies kann ein Hinweis darauf sein, dass den älteren Probanden das nur etwas weiter außen erscheinende Fahrzeug links deutlich mehr Probleme bereitet als den Jüngeren.

Im Eyetracking-Experiment konnte im Gegensatz zur ersten Studie keine Interaktion von „Seite“ und Warnung“ gefunden werden, obwohl der Seitenunterschied im Einblendewinkel nur das auftauchende Fahrzeug, nicht aber die Warnung betraf. In der zusammenfassenden Diskussion (Kapitel 7) wird hierauf weiter eingegangen.

Ein reiner Alterseffekt konnte entgegen der in den Forschungsfragen formulierten Erwartung weder in den Brems-, noch in den Blickdaten der zweiten Studie gefunden werden, d.h. die Senioren scheinen demnach generell nicht signifikant langsamer reagiert zu haben. Da dies jedoch den Erkenntnissen über altersbedingte Einschränkungen widerspricht (vgl. Kapitel 2.1) und auch in der kombinierten EEG-/Eyetrackingstudie anders gefunden wurde, ist es wahrscheinlich, dass andere Faktoren im Versuch zu diesem Ergebnis geführt haben. Gegebenenfalls sollte die Anzahl der relevanten Durchgänge erhöht werden.

7 Zusammenfassende Diskussion beider Studien

Es ist gelungen, die Ziele der Studie zu erreichen (siehe Kapitel 3.1) und die Fragestellung (siehe Kapitel 3.2 und 3.4) in einer laborartigen, aber realistischeren Fahrsimulatorumgebung sowohl mit als auch ohne EEG zu untersuchen. Ausgehend von den in Kapitel 2.4 beschriebenen Vorgängerstudien im Labor (HOFFMANN, FALKENSTEIN et al., 2013; HOFFMANN, WIPKING et al., 2013) konnte die

ökologische Validität gesteigert werden, denn das Fahren im Simulator war an eine tatsächliche Anwendungsmöglichkeit angelehnt, wobei trotz Bewegungsfreiheit des Kopfes EEG abgeleitet und zusätzlich Blickdaten erhoben werden konnten. So war es realisierbar, eine EKP-Analyse früher Komponenten in einer komplexen Testsituation, die natürliches Verhalten erlaubt, durchzuführen. Weiterhin kam die zweite Studie ohne EEG der Anwendung im Straßenverkehr ein Stück näher, denn hier wurden verschiedene Vorfahrtssituationen einbezogen.

In der Fragestellung der vorliegenden Studie ist formuliert worden, dass eine positive Wirkung des Assistenzsystem-Prototyps sich darin ausdrücke, dass Versuchsteilnehmer im Fahrsimulator schneller reagieren (siehe Kapitel 3.2). In beiden Studienteilen zeigte sich in den Haupteffekten, dass die Warnung bei 20° Sehwinkel wie erwartet kürzere Reaktionszeiten in Verhaltens- und Blickdaten zur Folge hatte. Mit Warnung wurde schneller gebremst und die Sakkaden in Richtung der Warnung erfolgten schneller als ohne Warnung in Richtung des Fahrzeugs. Diese Ergebnisse sind mit denen der Vorgängerstudien insofern vergleichbar, da die Probanden bei bilateralen Lichtreizen bei 60° Sehwinkel langsamer und weniger korrekt reagierten als bei 20° Sehwinkel.

Die EKP-Effekte der Warnung in den frühen Potenzialen deuten darauf hin, dass durch die zentrale Präsentation von Warnhinweisen eine konstantere frühere Verarbeitung der visuellen Reize einsetzt. Dies bedeutet, dass mit einer solchen Warnung schon auf andere Fahrzeuge reagiert werden kann, wenn diese sich also noch in einem vergleichsweise großen Sehwinkel, bzw. in großem Abstand zur Kreuzung befinden.

Für die Verhaltensdaten zeigten sich Alters-Haupteffekte in der Reaktionszeit in der kombinierten Studie mit EEG, übereinstimmend mit den Ergebnissen der Vorgängerstudie: Die Gruppe der Älteren reagierte in beiden Bedingungen (mit und ohne Warnung) langsamer als die der Jüngeren.

In der zweiten Studie ohne EEG (Eyetracking-Studie) wurde dieser Unterschied nicht signifikant, einen Alterseffekt gab es nur in Interaktion mit der Seite. Da es in allen Vorgängerstudien Alterseffekte gab, ist dies überraschend. Eventuell sollte in ähnlichen Versuchen die Anzahl der auszuwertenden Trials erhöht werden, wobei wieder auf Realitätsnähe geachtet werden muss.

Bei beiden Studien zeigte sich ein ähnliches Muster in den Blickbewegungen: Instruktionsgemäß wurde der Blick geradeaus gerichtet, sodass die Stimuli peripher erkannt wurden. Kurz nach dem Erscheinen fand sich oft eine Sakkade in die entsprechende Richtung, wobei diese jedoch oftmals nicht in einer Fixation mündete. Insofern konnten in der explorativen Blickanalyse keine relevanten Unterschiede im Blickmuster zwischen der ersten und der zweiten Teilstudie festgestellt werden; ausgenommen die in der EEG-Studie gefundenen Sakkaden zum Farbwechsel des Fahrzeugs, den es in der zweiten Studie nicht gab. Die Blickbewegungsmuster weisen somit darauf hin, dass die zusätzliche Aufgabe der Farbnennung in der kombinierten EEG-Studie das Verhalten bis zum Bremsen nicht beeinflusst zu haben scheint.

Kleine Unterschiede im initialen Sehwinkel des Erscheinens, die in Abschnitt Seitenunterschiede in Kapitel 0 thematisiert werden, (ca. 4° mehr für Fahrzeuge von links), wirkten sich bei Älteren eher auf die Reaktionszeiten aus, was als Hinweis darauf interpretiert werden kann, dass dies tatsächlich der Randbereich ihres in dieser Fahraufgabe nutzbaren Sehfeldes war, was wiederum die Vorgängerstudien (HOFFMANN, FALKENSTEIN et al., 2013) bestätigt. Zwar wurden im Peripheren Sehtest des Wiener Testsystems größere Sehfelder als 120° auch für die Älteren gemessen, jedoch fällt das nutzbare Sehfeld je nach Aufgabe anders aus (u. a. SEKULER et al., 2000).

Es ist weiterhin offen, womit ein „Seiten“-Haupteffekt, wie er in Studie 2 in den Bremsdaten ohne Interaktion mit Warnung zu finden ist, erklärt werden kann. Prinzipiell wird erwartet, dass ein Interaktionseffekt auftritt, da die Warnung auf beiden Seiten im gleichen Sehwinkel bei 20° dargeboten wird, die Fahrzeuge aber peripher in leicht unterschiedlichen Winkeln auftauchen. Ein Seiteneffekt sollte demnach in der Bedingung ohne Warnung auftreten, folglich eine Interaktion zu finden sein. Wenn diese, wie hier, nicht auftritt, kann einerseits argumentiert werden, dass Verkehrsteilnehmer/-innen generell daran gewöhnt sind, sich nach rechts zu orientieren und dort heranfahrenden Fahrzeugen Vorfahrt zu gewähren. Andererseits ist auch nicht zu vernachlässigen, dass die Bremsreaktion immer mit dem rechten Fuß erfolgte. Hier finden sich möglicherweise Ähnlichkeiten mit dem Simon-Effekt (z.B. SIMON, 1969; HEDGE & MARSH, 1975), der besagt, dass bei einer Wahlreaktionsaufgabe die Reaktion langsamer erfolgt, wenn auf der dem Stimulus ge-

genüberliegenden Körperseite reagiert werden muss. Decken sich Stimulations- und Reaktionsseite, werden generell kürzere Zeiten für eine Reaktion in einer Wahlreaktionsaufgabe gemessen. Im hier vorliegenden Paradigma, welches einer einfachen Reaktionsaufgabe entspricht, musste immer mit dem rechten Fuß auf Objekte von links und rechts reagiert werden und entsprechend zeigten sich die längeren Reaktionszeiten für Objekte von links. Einen weiteren Hinweis in diese Richtung könnte die Messung des Wiener Testsystems geben, wobei die meisten Probanden mit dem rechten Fuß reagierten; hier wurde links, insbesondere bei Senioren, ein kleineres Sehfeld gemessen.

Bedingt durch das Paradigma, insbesondere durch das periphere Erkennen der Stimuli, waren (nicht überraschend) nur wenige Sakkaden statistisch auswertbar. Deshalb sollten die statistischen Analysen, besonders für Studie 2, nur sehr vorsichtig interpretiert werden. So wurde hier nur ein Haupteffekt, der der Warnung, gefunden: Mit Warnung erfolgte die Sakkade in die entsprechende Richtung schneller als ohne Warnung in Richtung des peripher erschienenen Fahrzeugs. Nach den vorliegenden Ergebnissen ist allerdings zu überlegen, ob nicht mit mehr relevanten Trials in einer Eyetracking-Studie eine Verbesserung der Datengüte erreicht werden könnte.

Nach den vorliegenden Ergebnissen ist nicht zu erwarten, dass ausschließlich die Senioren von der Warnung profitieren, sondern dass beide Altersgruppen schneller reagieren können. Die Interaktion von Warnung und Altersgruppe in den Bremsdaten des EEG-Experiments legt jedoch die Interpretation nahe, dass Senioren mehr profitieren. Ältere reagieren insgesamt eher langsamer als Jüngere (wobei dies hier nur im ersten Experiment signifikant wurde) – das heißt, dass die Warnung dazu beiträgt, die oft zu lange Reaktionszeit von Senioren signifikant zu verringern. Ein solches Assistenzsystem scheint für Senioren dadurch besonders nutzbringend zu sein.

Es kann als ein deutlicher Erfolg gewertet werden, dass in einer Fahrsimulatorstudie mit älteren Versuchspersonen relativ wenige Abbrüche aufgrund von Simulatorübelkeit nötig waren (5 bzw. 7 Personen). Dies wird einerseits darauf zurückgeführt, dass das Szenario im Simulator bewusst so gestaltet war, dass bekannte Übelkeitstrigger minimiert waren: Wenige Kurven, keine engen Kurven, weiter Ausblick in die Landschaft, keine nah vorbeiziehenden hohen

Häuserwände und Ähnliches. Andererseits war es durch das Telefon- bzw. Online-Screening, in dem verschiedene Formen der Reiseübelkeit abgefragt wurden möglich, Personen mit entsprechenden Angaben gar nicht erst einzuladen.

Zur EEG-Messung lässt sich zusammenfassen, dass (wie in Kapitel 5.6 sowie 3.4 beschrieben) nur die frühen Anteile der EKP interpretiert werden können. Unterschiede in den Verhaltensdaten lassen sich aufgrund der Ergebnislage nicht auf Unterschiede in der frühen visuellen Reizverarbeitung, die in der EKP-Analyse gefunden wurden, zurückführen. Hierbei müssen die geringen Trial-Anzahlen beachtet werden. Die Ergebnislage müsste bei Bedarf mit einer umfangreicheren ergänzenden EEG-Erhebung bestätigt werden. Dafür ergibt sich, dass insgesamt ein umfangreicheres Studiendesign nötig wäre, mit gezielterer Konzentration auf die EEG-Messung bei der Erstellung des Versuchsdesigns:

- Hohe Trialanzahl für eine Analyse der frühen Komponenten (Empfehlung z. B. LUCK, 2005: >400).
- Einbau von No-Go-Trials (beispielsweise ein weit entfernter Fahrradfahrer, für den nicht gebremst werden muss), damit erst reagiert wird, wenn das Fahrzeug als Zielreiz identifiziert wurde. Entsprechend müsste der Zielreiz zuerst identifiziert werden, bevor eine Bremsreaktion ausgeführt wird. Die Analysen würden sich dann nicht auf die Verarbeitung des Hinweisreizes konzentrieren, sondern gezielt auf einen Vergleich der Verarbeitung des Fahrzeugs mit und ohne vorherigen Hinweisreiz ausgelegt sein. Von besonderem Interesse wäre hierbei, ob die Potenziale der Reizverarbeitung des Fahrzeugs durch eine vorangehende Warnung moduliert werden.
- Die Verwendung einer größeren Anzahl (128+) Elektroden in komplexen (Fahrsimulator-) Erhebungen, sowie die Verwendung von Nacken-Elektroden könnte eine bessere Identifikation der Aktivität der Nackenmuskulatur ermöglichen.

