

# Eignung von Fahrtrainatoren für die Untersuchung der Fahrkompetenz älterer Autofahrer

Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen

Mensch und Sicherheit Heft M 320

**bast**

# Eignung von Fahrtrainatoren für die Untersuchung der Fahrkompetenz älterer Autofahrer

von

Christian Maag  
Ramona Kenntner-Mabiala  
Yvonne Kaussner  
Sonja Hoffmann  
Stefanie Ebert

Würzburger Institut für Verkehrswissenschaften (WIVW GmbH)  
Veitshöchheim

**Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

**Mensch und Sicherheit Heft M 320**

**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 Kommunikation.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt bei der Carl Ed. Schünemann KG, 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 Kommunikation.

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

## Impressum

**Bericht zum Forschungsprojekt FE 82.0601**  
Methoden zur Untersuchung der Fahrsicherheit älterer Autofahrer

**Fachbetreuung**  
Markus Schumacher

**Referat**  
**Grundlagen des Verkehrs- und Mobilitätsverhaltens**

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

**Redaktion**  
Stabsstelle Presse und Kommunikation

**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](http://www.schuenemann-verlag.de)

ISSN 0943-9315  
ISBN 978-3-95606-629-0

Bergisch Gladbach, Oktober 2021

## Kurzfassung · Abstract

### Eignung von Fahrsimulatoren für die Untersuchung der Fahrkompetenz älterer Autofahrer

Vorliegendes Projekt untersuchte, ob die Fahrkompetenz älterer Autofahrer im Fahrsimulator vergleichbar gut gemessen werden kann wie im Realverkehr.

Der Fahrparcours für die Simulation enthält neben repräsentativen Fahraufgaben mittlerer Schwierigkeit auch Szenarien, die besonders für ältere Autofahrer schwierig sind. Mit der Tablet-Anwendung S.A.F.E. werden registriert und klassifiziert. Darauf basierend erfolgt eine globale Beurteilung der Fahrkompetenz. Der mit der Simulationssoftware SILAB erstellte Parcours wurde auf einem High-Fidelity-Simulator und einem kostengünstigeren Kompaktsimulator implementiert.

Der Fahrparcours wurde anhand einer Fahrverhaltensbeobachtung im realen Straßenverkehr validiert. Dabei handelt es sich um eine 60-minütige standardisierte Strecke, die strukturell mit der Fahrstrecke in den Simulatoren vergleichbar ist. Ein 2x3-Versuchsplan mit dem dreistufigen abhängigen Faktor ‚Methode‘ (Realverkehr vs. High-Fidelity-Simulator vs. Kompaktsimulator) und dem zweistufigen Gruppenfaktor ‚Alter‘ (25-50 Jahre vs. > 70 Jahre) wurde realisiert.

Ältere Fahrer schneiden in verschiedenen Fahrleistungsparametern in den Fahrverhaltensbeobachtungen sowohl im Simulator als auch im Realverkehr bei hoher interindividueller Varianz im Mittel schlechter ab als die Vergleichsgruppe. Globales Fahrrating und Gesamtzahl der Fahrfehler während der Fahrverhaltensbeobachtungen in der Simulation korrelieren bis zu  $r = .80$  mit den globalen Fahrleistungsratings der Fahrverhaltensbeobachtung im Realverkehr. Die Befunde der beiden Simulatoren korrelieren sehr hoch miteinander.

Bei einer entsprechend gestalteten Fahrverhaltensbeobachtung lassen sich die Befunde zur Fahrkompetenz von Senioren aus dem Simulator auf den realen Straßenverkehr übertragen. Hierfür sind Kompaktsimulatoren ausreichend. Die Fahrverhaltenbeobachtung muss dazu, neben repräsentativen Fahraufgaben mittlerer Schwierigkeit auch die Verkehrsszenarien enthalten, die besonders älteren Autofahrern Schwierigkeiten bereiten.

### The validity of driving simulators to measure driving performance of elderly drivers

The present research project aims to investigate if elderly drivers' fitness to drive can be measured as good in a driving simulator as in real traffic.

For this, a test course for driving simulators was developed. This course includes representative driving tasks of medium difficulty as well as scenarios being specifically sensitive to age-related impairments. For the assessment of subjects' driving performance, trained observers register and classify driving errors online by means of a tablet application (S.A.F.E.). Based on the driving errors, a global assessment of driving performance is given. The course has been implemented in a high-fidelity-simulator as well as in a cost-effective compact simulator.

The driving course developed in this project has been validated by comparison with a driving test in real traffic. This driving test is a standardized 60-minute course being structurally comparable with the driving course in the simulators. A 2x3 experimental plan with the dependent factor 'method' (three levels: real traffic vs. high-fidelity-simulator vs. compact simulator) and the group factor 'age' (25-50 years vs. >70 years) was realized.

The data showed that the group of elderly drivers performed worse in various driving parameters compared to the control group. This is shown for both driving simulators as well as for the driving test in real traffic. Global ratings of fitness to drive and total number of driving errors during the driving tests in the simulation correlate with the global driving performance ratings during the driving test in real traffic up to  $r = .80$ . Findings from the high-fidelity-simulator and the compact simulator are highly correlating.

In conclusion, the results of the validation study show that the driving simulator test developed in this project is suitable to assess the driving fitness of elderly drivers. This is true for both investigated configurations of driving simulation, i.e. high-fidelity as well as compact simulator.



## **The validity of driving simulators to measure driving performance of elderly drivers – Summary report**

Modern driving simulators are considered to be a promising alternative to classical methods of fitness-to-drive (FtD) evaluations as they combine the advantages of psychometric testing procedures and driving assessments in real traffic: Modern traffic can be simulated in a realistic way and all clients can be evaluated under identical conditions. Besides, a simulation allows for a safe, specific and replicable triggering of critical events or events that are specific for the respective research question. Numerous variables can be precisely measured (e.g. lane keeping or reaction times). The driver can practice compensatory strategies which can be captured almost as exact as in real traffic.

Within the scope of the current research project it was evaluated, if the fitness-to-drive of elderly drivers can be measured similarly well in a driving simulator as in real traffic. It was also evaluated which level of hardware is needed to collect valid data (e.g. how wide the field of view of the mockup has to be).

In the course of a literature review the capability and the limits of performance of elderly drivers were identified as well as their accident blackspots. As discussed in the literature, deficits in selective attention and vigilance, a degradation of the eyesight, constrained agility and delayed reaction times are especially relevant for driving a car. A content analysis of traffic accidents shows that a good deal of those accidents can be traced back to misconducts of elderly drivers over 65 years that happened at junctions, e.g. errors while turning or while driving through intersections and considering the right of way. In addition to that, the securing behavior decreases considerably. When conducting a driving assessment, driving scenarios that address performance limits and accident blackspots mentioned above should be used to examine the driving ability of elderly drivers.

Psychometric test sets and different concepts for fitness-to-drive evaluations in real traffic were presented and discussed for their feasibility taking into account the possibilities of the driving simulation. The review of literature regarding the validity of driving simulation suggests that driving simulation can be a valid tool for fitness-to-drive evaluations. The requirements for the simulation with respect to the diagnosis of the ability to drive of elderly drivers were defined. It is crucial to know if elderly drivers would accept a generic mockup with simple control

elements and if the field of view in the simulator has an impact on the predictive value for the performance in real traffic.

Some recommendations for the operationalization of a sufficient fitness-to-drive were derived using an overview on how to diagnose driving ability. The analysis shows that the evaluation should be conducted with the means of a pre-defined course. This course should include driving situations and driving tasks that allow for the observation of the relevant behavior. Pre-defined stopping criteria should be employed to protect the subjects from unnecessary stress.

For the assessment of a driver, a standardized protocol should be used. For a reliable fitness-to-drive measurement, evaluators have to familiarize themselves with the grading system, the included categories and scales during a training program. Besides, detailed guidelines for the assessment of the ability to drive should be specified. Standard values that allow for a reasonable classification of the driver's individual performance should be defined.

A high specificity of the driving assessment is important due to the given trade-off between sensitivity and specificity of diagnostic tests as well as the high significance a driver's license has for mobility and quality of life of the elderly drivers (that means that drivers that are able to drive must not be diagnosed as unfit to drive).

Based on the recommendations that were derived from the literature analysis, a testing course that fulfills these requirements was developed and documented. Besides representative driving tasks of moderate difficulty, age specific scenarios that are known to be especially difficult for elderly drivers are contained. They include particularly complex situations at interchanges with diverse traffic (different vehicles, cyclists, pedestrians) and situations with different rules of priority. This testing course was programmed with the driving simulation software S-LAB®.



Picture 1: Tablet-Application S.A.F.E.

fitness-to-drive rating of the psychologists and driving instructor, number of driving errors, quality of lane keeping, brake reaction times). This holds true for the sessions in the simulators as well as those in real traffic (picture 4). The drivers' self-ratings of their driving performance is significantly higher than that of the psychologists and the driving instructor. This effect of overestimating the own performance is more profound in the group of elderly drivers. This is also true for the sessions in the driving simulators. Consequently, the correlations regarding the driving test in real traffic between the drivers and the psychologists ( $r=.447$ ) as well as between the drivers and the driving instructor ( $r=.552$ ) are only medium range. In contrast, the correlation between the psychologists and the driving instructor was distinctly higher ( $r=.759$ ).

The course that was developed in the scope of this project was validated by means of a driving assessment in real traffic.  $N = 60$  drivers took part in the study. A  $2 \times 3$  experimental plan with the dependent factor 'method' (three levels: real traffic vs. high-fidelity-Simulator vs. compact simulator) and the group factor 'age' (25-50 years vs. >70 years) was realized.

The driving test consisted of a course in and around the city of Würzburg that lasted 60 minutes. It comprised a representative profile of driving tasks that are structurally comparable to the driving test in the simulator.

To evaluate which level of hardware is needed at minimum to collect valid data, the course was implemented in two different driving simulators: a static high fidelity simulator (picture 2) with very high quality hardware components and a horizontal field of view of  $300^\circ$  and an economic compact simulator with simpler hardware and a field of view of  $180^\circ$  (picture 3).

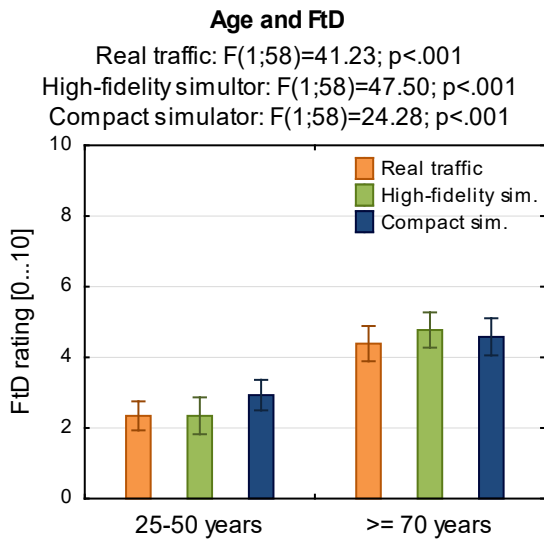
The data analysis yields that on average the group of elderly drivers performs worse with regard to different driving performance parameters than the control group. But there was a high inter-individual variance in performance in this group (global



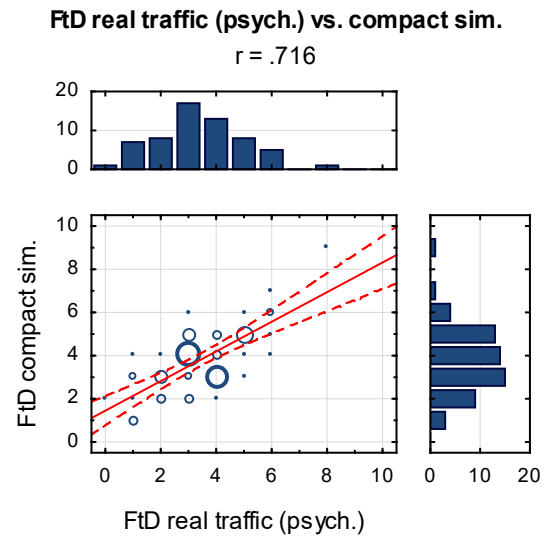
Picture 2: Static high-fidelity Simulator.