Insgesamt erscheint es allerdings sinnvoll, tiefgehende Forschung zu den neuronalen Vorgängen von praktisch ausgerichteten, für die Industrie interessanten, weiteren Studien zu entkoppeln, um Anforderungen an das Versuchsdesign praktikabel zu halten. Auf letzteren Fokus, der praxisorientierten Entwicklung, wird im folgenden Fazit und den Ableitungen eingegangen.

8 Fazit und Ausblick

Wie im Stand der Forschung zum Thema FAS beschrieben (Kapitel 2.3), ist der Bedarf an Assistenzen und Forschung für ältere Autofahrer hoch (u. a. HAKAMIES-BLOMQVIST et al., 2004), besonders an Kreuzungen und Knotenpunkten, wo viel visuelle Information von allen Seiten relevant sein kann (HEINRICH et al., 2011). Betont werden muss wiederum, dass die Defizite älterer Fahrer oft nicht rein sensorischer Natur sind, sondern durch Probleme mit der Aufmerksamkeitsleistung entstehen. Da Senioren besonders häufig in komplexen Situationen verunfallen, in denen Hindernisse übersehen oder nicht alle Aspekte der Verkehrssituation erfasst werden (VOLLRATH & KREMS, 2011), gibt es viele Ansätze von Kreuzungsassistenzen, die (wie beispielsweise bei DOTZAUER et al., 2015) beim Abbiegen handlungsunterstützend wirken. Auf der Ebene der Unterstützung von Aufnahme relevanter Information kann hier eine Sehfeldassistentz dazu beitragen, dass Information von der Seite nicht gänzlich übersehen oder viel zu spät gesehen wird.

Ein Sehfeld-Warnsystem, welches aktiv wird, wenn seitlich etwas Fahrrelevantes auftaucht, wäre nach den hiermit vorliegenden Ergebnissen für alle Altersgruppen ein Gewinn, lässt jedoch besonders für ältere Fahrer auf eine erhöhte Verkehrssicherheit hoffen. Hierbei muss jedoch in der Entwicklung weiterhin beachtet werden, dass Ältere bei Assistenzsystemen teils andere Präferenzen haben oder anders reagieren als Jüngere (wie z. B. bei ROßNER et al., 2013 oder WILSCHUT et al., 2014). Die Interaktion von Warnung und Altersgruppe im ersten Experiment der vorliegenden Studie legt jedoch die Interpretation nahe, dass Senioren mehr profitieren. Ältere reagieren insgesamt eher langsamer als Jüngere – das heißt, dass die Warnung dazu beiträgt, die oft zu lange Reaktionszeit von Senioren zu verringern. Dass dies ein sinnvoller Ansatz ist, der fundiert auch auf den Erkenntnissen über die neuronale Verarbeitung beruht, kann nun nach den hierzu durchgeführten Studien schon bejaht werden.

Auch die Umsetzung in einem HUD kann nach den derzeitigen Erkenntnissen der Forschung (siehe Kapitel 2.3.3 und z. B. GISH & STAPLIN, 1995; POITSCHKE et al., 2008) als sehr gut geeignet bewertet werden.

Allerdings konnten mit den bisherigen Studien noch nicht alle offenen Fragestellungen geklärt werden, die relevant für die Entwicklung und tatsächliche

Anwendung derartiger Sehfeld-Assistenzsysteme sind. Um konkrete, praktisch umsetzbare Empfehlungen für die Assistenzsystem-Entwicklung abzuleiten, wird empfohlen, im Zuge der Entwicklung das Augenmerk auf folgende weitere wichtige Aspekte zu richten, wobei für diese die Ableitung von EEG nicht mehr notwendig wäre: Einerseits das Konzept bzw. die Art der Warnung, und andererseits der designseitige Umgang mit der Zuverlässigkeit der Warnung.

Letzteres bezieht sich darauf, dass eine Warnung eines Fahrerassistenzsystems in einer realen Fahrumgebung keine unmittelbare Handlung (in diesem Versuchsdesign das sofortige Bremsen) allein basierend auf der durch die Warnung vermittelten Information auslösen sollte, da diese auch fehlerhaft sein kann. Vielmehr sollten die Fahrer durch das System in der Lage sein, mithilfe der Warnungs-Information schneller und vollständiger die aktuelle Verkehrssituation zu erfassen, um dann selbst zu entscheiden, ob eine Reaktion angemessen ist.

Zu dem anderen genannten Aspekt, der Frage des Charakters der Warnung, fanden KAZAZI et al. (2015) zwar, dass gerade Senioren auf direkt handlungsauffordernde Warnungen wie beispielsweise „Stop!“ schneller reagieren als auf informierende, ein verkehrstaugliches Warnsystem dürfte jedoch keine hundertprozentige Zuverlässigkeit suggerieren, d. h. im allseitigen Interesse keine absolute Aufforderung zur sofortigen Handlung beinhalten (wie in der Einteilung der FAS in Kapitel 2.3.1 beschrieben). Es sollte darauf hinweisen, dass und an welchem Ort etwas in der Peripherie Aufmerksamkeit und gegebenenfalls eine Reaktion erfordert, beispielsweise ACHTUNG!, wie in der vorliegenden Studie. Die Reaktion der Fahrer bestünde dann darin, den Auslöser der Warnung zu entdecken, auf Notwendigkeit einer Reaktion zu prüfen und erst danach, wenn nötig, eine Handlung auszuführen. Für eine Sehfeldassistentz wäre es eben nicht angebracht, mit einer handlungsauffordernden Botschaft zwar eine schnelle, aber nicht reflektierte Aktion auszulösen (siehe auch WINKLER et al., 2015).

Es sollte in Nutzertests untersucht werden, wie diese beiden Aspekte optimiert werden können, um zu einer erhöhten Fahrsicherheit beizutragen.

Somit wäre eine resultierende Fragestellung, wenn die Warnung eben nicht sofort eine Handlung auslösen sollte: Um wie viel könnte man, insbesondere bei Senioren, die Zeit des Sichtbarwerdens eines

verkehrsrelevanten Objektes in der Peripherie bis zur nötigen Reaktion verkürzen? Dazu können die folgenden beiden Abläufe gegenübergestellt werden:

- Ein Fahrzeug erscheint und nähert sich dem zentralen Sehfeld, Fahrer bemerkt es (evtl. einige Zeit später), evaluiert den Handlungsbedarf, handelt.
- Ein Fahrzeug erscheint und nähert sich, Warnung im HUD noch während das Objekt weit außen ist, Aufmerksamkeit des Fahrers wird auf das Objekt gelenkt, er evaluiert den Handlungsbedarf, und handelt entsprechend (bzw. nicht / später).

Einige Faktoren dürften im Zuge der Entwicklung für die Nützlichkeit eines Sehfeldassistenten untersucht und austariert werden, unter anderem die Art der Warnung, ihr Zeitpunkt, Arten und Orte von Auslösern und Verkehrssituationen. Weitere gestalterische und technische Fragen zur Entwicklung einer Sehfeld-Assistenz wurden hier noch nicht bearbeitet, beispielsweise die optimale Darstellungsweise oder der beste Ort in einem Head-up-Display.

Es wäre weiterhin zu klären, wie sich unterschiedliche Reliabilität bei Senioren auswirkt. Beispielsweise bei PLATHO, ALMS und JÜRGENSOHN (in Vorbereitung) zeigte die Untersuchung einer Abbiegewarnung altersübergreifend, dass die Reaktionszeiten mit einer 70 % zuverlässigen Warnung zwar länger waren als mit einer hundertprozentigen, jedoch auch kürzer als ohne Warnung. Besonders ältere Fahrer scheinen vermehrt anzunehmen, FAS seien immer zuverlässig und gäben nur korrekte Information, und vertrauen dem System zu stark (WILSCHUT et al., 2014), was in manchen Situationen zu Gefährdung führen könnte. Gegebenenfalls wäre es auch nützlich, die Zuverlässigkeit in das Design der Warnung mithilfe einer Maximum-Likelihood-Implementierung, d.h. eine integrierte Abschätzung der Zuverlässigkeit durch das System selbst, einfließen zu lassen. Hierzu werden weitere Untersuchungen mit Variation der Zuverlässigkeit empfohlen.

Eine Sehfeld-Assistenz erweist sich jedoch schon aufgrund der bislang vorliegenden Ergebnisse als sinnvoller und vielversprechender Ansatz, um auf den Einschränkungen und Anforderungen älterer Autofahrer/innen aufbauend eine verbesserte generationenübergreifende Verkehrssicherheit zu erreichen. Entsprechend folgt ein solches System der Empfehlung der Konferenz „Ageing and Safe Mobi-

lity“ (Bundesanstalt für Straßenwesen, 2014), in der unter anderem die Relevanz neuer Warn- und Informationstechnologien für die sichere Verkehrsteilnahme älterer Fahrerinnen und Fahrer betont wird.

Literatur

- ABENDROTH, B.; BRUDER, R. (2009). Die Leistungsfähigkeit des Menschen für die Fahrzeugführung. In: WINNER, H.; HAKULI, S.; WOLF, G. (Hrsg.), *Handbuch Fahrerassistenzsysteme* (S. 4–14). Wiesbaden: Springer.
- ANDERER, P.; SEMLITSCH, H. V.; SALETU, B. (1996). Multichannel Auditory Event-Related Brain Potentials: Effects of Normal Aging on the Scalp Distribution of N1, P2, N2 and P300 Latencies and Amplitudes. In: *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, 99(5), 458–472.
- ANSTEY, K. J.; HORSWILL, M. S.; WOOD, J. M.; HATHERLY, C. (2012). The Role of Cognitive and Visual Abilities as Predictors in the Multifactorial Model of Driving Safety. In: *Accident Analysis & Prevention*, 45, 766–774.
- ARIKAN, K.; ARNDT, H.; COLLOCA, G.; PASHKEVICH, A.; PFISTER, J.; POLIDORI, C.; RAMIRO, M. (2014). Customized Warning System for the Lowering of Driving Performances in Older Drivers. In: *Bundesanstalt für Straßenwesen (Hrsg.), Ageing and Safe Mobility*. Bergisch Gladbach.
- BACKS, R. W. (1997). Psychophysiological aspects of selective and divided attention during continuous manual tracking. In: *Acta psychologica*, 96(3), 167–191.
- BALL, K. K.; WADLEY, V. G.; EDWARDS, J. D. (2002). Advances in technology used to assess and retrain older drivers. In: *Gerontechnology*, 1(4), 251–261.
- BALL, K.; OWSLEY, C.; SLOANE, M. E.; ROENKER, D. L.; BRUNI, J. R. (1993). Visual attention problems as a predictor of vehicle crashes in older drivers. In: *Investigative ophthalmology & visual science*, 34(11), 3110–3123.
- BECKMANN, K. J. (2013). Entwicklungslinien der Mobilität im Alter - Bedingungen und Verän-

- derungstendenzen. In: SCHLAG, B.; BECKMANN, K.J. (Hrsg.), *Mobilität und demografische Entwicklung* (S. 21–40). Köln: TÜV Media.
- BERGMEIER, U. (2009). *Kontaktanalog markierendes Nachtsichtsystem*. Technische Universität München.
- BOUGLER, B.; HAMEL, K.; DANIELS, B.; CAGUIMBAGA, J.; SHAHEEN, S. A.; RAGLAND, D.; HORNE, J. (2005). *Investigation of Elderly Driver Safety and Comfort: In-vehicle Intersection „Gap Acceptance Advisor“ and Identifying Older Driver Needs (Final Report for Toyota GapAdvise)*. Berkeley, California: Institute of Transportation Studies, University of California at Berkeley.
- BROMBERG, S.; ORON-GILAD, T.; RONEN, A.; BOROWSKY, A.; PARMET, Y. (2012). The perception of pedestrians from the perspective of elderly experienced and experienced drivers. In: *Accident Analysis & Prevention*, 44(1), 48–55.
- BROOKS, J. (2005). The actual and estimated ability of younger and older drivers to see and steer in challenging conditions: A test of the selective degradation hypothesis. *Clemson University*.
- BROOKS, J. O.; TYRRELL, R. A.; FRANK, T. A. (2005). The effects of severe visual challenges on steering performance in visually healthy young drivers. In: *Optometry & Vision Science*, 82(8), 689–697.
- BROUWER, W. (1994). Ältere Autofahrer und Anforderungen an die Aufmerksamkeit. In: *MENSCH FAHRZEUG UMWELT* (30), 121–37.
- BUCHSTALLER, R. (2007). *Entwicklung einer altersfairen Strategie zur Überprüfung der psychischen Leistungsfähigkeit älterer Kraftfahrer an Begutachtungsstellen für Fahreignung* (Nr. 7). Düsseldorf: VDI-Verlag.
- Bundesanstalt für Straßenwesen. (2014a). *Ageing and Safe Mobility: Recommendations*. Abgerufen 25. März 2015, von http://www.bast.de/DE/FB-U/Publikationen/Veranstaltungen/U-Ageing-2014/Recommendations.pdf?__blob=publicationFile&v=4
- Bundesanstalt für Straßenwesen. (2014b). *Begutachtungs-Leitlinien zur Kraffahreignung* (Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Mensch und Sicherheit Nr. M 115). Bremen: Fachverlag NW.
- BURGARD, E. (2005). *Fahrkompetenz im Alter. Die Aussagekraft diagnostischer Instrumente bei Senioren und neurologischen Patienten*. Ludwig-Maximilians-Universität, München.
- CAIRD, J.; CHUGH, J. (1997). The time cost of head-up displays for older drivers: Critical event onset, task location, and display type. In: *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* (Bd. 41, S. 1008–1012). Santa Monica, CA: Human Factors and Ergonomics Society.
- CANTIN, V.; LAVALLIÈRE, M.; SIMONEAU, M.; TEASDALE, N. (2009). Mental workload when driving in a simulator: Effects of age and driving complexity. In: *Accident Analysis & Prevention*, 41(4), 763–771.
- CASUTT, G.; MARTIN, M.; JÄNCKE, L. (2013). Alterseffekte auf die Fahrsicherheit bei Schweizer Krafffahrern im Jahr 2010. In: *Zeitschrift für Verkehrssicherheit*, 59, 162–169.
- COHEN, A. (2002). Leistungsanforderungen und Leistungsmöglichkeiten. In: SCHLAG, B.; MEGEL, K. (Hrsg.), *Mobilität und gesellschaftliche Partizipation im Alter* (S. 292–310). Stuttgart: Kohlhammer.
- COHEN, A. (2008). Wahrnehmung als Grundlage der Verkehrsorientierung bei nachlassender Sensorik während der Alterung. In: SCHLAG, B. (Hrsg.), *Leistungsfähigkeit und Mobilität im Alter* (S. 65–84). Köln: TÜV Media.
- CRAIK, F. I. M.; BIALYSTOK, E. (2006). Cognition through the lifespan: mechanisms of change. In: *Trends in Cognitive Sciences*, 10(3), 131–138.
- DAHMEN-ZIMMER, K.; GRÜNDL, M.; KOSTKA, M.; SCHNEIDER, C.; ZIMMER, A. (2007). *Bewertung des Sicherheitsbeitrags von Fahrassistenz-/Fahrinformationssystemen für ältere Krafffahrer*. (Schlussbericht zum Forschungsprojekt FE 82.156/1999). Bergisch Gladbach: Bundesanstalt für Straßenwesen.

- DAVIDSE, R. J. (2006). Older Drivers and ADAS: Which Systems Improve Road Safety? *IATSS Research*, 30(1), 6–20.
- DAVIDSE, R. J. (2007). Assisting the older driver: intersection design and in-car devices to improve the safety of the older driver. Rijksuniversiteit Groningen.
- DAVIDSE, R. J.; HAGENZIEKER, M. P.; VAN WOLFFELAAR, P. C.; BROUWER, W. H. (2009). Effects of in-car support on mental workload and driving performance of older drivers. In: *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 51(4), 463–476.
- DE WAARD, D.; DIJKSTERHUIS, C.; BROOKHUIS, K. A. (2009). Merging into heavy motorway traffic by young and elderly drivers. In: *Accident Analysis & Prevention*, 41(3), 588–597.
- DOTZAUER, M.; CALJOUW, S. R.; DE WAARD, D.; BROUWER, W. H. (2013). Intersection assistance: A safe solution for older drivers? In: *Accident Analysis & Prevention*, 59, 522–528.
- DOTZAUER, M.; DE WAARD, D.; CALJOUW, S. R.; PÖHLER, G.; BROUWER, W. H. (2015). Behavioral adaptation of young and older drivers to an intersection crossing advisory system. In: *Accident Analysis & Prevention*, 74, 24–32.
- EBY, D. W.; MOLNAR, L. J. (2012). Has the time come for an older driver vehicle? (Technical report UMTRI-2012-5). Ann Arbor, Michigan: University of Michigan Transportation Research Institute.
- EHMEN, H.; GOEVERCIN, M.; HAESNER, M.; KISELEV, J.; STEINHAGEN-THIESSEN, E. (2010). Fahrleistungsrelevante Parameter im Alter. *Ambient Assisted Living-AAL*.
- EMMERSON, C.; GUO, W.; BLYTHE, P.; NAMDEO, A.; EDWARDS, S. (2013). Fork in the road: In-vehicle navigation systems and older drivers. In: *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 21, 173–180.
- ENGBERS, C.; DUBBELDAM, R.; DE HAIR-BUIJSSEN, S.; DE GOEDE, M.; ZEEGERS, T.; BUURKE, J. (2013). Needs and wishes of older cyclists regarding a feed-forward system to support cycling. In: *Proceedings of the International Cycling Safety Conference*. Helmond.
- ENGBERS, C.; DUBBELDAM, R.; SCHAAKE, L.; DE HAIR, S.; DE GOEDE, M.; BUURKE, J. (2014). Can a rear-view assistant support elderly cyclists? In: *Bundesanstalt für Straßenwesen (Hrsg.), Ageing and Safe Mobility*. Bergisch Gladbach.
- ENGELN, A.; MORITZ, J. (2013). Auto der Zukunft für Ältere? In: *SCHLAG, B.; BECKMANN, K.J. (Hrsg.), Mobilität und demografische Entwicklung (Bd. 07, S. 21–40)*. Köln: TÜV Media.
- FALKENSTEIN, M.; POSCHADEL, S. (2008). Altersgerechtes Autofahren. In: *Wirtschaftspsychologie*, 3, 62–71.
- FALKENSTEIN, M.; POSCHADEL, S.; JOIKO, S. (2014). Erkenntnisstand zu Verkehrssicherheitsmaßnahmen für ältere Verkehrsteilnehmer (Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Mensch und Sicherheit Nr. M 248). Bremen: Fachverlag NW.
- FALKENSTEIN, M.; POSCHADEL, S.; WILD-WALL, N. (2008). Kompensationsstrategien im Alter. In: *RUDINGER, G.; KOCHERSCHIED, K. (Hrsg.), Ältere Verkehrsteilnehmer – Gefährdet oder gefährlich? Defizite, Kompensationsmechanismen und Präventionsmöglichkeiten (S. 255–75)*. Köln: TÜV Media.
- FALKENSTEIN, M.; POSCHADEL, S.; WILD-WALL, N.; HAHN, M. (2011). Kognitive Veränderungen im Alter und ihr Einfluss auf die Verkehrssicherheit älterer Verkehrsteilnehmer: Defizite, Kompensationsmechanismen und Präventionsmöglichkeiten. In: *RUDINGER, G.; KOCHERSCHIED, K. (Hrsg.), Ältere Verkehrsteilnehmer – Gefährdet oder gefährlich? Defizite, Kompensationsmechanismen und Präventionsmöglichkeiten (Bd. 5, S. 43–59)*. Bonn: V&R unipress.
- FALKENSTEIN, M.; SOMMER, S. (2008). Altersbegleitende Veränderungen kognitiver und neuronaler Prozesse mit Bedeutung für das Autofahren. In: *SCHLAG, B. (Hrsg.), Leistungsfähigkeit und Mobilität im Alter (S. 113–141)*. Köln: TÜV Media.

- FALKENSTEIN, M.; YORDANOVA, J.; KOLEV, V. (2006). Effects of aging on slowing of motor-response generation. In: *International Journal of Psychophysiology*, 59(1), 22–29.
- FÄRBER, B. (2000). Neue Fahrzeugtechnologien zur Unterstützung der Mobilität Älterer. In: *Zeitschrift für Gerontologie und Geriatrie*, 33(3), 178–185.
- FASTENMEIER, W. (2005, November). Das Fahrverhalten in Kreuzungen: Welche Fehler begehen ältere Autofahrer? Gehalten auf dem Deutschen Psychologentag 2005, Potsdam.
- FASTENMEIER, W.; GSTALTER, H. (2008). Anforderungsgerechtes Autofahren im Alter. In: SCHLAG, B. (Hrsg.), *Leistungsfähigkeit und Mobilität im Alter* (S. 37–64). Köln: TÜV-Media.
- FLEMISCH, F.; MEIER, S.; NEUHÖFER, J.; BALTZER, M.; ALTENDORF, E.; ÖZYURT, E. (2012). Kognitive und kooperative Systeme in der Fahrzeugführung: Selektiver Rückblick über die letzten Dekaden und Spekulation über die Zukunft. 2. Interdisziplinärer Workshop Kognitive Systeme: Mensch, Teams, Systeme und Automaten, 18.-20. Sep. 2012, Duisburg.
- FOLLMER, R.; GRUSCHWITZ, D.; JESKE, B.; QUANDT, S.; LENZ, B.; KÖHLER, K.; MEHLIN, M. (2010). *Mobilität in Deutschland 2008 Ergebnisbericht Struktur – Aufkommen – Emissionen – Trends*. Bonn und Berlin: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung.
- FRIEDMAN, C.; MCGWIN, G.; BALL, K. K.; OW-SLEY, C. (2013). Association between higher order visual processing abilities and a history of motor vehicle collision involvement by drivers ages 70 and over. In: *Investigative ophthalmology & visual science*, 54(1), 778–782.
- FULLER, R. (2000). The task-capability interface model of the driving process. In: *Recherche - Transports - Sécurité*, 66, 47–57.
- FULLER, R. (2005). Towards a general theory of driver behaviour. In: *Accident Analysis & Prevention*, 37(3), 461–472.
- GELAU, C.; SIREK, J.; DAHMEN-ZIMMER, K. (2011). Effects of time pressure on left-turn decisions of elderly drivers in a fixed-base driving simulator. In: *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 14(1), 76–86.
- GERLACH, J.; SEIPEL, S.; POSCHADEL, S.; BOENKE, D. (2014). *Sichere Knotenpunkte für schwächere Verkehrsteilnehmer* (Forschungsbericht der UDV Nr. 23). Berlin: Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft.
- Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V. & Deutsche Seniorenliga e. V. (Hrsg.). (2013). *Tagungsband des Kongresses „Ältere Verkehrsteilnehmer – gefährdet oder gefährlich?“*, Bonn: GDV.
- Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V. (2012). *UDV-Jahresbericht 2012 - Mehr Sicherheit im Straßenverkehr*. Potsdam: Unfallforschung der Versicherer.
- GIANNOPOULOS, G.; AIFADOPOULOU, G.; BEKIARIS, E.; PANOU, M.; TOULIOU, K.; MITSAKIS, E.; GRAU, J. M. S. (2014). ICT perception of elderly people and the role of infomobility services in their everyday mobility. In: *Bundesanstalt für Straßenwesen* (Hrsg.), *Ageing and Safe Mobility*. Bergisch-Gladbach.
- GISH, K. W.; STAPLIN, L. (1995). *Human Factors Aspects of Using Head Up Displays in Automobiles: A Review of the Literature* (Interim Report Nr. DOT HS 808 320). Washington, D.C.: National Highway Traffic Safety Administration.
- GONZALEZ, C. M. G.; CLARK, V. P.; FAN, S.; LUCK, S. J.; HILLYARD, S. A. (1994). Sources of attention-sensitive visual event-related Potentials. In: *Brain topography*, 7(1), 41–51.
- GRADY, C. L. (2000). Functional brain imaging and age-related changes in cognition. In: *Biological psychology*, 54(1), 259–281.
- GUO, A. W.; BRAKE, J. F.; EDWARDS, S. J.; BLYTHE, P. T.; FAIRCHILD, R. G. (2010). The application of in-vehicle systems for elderly drivers. In: *European Transport Research Review*, 2(3), 165–174.