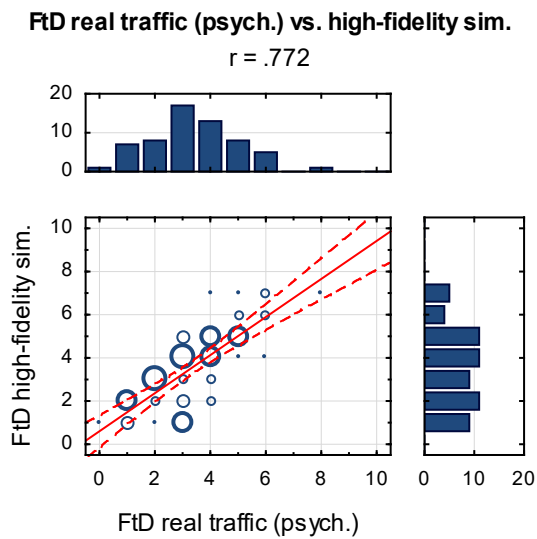
Picture 3: Compact simulator



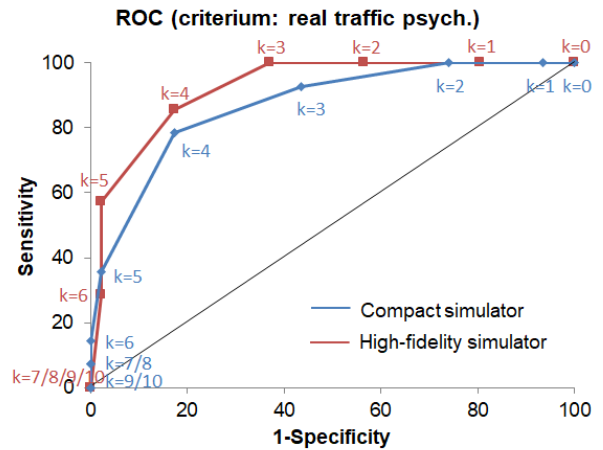
Picture 4: Fitness-to-drive ratings by age group and test method assigned by psychologist.



Picture 6: Correlation between fitness-to-drive ratings in the compact simulator and in real traffic.



Picture 5: Correlation between fitness-to-drive in the high-fidelity simulator and fitness-to-drive ratings in real traffic.



Picture 7: Comparison of ROC-curves of the high-fidelity simulator and the compact simulator.  $k$  reflects the criterion up to which the driving test is passed.

The global rating and the number of errors made in driving tests in the simulation correlate in the medium to high range up to  $r=.80$  with the global rating in real traffic.



of the high-fidelity simulator with the ROC of the compact simulator. The aim is to achieve high sensitivity while maintaining high specificity. The discriminative quality of the compact simulator is somewhat lower compared to the high-fidelity simulator. The best trade-off between sensitivity and specificity is given for the criterion  $k=4$ . That means that driving tests up to a FtD rating of 4 are rated as „passed“, FtD ratings from 5 result in failing the test.

To sum it up, the results of the validation study show that the described driving assessment is appropriate for assessing fitness-to-drive of elderly drivers. This applies for both configurations of driving simulators, i.e. the high-fidelity simulator as well as the compact simulator. Besides the sound diagnostic quality and prediction accuracy of the driving assessment in the simulator, the interviews with the participating drivers show that the driving test in the simulator is highly accepted. The described method of assessing fitness-to-drive using a driving simulator is more predictive for the driving competence in real traffic compared to traditional psychometric testing. Regarding the minimum requirements on simulator configuration, a quite cost-efficient compact simulator is sufficient. Driving tests in a compact simulator assure a nearly equivalent predictive quality as in a high-fidelity simulator.

# Inhalt

<b>Abkürzungsverzeichnis und Glossar</b> .....	<b>11</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>13</b>
<b>2 Problemstellung</b> .....	<b>13</b>
<b>3 Literaturanalyse</b> .....	<b>14</b>
3.1 Begriffsbestimmung .....	14
3.2 Leistungsvermögen und Leistungsgrenzen älterer Fahrer .....	14
3.2.1 Informationsaufnahme.....	15
3.2.2 Informationsverarbeitung und Handlungsvorbereitung .....	15
3.2.3 (Psycho-)Motorik und Handlungsausführung .....	17
3.3 Unfallschwerpunkte von Senioren .....	18
3.4 Zusammenfassung und Ableitung sensitiver Verkehrsszenarien .....	20
3.5 Methoden der Fahreignungsdiagnostik.....	21
3.5.1 Psychometrische Testverfahren zur Fahreignungsdiagnose .....	21
3.5.2 Fahrverhaltensbeobachtungen im Realverkehr.....	23
3.5.3 Fahrsimulatoren als Alternative zu klassischen Verfahren.....	24
3.6 Validität der Fahrsimulation .....	25
3.6.1 Wahl und Wahrnehmung der Geschwindigkeit sowie Bremsverhalten .....	26
3.6.2 Wahl und Wahrnehmung von Längsabständen.....	26
3.6.3 Spurhaltung sowie Wahrnehmung und Wahl von Querabständen.....	27
3.6.4 Gefahrenwahrnehmung, Risikoverhalten und Leistungsparameter des Fahrens .....	27
3.6.5 Zusammenfassung und Einflussfaktoren auf die Validität .....	29
3.7 Anforderungen an die Simulation zur Fahrkompetenzmessung älterer Autofahrer.....	30
3.8 Operationalisierung einer ausreichenden Fahrkompetenz.....	31
3.8.1 TRIP-Protokoll.....	31
3.8.2 Wiener Fahrprobe .....	32
3.8.3 Fahrverhaltensbeobachtung nach BRENNER-HARTMANN (2002).....	32
3.8.4 Weitere Beispiele für die Bewertung von Fahrverhaltensbeobachtungen .....	32
3.8.5 Empfehlungen zur Fahrkompetenzmessung .....	33
<b>4 Beschreibung der für die Simulation entwickelten Prüfstrecke</b> .....	<b>34</b>
4.1 Vorüberlegungen .....	34
4.2 Beschreibung des Prüfparcours .....	35
<b>5 Definition von Maßen der Fahrkompetenz</b> .....	<b>40</b>
5.1 Erfassung von Fahrfehlern .....	40
5.2 Fitness-to-Drive-Skala.....	41
<b>6 Validierung der Fahrverhaltensbeobachtung in der Simulation</b> .....	<b>42</b>
6.1 Methoden.....	42
6.1.1 Stichprobe.....	42
6.1.2 Versuchsdesign und -ablauf .....	42
6.1.3 Implementierung der Fahrverhaltensbeobachtung in die Simulation.....	43
6.1.4 Fahrverhaltensbeobachtung im Realverkehr.....	45
6.1.5 Methode der Fahrkompetenzmessung .....	45

6.1.6	Schulung der Testleiter .....	45
6.2	Ergebnisse der Validierungsstudie .....	46
6.2.1	Stichprobenbeschreibung.....	46
6.2.1	Datenauswertung.....	47
6.2.2	Globale Beurteilung der Fahrkompetenz .....	47
6.2.3	Analyse der Fahrfehler.....	51
6.2.4	Spurhaltegüte in der Simulation.....	54
6.2.5	Reaktion auf plötzliches Ereignis.....	55
6.2.6	Verträglichkeit der Fahrverhaltensbeobachtung im Simulator.....	55
6.2.7	Akzeptanz der Fahrverhaltensbeobachtung in der Simulation.....	58
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse.....</b>	<b>59</b>
<b>8</b>	<b>Schlussfolgerungen.....</b>	<b>61</b>
<b>9</b>	<b>Ausblick und weiterer Forschungsbedarf.....</b>	<b>61</b>
<b>10</b>	<b>Literatur .....</b>	<b>63</b>

Der Anhang zum Bericht liegt bei der BAST vor und kann auf Anfrage an [info@bast.de](mailto:info@bast.de) ausschließlich für wissenschaftliche Zwecke zum eigenen Gebrauch zur Verfügung gestellt werden.

---

## Abkürzungsverzeichnis und Glossar

ART	Act-and-React-Testsystem
DOS	Driving Observation Schedule
FtD	Fitness-to-Drive
LCD	Flüssigkristallanzeige (englisch: liquid crystal display)
MDPE	Modified Driving Performance Evaluation
MMSE	Mini Mental State Examination
Q1	Erfassung der Aufmerksamkeit unter Monotonie
ROC-Kurven	Receiver-Operating-Characteristic-Kurve bzw. Grenzwertoptimierungskurve
RODE	Record of Driving Errors
S.A.F.E.	Standardized Application for Fitness to Drive Evaluations
SDLP	Standardabweichung der Spurabweichung
SPDE_DFA	Szenarienpaket Deutschland – Driver Fitness and Ability
TAVT	Tachistoskopischer Verkehrsauffassungstest
THW	Time Headway
TLC	Time to Line Crossing
TRIP-Protokoll	Test Ride for Investigating Practical Fitness to Drive
TTC	Time to Collision
UFOV	Useful Field of View
WDG	Wiener Determinationsgerät
WTS	Wiener Testsystem
WURT	Washington University Road Test



## 1 Einleitung

Angesichts unseres demographischen Wandels wird die Überprüfung der Fahrtauglichkeit älterer Fahrer nicht nur in der Boulevard-Presse, sondern auch in Politik und Wissenschaft zunehmend thematisiert (z.B. DEUTSCHE AKADEMIE FÜR VERKEHRSWISSENSCHAFT, 2017). Autofahren ist für Senioren von hoher Bedeutung, um sich bis ins hohe Alter Mobilität und damit Lebensqualität zu bewahren. Es wird von vielen Senioren auch als ein wichtiges Instrument zur Kompensation nachlassender körperlicher Beweglichkeit gesehen und stellt somit eine schwer verzichtbare Ressource für den Erhalt einer selbständigen Lebensführung dar. Auch für ältere Frauen ist es immer selbstverständlicher, einen Führerschein zu besitzen und Auto zu fahren. Dies gilt insbesondere für die Baby-Boomer-Generation, die in der nächsten Dekade ins Rentenalter kommen wird. Bis zum Jahr 2050 werden so mehr als 90% der Senioren einen Führerschein besitzen (ROMPE, 2011). Dies hat zur Folge, dass in den nächsten Jahren mit einer steigenden prozentualen und absoluten Anzahl älterer Autofahrer im Straßenverkehr zu rechnen ist. Alterskorrelierte Defizite in der Fahrleistung bzw. in fahrrelevanten Leistungsfunktionen bedürfen daher zunehmend der empirisch-wissenschaftlichen Überprüfung.

Da der Prozess des Alterns individuell sehr unterschiedlich verläuft, sagt das chronologische Alter relativ wenig über die tatsächliche körperliche und geistige Fitness eines Menschen und damit verbunden auch seine Fahreignung aus. Somit handelt es sich bei der Altersgruppe der Senioren um eine höchst heterogene Gruppe (z.B. NELSON & DANNEFER, 1992).

Forschungsbemühungen im Bereich der Fahrsicherheit älterer Fahrer zielten lange Zeit darauf ab, ein einfaches Testverfahren zu finden, mit dessen Hilfe die Fahrleistung standardisiert, objektiv, normiert und reliabel gemessen werden kann. Anhand verschiedener Studien (z.B. NIEMANN & HARTJE, 2013; POSCHADEL ET AL., 2012b; KAUSSNER, 2007) wurde aber gezeigt, dass eine für den Einzelfall ausreichend sichere Prognose des Ergebnisses der Fahrverhaltensbeobachtung (bestanden vs. nicht bestanden) auf Grundlage derartiger psychometrischer Tests vor allem für alte und/oder kranke Fahrer derzeit nicht gegeben ist. So erweist sich ein beachtlich hoher Prozentsatz von Fahrern mit auffälligen Testleistungen bei einer Fahrverhaltensbeobachtung als fahrgeeignet. Diese geringe Spezifität von psychometrischen Testverfahren kann zu großen Teilen dadurch erklärt werden, dass eingeschränkte Fahrer ihre Defizite beim Fahren durch

kompensatorische Strategien (wie z.B. durch das Einhalten größerer Sicherheitsabstände) begegnen (KARTHAUS ET AL., 2015; KAUSSNER 2007). Dagegen ist bei psychometrischen Tests das Ausüben kompensatorischer Strategien nicht möglich. Daher gilt die Fahrverhaltensbeobachtung im Realverkehr (vor allem bei auffälligem Testergebnis) als Gold-Standard, um die Fahrtauglichkeit im Einzelfall verlässlich zu prüfen. Zu kritisieren sind hier neben dem hohen Aufwand v.a. die fehlende Standardisierbarkeit und die potentielle Gefährdung der Fahrer selbst und anderer Verkehrsteilnehmer.

Moderne Fahrsimulatoren könnten eine vielversprechende Alternative bieten, da sie die Vorteile von psychometrischen Tests und Fahrverhaltensbeobachtungen im Realverkehr vereinen: Der moderne Straßenverkehr kann in entsprechend ausgestatteten Anlagen wirklichkeitsnah abgebildet werden, und alle Fahrer können unter identischen Bedingungen untersucht werden. Darüber hinaus erlaubt die Simulation eine gefahrlose, gezielte und replizierbare Herstellung von kritischen oder für die jeweilige Fragestellung spezifischen Verkehrssituationen sowie eine exakte Messung von zahlreichen Leistungsmaßen (z.B. Spurhaltung, Reaktionszeiten). Ein weiterer essentieller Vorteil ist, dass kompensatorische Strategien nahezu genauso praktiziert und erfasst werden können wie im Realverkehr (KAUSSNER, 2007).