- HAKAMIES-BLOMQVIST, L. (1998). Older drivers' accident risk: Conceptual and methodological issues. In: *Accident Analysis & Prevention*, 30(3), 293–297.
- HAKAMIES-BLOMQVIST, L. (2006). Are there safe and unsafe drivers? In: *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 9(5), 347–352.
- HAKAMIES-BLOMQVIST, L.; HENRIKSSON, P. (1999). Cohort effects in older drivers' accident type distribution: are older drivers as old as they used to be? In: *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 2(3), 131–138.
- HAKAMIES-BLOMQVIST, L.; JOHANSSON, K.; LUNDBERG, C. (1996). Medical Screening of Older Drivers as a Traffic Safety Measure – A Comparative Finnish-Swedish Evaluation Study. In: *Journal of the American Geriatrics Society*, 44(6), 650–653.
- HAKAMIES-BLOMQVIST, L.; PETERS, B. (2000). Recent European research on older drivers. In: *Accident Analysis & Prevention*, 32(4), 601–607.
- HAKAMIES-BLOMQVIST, L.; RAITANEN, T.; O'NEILL, D. (2002). Driver ageing does not cause higher accident rates per km. In: *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 5(4), 271–274.
- HAKAMIES-BLOMQVIST, L.; SIRÉN, A.; DAVIDSE, R. J. (2004). Older drivers: a review (VTI rapport Nr. 497A). Linköping, Schweden: Swedish National Road and Transport Research Institute.
- HAKAMIES-BLOMQVIST, L.; WIKLUND, M.; HENRIKSSON, P. (2005). Predicting older drivers' accident involvement – Smeed's law revisited. In: *Accident Analysis & Prevention*, 37(4), 675–680.
- HARTWICH, F., WITZLACK, C. & KREMS, J. F. (2014). Age-specific contact analogue head-up displays: Will they be accepted by older drivers? In: *Bundesanstalt für Straßenwesen (Hrsg.), Ageing and Safe Mobility*. Bergisch-Gladbach.
- HASSAN, H.; KING, M.; WATT, K. (2015). The perspectives of older drivers on the impact of feedback on their driving behaviours: A qualitative study. In: *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 28, 25–39.
- HEDGE, A.; MARSH, N. (1975). The effect of irrelevant spatial correspondences on two-choice response-time. In: *Acta psychologica*, 39(6), 427–439.
- HEINRICH, T.; ORTLEPP, J.; SCHMIELE, J.; VOSS, H. (2011). *Infrastrukturgestützte Fahrerassistenz (Forschungsbericht Nr. 14)*. Berlin: Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft.
- HERZBERG, P. Y. (2008). Soziale Entwicklung im hohen Erwachsenenalter aus verkehrspsychologischer Perspektive. In: SCHLAG, B. (Hrsg.), *Leistungsfähigkeit und Mobilität im Alter* (S. 223–38). Köln: TÜV Media.
- HOFFMANN, H.; FALKENSTEIN, M.; FRIEG, C. (2013). Experimentelle Untersuchung möglicher Ursachen der Fahrfehler älterer Kraftfahrer - Hinweise für die Entwicklung von FAS für ältere Kraftfahrer. In: *Gesellschaft für Fahrzeug- und Verkehrstechnik (Hrsg.), Der Fahrer im 21. Jahrhundert – Fahrer, Fahrerunterstützung und Bedienbarkeit ; 7. VDI-Tagung (Bd. 2205, S. 159–174)*. Düsseldorf: VDI Verlag.
- HOFFMANN, H.; WIPKING, C.; BLANKE, L.; FALKENSTEIN, M. (2013). Experimentelle Untersuchung zur Unterstützung der Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen für ältere Kraftfahrer (Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Fahrzeugtechnik Nr. F 86). Bremen: Fachverlag NW.
- HOLE, G. (2007). *The psychology of driving*. Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- HOLLIS, A. M.; DUNCANSON, H.; KAPUST, L. R.; XI, P. M.; O'CONNOR, M. G. (2015). Validity of the Mini-Mental State Examination and the Montreal Cognitive Assessment in the Prediction of Driving Test Outcome. In: *Journal of the American Geriatrics Society*, 63(5), 988–992.
- HUMMEL, T.; KÜHN, M.; BENDE, J.; LANG, A. (2011). *Fahrerassistenzsysteme. Ermittlung*

des Sicherheitspotenzials auf Basis des Schadensgeschehens der Deutschen Versicherer (Forschungsbericht Fahrzeugsicherheit Nr. FS 03). Berlin: Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft.

- JAKOBS, E.-M.; ZIEFLE, M. (2011). Mobilität für Ältere: Fahrerassistenzsysteme für ältere Fahrer. In: RUDINGER, G.; KOCHERSCHIED, K. (Hrsg.), *Ältere Verkehrsteilnehmer – Gefährdet oder gefährlich? Defizite, Kompensationsmechanismen und Präventionsmöglichkeiten* (S. 181–205). Bonn: V&R unipress.
- JUNG, T.-P.; MAKEIG, S.; WESTERFIELD, M.; TOWNSEND, J.; COURCHESNE, E.; SEJNOWSKI, T. J. (2000). Removal of eye activity artifacts from visual event-related Potentials in normal and clinical subjects. In: *Clinical Neurophysiology*, 111(10), 1745–1758.
- KEIL, M. (2011). Konsequenzen des demographischen Wandels für zukünftige Produktions- und Technologieabläufe: am Beispiel der altersbedingten Veränderungen der Fähigkeit des Sehens. Technische Universität Chemnitz, Institut für Betriebswissenschaften und Fabrikssysteme, Chemnitz.
- KENNEDY, R. S.; LANE, N. E.; BERBAUM, K. S.; LILIENTHAL, M. G. (1993). Simulator Sickness Questionnaire: An Enhanced Method for Quantifying Simulator Sickness. In: *The International Journal of Aviation Psychology*, 3(3), 203–220.
- KERKHOFF, G. (1988). Visuelle Raumwahrnehmung und Raumoperationen. In: VON CRAMON, D.Y.; ZIHL, J. (Hrsg.), *Neuropsychologische Rehabilitation* (S. 197–214). Springer.
- KETCHAM, C. J.; STELMACH, G. E. (2004). Movement Control in the Older Adult. In: VAN HEMEL, S.B.; PEW, R.W. (Hrsg.), *Technology for adaptive aging* (S. 64–92). Washington DC: National Academies Press.
- KIESEL, A.; MILLER, J.; JOLICØ EUR, P.; BRISSON, B. (2008). Measurement of ERP latency differences: A comparison of single-participant and jackknife-based scoring methods. In: *Psychophysiology*, 45(2), 250–274.
- KLEM, G. H.; LÜDERS, H. O.; JASPER, H.; ELGER, C. (1999). The ten-twenty electrode system of the International Federation. In: *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, Supplement*, 52(3).
- KOLEV, V.; FALKENSTEIN, M.; YORDANOVA, J. (2006). Motor-response generation as a source of aging-related behavioural slowing in choice-reaction tasks. In: *Neurobiology of Aging*, 27(11), 1719–1730.
- KUBITZKI, J.; JANITZEK, T. (2009). Sicherheit und Mobilität älterer Verkehrsteilnehmer. München: Allianz Deutschland AG.
- KÜTING, H. J.; KRÜGER, K. (2002). Zukünftige Automobilität älterer Menschen. In: SCHLAG, B.; MEGEL, K. (Hrsg.), *Mobilität und gesellschaftliche Partizipation im Alter* (Bd. 230, S. 161–172). Stuttgart: W. Kohlhammer Verlag.
- KWOK, J. C. W.; GÉLINAS, I.; BENOIT, D.; CHILINGARYAN, G. (2015). Predictive validity of the Montreal Cognitive Assessment (MoCA) as a screening tool for on-road driving performance. In: *British Journal of Occupational Therapy*, 78(2), 100–108.
- LACHENMAYR, B. (2006). Gesichtsfeld und Verkehr. In: *Der Ophthalmologe*, 103(5), 373–381.
- LANGFORD, J.; BOHENSKY, M.; KOPPEL, S.; NEWSTEAD, S. (2008). Do Older Drivers Pose a Risk to Other Road Users? In: *Traffic Injury Prevention*, 9(3), 181–189.
- LANGFORD, J.; KOPPEL, S. (2006). Epidemiology of Older Driver Crashes – Identifying Older Driver Risk Factors and Exposure Patterns. In: *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 9(5), 309–321.
- LANGFORD, J.; METHORST, R.; HAKAMIES-BLOMQUIST, L. (2006). Older drivers do not have a high crash risk – A replication of low mileage bias. In: *Accident Analysis & Prevention*, 38(3), 574–578.
- LEUTHOLD, H. (2011). The Simon Effect in Cognitive Electrophysiology: A Short Review. In: *Acta psychologica*, 136(2), 203–211.
- LUCK, S. J. (2005). Ten Simple Rules for Designing and Interpreting ERP Experiments. In: HANNDY, T.C. (Hrsg.), *Event-Related Potentials: A Methods Handbook* (S. 17–32). Cambridge, MA: MIT Press.

- LUCK, S. J.; HEINZE, H.; MANGUN, G. R.; HILLYARD, S. A. (1990). Visual event-related Potentials index focused attention within bilateral stimulus arrays. II. Functional dissociation of P1 and N1 components. In: *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, 75(6), 528–542.
- LUCK, S. J.; HILLYARD, S. A. (1995). The role of attention in feature detection and conjunction discrimination: An electrophysiological analysis. *International Journal of Neuroscience*, 80, 281–297.
- MACKWORTH, N. H. (1976). Stimulus density limits the useful field of view. In: MONTY, R.A.; J.W. SENDERS (Hrsg.), *Eye movements and psychological processes* (S. 307–321). New Jersey: Lawrence Erlbaum.
- MALTZ, M.; SHINAR, D. (1999). Eye movements of younger and older drivers. In: *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 41(1), 15–25.
- MANGUN, G. R. (1995). Neural mechanisms of visual selective attention. In: *Psychophysiology*, 32(1), 4–18.
- MATHIESON, P.; DEAN, A.; GOSS, S.; FARTHING, D.; HOOD, J. (2013). SaMERU – Safer Mobility for Elderly Road Users (Final Technical Report Nr. MOVE/SUB/2010/D3/300-1/SI2.565668-SAMERU).
- MEYER, J.; COUGHLIN, J. F. (2001). Integrating Information Technology into the Automobile for Older Drivers (Final Report for Centro Ricerche FIAT). Cambridge, MA: MIT Age Lab.
- MICHON, J. A. (1985). A Critical View of Driver Behavior Models: What Do We Know, What Should We Do? In: EVANS, L.; SCHWING, R.C. (Hrsg.), *Human Behavior and Traffic Safety* (S. 485–524). Boston, MA: Springer US.
- NEUKUM, A.; GRATENTHALER, H. (2006). Kinetose in der Fahrsimulation. Teil II Abschlussbericht des Projekts: Simulation von Einsatzfahrten im Auftrag des Präsidiums der Bayerischen Bereitschaftspolizei. Würzburg: Interdisziplinäres Zentrum für Verkehrswissenschaften an der Universität Würzburg.
- OOSTENDORP, T. F.; VAN OOSTEROM, A. (1989). Source parameter estimation in inhomogeneous volume conductors of arbitrary shape. In: *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 36(3), 382–391.
- Organisation for Economic Cooperation Development. (2001). *Ageing and Transport: Mobility Needs and Safety Issues*. OECD Publishing.
- OWENS, D. A.; TYRRELL, R. A. (1999). Effects of luminance, blur, and age on nighttime visual guidance: A test of the selective degradation hypothesis. In: *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 5(2), 115.
- OWENS, D. A.; WOOD, J. M.; OWENS, J. M. (2007). Effects of age and illumination on night driving: A road test. In: *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 49(6), 1115–1131.
- OWSLEY, C.; BALL, K.; SLOANE, M. E.; ROENKER, D. L.; BRUNI, J. R. (1991). Visual/cognitive correlates of vehicle accidents in older drivers. In: *Psychology and aging*, 6(3), 403.
- PALMER, J. A.; MAKEIG, S.; KREUTZ-DELGADO, K.; RAO, B. D. (2008). Newton method for the ICA mixture model. In: *Proceedings of the 33rd IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, ICASSP 2008* (S. 1805–1808). Las Vegas, NV.
- PFAFFEROTT, I. (1994). Mobilitätsbedürfnisse und Unfallverwicklung älterer Autofahrer/innen. In: TRÄNKLE, U. (Hrsg.), *Autofahren im Alter* (S. 19–36). Köln: TÜV Rheinland.
- PLATHO, C., ALMS, R.; JÜRGENSOHN, T. (in Vorbereitung). Abbiegeassistent mit 3D-LIDAR-Sensorik (Schlussbericht Förderprojekt ABALID). Bundesministerium für Bildung und Forschung.
- POHLMANN, S.; GELAU, C.; METKER, T.; TRÄNKLE, U. (1994). Altersgerechte Displays. In: TRÄNKLE, U. (Hrsg.), *Autofahren im Alter: Antworten und offene Fragen* (S. 245–259). Köln: Verlag TÜV-Rheinland.
- POITSCHKE, T.; ABLASSMEIER, M.; RIGOLL, G.; BARDINS, S.; KOHLBECHER, S.; SCHNEIDER, E. (2008). Contact-analog Information

- Representation in an Automotive Head-Up Display. In: Proceedings of the 2008 Symposium on Eye Tracking Research & Applications. Savannah, Georgia.
- POLICH, J. (1997). EEG and ERP assessment of normal aging. In: *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology; Evoked Potentials Section*, 104(3), 244–256.
- POLICH, J. (2007). Updating P300: an integrative theory of P3a and P3b. In: *Clinical neurophysiology*, 118(10), 2128–2148.
- POSCHADEL, S. (2013). Trainierbarkeit der Fahrkompetenz im Alter. In: SCHLAG, B.; BECKMANN, K.J. (Hrsg.), *Mobilität und demografische Entwicklung* (Bd. 07, S. 21–40). Köln: TÜV Media.
- POSCHADEL, S.; FALKENSTEIN, M.; RINKENAUER, G.; MENDZHERITSKIY, G.; FIMM, B.; WORRINGER, B.; RUDINGER, G. (2012). Verkehrssicherheitsrelevante Leistungspotenziale, Defizite und Kompensationsmöglichkeiten älterer Autofahrer.
- POTTGIEßER, S., KLEINEMAS, U.; DOHMES, K.; (2012). Profile von Senioren mit Autounfällen (PROSA): Untersuchungen zum verkehrsmedizinisch-verkehrspsychologischen Profil älterer Kraftfahrer (Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Mensch und Sicherheit Nr. M228). Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW.
- RAKOTONIRAINY, A.; STEINHARDT, D. (2009). In-vehicle technology functional requirements for older drivers. In: Proceedings of the 1st international conference on automotive user interfaces and interactive vehicular applications (S. 27–33). ACM.
- RANTANEN, E. M.; GOLDBERG, J. H. (1999). The effect of mental workload on the visual field size and shape. In: *Ergonomics*, 42(6), 816–834.
- ROCKWELL, T. H. (1972). Skills, judgment and information acquisition in driving. In: FORBES, T.W. (Hrsg.), *Human factors in highway traffic safety research* (S. 133–164). New York: Wiley.
- ROßNER, P.; DETTMANN, A.; JENTSCH, M.; BULLINGER, A. C. (2013). Visuelle Fahrerassistenz im Head-up-Display – Ein besonderer Sicherheitsgewinn für ältere Fahrzeugführer? In: *Der Fahrer im 21. Jahrhundert: Fahrer, Fahrerunterstützung und Bedienbarkeit* (S. 175–188). Düsseldorf: VDI-Verlag.
- ROßNER, P.; HARTWICH, F.; BULLINGER, A. C. (2012). ViFa 65plus – Visuelle Fahrerassistenzsysteme zur Kompensation altersbedingter Veränderungen. In: *Tagungsband VPP 2012 – Vernetzt Planen und Produzieren, Symposium Wissenschaft und Praxis*. Chemnitz.
- RUDINGER, G.; KOCHERSCHIED, K. (2011). Ältere Verkehrsteilnehmer – Gefährdet oder gefährlich? Defizite, Kompensationsmechanismen und Präventionsmöglichkeiten. Bonn: V&R unipress.
- SCHLAG, B. (2013). Persönliche Veränderungen der Mobilität und der Leistungsfähigkeit im Alter. In: SCHLAG, B.; BECKMANN, K.J. (Hrsg.), *Mobilität und demografische Entwicklung* (S. 21–40). Köln: TÜV Media.
- SEKULER, A.; BENNETT, P.; MAMELAK, M. (2000). Effects of aging on the useful field of view. In: *Experimental aging research*, 26(2), 103–120.
- SIMON, J. R. (1969). Reactions toward the source of stimulation. In: *Journal of experimental psychology*, 81(1), 174.
- SUTTON, S.; BRAREN, M.; ZUBIN, J.; JOHN, E. (1965). Evoked-Potential correlates of stimulus uncertainty. In: *Science*, 150(3700), 1187–1188.
- VALLE-INCLÁN, F. (1996). The locus of interference in the Simon effect: An ERP study. In: *Biological Psychology*, 43(2), 147–162.
- VOGEL, E. K.; LUCK, S. J. (2000). The visual N1 component as an index of a discrimination process. In: *Psychophysiology*, 37(02), 190–203.
- VOLLRATH, M.; BRIEST, S.; SCHIESSL, C.; DREWES, K.; BECKER, U. (2006). Ableitung von Anforderungen an Fahrerassistenzsysteme aus Sicht der Verkehrssicherheit (Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Fahr-

- zeugtechnik Nr. F60). Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW.
- VOLLRATH, M.; HUEMER, A. K.; NOWAK, P.; PION, O. (2015). Ablenkung durch Informations- und Kommunikationssysteme (Forschungsbericht der UDV Nr. 26). Berlin: Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V.
- VOLLRATH, M.; KREMS, J. (2011). Verkehrspsychologie: ein Lehrbuch für Psychologen, Ingenieure und Informatiker (1. Aufl). Stuttgart: Kohlhammer.
- WELLER, G. (2013). Ergebnisse von Fahrversuchen mit älteren Pkw-Fahrern. In: SCHLAG, B.; BECKMANN, K.J. (Hrsg.), Mobilität und demografische Entwicklung (S. 21–40). Köln: TÜV Media.
- WELLER, G.; GEERTSEMA, K. (2008). Werden ältere Fahrer durch die Fahraufgabe stärker beansprucht als jüngere? In: SCHLAG, B. (Hrsg.), Leistungsfähigkeit und Mobilität im Alter (Bd. 03, S. 85–112). Köln: TÜV Media.
- WELLER, G.; STRAUZENBERG, N.; HERLE, M.; SCHLAG, B.; RICHTER, S. (2014). Accident patterns and prospects for maintaining the safety of older drivers. (Eugen-Otto-Butz-Stiftung, Hrsg.). Köln: TÜV Media.
- WILLIAMS, E. M. (2008). Analyse des Fahrverhaltens in ausgewählten innerstädtischen Kreuzungssituationen. Stuttgart: Ergonomia Verlag.
- WILSCHUT, E. S.; KROON, L.; DE GOEDE, M.; CREMERS, A.; HOEDEMAEKER, M. (2014). The older adult road user: recommendations for driver assistance. In: Bundesanstalt für Straßenwesen (Hrsg.), Ageing and Safe Mobility. Bergisch-Gladbach.
- WINKLER, S.; KAZAZI, J.; VOLLRATH, M. (2015, 02. -27.02). Unfallvermeidung durch visuelle Warnungen bei älteren und jüngeren Fahrern. Gehalten auf der Tagung experimentell arbeitender Psychologen 2015, Braunschweig.
- WOOD, J. M.; ANSTEY, K. J.; LACHEREZ, P. F.; KERR, G. K.; MALLON, K.; LORD, S. R. (2009). The On-Road Difficulties of Older Drivers and Their Relationship with Self-Reported Motor Vehicle Crashes. In: Journal of the American Geriatrics Society, 57(11), 2062–2069.
- YORDANOVA, J.; KOLEV, V.; HOHNSBEIN, J.; FALKENSTEIN, M. (2004). Sensorimotor slowing with ageing is mediated by a functional dysregulation of motor-generation processes: evidence from high-resolution event-related Potentials. In: Brain, 127(2), 351–362.
- ZIEFLE, M.; PAPPACHAN, P.; JAKOBS, E.-M.; CHRISTEN, F.; WALLENTOWITZ, H. (2007). Experimental Evaluation of Visual Interfaces Of In Vehicle Information Systems For Older Adults. In: Proceedings of the 8th International Conference on Work With Computing Systems.

Bilder

- Bild 1: Problemfelder älterer Kraftfahrer in Wahrnehmung, Kognition und Handlung (aus SCHLAG, 2008, S. 29)
- Bild 2: Verhaltensfehler von Fahrern, die Unfälle mit Personenschaden verursachten: Geschwindigkeit, Vorfahrt, Abbiegen, Abstand, Fahrfähigkeit, Straßennutzung, Überholen, unangemessenes Verhalten gegenüber Fußgängern, stehende Fahrzeuge, aus WELLER et al. (2014)
- Bild 3: Foto des verwendeten HFC-Simulators
- Bild 4: Aufbau Simulatorhardware
- Bild 5: Softwarearchitektur des HFC-Simulators, in diesem Fall werden drei Fremdfahrzeuge simuliert
- Bild 6: Simulation mit eingeblendetem ACHTUNG! – hier sind der mittlere und rechte Bildschirm dargestellt, um das bei 60° erscheinende Fahrzeug darstellen zu können (Studie EEG- und Eyetrackingstudie)
- Bild 7: Beispiel einer Visualisierung einer Teststrecke mithilfe der Software TrianBuilder
- Bild 8: Vorfahrtsschild in Studie 2

- Bild 9: SMI Eye Tracking Glasses 2
- Bild 10: Test der Blickbewegungsmessung am Simulator: der Proband schaut auf das Haus (grüner Punkt).
- Bild 11: Apparatur des Peripheren Sehtests (PP) mit dem Wiener Testsystem (Schuhfried)
- Bild 12: Kreuzungssituation kombinierte EEG- und Eyetracking Studie
- Bild 13: Proband während Studie 1 mit EEG und Blickerfassung
- Bild 14: Exemplarischer Verlauf der Kanaldaten vor der Bereinigung (oben), der ICA-Komponentenverlauf (mittig) und der bereinigten Kanaldaten (unten)
- Bild 15: Bremsreaktionszeiten im Vergleich mit und ohne Warnung: Mit zentral eingeblendeter Warnung reagieren beide Gruppen schneller. Zur besseren Übersicht nur rechte Seite dargestellt.
- Bild 16: Bremsreaktionszeiten: Haupteffekte für Warnung (1), Seite (2) und Altersgruppe (3), Interaktion: Warnung und Altersgruppe (4) sowie Seite und Altersgruppe (5)
- Bild 17: Sakkadenreaktionszeiten: Haupteffekte für Warnung (oben) und Seite (unten)
- Bild 18: Kurvenverläufe an den frontalen Elektroden FP1 (linke Abbildungen) und FP2 (rechte Abbildungen) vor (obere Abbildungen, links FP1, rechts FP2) und nach (untere Abbildungen, links FP1, rechts FP2) der Bereinigung. Durch die gestrichelten Linien werden die lateralisierten Abweichungen vom mittleren Signal (durchgezogenen Linien) abgebildet. Zu beachten sind die unterschiedlichen Skalenausprägungen der Aktivität in (y-Achse, in μV).
- Bild 19: Mittlerer Amplitudenverlauf an der Elektrode Oz beider Altersgruppen (< 45 in grün; > 65 in rot) für die Bedingung mit (links) und ohne (rechts) Hinweisreiz
- Bild 20: Mittlerer Amplitudenverlauf an POz, vertikale Linien zeigen in der jeweiligen Farbe der Probandengruppe das Zeitfenster für die P1, das in die Analyse einging
- Bild 21: Mittlerer Amplitudenverlauf an POz, vertikale Linien zeigen in der jeweiligen Farbe der Probandengruppe das Zeitfenster für die N1, das in die Analyse einging
- Bild 22: Seitenunterschiede der P1 im mittleren Amplitudenverlauf für die Bedingung mit (links) und ohne (rechts) Warnhinweis
- Bild 23: Proband bei Studie 2 mit Blickerfassung
- Bild 24: Kreuzungssituation Eyetracking-Studie
- Bild 25: Haupt- und Interaktionseffekte in den Bremsreaktionszeiten: Warnung und Gruppe (1); Seite und Gruppe (2); Seite (3)
- Bild 26: Vergleich der Bremsreaktionszeiten mit bzw. ohne Warnung für die jeweiligen Gruppen
- Bild 27: Haupteffekt der Warnung in den Sakkadenreaktionszeiten