## 2 Problemstellung

Im Rahmen des vorliegenden Forschungsvorhabens wird untersucht, ob die Fahrkompetenz älterer Autofahrer im Fahrsimulator vergleichbar gut gemessen werden kann wie im Realverkehr. Hierzu wird ein Fahrparcours entwickelt, der die in der einschlägigen Fachliteratur genannten Anforderungen an eine Fahrverhaltensbeobachtung im Realverkehr erfüllt (siehe u.a. SCHUBERT & WAGNER, 2003; UTZELMANN & BRENNER-HARTMANN, 2005). Insbesondere werden neben repräsentativen Fahraufgaben mittlerer Schwierigkeit auch altersspezifisch sensitive Szenarien enthalten sein, von denen bekannt ist, dass sie älteren Autofahrern oft Schwierigkeiten bereiten. Zur Gewährleistung der Repräsentativität wird auf einschlägige Klassifikationen der Fahraufgabe zurückgegriffen (siehe z.B. BARTHELMESS, 1972; BRENNER-HARTMANN, 2002; BUKASA & PIRINGER, 2001; HAMPEL ET AL., 1982; KLEBELSBERG ET AL., 1970; FASTENMEIER, 1995; zitiert nach UTZELMANN & BRENNER-HARTMANN 2005).

Zur Untersuchung der Frage, welche Ausbaustufe der Fahrsimulation mindestens notwendig ist, um

Ergebnisse zu erzielen, die auf das Verhalten der Fahrer im Straßenverkehr übertragbar sind, wird der Parcours auf zwei Simulatoren implementiert. Zum einen wird ein Simulator in einer sehr hohen Ausbaustufe eingesetzt, um die Realität möglichst wirklichkeitsgetreu nachbilden zu können. Zusätzlich wird ein einfacherer Fahrsimulator (hinsichtlich Sichtsystem und anderer Hardwarekomponenten) verwendet, von dem aufgrund von Vortests zu erwarten ist, dass er zum einen von älteren Autofahrern akzeptiert und beherrscht werden kann. Zum anderen ist er v. a. im Hinblick auf Kosten und logistische Merkmale (z.B. Platzbedarf) ökonomisch gestaltet, da vor allem für derartige Simulatorlösungen laut eine verstärkte Nachfrage besteht. Innerhalb der aufwändigeren Ausbaustufe kann weiterhin der diagnostische Mehrwert einzelner Hardware-Features durch eine entsprechende Streckengestaltung überprüft werden (z.B. Größe des Sichtsystems durch eine Aufteilung der Strecke in Abschnitte mit Szenarien, die eine Rundumsicht erfordern und solche, bei denen ein geringerer Ausschnitt der Fahrumgebung ausreicht).

Zur Überprüfung der Validität durchfahren 30 Testfahrer im Alter ab 70 Jahren und 30 Testfahrer im Alter zwischen 25 und 50 Jahren an drei unterschiedlichen Tagen den Parcours auf beiden Simulatoren sowie die Referenzstrecke im Realverkehr. Die Bewertung der Fahrleistung erfolgt ganzheitlich mit Hilfe eines Profils zahlreicher Leistungsparameter, die verschiedene Ebenen der Fahraufgabe abbilden (globale Fahrleistungsratings, teilautomatisierte Registrierung und Klassifikation von Fahrfehlern, automatisierte Berechnung einschlägiger taktischer und operationaler Fahrparameter) und sich im Rahmen vorangegangener empirischer Studien zu Fahrtüchtigkeit/-tauglichkeit als sensitiv erwiesen haben (KAUSSNER ET AL., 2010; KAUSSNER, 2007; KENNTNER-MABIALA ET AL., 2015a,b). Im Realverkehr wird die Fahrtauglichkeit zudem durch einen Fahrlehrer beurteilt. Mindestanforderungen, bei deren Erfüllung von einer ausreichenden Fahrtauglichkeit auszugehen ist, werden basierend auf einer Literaturanalyse, den Daten eigener Studien, in denen ein solches Leistungsprofil erhoben wurde, und auch den Erfahrungen im vorliegenden Projekt abgeleitet.

### 3 Literaturanalyse

In folgender Literaturanalyse werden nach einem Überblick über fahrrelevante körperliche und kognitive Veränderungen im Alter sowie einer Zusammenfassung aktueller Unfallstatistiken Verkehrsszenarien abgeleitet, die sensitiv für

seniorenspezifische Leistungsdefizite beim Fahren sind. Verschiedene Methoden der Fahreignungsdiagnostik werden diskutiert und die Validität der Fahrsimulation wird erörtert. Nach einem Überblick über Verfahren zur Operationalisierung ausreichender Fahrkompetenz erfolgt eine Ableitung der Anforderungen an die Fahrsimulation im Hinblick auf die Diagnose der Fahreignung älterer Fahrer.

#### 3.1 Begriffsbestimmung

Die grundlegende Voraussetzung für die Teilnahme am Straßenverkehr ist die Eignung (FRIES, WILKES & LÖSSL, 2008), was darunter zu verstehen ist, hat der Gesetzgeber in der Fahrerlaubnisverordnung (FeV) und im Straßenverkehrsgesetz (StVG) festgelegt.

„Unter **Fahreignung** wird die zeitlich weitgehend stabile, von aktuellen Situations- und Befindlichkeitsparametern unabhängige Fähigkeit zum Führen eines Kraftfahrzeugs im Straßenverkehr verstanden. (...) Die Begriffe „Fahreignung“ und „Fahrtauglichkeit“ werden häufig synonym verwendet (BERGHAUS & BRENNER-HARTMANN, 2012). Die „Fahreignung“ wird eng mit der Fahreignungsbegutachtung im Rahmen einer Medizinisch Psychologischen Untersuchung assoziiert. BERGHAUS & BRENNER-HARTMANN (2012) grenzen von der Fahreignung noch die **Fahrsicherheit** ab, unter der sie „...die situations- und zeitbezogene Fähigkeit zum Führen eines Fahrzeugs ...“ (S. 134) verstehen. Im Gegensatz zur Fahreignung, die als zeitlich stabil betrachtet wird, kann sich die Fahrsicherheit im Verständnis dieser Definition verändern. Zu Veränderungen der Fahrsicherheit, synonym auch mit Fahrtüchtigkeit bezeichnet, kann es aufgrund äußerer Faktoren oder dem Zustand des Fahrers kommen.

In Anlehnung an HOLTE (IN VORBEREITUNG) wird in dieser Arbeit der Begriff der Fahrkompetenz, als übergeordnete Bezeichnung für eine situationsabhängige (Fahrtauglichkeit) und eine situationsübergreifende (Fahreignung) Fähigkeit zum Führen eines Fahrzeugs verwendet.

#### 3.2 Leistungsvermögen und Leistungsgrenzen älterer Fahrer

Älterwerden ist keinesfalls als universeller und genereller Abbauprozess zu begreifen, der alle Personen gleichermaßen in verschiedensten Funktionsbereichen betrifft (LEHR, 1988 und SCHAIE, 1993;

zitiert nach METKER ET AL., 1994). Sicher ist jedoch, dass mit zunehmendem Alter die Wahrscheinlichkeit für altersbedingte Abbauprozesse und Erkrankungen steigt und daher Einbußen in der körperlichen und geistigen Leistungsfähigkeit eher zu erwarten sind (für einen Überblick siehe FALKENSTEIN ET AL., 2011; GELAU ET AL., 1994; KAISER & OSWALD, 2000; METKER ET AL., 1994). Neben den rein altersbedingten Leistungsdefiziten, treten im Alter auch Krankheiten (z.B. Augenkrankheiten, Demenz) auf, die zu Leistungseintrüchtigungen führen können (DAVIDSE, 2006).

### 3.2.1 Informationsaufnahme

Etwa 90% der Informationen, die für das Autofahren relevant sind, werden visuell wahrgenommen (ABENDROTH & BRUDER, 2009; LACHENMAYR, 1995). Entsprechend sind altersbezogene Veränderungen im visuellen Bereich besonders bedeutsam und auch gut dokumentiert. Das Leistungsvermögen einer Reihe visueller Funktionen unterscheidet sich zwischen älteren und jüngeren Personen.

So nimmt die Akkomodationsgeschwindigkeit ab, d.h. die Schnelligkeit mit der von fernen auf nahe Objekte und vice versa fokussiert werden kann. Beim Autofahren wird diese Fähigkeit allerdings ständig benötigt, da der Fahrer zwischen Informationen aus der Umwelt und im Fahrzeug dargebotenen Informationen wechseln muss, um die Fahraufgabe erfolgreich zu bewältigen. So benötigt im höheren Alter der Wechsel von Umgebungs- zu Tachoblicken mehr Zeit. Daneben verringert sich auch die Akkomodationsfähigkeit. Insbesondere auf nahe Objekte kann nicht mehr vollständig akkomodiert werden – ein Phänomen, das als Altersweitsichtigkeit (Presbyopie) bekannt ist.

Auch die Sehschärfe nimmt im Alter ab – vor allem bei ungünstigen Lichtverhältnissen und in der Dämmerung. In einer Studie von WELLER (2013) hatten 40% der über 75-Jährigen bei einem Sehtest mit oder ohne Sehhilfe einen geringeren Visus als 0.7 und damit die Mindestanforderungen des Führerscheins an die Sehschärfe nicht erfüllt. In der Gruppe der 64-69-Jährigen lag der entsprechende Wert bei 7.7% und bei den 70-74-Jährigen bei 11.5%. Auch POSCHADEL (2013) fand, dass 42.4% der 132 untersuchten älteren Fahrer den Sehtest nicht bestanden haben.

Eine höhere Blendungsempfindlichkeit und eine sinkende Fähigkeit der Hell-Dunkeladaption führen dazu, dass ältere Fahrer Nachtfahrten zu vermeiden versuchen. Nach einer Blendung durch ein entgegenkommendes Fahrzeug benötigen ältere

Fahrer länger bis sie angeben, wieder normal sehen zu können.

Unter dem „nutzbaren Sehfeld“ (engl. UFOV – Useful Field of View) wird „der Sehbereich oder das Sehfeld verstanden, das unmittelbar überblickt werden (...) kann“ (KAISER & OSWALD, 2000, S. 142). Eine Reihe von Studien zeigt, dass das UFOV mit der Fahrleistung und dem Unfallrisiko höher korreliert als andere visuelle Funktionsbereiche (OWSLEY ET AL., 1991; SHINAR & SCHIEBER, 1991).

Dieses Sehfeld, d.h. der für ein unbewegtes Auge sichtbare Raum, nimmt ebenfalls im Alter ab. Zusammen mit Einschränkungen der Okulomotorik und der verminderten Beweglichkeit der Halswirbelsäule, die eine Kompensierung durch Augen- und Kopfbewegungen erschweren, hat dies große Relevanz für die Fahrleistung im Alter.

Allerdings verlangen Tests zur Messung des UFOV (Erkennung von Zielreizen zentral und peripher mit und ohne Distraktoren) nicht nur die Wahrnehmung bestimmter visueller Reize, sondern stellen auch Anforderungen an die Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit sowie die selektive und geteilte Aufmerksamkeit. Schlechtere Leistungen bei Tests zum peripheren Sehen müssen dennoch nicht eine direkte Folge des eingeschränkten Gesichtsfelds sein, sondern können auch auf eine verzögerte Reaktionsaktivierung und damit verbunden längere Reaktionszeiten zurückgehen (HOFFMANN, 2013). Neben diesen normalen physiologischen Veränderungen der visuellen Funktionen, können auch Augenerkrankungen (u.a. Katarakt, Glaukom) bei älteren Fahrern Ursache von Einbußen in der visuellen Leistungsfähigkeit sein.

Im Gegensatz zu den visuellen Funktionen konnte ein Zusammenhang zwischen der auditiven Leistungsfähigkeit und dem Unfallrisiko kaum belegt werden (ANSTEY ET AL., 2005; ELLINGHAUS & STEINBRECHER, 1990). Alterskorrelierte Verschlechterungen des Hörvermögens betreffen hauptsächlich das Richtungshören sowie die Unterscheidung und Wahrnehmung hochfrequenter Töne. Warntöne aus der Verkehrsumwelt oder ausgelöst durch fahrzeuginterne Systeme können daher von älteren Fahrern möglicherweise schlechter wahrgenommen werden als von jüngeren Fahrern.

### 3.2.2 Informationsverarbeitung und Handlungsvorbereitung

Die große Bedeutung von Aufmerksamkeitsprozessen für die Fahraufgabe ist offensichtlich. In einer Reihe von Untersuchungen wurden alterskorrelierte



Veränderungen der Aufmerksamkeit untersucht. Dabei wurden hauptsächlich folgende Unterkategorien der Aufmerksamkeit differenziert (NIEMANN & GAUGGEL, 2010):

- Selektive Aufmerksamkeit: Fähigkeit, auf relevante Reize einer Situation schnell und zuverlässig zu reagieren und sich nicht durch unwichtige Reize ablenken zu lassen
- Geteilte Aufmerksamkeit: Fähigkeit, zwei oder mehrere Aufgaben parallel zu bewältigen
- Daueraufmerksamkeit/Vigilanz: Fähigkeit, relevante Reize über einen längeren Zeitraum unter hoher Reizdichte und Anforderung (Daueraufmerksamkeit) bzw. monotonen Bedingungen (Vigilanz) zu beachten und auf diese Reize zu reagieren.