Tabellen

- Tab. 1: Relevante Veränderung der visuellen Wahrnehmung im Alter nach COHEN (2008)
- Tab. 2: Altersbedingte kognitive Einschränkungen nach SCHLAG (2013)
- Tab. 3: Trials für die Messung von Verhaltens-, Blick- und EEG-Daten in der kombinierten EEG – und Eyetrackingstudie
- Tab. 4: Deskriptive Statistik EEG für die kombinierte Studie
- Tab. 5: Deskriptive Statistik Blickerfassung für die kombinierte Studie
- Tab. 6: Trials für die Verhaltensdatenmessung in Studie 2
- Tab. 7: Deskriptive Statistik Bremsdaten für Eyetracking-Studie
- Tab. 8: Deskriptive Statistik Blickerfassung für Eyetracking-Studie

Anhang 1: Datentabellen

Kombinierte Fahrsimulator-Studie mit EEG und Eyetracking (1. Experiment)

Gruppe	Warnung	Seite	Mittelwert	Standard-abweichung	95 % Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
Kontrolle	ohne	links	991	65	858	1124
		rechts	912	53	804	1021
	mit	links	795	47	700	891
		rechts	755	46	660	850
Senioren	ohne	links	1226	69	1084	1368
		rechts	1135	57	1019	1251
	mit	links	915	50	813	1017
		rechts	893	50	792	995

Tab. 9: Bremsreaktionszeiten in ms (geschätzte Mittelwerte), n = 30

Gruppe	Warnung	Seite	Mittelwert	Standard-abweichung	95 % Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
Kontrolle	ohne	links	773	57	653	892
		rechts	813	41	726	899
	mit	links	1027	87	844	1211
		rechts	1009	67	869	1149
Senioren	ohne	links	895	57	776	1015
		rechts	804	41	717	890
	mit	links	1277	87	1093	1461
		rechts	1051	67	911	1191

Tab. 10: Sakkadenreaktionszeiten in ms (geschätzte Mittelwerte), n = 20

P1	Df	F	p <.0.05, **<.01, ***<.001
Gruppe	1,28	0.11	0.748
Warnung	1,28	2.11	0.157
Seite	1,28	6.46	0.017*
Gruppe x Warnung	1,28	0.17	0.648
Gruppe x Seite	1,28	2.47	0.127
Seite x Warnung	1,28	0.50	0.485
Gruppe x Seite x Warnung	1,28	0.52	0.477

Tab. 11: ERP - P1-Varianzanalysen der Amplituden, POz, n=30

Gruppe	Warnung	Seite	Mittelwert	Standardabweichung
Kontrolle	ohne	links	-.0634	.968
		rechts	-.234	.675
	mit	links	.258	.984
		rechts	.092	1.005
Senioren	ohne	links	.186	.541
		rechts	-.296	.711
	mit	links	.600	.911
		rechts	-.349	1.224

Tab. 12: Amplituden der P1 an der POz in μV für Senioren und Kontrollgruppe nach Warnung und Seite

Paar	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler	95% Konfidenzintervall		t	df	Sig.
				Untergrenze	Obergrenze			
Mit / ohne Warnung	.257	.936	.171	-.092	.607	1.505	29	.143
Mit Warnung links / rechts	.532	1.583	.289	-.060	1.123	1.839	29	.076
Ohne Warnung links / rechts	.316	.980	.179	-.050	.682	1.765	29	.088

Tab. 13: Post-hoc Tests (T-Test verbundene Stichproben) der Amplituden der P1 an POz in μV

N1	Df	F	p <.0.05, **<.01, ***<.001
Gruppe	1,28	0.81	0.377
Warnung	1,28	42.22	<0.000***
Seite	1,28	1.31	0.263
Gruppe x Warnung	1,28	1.88	0.181
Gruppe x Seite	1,28	2.49	0.126
Seite x Warnung	1,28	0.51	0.479
Gruppe x Seite x Warnung	1,28	0.71	0.407

Tab. 14: ERP - N1-Varianzanalysen der Amplituden, POz, n=30

Gruppe	Warnung	Seite	Mittelwert	Standardabweichung
Kontrolle	ohne	links	-.125	1.178
		rechts	-.021	.934
	mit	links	-3.314	1.984
		rechts	-3.116	3.284
Senioren	ohne	links	-.065	.751
		rechts	-.421	.920
	mit	links	-1.522	2.408
		rechts	-3.055	3.441

Tab. 15: Amplituden der N1 an der POz in μV für Senioren und Kontrollgruppe nach Warnung und Seite

Paar	Mittelwert	Standard- abweichung	Standard- fehler	95% Konfidenzintervall		t	df	Sig.
				Untergrenze	Obergrenze			
Mit / ohne Warnung	-2.63	2.214	.404	-3.457	-1.803	-6.506	29	.000
Mit Warnung links / rechts	.610	3.762	.687	-.795	2.015	.888	29	.382
Ohne Warnung links / rechts	.111	1.365	.249	-.399	.6204	.445	29	.660

Tab. 16: : Post-hoc Tests (T-Test verbundene Stichproben) der Amplituden der N1 an POz in μV

Eyetracking-Fahrsimulator-Studie (2. Experiment)

Gruppe	Warnung	Seite	Mittelwert	Standard- abweichung	95% Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
Kontrolle	ohne	links	841	41	756	924
		rechts	834	40	753	916
	mit	links	1178	73	1028	1327
		rechts	1174	80	1010	1337
Senioren	ohne	links	887	45	796	978
		rechts	859	44	770	948
	mit	links	1295	80	1132	1458
		rechts	1098	88	920	1277

Tab. 17: Bremsreaktionszeiten in ms (geschätzte Mittelwerte), n = 35

Gruppe	Warnung	Seite	Mittelwert	Standard- abweichung	95 % Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
Kontrolle	ohne	links	523	47	421	625
		rechts	665	46	565	765
	mit	links	720	151	391	1049
		rechts	852	114	604	1100
Senioren	ohne	links	579	54	462	696
		rechts	534	53	419	650
	mit	links	976	174	596	1356
		rechts	748	131	462	1035

Tab. 18: Sakkadenreaktionszeiten in ms (geschätzte Mittelwerte), n = 14

Anhang 2: Versuchsmaterial

Screening-Fragebogen

Fahrsimulatorstudie

Sehr geehrte Teilnehmer/Innen,
vielen Dank, dass Sie an unserer Fahrsimulatorstudie teilnehmen wollen.

Informationen zu Studie

In dieser Studie sollen Grundlagen für die Entwicklung von Assistenzsystemen erforscht werden. Fahrassistenzsysteme sollen in Zukunft besser den Bedürfnissen aller Generationen entsprechen, speziell auch Senioren.

Hier wird kein fertiges Fahrassistenzsystem erprobt, sondern beim Fahren im Simulator mit einem einfachen Assistenz-Prototypen werden Blickbewegungen gemessen. Dazu tragen sie eine Brille, die die Blicke erfasst. Die Methoden sind schmerzfrei.

Bitte beachten Sie: Wenn Sie an unserer Fahrsimulatorstudie im November / Dezember 2015 teilgenommen haben, können Sie diesmal nicht dabei sein. Wenn Sie schon einmal einen Schlaganfall hatten, derzeit an einer Augenerkrankung, einer neurologischen oder psychiatrischen Erkrankung leiden oder Psychopharmaka einnehmen, können Sie leider nicht teilnehmen. Normale und Gleitsichtbrillen sind in Ordnung. Personen mit starker Sehschwäche (ab ca. +/- 3 Dioptrien) sollten nach Möglichkeit Kontaktlinsen tragen, da starke Brillen weniger gut für den Versuch geeignet sind.

Termine: werktags zwischen 9 und 19 Uhr, ab 11. Januar 2016

Dauer: 2 Stunden

Aufwandsentschädigung: 25€


Ort: Innovationspark Wuhlheide (Nähe S-Bahnhof Wuhlheide), HFC Human-Factors-Consult GmbH, Köpenicker Str. 325 - Haus 40, 12555 Berlin

Anmeldung

Bitte füllen Sie das Formular vollständig aus und klicken Sie dann auf „Anmelden“. Auf der folgenden Seite finden Sie den Link zur Terminauswahl, bitte suchen Sie sich einen aus. Wir melden uns dann bei Ihnen, um ihn zu bestätigen und Ihnen die genaue Wegbeschreibung zu geben. .

Wir benötigen einige Informationen, damit wir unter den Teilnehmern die gewünschte Verteilung von Alter, Geschlecht etc. sicherstellen können. Ihre Angaben werden nur zum Zweck dieser Studie bei uns gespeichert und in keinem Fall weitergegeben.

Haben Sie Fragen?

Wenden Sie sich gerne an 

Vorname

Nachname

Geburtsjahr

Geschlecht

- Männlich
 Weiblich

Postleitzahl:

Jahr der Führerscheinprüfung

Monatlich gefahrene Kilometer im Auto (ggf. bitte schätzen)

Nutzung von Brille oder Kontaktlinsen beim Autofahren

- ja
 nein

Händigkeit

- rechtshändig
 linkshändig
 umgeschult linkshändig

Wann haben sie zuletzt einen Sehtest beim Optiker oder Augenarzt gemacht?

Hat sich seit dem letzten Sehtest Ihre Sehschärfe verschlechtert? Wenn ja, wie äußert sich dies?

Manche Menschen reagieren etwas empfindlich auf die vorgetäuschte Bewegung im Fahrsimulator. Die folgenden Fragen haben das Ziel, Ihnen und uns einen Anhaltspunkt zu geben, ob das bei Ihnen wahrscheinlich ist. Je mehr Fragen mit Sie „selten“ / „oft“ beantworten, desto wahrscheinlicher ist es, dass Ihnen flau werden könnte. Falls Sie auf eine Frage mit „immer“ antworten, sollten Sie lieber nicht teilnehmen.

Wird Ihnen flau oder übel, wenn Sie mit einem Flugzeug fliegen?

- Nie
 selten
 oft
 immer
 Ich bin in den letzten Jahren nicht geflogen.

Wird Ihnen flau oder übel, wenn Sie auf einem Boot oder Schiff sind?

- Nie
 selten
 oft
 immer

Ich bin in den letzten Jahren nicht Schiff / Boot gefahren.
Wird Ihnen flau oder übel, wenn Sie in einem Bus oder Auto hinten sitzen?

- Nie
 selten
 oft
 immer

Ich bin in den letzten Jahren nicht hinten im Auto / Bus gefahren.
Wird Ihnen flau oder übel, wenn Sie in einem Fahrsimulator fahren?

- Nie
 selten
 oft
 immer

Ich bin in den letzten Jahren nicht in einem Fahrsimulator gefahren.

Kontaktmöglichkeit(en)

Geben Sie uns bitte die Möglichkeit, Sie zu kontaktieren. Sie können gern auch beide Varianten angeben.

Per E-Mail

(wenn Sie mindestens zweimal pro Woche Ihre Mails lesen)

Oder telefonisch

Bitte klicken Sie nun auf „Anmelden“. Auf der folgenden Seite finden Sie den Link zur Terminauswahl, bitte suchen Sie sich einen aus. Wir melden uns dann bei Ihnen, um den Termin zu bestätigen und Ihnen die genaue Wegbeschreibung zu geben.

Demografie-Fragebogen

Bitte in Druckschrift ausfüllen.

Name, Vorname _____ Postleitzahl, Ort _____

Höchster Bildungsabschluss

- Hauptschule, Volksschule
- Realschule
- Berufsschule
- Abitur
- Studienabschluss

Tätigkeit:

- berufstätig, Beruf: _____
- Ruhestand, früherer Beruf: _____
- Studium, Studienrichtung: _____
- Sonstiges: _____

Händigkeit: Mit welcher Hand üben Sie normalerweise folgende Tätigkeiten aus?