Bezüglich der selektiven Aufmerksamkeit berichtet bereits RABBITT (1965, zitiert nach GELAU ET AL., 1994), dass ältere Personen bei zunehmender Anzahl irrelevanter Reize, mehr Zeit zur Bearbeitung brauchen. Dieser Effekt deutet auf ein Inhibitionsdefizit älterer Menschen hin, d.h. es fällt ihnen schwer, Distraktoren zu ignorieren (z.B. MAGER ET AL. 2005). Auch beim sogenannten Stroop-Test, bei dem die gedruckte Farbe von Farbwörtern benannt und entsprechend die interferierende geschriebene Farbe unterdrückt werden muss, zeigen ältere Personen konsistent ein schlechteres Leistungsniveau (längere Bearbeitungszeit, mehr Fehler) als jüngere (vgl. SPIELER ET AL., 1996). Einige Studien stellen alterskorrelierte Einschränkungen der visuellen Suche lediglich unter Zeitdruck fest (PLUDE & HOYER, 1985, zitiert nach KAISER & OSWALD, 2000 und METKER ET AL., 1994; WRIGHT & ELIAS, 1979, zitiert nach METKER ET AL., 1994).

Eine alternative Hypothese (die sogenannte „Spatial Localization Hypothesis“; PLUDE & HOYER, 1985, zitiert nach GELAU ET AL., 1994) geht davon aus, dass Probleme beim Finden der aufgabenrelevanten Information zu einer verringerten selektiven Aufmerksamkeit führen. Empirische Unterstützung findet die Hypothese z.B. durch eine Studie von RANNEY & SIMMONS (1992, zitiert nach GELAU ET AL., 1994). In einem statischen Versuchsfahrzeug sollten die Probanden eine zu wählende Fahrspur an einem simulierten Knotenpunkt per Blinkerbedienung angeben. Die relevante Information wurde dabei durch die Lichtsignalanlage oder eine verbale Anzeige dargestellt. Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass ältere Fahrer vor allem dann eine längere Reaktionszeit zeigten, wenn unklar war, wo die relevante Information dargeboten wird. Bei videobasierten Hazard Perception Tests (siehe auch Kapitel 3.6.4) finden UNDERWOOD et al. (2005) allerdings keine Unterschiede in der visuellen Suche

nach Gefahren zwischen jüngeren (31-44 Jahre) und älteren (61-76 Jahre) Fahrern.

Bezüglich der geteilten Aufmerksamkeit finden sich bei älteren Personen Leistungsrückgänge erst, wenn eine gewisse Komplexität der Aufgaben gegeben ist (SOMBERG & SALTHOUSE, 1982, zitiert nach METKER ET AL., 1994). In einer entsprechenden Fahrsimulatorstudie (NILSSON & ALM, 1991, zitiert nach GELAU ET AL., 1994) hatten die Probanden während einer Fahrt eine Nebenaufgabe zu bewältigen, als plötzliche Hindernisse auf der Fahrbahn eine Bremsreaktion erforderten. Sowohl die älteren (in diesem Fall Fahrer zwischen 60 und 71 Jahren) als auch jüngere Fahrer zeigten in der Nebenaufgabenbedingung längere Bremsreaktionszeiten. Die Interaktion mit dem Alter wurde nicht signifikant, was für kein besonderes Defizit älterer Fahrer bezüglich der geteilten Aufmerksamkeit spricht. Allerdings ließen sich im Bereich der Spurhaltung durchaus Unterschiede in Abhängigkeit von Alter und Nebenaufgabe finden, was sehr wohl für eine altersspezifische Einschränkung der geteilten Aufmerksamkeit spricht. Ein ähnliches Ergebnis findet sich bei HAHN ET AL. (2010).

Ein Aufgabenwechsel fällt älteren Personen im Allgemeinen schwerer (KRAMER ET AL., 1999; KRAY & LINDENBERGER, 2000, jeweils zitiert nach FALKENSTEIN ET AL., 2011). FALKENSTEIN ET AL. (2011) erklären über dieses Defizit auch die Probleme manch älteren Fahrers mit komplexen Kreuzungssituationen, da dort von einer Tätigkeit (z.B. Verkehr von links beobachten) zu einer anderen Tätigkeit (z.B. querende Fußgänger beachten) gewechselt werden muss. Somit müssen verschiedene Informationen berücksichtigt und im Gedächtnis behalten werden.

Bezüglich Vigilanz und Daueraufmerksamkeit zeigt die Datenlage keinen konsistenten Trend einer Beeinträchtigung älterer Menschen (STAUB ET AL., 2013). So untersuchten QUILTER ET AL. (1983) in einer Längsschnittstudie den Einfluss des Alters auf die Reaktionszeit und die Anzahl korrekter Antworten beim Mackworth-Vigilanz-Test. Sie fanden einen alterskorrelierten Effekt für beide abhängigen Variablen. Eine spätere Studie von GIAMBRA und QUILTER (1988) konnte den Alterseffekt jedoch nur für die Reaktionszeit replizieren. Auch die Normdaten zum Q1-Test aus der Leistungstestbatterie des Act-React-Testsystems (BUKASA & PIRINGER, 2001), der die Daueraufmerksamkeit misst, zeigen einen Alterseffekt nur für die Anzahl der bearbeiteten und richtigen Items, nicht jedoch für die Fehlerate. Eine mögliche Erklärung der genannten Befunde könnte der Geschwindigkeits-Genauigkeits-Ausgleich (Speed-Accuracy-Tradeoff) sein. Dieser

besagt, dass bei der Bearbeitung sehr vieler Aufgaben die Genauigkeit bei geringerer Geschwindigkeit steigt und bei höherer Geschwindigkeit sinkt. Bei älteren Personen ist empirisch gut belegt (SALTHOUSE, 1979), dass diese die Genauigkeit der Aufgabenbearbeitung stärker gewichten als die Bearbeitungsgeschwindigkeit bzw. die Anzahl der bearbeiteten Aufgaben.

Eine geringere Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit im Alter ist empirisch gut belegt (ELLINGHAUS & STEINBRECHER, 1990; SIEGFRIED, 1995; OSWALD, 1998, jeweils zitiert nach KAISER & OSWALD, 2000). Ein Teil der geringeren Testleistung älterer Personen in den verschiedenen Tests zur Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit (z.B. der Zahlenverbindungstest (ZVT) von OSWALD & ROTH, 1978, zitiert nach KAISER & OSWALD, 2000) kann allerdings auf die motorische Komponente zurückgeführt werden. Entsprechende Hinweise finden sich bei KAUSSNER (2007) und BUKASA & PIRINGER (2001). Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass sich im Alter sowohl die Bewegungszeit als auch die Entscheidungszeit verlängern, letztere allerdings bei älteren Probanden stärker beeinträchtigt ist (ELLINGHAUS & STEINBRECHER, 1990).

Bezüglich der Intelligenz zeigen die entsprechenden Untersuchungen (METKER ET AL., 1994) keine Abnahme der kristallinen Anteile (d.h. Wissen und Erfahrung), aber zunehmende Defizite im Bereich der fluiden Intelligenz (d.h. Problemlösung, Lernen und Mustererkennung) mit dem Alter.

Bei Untersuchungen zur Gedächtnisleistung zeigen sich Alterseffekte stärker im Bereich des Kurzzeit- als des Langzeitgedächtnisses mit einer stärkeren Beeinträchtigung von Erwerb und Abrufbarkeit von Informationen und weniger des Behaltens und der Verfügbarkeit von Informationen (FLEISCHMANN, 1991, zitiert nach METKER ET AL., 1994). Der Einfluss der Gedächtnisleistung auf die Fahrleistung wird allerdings als sehr begrenzt eingeschätzt (ANSTEY ET AL., 2005). Relevanter für die Fahrleistung ist dagegen der Einfluss des Alters auf die Zeit- und Geschwindigkeitsschätzung (vgl. GELAU ET AL., 1994). WILD-WALL ET AL. (2008, zitiert nach FALKENSTEIN ET AL., 2011) zeigten dies beispielhaft anhand der Defizite älterer Personen bei der Einschätzung und Herstellung von Zeitspannen.

### 3.2.3 (Psycho-)Motorik und Handlungs- führung

Reaktionszeiten sind insbesondere aufgrund einer längeren handlungsvorbereitenden Entscheidungs-

zeit im Alter länger. Die für die Bewegungsausführung notwendige Zeit ändert sich hingegen im Alter insbesondere bei einfachen Bewegungen in deutlich geringerem Ausmaß. Je stärker jedoch die kognitiven Anforderungen einer Aufgabe sind, desto deutlicher lässt sich eine alterskorrelierte Verlängerung der Reaktionszeit nachweisen (BOTWINIK, 1984, SALTHOUSE, 1985; beide zitiert nach METKER ET AL., 1994). Grund sind einerseits der schon erwähnte Speed-Accuracy-Tradeoff und andererseits die langsamere Informationsverarbeitung bei älteren Personen. Verschiedene Studien haben gezeigt, dass der Einfluss des Alters auf die Reaktionszeiten von der Art und Komplexität der Aufgabe, der Art der geforderten Antwortreaktion und der Anzahl der Antwortalternativen abhängt (LEHR, 1991; WELFORD, WELFORD, 1982; SPIRDUSO & MACRAE, 1990; STELMACH ET AL., 1987; jeweils zitiert nach METKER ET AL., 1994). Für das Autofahren sind diese moderierenden Einflüsse dahingehend relevant, dass im Alter durch die Komplexität von Verkehrssituationen mit einer unter Umständen verlangsamten Reaktion älterer Fahrer zu rechnen ist.

Ein Einfluss des Alters auf das Tracking und die Spurhaltung ist gut dokumentiert (HAHN ET AL., 2010; HOFFMANN, 2013; KAISER & OSWALD, 2000; RIEDEL ET AL., 1998; TRÄNKLE, 1994). Diverse Krankheiten, die im Alter auftreten können, sowie die Fahrtüchtigkeit beeinflussende Medikamente können dies noch verstärken (KAUSSNER, 2007; KAUSSNER & KRÜGER, 2012).

Weiterhin vermindert sich im Allgemeinen die Bewegungsfähigkeit älterer Menschen und die Leistungsfähigkeit der Muskulatur nimmt ab (vgl. METKER ET AL., 1994). Für den älteren Fahrer spielt insbesondere eine abnehmende Beweglichkeit der Halswirbelsäule eine wichtige Rolle, da diese für das Sichern und das Ausführen von Schulterblicken notwendig ist. Entsprechend wird immer wieder über das mangelnde Sicherungsverhalten älterer Fahrer in Situationen wie Spurwechsel, Abbiegen und Einparken berichtet (z.B. WELLER, 2013). Die abnehmende Kraft, Ausdauer und Geschicklichkeit (insbesondere in Bezug auf die Handmotorik; vgl. HAIGH, 1993) ist in Anbetracht der modernen Fahrzeugtechnik (z.B. Servolenkung) weniger relevant. Auch moderne Bremssysteme (vgl. Bremsunterstützungssysteme) sind nicht mehr auf eine hohe Bedienkraft angewiesen.

### 3.3 Unfallschwerpunkte von Senioren

Im Jahr 2016 waren 20% der Bevölkerung 64 Jahre und älter. Gleichzeitig waren aber nur 13.1% der Personen, die in Pkw-Verkehrsunfälle verwickelt sind, 64 Jahre und älter und damit unterrepräsentiert (DESTATIS, 2017). Dies sollte jedoch nicht darüber hinwegtäuschen, dass sich die oben erwähnten fahrrelevanten alterskorrelierten Leistungsveränderungen und Einschränkungen teilweise auch in den Unfallstatistiken widerspiegeln.

Da ältere Fahrer regelmäßig durch eine geringe jährliche Fahrleistung gekennzeichnet sind, muss das Unfallrisiko auf die Gefahrenexposition bezogen werden. Entsprechende Auswertungen zeigen, dass das fahrleistungsbezogene Unfallrisiko zwar bis zu einem Alter von 45 Jahren immer geringer wird, ab 60 Jahren aber wieder leicht und ab 75 Jahren deutlich ansteigt (SWOV, 2010). Fahrer über 80 Jahre erreichen ein fahrleistungsbezogenes Risiko, das dem von Fahranfängern entspricht (SWOV, 2010). Auch die Daten von LOUGHRAN et al. (2007) zeigen ab einem Alter von 75 Jahren einen deutlichen Anstieg des fahrleistungsbezogenen Unfallrisikos bei von der Polizei aufgenommenen Unfällen. Im Vergleich zur Altersgruppe der 60-64-Jährigen haben 75-79-Jährige ein 2.0-fach, 80-84-Jährige ein 2.1-fach und über 85-Jährige ein 3.4-fach erhöhtes Risiko. Damit wird fast das Unfallrisiko der Fahranfänger unter 20 Jahren erreicht, die ein ca. 3.9-fach erhöhtes Risiko haben. Statt eine Folge des Alters zu sein, könnte das erhöhte Unfallrisiko älterer Fahrer seine Ursache auch in der geringeren Fahrpraxis älterer Fahrer haben (sogenannter „Low-Mileage Bias“; HAKAMIES-BLOMQUIST ET AL., 2002). Je mehr eine Person jährlich fährt, desto geringer ist das entfernungsbezogene Risiko zu verunglücken. Auch werden längere Fahrten meist auf relativ sicheren Straßen durchgeführt, z.B. auf Autobahnen (SCHADE, 2008).

LOUGHRAN et al. (2007) nennen weitere Einschränkungen der Aussagekraft ihrer Auswertung: (1) Da von der Polizei hauptsächlich Unfälle aufgenommen werden, die mit Personenschäden einhergehen und ältere Fahrer aufgrund physiologischer Veränderungen mit höherer Wahrscheinlichkeit bei einem Unfall verletzt werden (sogenannter „Frailty Bias“; HAKAMIES-BLOMQUIST ET AL., 2002), wird das Risiko älterer Fahrer überschätzt. (2) Auch machen die berichteten Daten keine Aussage über die Unfallverursachung. Die Tatsache, dass ältere Fahrer in mehr Unfälle verwickelt sind, bedeutet nicht automatisch, dass sie auch mehr Unfälle verursachen.

Aus diesem Grund schätzen LOUGHRAN et al. (2007) das relative Unfallrisiko älterer Fahrer auch über die Häufigkeit tödlicher Pkw-Pkw Verkehrsunfälle unterschiedlicher Altersgruppen. Je häufiger Unfälle zwischen älteren und jüngeren Fahrern im Vergleich zu Unfällen zwischen zwei älteren Fahrern sind, desto höher ist das Unfallrisiko älterer Fahrer. Diese Methode setzt allerdings voraus, dass ältere Fahrer ein mindestens so hohes Unfallrisiko wie jüngere Fahrer haben, der Anteil von Begegnungen der Altersgruppen im Verkehr der Verteilung in der Bevölkerung entspricht und tödliche Unfälle repräsentativ für das gesamte Unfallgeschehen sind. Die Ergebnisse der Analyse zeigen, dass ältere Fahrer ein nur leicht erhöhtes Unfallrisiko haben. Je nach Definition der älteren Fahrergruppe liegt die Erhöhung zwischen 14% für Fahrer über 60 Jahre, 13% für Fahrer über 65 Jahre und 9% für Fahrer über 70 Jahre. Das im Alter wieder abnehmende Risiko erklären die Autoren über das Kompensationsverhalten älterer Fahrer. Dennoch scheint diese im Vergleich zu anderen Auswertungen eher geringe Zunahme des Unfallrisikos eine untere Grenze der tatsächlichen Risikoerhöhung zu sein.

In anderen Quellen, die eine Verursachungsanalyse bei Unfällen mit Personenschaden beinhalten, überschreiten über 75-jährige Autofahrer allerdings sogar das Niveau von Fahranfängern: Bei einer Unfallbeteiligung wird ihnen in 75.1% der Fälle die Hauptschuld zugewiesen (DESTATIS, 2017). Ebenso zeigen die Daten der Befragung „Mobilität in Deutschland 2008“ (ADAC, 2010), dass bei den über 70-jährigen Fahrern die Anteile an der Hauptverursachung eines Unfalles mit Personenschaden wieder höher sind als deren Anteile an den Pkw-Fahrleistungen (ähnlich wie bei den jungen Fahrern unter 30 Jahre).

JOHANNSEN und MÜLLER (2013) zeigen anhand der amtlichen deutschen Unfallstatistik, dass insbesondere Kreuzungssituationen für ältere Fahrer ein Problem darstellen. Der relative Anteil der Unfallart „Unfall mit Fahrzeug, das einbiegt oder kreuzt“ nimmt mit dem Alter deutlich zu. Auch „Zusammenstöße zwischen Fahrzeug und Fußgänger“ werden – wenn auch auf deutlich niedrigerem Niveau – häufiger. Der häufigste Unfalltyp älterer Fahrer ist der „Einbiege-/Kreuzungsunfall“, den ein Wartepflichtiger auslöst, der einbiegt oder kreuzt. Dagegen wird der „Unfall im Längsverkehr“, der bei jüngeren Fahrern den häufigsten Unfalltyp darstellt, im Alter immer seltener. Die Autoren folgern, dass ältere Autofahrer hauptsächlich Probleme mit der korrekten Erfassung von komplexen Situationen haben, wie sie z.B. an Kreuzungen üblich sind. Eine verminderte

Reaktionsschnelligkeit wird mit den Fußgängerunfällen in Verbindung gebracht.

Laut Statistischem Bundesamt (DESTATIS, 2017) liegen die Ursachen für Unfälle älterer Fahrer meist an Missachtungen der Vorfahrt (17.6%) und Fehlern bei Fahrmanövern wie Abbiegen, Rückwärtsfahren, Wenden sowie Ein- und Anfahren (16.6%). Auch das Einfädeln in den fließenden Verkehr bzw. Spurwechsel werden von Autoren immer wieder als typisch alterskritische Fahraufgaben beschrieben (KAISER & OSWALD 2000, SCHLAG 1994). Bei all diesen für ältere Fahrer kritischen Fahraufgaben lässt sich ein Bezug zu den alterskorreliert auftretenden Leistungsdefiziten herstellen. Denn beim Durchfahren von Knotenpunkten und bei Spurwechseln muss der Fahrer eine Vielzahl relevanter Reize gleichzeitig wahrnehmen und verarbeiten, Geschwindigkeiten und Entfernungen schätzen und oftmals unter Zeitdruck reagieren. Weiterhin kommt es bei älteren Fahrern aufgrund von Einschränkungen im Gesichtsfeld und einer Versteifung der Halswirbelsäule gehäuft zu Unfällen beim Rückwärtsfahren, Wenden, Ein- und Anfahren. Letztere sind auch eine Folge des abnehmenden Sicherungsverhaltens mit zunehmendem Alter. Insbesondere Schulterblicke werden seltener durchgeführt (WELLER, 2013).

GRAAB ET AL. (2008) fand anhand von standardisierten Interviews und einer Stichprobe von 287 Unfällen, dass altersspezifische Unterschiede sowohl bei der Verteilung von Fehlerarten im Informationsverarbeitungsprozess, als auch bei den dafür verantwortlichen Einflussfaktoren bestehen. Die Ergebnisse zeigen, dass bereits ab einem Alter von 55 Jahren ein erhöhtes Unfallrisiko insbesondere an Kreuzungssituationen nachzuweisen ist. Ältere Fahrer sind eher durch den Informationszugang und bei der Informationsaufnahme beeinträchtigt, während die Einschätzung von vorhandenen Informationen scheinbar besser gelingt als dies bei jüngeren Fahrern der Fall ist. Die Schwierigkeiten bei der Informationsaufnahme lassen sich hauptsächlich auf den falschen Aufmerksamkeitsfokus zurückführen, also das Beobachten von Verkehrsteilnehmern, die nicht unmittelbar für die Verkehrssituation relevant sind. Die Autoren vermuten, dass die Ursache in einer erhöhten Ablenkbarkeit im Alter im Vergleich zu jüngeren Fahrern liegt, die insbesondere in Kreuzungssituationen mit vielen potentiellen Ablenkungsreizen zum Tragen kommt.

Im Gegensatz zu den Fehlverhaltensweisen, die bei jüngeren Fahrern gehäuft auftreten, spielen unangepasste Geschwindigkeit, Abstandsfehler, Alkoholeinfluss, falsche Straßennutzung oder Fehler beim Überholen bei älteren Fahrern eine eher

geringe Rolle. Somit sind eher altersbedingte Einschränkungen in Wahrnehmung, Aufmerksamkeit und Reaktionsfähigkeit Gründe für die bei älteren Fahrern auftretenden Unfallarten und weniger Leichtsinns und Unvernunft. Unterstützung findet diese Hypothese durch die Daten von PREUSSER ET AL. (1998), die zeigen konnten, dass das relative Unfallrisiko in der Gruppe der Hochbetagten insgesamt linear ansteigt, jedoch bei Betrachtung des Unfallrisikos an Kreuzungen ein exponentieller Anstieg resultiert.

POTTGIESSER ET AL. (2012) interviewten im Rahmen des von der Bundesanstalt für Straßenwesen geförderten Projekts PROSA (Profile von Senioren mit Autounfällen) 180 Senioren ab 65 Jahren, die in den letzten fünf Jahren als Fahrer eines Pkw in einen Unfall mit Sach- oder Personenschaden verwickelt waren. Etwas mehr als die Hälfte der Befragten gab an, dass sie die Alleinschuld trugen (53.9%). 31.1% waren als Unschuldige am Unfall beteiligt. Der Rest gab an, dass sie eine Teilschuld hatten (8.9%) oder die Schuldfrage unklar war (6.1%). Für eine Teilstichprobe von 131 Unfällen wurden die Angaben der Senioren mit den Angaben in der polizeilichen Unfallanzeige verglichen. Der Vergleich zeigt, dass die Polizei die Alleinschuld deutlich häufiger beim befragten älteren Fahrer sah (70.9%). Bezüglich der Unfallart handelte es sich bei den meisten Unfällen um Kreuzungsunfälle (30.6%) und um Unfälle beim Ein- oder Ausparken (27.8%). Die meisten Unfälle führten zu einem Sachschaden, einen Personenschaden gab es nur bei 13.9% der berichteten Unfälle. Der größte Einflussfaktor auf die Unfallentstehung hatten nach Meinung der Befragten Erschwernisse an der Unfallstelle (58.2%) wie z.B. eine schwierige Verkehrsregelung mit teilweise fehlerhaftem Verhalten anderer, schlechte Wetter- oder Lichtbedingungen oder eine besondere Enge der Verkehrsstelle.

In einer weiteren Analyse untersuchten POTTGIESSER ET AL. (2012) die polizeilichen Unfallstatistiken der Stadt Bonn in den Jahren 2000-2005. Ein Vergleich der Unfallcharakteristika von Fahrern unter 65 Jahren mit älteren Fahrern zeigt, dass Senioren häufiger Unfälle verursachen. Dabei werden von ihnen Unfälle häufiger durch Nichtbeachtung von Verkehrsregelungen, falsches Verhalten gegenüber Fußgängern, körperliche oder geistige Mängel und Fehler beim Wenden oder Rückwärtsfahren verursacht. Alkoholkonsum oder unangepasste Geschwindigkeit sind dagegen als Unfallursache älterer Fahrer seltener. Dementsprechend seltener sind Senioren an Unfällen in Kurven beteiligt, während sich eine Tendenz zu mehr Unfällen an Kreuzungen zeigt. Insgesamt sind Senioren häufiger an sehr leichten Unfällen beteiligt. Im Vergleich

zu Fahrern unter 65 Jahren vermeiden sie extreme Straßenverhältnisse und Nachfahrten (vgl. JOHANNSEN & MÜLLER, 2013). Nach Meinung der Autoren spiegelt dieses Gesamtbild eine häufigere Überforderung der Senioren mit der Komplexität von Kreuzungssituationen wider.

### 3.4 Zusammenfassung und Ableitung sensitiver Verkehrsszenarien

Von den in der Fachliteratur diskutierten alterstypischen Veränderungen sind für das Autofahren

neben Aufmerksamkeitsdefiziten im Bereich der selektiven und der Daueraufmerksamkeit vor allem die Verschlechterung des Sehvermögens, die eingeschränkte Beweglichkeit und die verlangsamte Reaktionsfähigkeit relevant. Die inhaltliche Auswertung des Unfallgeschehens ergibt, dass ein großer Anteil der Unfälle von Fahrern über 65 Jahre auf Fehlverhalten an Knotenpunkten zurückgeführt werden kann. Beispiele sind Fehler beim Abbiegen, beim Einfahren in Kreuzungen sowie bei der Beachtung der Vorfahrt. Daneben nimmt das Sicherungsverhalten mit zunehmendem Alter deutlich ab.