Schreiben	<input type="checkbox"/> links <input type="checkbox"/> rechts <input type="checkbox"/> gemischt	Messer beim Brot-schneiden (ohne Gabel)	<input type="checkbox"/> links <input type="checkbox"/> rechts <input type="checkbox"/> gemischt
Zeichnen	<input type="checkbox"/> links <input type="checkbox"/> rechts <input type="checkbox"/> gemischt	Löffel halten	<input type="checkbox"/> links <input type="checkbox"/> rechts <input type="checkbox"/> gemischt
Werfen	<input type="checkbox"/> links <input type="checkbox"/> rechts <input type="checkbox"/> gemischt	Karten austeilen	<input type="checkbox"/> links <input type="checkbox"/> rechts <input type="checkbox"/> gemischt
Schere halten	<input type="checkbox"/> links <input type="checkbox"/> rechts <input type="checkbox"/> gemischt	Streichholz beim Anzünden	<input type="checkbox"/> links <input type="checkbox"/> rechts <input type="checkbox"/> gemischt
Zahnbürste halten	<input type="checkbox"/> links <input type="checkbox"/> rechts <input type="checkbox"/> gemischt	Deckel einer Kiste öffnen	<input type="checkbox"/> links <input type="checkbox"/> rechts <input type="checkbox"/> gemischt

Geheimhaltung und Datensicherheit:

Die Firma HFC Human-Factors-Consult GmbH verpflichtet sich hiermit, alle persönlichen Daten streng vertraulich zu behandeln. Die Daten werden ausschließlich zur Auswahl der Versuchspersonen für Studien dieser Firma verwendet und nicht an Dritte weitergeleitet.

Aufklärung / Einverständniserklärung

Informationsblatt zur Fahrsimulatorstudie

Bitte lesen Sie sich die folgenden Anmerkungen zur Durchführung der Studie aufmerksam durch.

Vor, während und nach dem Versuch steht Ihnen die Versuchsleiterin bzw. der Versuchsleiter jederzeit unterstützend zur Seite.

Datenerhebung

Bei diesem Versuch werden Daten erhoben bzw. verschiedene Signale aufgezeichnet. Im Folgenden findet sich eine kurze Beschreibung dieser Datenaufnahme.

Fragen zu persönliche Daten und Informationen zu Ihrer Ausgangslage.

Wir fragen Sie nach Ihren persönlichen Daten, damit wir Sie in die richtige Personengruppe einordnen können. Faktoren wie Alter oder Geschlecht können möglicherweise einen Einfluss auf die erhobenen Daten haben. Dies kann durch die Erhebung der Daten kontrolliert werden.

Verhaltensdaten (z.B. Lenkrad, Pedale, Rechnereingaben).

Diese Daten sind notwendig, um Ihr Verhalten und Ihre Antworten hinsichtlich Reaktionsgeschwindigkeit, Richtigkeit, Präferenzen etc. auswerten zu können.

Elektroenzephalogramm (EEG).

Das EEG ist die Messung der elektrischen Aktivität des Gehirns, die an der Kopfoberfläche abgegriffen werden kann. Während des Versuchs wird mithilfe von Elektroden, die direkt oder mittels einer elastischen Kappe auf der Kopfoberfläche befestigt werden, das EEG aufgezeichnet.

Da die Hirnaktivität an der Kopfoberfläche nur sehr schwach ist, wird versucht den Kontakt zwischen Elektroden und Kopfoberfläche zu optimieren. Hierzu werden die Haare mit einer stumpfen und für diesen Zweck getesteten Nadel, zur Seite geschoben. Diese Nadeln können keine Einstiche verursachen und werden Ihnen vorab gezeigt. Zusätzlich wird Elektrodengel benutzt um die Leitfähigkeit weiter zu verbessern. Dieses Gel enthält Salze und fördert die Leitfähigkeit für die Messung. Die verwendeten Stoffe sind klinisch getestet und lassen sich nach Abschluss des Versuchs leicht auswaschen. Vor Ort besteht die Möglichkeit, sich die Haare über einem dafür geeigneten Waschbecken im Stehen zu waschen. Durch die Vorbereitung und den Druck der Elektroden kann es zu leichten Rötungen auf der Kopfhaut kommen, die nach einiger Zeit (in der Regel nach wenigen Stunden) wieder verschwinden.

Eyetracking (Augenbewegungen) mit Videoaufzeichnung

Die Augenbewegungen werden mit einer speziellen Brille aufgezeichnet. Gleichzeitig filmt die Brille das Bild, das die Person vor Augen hat, und nimmt den Ton auf. Dies ist notwendig, um hinterher die EEG- und Verhaltensdaten zusammen interpretieren zu können.

Anonymisierung und Nutzung der Daten

Die HFC Human-Factors-Consult GmbH arbeitet nach den gesetzlichen Bestimmungen über den Datenschutz. Die erhobenen Daten werden elektronisch in anonymisierter Form gespeichert, so dass sie nach der Studie keinen konkreten Personen mehr zugeordnet werden können. Zur Verweisung auf die Daten wird einen Versuchspersonencode benutzt.

Die aufgezeichneten Daten werden ausschließlich für Forschungszwecke verwendet. Die Daten — z. B. als aggregierte Zusammenfassungen, aber auch sämtliche Rohdaten— können zu wissenschaftlichen Zwecken in anonymisierter Form an andere Wissenschaftler weitergegeben und gegebenenfalls veröffentlicht werden.

Ihre Rechte

Ihre Teilnahme ist freiwillig. Sie haben als Proband jederzeit das Recht, den Versuch, ohne Angabe eines Grundes, abzubrechen. Wenn Sie die Studie vorzeitig abbrechen, haben Sie Anspruch auf einen Anteil der vereinbarten Aufwandsentschädigung für die bis dahin absolvierte Zeit.

Weitere Anmerkungen

Es kann vorkommen, dass die Versuchsleiterin bzw. der Versuchsleiter die Studie vorzeitig beendet, z. B. wegen technischer Probleme, oder weil Sie den Erfordernissen der Studie nicht entsprechen. In diesem Fall haben Sie Anspruch auf eine Aufwandsentschädigung für die bis dahin absolvierte Zeit.

Wegen der begrenzten Kabellänge der Elektroden sind Sie während des Versuchs beweglich eingeschränkt. Wir empfehlen aus diesem Grund, vor dem Hauptteil des Versuchs einmal die Toilette zu benutzen.

Einverständniserklärung

Alle im Laufe der Untersuchung erhobenen Daten werden streng vertraulich behandelt. Ihre Daten werden mit einem Code versehen, so dass Ihre Daten aus dem EEG, aus den verschiedenen Messgeräten einander zugeordnet werden können. Ihr Name wird elektronisch in unserem Haus zwischengespeichert, um eine Zuordnung der Versuchspersonen zu gewährleisten. Die endgültige Speicherung der Daten erfolgt anonymisiert. Die Auswertung der biometrischen Daten erfolgt mit vorhandener oder neu zu entwickelnder Software. Personenbezogene Daten werden von uns nicht an Dritte weitergegeben.

Mit dieser Unterschrift bestätige ich, dass ich durch den Versuchsleiter dieser Studie aufgeklärt und informiert worden bin. Ich habe das Informationsblatt zur Fahrsimulatorstudie gelesen und verstanden.

Ich stimme zu, dass die von mir in dieser Untersuchung erworbenen Daten zu wissenschaftlichen Zwecken analysiert und ggf. in wissenschaftlichen Arbeiten anonymisiert veröffentlicht werden.

Mir ist bekannt, dass ich meine Teilnahme an der Untersuchung jederzeit und ohne weitere Angabe von Gründen abbrechen kann.

Ich wurde über meine Rechte als Versuchsperson informiert und erkläre mich zu der freiwilligen Teilnahme an dieser Studie bereit.

.....

Name des Teilnehmers, der Teilnehmerin

.....

Ort, Datum

.....

Unterschrift des Teilnehmers, der Teilnehmerin

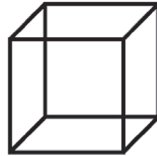
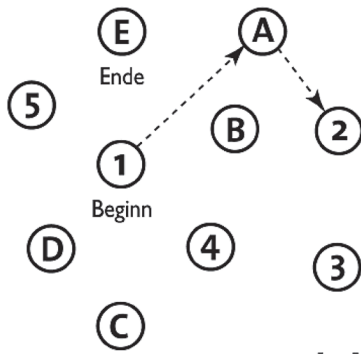
MoCA

MONTREAL COGNITIVE ASSESSMENT (MOCA)

NAME :
 Ausbildung :
 Geschlecht :

Geburtsdatum :
 DATUM :

VISUOSPATIAL / EXEKUTIV



Würfel nachzeichnen

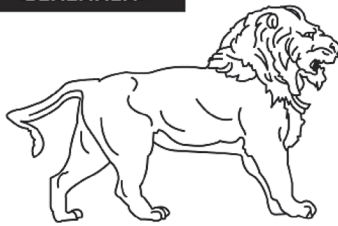
Eine Uhr zeichnen (Zehn nach elf)
 (3 Punkte)

PUNKTE

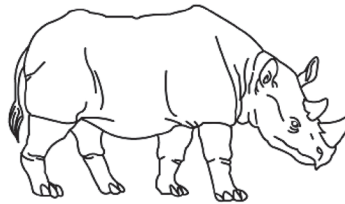
[] [] []
 Kontur Zahlen Zeiger

___/5

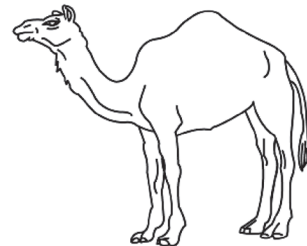
BENENNEN



[]



[]



[]

___/3

GEDÄCHTNIS

Wortliste vorlesen, wiederholen lassen.
 2 Durchgänge. Nach 5 Minuten überprüfen (s.u.)

GESICHT SAMT KIRCHE TULPE ROT

1.Versuch					
2.Versuch					

Keine Punkte

AUFMERKSAMKEIT

Zahlenliste vorlesen (1 Zahl/ Sek.)

In der vorgegebenen Reihenfolge wiederholen [] 2 1 8 5 4
 Rückwärts wiederholen [] 7 4 2

___/2

Buchstabenliste vorlesen (1 Buchst./Sek.). Patient soll bei jedem Buchstaben „A“ mit der Hand klopfen. Keine Punkte bei 2 oder mehr Fehlern

[] FBACMNAAJKLBFAFAKDEAAAJAMOFABA

___/1

Fortlaufendes Abziehen von 7, mit 100 anfangen [] 93 [] 86 [] 79 [] 72 [] 65

4 oder 5 korrekte Ergebnisse: 3 P., 2 oder 3 korrekt: 2 P., 1 korrekt: 1 P., 0 korrekt: 0 P.

___/3

SPRACHE

Wiederholen: „Ich weiß lediglich, dass Hans heute an der Reihe ist zu helfen.“ []
 „Die Katze versteckte sich immer unter der Couch, wenn die Hunde im Zimmer waren.“ []

___/2

Möglichst viele Wörter in einer Minute benennen, die mit dem Buchstaben F beginnen [] _____ (N ≥ 11 Wörter)

___/1

ABSTRAKTION

Gemeinsamkeit von z.B. Banane und Apfelsine = Frucht [] Eisenbahn - Fahrrad [] Uhr - Lineal

___/2

ERINNERUNG

Worte erinnern OHNE HINWEIS

GESICHT [] SAMT [] KIRCHE [] TULPE [] ROT []

Punkte nur bei richtigem Nennen OHNE Hinweis

___/5

Optional

Hinweis zu Kategorie
 Mehrfachauswahl

ORIENTIERUNG

[] Datum [] Monat [] Jahr [] Wochentag [] Ort [] Stadt

___/6

© Z Nasreddine MD Version 7. Nov. 2004 deutsche Übersetzung: SM Bartsch, SG Zipper















Normal ≥ 26 / 30

TOTAL ___/30

www.mocatest.org Untersucher: _____

+ 1 Punkt wenn ≤ 12 Jahre Ausbildung

Snellen-Sehtest

 <p>3 cm</p>		1	20/200
		2	20/100
		3	20/70
		4	20/50
		5	20/40
		6	20/30
			
		7	20/25
		8	20/20
			
		9	
		10	
		11	

SSQ deutsch

Nach der ersten Fahrt im Simulator (Trainingsdurchlauf) und nach der ersten Pause

Es werden im Folgenden wieder einige Beschwerden genannt. Bitte geben Sie an, wie stark Sie aktuell von diesen Beschwerden betroffen sind, indem Sie die Skala von „gar nicht“ bis „stark“ verwenden.