	<b>Beeinträchtigungen</b>	<b>Betroffene Fahraufgaben</b>	<b>Abgeleitete Fahrszenarien</b>
Informationsverarbeitung	Reduzierte Geschwindigkeit der Informationsverarbeitung	Reaktion auf plötzliche und unvorhersehbare Ereignisse	Plötzliches Hindernis auf der Fahrbahn (z.B. Wildwechsel)
	Unangemessene Entscheidungsprozesse	Reaktion auf Hindernisse, die nicht überholt werden dürfen	Langsames Fahrzeug, das aufgrund eines Verbots nicht überholt werden darf Kreuzung, die bei eigener Einfahrt blockiert würde
	Verringerte Fähigkeit zur selektiven Aufmerksamkeit	Kreuzungssituationen mit verschiedenen relevanten Verkehrsteilnehmern, schwieriger Vorfahrtsregelung und anspruchsvoller Verkehrsführung	Kreuzungen und Einmündungen mit Verkehr aus verschiedenen Richtungen Ampelgeregelter Kreuzung, die bei Grün ein Beachten des entgegenkommenden Verkehrs erfordert Große Kreuzungen mit vielen Spuren
	Schlechtere Einschätzung von Geschwindigkeiten und Abständen	Einfahrtsituationen in den fließenden Verkehr Spurwechsel	Spurwechsel vor Kreuzungen, um die korrekte Abbiegespur zu erreichen Spurwechsel auf Autobahnen Auffahrt auf Autobahn Einbiegen auf Vorfahrtsstraße
	Geteilte Aufmerksamkeit	Navigationsaufgaben zusätzlich zur Fahraufgabe	Verbale Richtungsanweisung z.B. „Richtung Würzburg“
	<b>Beeinträchtigungen</b>	<b>Betroffene Fahraufgaben</b>	<b>Abgeleitete Fahrszenarien</b>
Informationsaufnahme	Nachlassende Sehschärfe Verringertes nutzbares Sehfeld	Erkennen von Verkehrsschildern und Ampeln Erkennen von Verkehrsteilnehmern, die teilweise verdeckt bzw. nur peripher wahrgenommen werden können	Streckenabschnitte mit beschilderten Geschwindigkeitslimits Ampelgeregelter Kreuzungen Rechtsabbiegemanöver mit querendem Radfahrer auf Fahrradweg

	Schlechteres Dämmerungssehen  Geringere Adaptationsfähigkeit	Reaktion auf schwer sichtbare Verkehrsteilnehmer im Dunkeln  Anpassung an schnell wechselnde Lichtbedingungen	Nachtfahrt mit schlecht sichtbaren Verkehrsteilnehmern (z.B. Fußgänger, Radfahrer)  Nachtfahrt mit Gegenverkehr
Psychomotorik/ Handlung	Nachlassende Psychomotorik	Durchfahren von Engstellen  Reaktion auf plötzliche Ereignisse	Enge Baustellendurchfahrt in Innenstadt, auf Landstraße oder Autobahn  Wildwechsel auf Landstraße
	Verringerte körperliche Beweglichkeit (insbesondere im Bereich Hals/Wirbelsäule)	Einfahr- und Abbiegesituationen; Spurwechsel	Rechtsabbiegen und dabei Radfahrer beachten  Spurwechsel auf Autobahnen Auffahrt auf Autobahn Einbiegen auf Vorfahrtsstraße

**Tab. 1:** Leistungsbeeinträchtigungen und Unfallschwerpunkte im Alter und daraus abgeleitete Fahrscenarien zur Diagnose der Fahreignung.

Auch wenn viele Studien alterskorrelierte Leistungseinbußen immer wieder nachgewiesen haben, wurde doch auch immer wieder die kognitive Plastizität und Lernfähigkeit im höheren Lebensalter bestätigt (MAYRING & SAUP, 1990, SCHMITZ-SCHERZER ET AL., 1994, PERRIG ET AL., 1996, KLIEGL & MAYR, 1997, alle zitiert nach KAISER & OSWALD, 2000). In Zusammenhang mit den kompensatorischen Verhaltensweisen, die ältere Fahrer vielfach zeigen, resultiert dies in der Notwendigkeit individualdiagnostischer Methoden zur Erfassung der Fahrleistung. Eine faire und von den Betroffenen akzeptierte Methode sollte dabei auf das tatsächliche Verhalten in verschiedenen, sensitiven Verkehrssituationen fokussieren. Den in der Literatur nachgewiesenen alterskorrelierten Defiziten wird im vorliegenden Projekt sowohl beim Design und der Zusammenstellung des Prüfparcours in der Simulation als auch bei der Gestaltung der Fahrstrecke im Realverkehr Rechnung getragen werden. In Tabelle 1 werden auf Basis von Befunden aus der Literatursensitive Verkehrsszenarien und Fahraufgaben für seniorenspezifische Leistungsdefizite zur Gestaltung einer Fahrverhaltensbeobachtung für Senioren abgeleitet.

### 3.5 Methoden der Fahreignungsdiagnostik

#### 3.5.1 Psychometrische Testverfahren zur Fahreignungsdiagnose

In den 1990er-Jahren war die Forschung im Bereich älterer Autofahrer dominiert von der Suche nach geeigneten Screeningtests zur Diagnose der Fahrtauglichkeit und damit auch sehr defizit-orientiert

(DE RAEDT & PONJAERT-KRISTOFFERSEN 2000). Ziel dieser Bemühungen war es, durch standardisierte Leistungstests verschiedene fahrrelevante Leistungsfunktionen möglichst getrennt zu erfassen.

Die Anlage 5 der Fahrerlaubnisverordnung (FeV) nennt die folgenden fünf Anforderungen an die psychische Leistungsfähigkeit:

- Belastbarkeit
- Orientierungsleistung
- Konzentrationsleistung
- Aufmerksamkeitsleistung
- Reaktionsfähigkeit

Die zur Untersuchung dieser Anforderungen eingesetzten Verfahren müssen dabei nach dem Stand der Wissenschaft standardisiert und nach Aspekten der Verkehrssicherheit validiert sein. Dieser Forderung wird man derzeit durch speziell entwickelte Testverfahren gerecht, die mittlerweile fast ausschließlich über Computersysteme dargeboten werden. Dies gewährleistet ein hohes Maß an Standardisierung und Objektivität bei der Durchführung und Auswertung.

An der Verwendung psychometrischer Testverfahren ist zu kritisieren, dass die in der FeV genannten Anforderungsbereiche nicht ausreichend theoretisch fundiert sind und nicht neueren kognitiven Modellen entsprechen (GOLZ ET AL. 2004). Aktuelle Aufmerksamkeitsaxonomien unterscheiden beispielsweise die Aspekte Intensität und Selektivität, welche auch spezifische und unterscheidbare funktionell-neuroanatomische Repräsentationen haben. Doch auch diese neueren Taxonomien stellen allenfalls vereinfachte und unter Vorbehalt neuerer Befunde vorläufige Konzeptionen der Aufmerksamkeit dar. Weitere zentrale Aufmerksamkeitsaspekte sind die Fokussierung, die eine Ausrichtung auf zeitliche,

räumliche und objektspezifische Merkmale beinhaltet, und die Verarbeitungsmodalität d.h. visuell, auditiv oder taktil (NOBRE ET AL. 2004). Für das Fahrverhalten ist darüber hinaus auch eine Aufmerksamkeitskomponente relevant, die nach SPENCE & DRIVER (2004) als crossmodale Interaktion und Integration bezeichnet wird. Gemeint sind hier der Abgleich und die Integration von Informationen unterschiedlicher Sinneskanäle. Laut POSCHADEL ET AL. (2009) erweisen sich die Anforderungsbereiche der FeV unter diesen Voraussetzungen als unscharf, teilweise redundant (Aufmerksamkeit vs. Konzentration) und nicht operationalisiert.

Die Aussagekraft bzw. Kriteriumsvalidität oben genannter Testverfahren wurde mit Hilfe von Validierungsstudien untersucht. Dabei absolviert eine repräsentative Stichprobe des Begutachtungsklientels in der Ernstsituation der Fahreignungsdiagnostik (d.h. unfreiwillige Teilnahme) zum einen die jeweilige verkehrspsychologische Testbatterie und zum anderen eine Fahrverhaltensbeobachtung.

POSCHADEL ET AL. (2009) führten eine Literaturrecherche zur Kriteriumsvalidität von Testverfahren zur psychometrischen Leistungsprüfung durch. Sie identifizierten insgesamt 167 relevante Artikel. In Deutschland und Österreich wurden vor allem das Expertensystem Verkehr des Wiener Testsystems (sowie die Vorgänger Wiener Determinationsgerät und Wiener Reaktionsgerät), der ART 90 und 2020, der Tachistoskopische Verkehrsauffassungstest (TAVT), der Aufmerksamkeits-Belastungs-Test d2 und die Testbatterie zur Aufmerksamkeitsprüfung zur Überprüfung der Fahrtauglichkeit (TAP-M) eingesetzt. In internationalen Studien wurde neben diversen Verfahren zu Merkfähigkeit, Intelligenz, Aufmerksamkeit und Demenzdiagnostik vor allem der Trailmarking-Test, der Useful Field of View Test und die Rey-Osterreith-Figur eingesetzt. Zusammenfassend berichten POSCHADEL ET AL. für den Raum Deutschland/Österreich/Belgien zu folgenden Tests positive Zusammenhänge zu in Fahrverhaltensbeobachtung erbrachten Leistungen: Wiener Determinationsgerät, Wiener Reaktionsgerät, ART2020, TAP-M, und die Rey-Osterreith-Figur.

KARNER ET AL. (2001) verglichen darüber hinaus die Testverfahren Expertensystem Verkehr, ART 90, Wiener Determinationsgerät und Wiener Reaktionsgerät untereinander und schlussfolgerten, dass die einander entsprechenden Untertests unabhängig von der Präsentation dasselbe messen.

Dennoch werden derartige Testverfahren zunehmend von Experten kritisiert (siehe u.a. POSCHADEL ET AL., 2012b). Auch wenn signifikante Korrelationen zwischen den bei psychometrischen Tests

erbrachten Leistungen und der Bewertung des Fahrverhaltens bei einer Fahrverhaltensbeobachtung oft als Beleg für die Validität angeführt werden (BALL & ACKERMAN, 2011), so ist eine befriedigende Vorhersage im Einzelfall erst dann zu erwarten, wenn die entsprechenden Korrelationskoeffizienten nicht nur statistisch signifikant, sondern auch sehr hoch sind (siehe HAERTJE ET AL., 1991; POSCHADEL ET AL., 2009). So gibt SCHMIDT-ATZERT (2010) zu bedenken, dass das Risiko für falsch positive und falsch negative Beurteilungen auf Basis eines Testergebnisses aufgrund der in der Literatur erwähnten Validitätskoeffizienten zu hoch sei, um valide diagnostische Entscheidungen über die Fahrtauglichkeit allein auf Basis dieser Tests zu treffen. Außerdem muss nach Einschätzung verschiedener Autoren davon ausgegangen werden, dass Bewertungen des praktischen Fahrverhaltens und die psychometrischen Tests unterschiedliche Leistungsaspekte erfassen (FASTENMEIER, GSTALTER & GEHLERT, 2014; HANNEN ET AL., 1998; NIEMANN & HARTJE, 2007; 2013; WELLER, SCHLAG & GEHLERT, 2014).

Ein weiteres Problem psychometrischer Testverfahren ist, dass ältere Menschen systematisch benachteiligt werden. Einerseits sind sie zwar routinierte Autofahrer, haben auf der anderen Seite aber (zumindest bislang) in ihrem bisherigen Leben oftmals nur wenig Erfahrung mit Computern gesammelt. Dadurch können die Tests für sie schwerer sein. Außerdem werden alterskorrelierte Beeinträchtigungen von vielen älteren Autofahrern durch Erfahrung, ein angepasstes Fahrverhalten, Umsicht und Meiden von Risikosituationen (wie z.B. Nachtfahrten) kompensiert werden (z.B. BURGARD 2005; KAUSSNER 2007; KARTHAUS ET AL. 2015). Kompensation wird aber in psychometrischen Leistungstests unterbunden.

So haben schon mehrere kontrollierte Untersuchungen gezeigt, dass psychometrische Leistungstests das praktische Fahrverhalten von neurologischen Patienten und Senioren nur unzureichend prognostizieren und die testpsychologischen Daten oft schlechter ausfallen als die tatsächliche Fahrleistung in einer Fahrverhaltensbeobachtung (BURGARD, 2005; NIEMANN & DÖHNER, 1999, zitiert nach HARTJE, 2004; KORTELING & KAPTEIN, 1996, MAZER ET AL., 1998, VAN ZOMEREN ET AL., 1988, jeweils zitiert nach WOLBERS ET AL., 2001).

Auch NIEMANN & HARTJE (2013) berichten, dass die Wahrscheinlichkeit hoch sei, nach einer auffälligen Testleistung eine praktische Fahrverhaltensbeobachtung zu bestehen. Je nach Prognoseverfahren wurden 29% bis 67% der als nicht fahrg geeignet

und 14% bis 24% der als fahrgerecht prognostizierten Fälle falsch klassifiziert. Somit ist aus Sicht der Autoren eine für die Einzelfallentscheidung befriedigend sichere Prognose des Ausgangs der Fahrverhaltensbeobachtung auf der Grundlage psychometrischer Tests (z.B. zur Reaktionsschnelligkeit, Aufmerksamkeitsteilung, visuellen Suche, Umstellungsfähigkeit) nicht zu erreichen. Die Autoren folgern, dass die unzureichende Korrelation zwischen den Ergebnissen in psychometrischen Tests und in Fahrverhaltensbeobachtungen folgende Ursachen haben:

- Im Unterschied zu den Testleistungen handelt es sich beim Fahrverhalten um eine sehr komplexe Tätigkeit, die neben der Stabilisierung des Fahrzeugs eine taktische Manöverplanung enthält und jederzeit mit ständig wechselnden und unvorhersehbaren Verkehrssituationen konfrontiert. Psychometrische Tests können diese Komplexität nicht abbilden.
- Anders als bei psychometrischen Tests kann der Fahrer bei Fahrverhaltensbeobachtungen Leistungsschwächen kompensieren, da bestimmte Abläufe hochgeübt und teilautomatisiert sind und auch bewusste Kompensationen durch eine Anpassung des Geschwindigkeits- und Abstandsverhaltens möglich sind.
- Auch Reliabilitätsschwächen beider Verfahren können die empirischen Zusammenhänge beeinträchtigen. Bezogen auf die psychometrische Testung betrifft dies die Optimierung der repräsentativen Normierung, bezogen auf die Fahrverhaltensbeobachtung deren Gestaltung und Auswertung.

SCHLAG (2013) nennt als einen weiteren methodischen Grund, dass Labortests im Regelfall die maximale Leistungsfähigkeit eines spezifischen Bereichs testen, während das Anforderungsniveau bei einer im Straßenverkehr durchgeführten Fahrverhaltensbeobachtung normalerweise deutlich geringer ist.

Erheblicher Forschungsbedarf besteht auch im Hinblick auf die Operationalisierung einer ausreichenden Fahrtauglichkeit. So werden auch die Prozentranggrenzen von 16 bzw. 33, wie sie in den Begutachtungsleitlinien zur Kraftfahrereignung (BAST, 2017) zur Operationalisierung herangezogen werden, kritisch hinterfragt (GOLZ ET AL., 2004; HARTJE, 2004; ZANGEMEISTER & HÖKENDORF, 2000): Diese Prozentränge sind Setzungen und stellen keine „echten Kriterien“ im Sinne absoluter Kennwerte dar, wie dies zum Beispiel bei der Promilleangabe zur Fahrtauglichkeit unter Alkoholeinfluss der Fall ist (POSCHADEL ET AL., 2009). Vielmehr basieren laut POSCHADEL (2009)

Prozentränge auf der Verteilung der Leistung innerhalb einer Normstichprobe. Ändern sich beispielsweise durch den demografischen Wandel das Klientel oder die Altersverteilung in der Gesellschaft, ändern sich auch die Prozentränge.

Zusammenfassend sind psychometrische Testverfahren zumindest im Rahmen eines allgemeinen Screenings älterer Personen aufgrund ihrer mangelhaften Vorhersagekraft ungeeignet (FASTENMEIER, GSTALTER & GEHLERT, 2014; WELLER, SCHLAG, GEHLERT, 2014). Somit sollte die Anwendung psychometrischer Testverfahren zur Diagnostik älterer Fahrer sehr fokussiert und vorzugsweise vor dem Hintergrund spezifischer Fragen (z.B. die Sehleistung betreffend) stattfinden.

### 3.5.2 Fahrverhaltensbeobachtungen im Realverkehr

Fahrverhaltensbeobachtungen gelten als der Goldstandard der Fahreignungsdiagnostik (BALL & ACKERMAN, 2011) und dienen wie bereits oben erläutert häufig als Validitätskriterium für die Bewertung anderer diagnostischer Instrumente zur Messung der Fahrkompetenz. Im Gegensatz zu psychometrischen Verfahren, testen Fahrverhaltensbeobachtungen im Realverkehr genau das zu bewertende Fahrverhalten. Aufgrund ihrer hohen Augenscheinvalidität ist auch die Akzeptanz bei der Zielgruppe älterer Fahrer sehr hoch – insbesondere im Vergleich zu neuropsychologischen Tests (DALCHOW ET AL., 2010; FASTENMEIER, GSTALTER & GEHLERT, 2014).

Große Herausforderungen bei der Gestaltung von Fahrverhaltensbeobachtungen im Realverkehr stellen neben allgemeinen Merkmalen (u.a. minimale Dauer, Möglichkeit einer Eingewöhnung in die Situation, Anzahl der Beobachter) die Auswahl der Strecke und die Bewertung der Fahrkompetenz dar. Diesbezüglich kann allerdings sehr gut auf etablierte Richtlinien und einschlägige Fachliteratur zurückgegriffen werden (siehe z.B. GOLZ ET AL., 2004; UTZELMANN & BRENNER-HARTMANN, 2005; SCHUBERT & WAGNER, 2003). In der Regel wird eine minimale Dauer von 45 Minuten gefordert. Die Strecke sollte sowohl Stadt- und Landstraßen als auch Autobahnen umfassen, wobei eine repräsentative Auswahl an unterschiedlichen Fahraufgaben (wie Fahrspurwechsel oder Kreuzungen mit verschiedenen Vorfahrtsregelungen) mit durchschnittlichem Anforderungscharakter enthalten sein sollte. Zur Gewährleistung der Repräsentativität kann wiederum auf einschlägige Klassifikationen der Fahraufgabe zurückgegriffen werden (siehe z.B. BAR-THELMESS, 1972, BRENNER-



HARTMANN, 2002; BUKASA & PIRINGER, 2001; HAMPEL ET AL., 1982, KLEBELSBERG ET AL., 1970, FASTENMEIER, 1995, zitiert nach UTZELMANN & BRENNER-HARTMANN, 2005), wobei die Repräsentativität dann als gegeben anzusehen ist, wenn solche möglichst vollständig und mehrfach berücksichtigt werden.

Im Hinblick auf die Bewertung der Fahrkompetenz (siehe auch Kapitel 3.8) ist zu entscheiden, welche Beobachtungsdimensionen zur Beurteilung des Fahrverhaltens herangezogen werden und wie man dieses protokolliert. Ferner ist zu differenzieren, ob und wie eng man sich an eindeutig beobachtbarem Verhalten orientiert, das von einem geschulten Beobachter erfasst wird (freie Beschreibung, Rating-Skalen, itemgebundene Verhaltensregistrierung, Checklisten) oder ob (ergänzend) mit Messtechnik erfasste Fahrdaten herangezogen werden (z.B. SDLP als Maß für die Güte der Spurhaltung).

Die Möglichkeiten einer Standardisierung und Objektivierung von Fahrverhaltensbeobachtungen im Realverkehr wird immer wieder diskutiert (DI STEFANO & MACDONALD, 2010). Dies betrifft neben Inhalten und Länge der Fahrverhaltensbeobachtung auch Eingewöhnungsstrecken ans Fahrzeug, Instruktionen, Bewertungsskalen sowie klare Entscheidungsregeln zum (Nicht)-Bestehen und Normdaten zur Leistungsmessung.

In diesem Sinne als einschlägig im deutschsprachigen Raum gelten der Kölner Fahrverhaltenstest (KROJ & PFEIFFER, 1973), die Wiener Fahrprobe (RISSER & BRANDSTÄTTER, 1985) und die standardisierte Hamburger Fahrprobe (CIURA, 2010). Sie erreichen ein hohes Maß an Standardisierung, indem festgelegte Strecken mit genau definierten Beobachtungspunkten bzw. Verhaltenssequenzen bestimmt wurden. Zur Verhaltensregistrierung stehen jeweils detaillierte Protokollbögen zur Verfügung. Die Beschreibung des Fahrverhaltens erfolgt durch eine Merkmalsregistrierung, wobei in der Wiener Fahrprobe zusätzlich Fehler gezählt werden. Prinzipiell erfordert eine Fahrverhaltensbeobachtung aber keine festgelegten Prüfstrecken. Die zu bewältigenden Fahraufgaben können auch durch vom Ort der Durchführung unabhängige Vorgaben (wie Mindesthäufigkeiten) vergleichbar gehalten werden. So ist bspw. auch der Kölner Fahrverhaltenstest mit Hilfe eines Situationsschlüssels auf andere Orte übertragbar.

Insgesamt ist eine bestandene Fahrverhaltensbeobachtung sicherlich ein sinnvolles Kriterium zur Beurteilung der Fahrkompetenz, schließlich gilt auch beim Erwerb des Führerscheins das Bestehen der Prüfungsfahrt als entscheidende Bedingung. Eine wesentliche Schwierigkeit besteht aber darin,

wie ein solches „Bestehen“ im Sinne eines Gesamturteils konkret zu operationalisieren ist. Notwendig sind hier eindeutige Regeln, wobei auch festgelegt sein sollte, welche Fehler als nicht mehr tolerabel anzusehen sind und den Abbruch einer Fahrt rechtfertigen. Nach SCHUBERT und WAGNER (2003) sind dies selbstverschuldete Unfälle, eine Gefährdung anderer Verkehrsteilnehmer, eine Rotlichtmissachtung oder ein notwendiges Eingreifen des Fahrlehrers. Die Bewertung von Fahrverhaltensbeobachtungen erfolgt in der Regel über Skalen, welche von dichotomen Aussagen (bestanden, nicht bestanden) zu mehrstufigen Skalen reichen (POSCHADEL ET AL. 2009).

Ein wesentlicher Nachteil von Fahrverhaltensbeobachtungen im Realverkehr ist, dass sie schwer zu standardisieren, aufwändig durchzuführen und gerade bei Personen, bei denen eventuell die Fahreignung nicht gegeben ist, nicht ohne Risiko sind. Ein weiterer Nachteil besteht darin, dass gefährliche Situationen oder für bestimmte Beeinträchtigungen kritische Fahraufgaben nicht gezielt hergestellt werden können, so dass vorhandene Defizite, die nur unter bestimmten, ungünstigen Bedingungen evident werden, möglicherweise übersehen werden. Aufgrund wechselnder Tageszeiten, Verkehrs- und Witterungsverhältnisse können darüber hinaus auch bei identischer Strecke die Anforderungen von Fahrt zu Fahrt stark differieren. Auch die Vertrautheit des Fahrers mit der zu fahrenden Strecke und mit dem gefahrenen Fahrzeug beeinflusst die Anforderungen an den Fahrer.

### 3.5.3 Fahrsimulatoren als Alternative zu klassischen Verfahren

Die Fahrsimulation könnte einen vielversprechenden Kompromiss aus klassischen Leistungstests und Fahrverhaltensbeobachtungen im Realverkehr darstellen (KAUSSNER, 2007). Während psychometrische Leistungstests unter den Bedingungen maximaler experimenteller Kontrolle aber sehr geringer Anwendbarkeit auf das tägliche Fahren die kognitive Leistungsfähigkeit eines Fahrers messbar machen, erheben Fahrverhaltensbeobachtungen im Realverkehr unter eingeschränkterer experimenteller Kontrolle ein realistisches Maß für die Fahrkompetenz. Moderne Fahrsimulatoren erlauben dagegen die Messung der Fahrkompetenz in realistischen Situationen unter den Bedingungen starker experimenteller Kontrolle und Standardisierung.

So können vielfältige Fahrsituationen auf der Autobahn, in der Stadt und auf Landstraßen wirklichkeitsgetreu und interaktiv dargestellt und dabei standardisiert und gefahrlos dargeboten werden.

Bei der Beurteilung der Fahreignung kann auf objektive Messgrößen wie Geschwindigkeit, Abstände zu anderen Fahrzeugen oder Spurhaltung zurückgegriffen werden. Außerdem können kompensatorische Strategien nahezu genauso praktiziert werden wie im beim realen Fahren (vgl. KAUSSNER 2007). Auch im Rahmen der Diagnose älterer und kranker Autofahrer kann die Fahrsimulation ein reliables und valides Messinstrument sein (BROUWER ET AL. 2011; BUHMANN ET AL. 2014; WOLTER, 2014).

Die Herausforderungen an die Gestaltung des Prüfparcours und die Operationalisierung einer ausreichenden Fahrtauglichkeit stellen sich in ähnlicher Weise wie im Realverkehr und sind entsprechend zu lösen. Dies soll im Rahmen des vorliegenden Projekts durch vergleichbare Ansätze für beide Untersuchungsumgebungen gelöst werden. Da alle Probanden unter identischen Bedingungen untersucht werden, ist ein fundierter und fairer Vergleich mit einer Normstichprobe möglich.

Hinderungsgründe für einen verbreiteteren Einsatz der Fahrsimulation in Kliniken und Testzentren sind die relativ hohen Anschaffungskosten und oftmals auch Platzprobleme. Kostengünstigere, mobile Kompaktfahrsimulatoren in einer geringeren Ausbaustufe können diese Probleme lösen. Ungeklärt ist aber derzeit die Frage, welche Mindestanforderung hinsichtlich der Hardware- und Softwareausstattung an die Fahrsimulation zu stellen sind, um die Fahrkompetenz von Senioren in der Fahrsimulation valide messen zu können.

Weiterhin besteht das Problem der Simulatorkrankheit (STONER, FISHER & MOLLENHAUER, 2011), die bei anfälligen Personen und unzureichend kalibrierten Simulatorumgebungen einen erfolgreichen Einsatz erschweren (BEDARD ET AL., 2010; CASUTT ET AL. 2014) oder gar verhindern kann. Um die Symptome der Simulatorkrankheit zu minimieren und im besten Falle gar zu verhindern, hat sich am Würzburger Institut für Verkehrswissenschaften die Durchführung eines standardisierten Eingewöhnungstrainings bewährt (HOFFMANN & BULD, 2006). Ein derartiges Training kann zum einen Ausfälle durch Simulatorkrankheit von 50% bei untrainierten Testfahrern auf 10% bei trainierten Testfahrern minimieren. Zudem wird durch das Training sichergestellt, dass die Probanden das Simulatorfahrzeug beherrschen und somit ein natürliches Fahrverhalten zeigen.