Allgemeines Unwohlsein	<input type="radio"/> gar nicht	<input type="radio"/> kaum	<input type="radio"/> mäßig	<input type="radio"/> stark
Erschöpfung	<input type="radio"/> gar nicht	<input type="radio"/> kaum	<input type="radio"/> mäßig	<input type="radio"/> stark
Kopfschmerzen	<input type="radio"/> gar nicht	<input type="radio"/> kaum	<input type="radio"/> mäßig	<input type="radio"/> stark
Angestrenzte Augen	<input type="radio"/> gar nicht	<input type="radio"/> kaum	<input type="radio"/> mäßig	<input type="radio"/> stark
Schwierigkeiten scharf zu sehen	<input type="radio"/> gar nicht	<input type="radio"/> kaum	<input type="radio"/> mäßig	<input type="radio"/> stark
Vermehrter Speichelfluss	<input type="radio"/> gar nicht	<input type="radio"/> kaum	<input type="radio"/> mäßig	<input type="radio"/> stark
Schwitzen	<input type="radio"/> gar nicht	<input type="radio"/> kaum	<input type="radio"/> mäßig	<input type="radio"/> stark
Übelkeit	<input type="radio"/> gar nicht	<input type="radio"/> kaum	<input type="radio"/> mäßig	<input type="radio"/> stark
Konzentrations-schwierigkeiten	<input type="radio"/> gar nicht	<input type="radio"/> kaum	<input type="radio"/> mäßig	<input type="radio"/> stark
Druckgefühl im Kopf	<input type="radio"/> gar nicht	<input type="radio"/> kaum	<input type="radio"/> mäßig	<input type="radio"/> stark
Verschwommenes Sehen	<input type="radio"/> gar nicht	<input type="radio"/> kaum	<input type="radio"/> mäßig	<input type="radio"/> stark
Schwindel bei <u>offenen</u> Augen	<input type="radio"/> gar nicht	<input type="radio"/> kaum	<input type="radio"/> mäßig	<input type="radio"/> stark
Schwindel bei <u>geschlossenen</u> Augen	<input type="radio"/> gar nicht	<input type="radio"/> kaum	<input type="radio"/> mäßig	<input type="radio"/> stark
Gleichgewichtsstörungen	<input type="radio"/> gar nicht	<input type="radio"/> kaum	<input type="radio"/> mäßig	<input type="radio"/> stark
Unangenehmes Gefühl im Magen	<input type="radio"/> gar nicht	<input type="radio"/> kaum	<input type="radio"/> mäßig	<input type="radio"/> stark
Aufstoßen	<input type="radio"/> gar nicht	<input type="radio"/> kaum	<input type="radio"/> mäßig	<input type="radio"/> stark

Bitte machen Sie noch weitere Angaben zu Ihren Erfahrungen mit dem Fahrsimulator. Die Fragen beziehen sich dabei nur auf die gerade absolvierte Fahrt.

1) Wie anstrengend war diese Fahrt für Sie?

Gar nicht	sehr wenig			wenig			mittel			stark			sehr stark		
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

3) Wie gut sind Sie mit dem Fahrzeug zurechtgekommen?

Gar nicht	sehr schlecht			schlecht			mittel			gut			sehr gut		
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Fahrzeugtechnik“

2011

- F 81: Potential aktiver Fahrwerke für die Fahrsicherheit von Motorrädern
Wunram, Eckstein, Rettweiler € 15,50
- F 82: Qualität von on-trip Verkehrsinformationen im Straßenverkehr – Quality of on-trip road traffic information – BAST-Kolloquium 23. & 24.03.2011
Lotz, Luks € 17,50
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.

2012

- F 83: Rechtsfolgen zunehmender Fahrzeugautomatisierung – Gemeinsamer Schlussbericht der Projektgruppe
Gasser, Arzt, Ayoubi, Bartels, Bürkle, Eier, Flemisch, Häcker, Hesse, Huber, Lotz, Maurer, Ruth-Schumacher, Schwarz, Vogt € 19,50
- F 84: Sicherheitswirkungen von Verkehrsinformationen – Entwicklung und Evaluation verschiedener Warnkonzepte für Stauendwarnungen
Bogenberger, Dinkel, Totzke, Naujoks, Mühlbacher € 17,00
- F 85: Cooperative Systems Stakeholder Analysis
Schindhelm, Calderaro, Udin, Larsson, Kernstock, Jandrisits, Ricci, Geißler, Herb, Vierkötter € 15,50

2013

- F 86: Experimentelle Untersuchung zur Unterstützung der Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen für ältere Kraftfahrer
Hoffmann, Wipking, Blanke, Falkenstein € 16,50
- F 87: 5th International Conference on ESAR „Expert Symposium on Accident Research“
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- F 88: Comparative tests with laminated safety glass panes and polycarbonate panes
Gehring, Zander € 14,00
- F 89: Erfassung der Fahrermüdigkeit
Platho, Pietrek, Kolrep € 16,50
- F 90: Aktive Systeme der passiven Fahrzeugsicherheit
Nuß, Eckstein, Berger € 17,90
- F 91: Standardisierungsprozess für offene Systeme der Straßenverkehrsstelematik
Kroen € 17,00
- F 92: Elektrofahrzeuge – Auswirkungen auf die periodisch technische Überwachung
Beyer, Blumenschein, Bönninger, Grohmann, Lehmann, Meißner, Paulan, Richter, Stiller, Calker € 17,00

2014

- F 93: Entwicklung eines Verfahrens zur Erfassung der Fahrerbeanspruchung beim Motorradfahren
Buld, Will, Kaussner, Krüger € 17,50
- F 94: Biokraftstoffe – Fahrzeugtechnische Voraussetzungen und Emissionen
Pellmann, Schmidt, Eckhardt, Wagner € 19,50
- F 95: Taxonomie von Fehlhandlungen bei der Fahrzeugführung
Oehme, Kolrep, Person, Byl € 16,50
- F 96: Auswirkungen alternativer Antriebskonzepte auf die Fahrdynamik von Pkw
Schönemann, Henze € 15,50
- F 97: Matrix von Lösungsvarianten Intelligenter Verkehrssysteme (IVS) im Straßenverkehr
Matrix of alternative implementation approaches of Intelligent Transport Systems (ITS) in road traffic
Lotz, Herb, Schindhelm, Vierkötter
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- F 98: Absicherungsstrategien für Fahrerassistenzsysteme mit Umfeldwahrnehmung
Weitzel, Winner, Peng, Geyer, Lotz Sefati € 16,50
- F 99: Study on smoke production, development and toxicity in bus fires
Hofmann, Dülsen € 16,50

2015

- F 100: Verhaltensbezogene Kennwerte zeitkritischer Fahrmanöver
Powelleit, Muhrer, Vollrath, Henze, Liesner, Pawellek € 17,50
- F 101: Altersabhängige Anpassung von Menschmodellen für die passive Fahrzeugsicherheit
Wagner, Segura, Mühlbauer, Fuchs, Peldschus, Freßmann € 19,00
- F 102: 6th International Conference on ESAR „Expert Symposium on Accident Research“
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- F 103: Technische Möglichkeiten für die Reduktion der CO₂-Emissionen von Nutzfahrzeugen
Süßmann, Lienkamp
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- F 104: Abbiege-Assistenzsystem für Lkw – Grundlagen eine Testverfahrens
Schreck, Seiniger € 14,50
- F 105: Abgasverhalten von in Betrieb befindlichen Fahrzeugen und emissionsrelevanten Bauteilen – Feldüberwachung
Schmidt, Georges € 14,50
- F 105b: Examination of pollutants emitted by vehicles in operation and of emission relevant components – In-service conformity
Schmidt, Johannsen
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- F 106: Untersuchung des Abgasverhaltens von in Betrieb befindlichen Fahrzeugen und emissionsrelevanten Bauteilen – Austauschkatalsatoren
Schmidt, Johannsen € 13,50

F 106b: Examination of pollutants emitted by vehicles in operation and of emission relevant components – Replacement catalytic converters

Schmidt, Johannsen

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 107: Sicherheitsaspekte beim Laden von Elektrofahrzeugen

Vogt, Link, Ritzinger, Ablingyte, Reindl € 16,50

F 108: Interoperabilität zwischen öffentlichem Verkehrsmanagement und individuellen Navigationsdiensten – Maßnahmen zur Gewährleistung

von der Ruhren, Kirschfink, Ansorge, Reusswig, Riegelhuth, Karina-Wedrich, Schopf, Sparmann, Wöbbeking, Kannenberg € 17,50

F 109: Ermittlung des Umfangs von Abweichungen bei Durchführung der Abgasuntersuchung zwischen Messung am Auspuff und Abfrage des On-Board-Diagnosesystems

Schröder, Steickert, Walther, Ranftl

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 110: Wahrnehmung und Bewertung von Fahrzeugaußengeräuschen durch Fußgänger in verschiedenen Verkehrssituationen und unterschiedlichen Betriebszuständen

Altinsoy, Landgraf, Rosenkranz, Lachmann, Hagen, Schulze, Schlag

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 111: Geräuschminderung von Dünnschichtbelägen

Schulze, Kluth, Ruhnau, Hübel

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2016

F 112: Ersatz von Außenspiegeln durch Kamera-Monitor-Systeme bei Pkw und Lkw

Schmidt, Hoffmann, Krautscheid, Bierbach, Frey, Gail, Lotz-Keens

€ 17,50

F 112b: Final Report Camera-Monitor-Systems as a Replacement for Exterior Mirrors in Cars and Trucks

Schmidt, Hoffmann, Krautscheid, Bierbach, Frey, Gail, Lotz-Keens
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 113: Erweiterung der Software TREMOD um zukünftige Fahrzeugkonzepte, Antriebe und Kraftstoffe

Bergk, Heidt, Knörr, Keller

€ 15,50

F 114: Barrierefreiheit bei Fernlinienbussen

Oehme, Berberich, Maier, Böhm

€ 17,50

F 115: Statischer und dynamischer Fahrsimulator im Vergleich – Wahrnehmung von Abstand und Geschwindigkeit

Frey

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2017

F 116: Lang-Lkw – Auswirkung auf Fahrzeugsicherheit und Umwelt

Süßmann, Förg, Wenzelis

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 117: 7th International Conference on ESAR „Expert Symposium on Accident Research“ – Reports on the ESAR-Conference 2016 at Hannover Medical School

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 118: Bedeutung kompensativer Fahrerstrategien im Kontext automatisierter Fahrfunktionen

Voß, Schwalm € 16,50

F 119: Fahrzeugtechnische Eigenschaften von Lang-Lkw

Förg, Süßmann, Wenzelis, Schmeiler

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 120: Emissionen von über 30 Jahre alten Fahrzeugen

Steven, Schulte, Hammer, Lessmann, Pomsel

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 121: Laufleistungsabhängige Veränderungen der CO₂-Emissionen von neuen Pkw

Pellmann, Schmidt

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2018

F 122: Revision der Emissionsmodellierung für leichte Nutzfahrzeuge – Bedarfsanalyse auf Basis einer Vorstudie

Auf der Maur, Strassburg, Knörr, Heidt, Wuethrich

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 123: Motorradschutzhelme – Identifizierung ihres Verbesserungspotenzials unter Berücksichtigung des Motorradunfallgeschehens

Pollak, Schueler, Bourdet, Deck, Willinger

€ 19,50

F 124: Aufbau eines Qualitätsmanagementsystems für die Erfassung und Weiterverarbeitung von Daten für IVS-Dienste

Heinrich, Pollesch, Schober, Stamatakis, Grzebellus, Radike, Schneider, Stapelfeld, Huber

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 125: Untersuchung zu Elektrokleinstfahrzeugen

Bierbach, Adolph, Frey, Kollmus, Bartels, Hoffmann, Halbach

€ 19,50

2019

F 126: Einfluss zunehmender Fahrzeugautomatisierung auf Fahrkompetenz und Fahrkompetenzerwerb

Weißgerber, Grattenthaler, Hoffmann

€ 15,50

F 127: Erhöhung der Verkehrssicherheit älterer Kraftfahrer durch Verbesserung ihrer visuellen Aufmerksamkeit mittels „Sehfeldassistent“

Kupschick, Bürglen, Jürgensohn

€ 16,50

Zu beziehen über:

Fachverlag NW in der Carl Ed. Schünemann KG
Zweite Schlachtpforte 7 · 28195 Bremen
Tel. +(0)421/3 69 03-53 · Fax +(0)421/3 69 03-63

Alternativ können alle lieferbaren Titel auch auf unserer Website gesucht und bestellt werden.

www.schuenemann-verlag.de

Alle Berichte, die nur in digitaler Form erscheinen, können auf Anfrage als »Book on Demand« hergestellt werden.