Eine systematische Untersuchung der Mindestanforderungen an die Fahrsimulation und die Operationalisierung von „Fahrkompetenz“ im Sinne von stehen bislang noch aus. Ebenso steht zum jetzigen Zeitpunkt keine adäquate Normierung der

verwendeten Fahrsimulatoren im Hinblick auf die physikalische Realitätsnähe und die Auswahl der Szenarien zur Verfügung (NIEMANN und HARTJE, 2013). Vorliegendes Projekt soll diese Lücken schließen.

NIEMANN und HARTJE (2013) äußern die Einschätzung, dass in Zukunft möglicherweise Fahrverhaltensbeobachtungen im öffentlichen Straßenverkehr durch Prüfungen im Fahrsimulator ersetzt werden können. Auf diese Weise könnten in streng standardisierter Weise Verkehrssituationen unterschiedlicher Schwierigkeit geschaffen werden, einschließlich solcher Situationen, die im konkreten Straßenverkehr sehr selten auftreten, aber besondere Gefahrenquellen darstellen (z.B. plötzlich auftauchende Hindernisse).

### 3.6 Validität der Fahrsimulation

Eine Voraussetzung für die Nutzung von Fahrsimulatoren zur Messung der Fahrkompetenz ist die ausreichende Validität. Verkehrsteilnehmer werden (insbesondere negative) diagnostische Befunde zur Fahrkompetenz nur dann akzeptieren, wenn sie von der Gültigkeit der Diagnosestellung überzeugt werden können und das angewandte Verfahren auch augenscheinlich valide ist. WOLBERS ET AL. (2001) beschreiben, dass zumindest im Rahmen einer neurologischen Rehabilitationsbehandlung die Diagnostik der Fahrkompetenz über die Methode der Fahrsimulation von den Patienten deutlich positiv beurteilt und zugleich auch als motivierend, effektiv und informativ erlebt wird. Aber auch im Rahmen möglicher rechtlicher Auseinandersetzungen kommt dem Validitätsnachweis eine besondere Bedeutung zu.

Der Begriff der Validität wird im Zusammenhang mit Fahrsimulatoren in der Literatur auf zweierlei Weise verwendet (MULLEN ET AL. 2011): Die verhaltensbezogene Validität bezieht sich auf den Grad der Übereinstimmung im Fahrverhalten in einem Simulator im Vergleich zu einem Realfahrzeug. Die physikalisch-technische Validität bezieht sich auf das Ausmaß, in dem einzelne Komponenten des Fahrsimulators (z.B. Sitzposition, Pedalerie, Lenkrad) mit einem tatsächlichen Fahrzeug übereinstimmen, sowie auf die Korrespondenz physikalischer Fahrdynamikgrößen.

Im Rahmen der Fahreignungsdiagnostik ist sicherzustellen, dass das Verhalten im Fahrsimulator valide Hinweise auf das Verhalten der Fahrer im realen Verkehr gibt. Welches Ausmaß an physikalisch-technischer Validität notwendig ist, um in diesem

Zusammenhang eine ausreichende verhaltensbezogene Validität zu erreichen, wird in Kapitel 3.6 diskutiert.

Die verhaltensbezogene Validität wird weiter unterschieden in absolute und relative Validität (BLAUW, 1982; TÖRNROS, 1998; GODLEY ET AL., 2002). Während erstere sich auf die numerische Übereinstimmung in den zur Beschreibung des Fahrverhaltens herangezogenen Verhaltensparametern (z.B. Geschwindigkeit, Abstand zu einem Vorderfahrzeug) zwischen Simulator- und Realfahrt bezieht, berücksichtigt letztere gleichförmige Auswirkungen der bei einer Studie vorgenommenen experimentellen Variation bei beiden Methoden. Gehen Fahrverhaltensparameter als Folge experimenteller Bedingungen im Fahrsimulator und im Realfahrzeug in die gleiche Richtung, dann ist die relative Validität der Simulation gegeben. Stimmen die ermittelten Werte auch hinsichtlich der absoluten Höhe überein, ist die absolute Validität gegeben. Da Forschungsfragen sich überwiegend auf die relativen Auswirkungen unabhängiger Variablen beziehen, ist das Vorhandensein der relativen Validität ein notwendiges Kriterium für den sinnvollen Einsatz von Simulatoren. Studien zur relativen Validität im Sinne einer Übereinstimmung der Datenstruktur zwischen Simulator- und Realfahrttests sind auch für ältere Autofahrer vielversprechend (z.B. CASSUTT ET AL., 2013). Der absoluten Validität kommt in diesem Zusammenhang meist nur eine untergeordnete Bedeutung zu.

Der folgende Überblick zu Validierungsstudien von Fahrsimulatoren orientiert sich an MULLEN ET AL. (2011) und gliedert die Befunde nach verschiedenen Verhaltensaspekten die auch für die Bewertung der Fahrkompetenz im Rahmen einer Fahrverhaltensbeobachtung relevant sind. Da ein Validitätsnachweis nie generell ist, sondern immer in Zusammenhang mit einer spezifischen Forschungsfrage steht, werden die Ergebnisse der berichteten Validierungsstudien in Kapitel 3.5.5 im Hinblick auf die Messung der Fahrkompetenz älterer Fahrer diskutiert.

### 3.6.1 Wahl und Wahrnehmung der Geschwindigkeit sowie Bremsverhalten

Die Befundlage zur Wahl und Wahrnehmung von Geschwindigkeiten in der Fahrsimulation sowie im Realverkehr ist nicht einheitlich (MULLEN ET AL., 2011). In der Regel wird jedoch für unterschiedliche Simulatorvarianten (z.B. mit und ohne Bewegungssystem oder verschiedene Sichtfelder) zumindest von einer relativen Validität der Fahrsimulation ausgegangen (BELLA, 2008; KLEE ET AL., 1999;

SHINAR & RONEN, 2007, TÖRNROS, 1998). Wenige Studien konnten weder absolute noch relative Validität des Geschwindigkeitsverhaltens nachweisen (MC AVOY ET AL., 2007). Geschwindigkeitsunterschiede zwischen Fahrsimulation und Realfahrzeug werden in beide Richtungen berichtet (BLANA, 1996a; MULLEN ET AL., 2011). Einige Studien berichten von einer verminderten Geschwindigkeitswahrnehmung (Unterschätzung) in Simulationsumgebungen (BANTON ET AL., 2005; COLOMBET ET AL., 2011; KEMENY & PANERAI, 2003).

Nur wenige Studien vergleichen das Bremsverhalten von Fahrern zwischen Fahrsimulation und Realfahrzeug (BLANA & GOLIAS, 1999; HOFFMAN ET AL., 2002; MC GEHEE ET AL., 2000). Grundsätzlich wird allerdings davon ausgegangen, dass das Bremsverhalten vergleichbar ist. Beispielsweise berichten HOFFMAN ET AL. (2002), dass sowohl die Bremsreaktionszeit als auch das Bremsprofil vergleichbar ausfallen. Hinsichtlich der Bremsreaktionszeit bestätigen auch MC GEHEE ET AL. (2000) die Vergleichbarkeit von Fahrsimulation und Realfahrzeug.

Dagegen berichten NEUKUM ET AL. (2014), dass die Reaktionszeiten im Fahrsimulator insbesondere bei starken Verzögerungen höher ausfallen als im Realfahrzeug. Zusätzlich berichten sie, dass die maximale Fahrzeugverzögerung und die subjektive Kritikalitätseinschätzung im Fahrsimulator ebenfalls höher ausfallen als im Realfahrzeug. Besonders bei Fahrsimulatoren ohne Bewegungssystem fehlt die vestibulär-kinästhetische Rückmeldung von Verzögerungen (und Beschleunigungen), weshalb nicht mit einer absoluten Validität gerechnet werden kann. Stattdessen treten unrealistisch hohe Verzögerungswerte auf (vgl. auch BRÜNGER-KOCH ET AL., 2006).

### 3.6.2 Wahl und Wahrnehmung von Längsabständen

Längsabstände zu einem Vorderfahrzeug werden in der Regel als Streckenabstand (Distanz) oder als Zeitabstand (Time Headway, THW) betrachtet. Während eine große Zahl von Studien sich mit der Beschreibung gefahrener THWs unter realen und simulierten Bedingungen (z.B. ICHIKAWA, 2003) oder der Erforschung von Determinanten gefahrener THWs befassen (z.B. BRACKSTONE ET AL., 2009), finden sich nur vereinzelt Studien, welche sich explizit dem Vergleich von im Simulator und Realverkehr gefahrenen THWs widmen:

STAM (2013) ließ Probanden in einem Fahrsimulator und in einem instrumentierten Realfahrzeug Abstände zu einem Führungsfahrzeug einstellen. Es wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den eingestellten Abständen im Simulator und im Realfahrzeug beobachtet.

PURUCKER ET AL. (2014) untersuchten die Wahrnehmung von Längsabständen sowie ein Kollisions-szenario im dynamischen Fahrsimulator im Vergleich zum Realfahrzeug auf einer Teststrecke. Die Autoren schließen aus den Ergebnissen auf eine relative Validität des Fahrsimulators bezüglich der Distanzwahrnehmung. Die Ergebnisse zeigen aber auch, dass die Probanden die Situationen im Fahrsimulator etwas kritischer einschätzen als im Realfahrzeug.

### 3.6.3 Spurhaltung sowie Wahrnehmung und Wahl von Querabständen

Es findet sich eine Vielzahl von Studien, welche sich mit der Validierung und dem Vergleich der lateralen Spurposition befassen. BLANA & GOLIAS (2002) vergleichen die Spurhaltung auf einer realen Strecke mit einer analogen Strecke in einem statischen Fahrsimulator. Die Ergebnisse zeigen, dass Fahrer im Realfahrzeug näher an der Mittellinie fahren als in der Simulationsumgebung, während grundsätzlich die Standardabweichung des Spurversatzes im Fahrsimulator erhöht ist. Moderiert werden diese Resultate aber durch die gefahrene Geschwindigkeit sowie (in Interaktion) die Art des Streckenabschnitts (kurvig oder gerade): Auf geraden Strecken unterscheidet sich die mittlere Spurposition und deren Varianz zwischen Realfahrt und Simulator nur bei Geschwindigkeiten über 70 km/h. Auf kurvigen Streckenstücken unterscheidet sich die mittlere Spurhaltung nur bei Geschwindigkeiten unter 60 km/h.

TÖRNROS (1998) vergleicht eine Fahrt in einem Straßentunnel zwischen dynamischem Simulator und Realfahrzeug und findet, dass die Fahrer im Realfahrzeug einen größeren Abstand von der rechten Seitenwand des Tunnels halten als im Simulator.

RÜGER ET AL. (2015) untersuchen die Validität eines dynamischen Fahrsimulators bei Querführungs- und Engstellenszenarien. Beim Durchfahren von Engstellen zeigt sich, dass Fahrer die Szenarien im dynamischen Simulator tendenziell kritischer beurteilen und die Geschwindigkeit entsprechend bei der Einfahrt in die Engstelle deutlicher verlangsamen als im Realfahrzeug. Weiterhin ist in der Simulationsumgebung ein systematischer

Rechtsversatz von der Ideallinie zu beobachten, der sich mit abnehmender Fahrbahnbreite erhöht. Die Autoren bescheinigen dem dynamischen Fahrsimulator bezogen auf subjektive Bewertung, Geschwindigkeitswahl und Spurversatz relative Validität.

### 3.6.4 Gefahrenwahrnehmung, Risikoverhalten und Leistungsparameter des Fahrens

Neben einzelnen Fahrverhaltensaspekten wie der Quer- und Längsregelung stellt sich die Frage, ob die Fahrsimulation auch valide im Hinblick auf komplexere Fahrverhaltensmuster sowie verschiedene Leistungsparameter des Fahrens ist.

UNDERWOOD ET AL. (2011) untersuchten die Gefahrenwahrnehmung von erfahrenen und weniger erfahrenen Personen anhand von Fahrverhaltensbeobachtungen im Simulator und im Realverkehr. Die Ergebnisse zeigen eine deutliche Übereinstimmung und eine frühere Gefahrenerkennung durch die erfahrenen Fahrer. Die Autoren folgern, dass Fahrsimulatoren ein geeignetes Instrument sein können, um das Erkennen von Gefahren im Verkehr zu testen bzw. zu trainieren.

BULD ET AL. (2006) verglichen die fahrerische Leistung dreier Altersgruppen beim Auffahren auf die Autobahn mit Hilfe eines Fahrsimulators mit Bewegungssystem. Die Ergebnisse zeigen, dass sowohl ältere als auch jüngere Fahrer mehr Fehler als die mittelalten Fahrer machen, und sich dabei in ihrem Fahrstil unterscheiden. Während junge Fahrer im betrachteten Szenario eher zu schnell unterwegs sind, ist das Fahrverhalten der älteren Fahrer durch langsames Fahren, stärkere Verzögerungen, dichteres Auffahren und eine schlechtere Spurhaltung gekennzeichnet. Auffällig ist allerdings die hohe interindividuelle Varianz der Fahrleistung in der Gruppe der älteren Fahrer.

Auch für die baulich unterschiedlich gestalteten Szenarien einer Stadteinfahrt (e.g. farbiger Asphalt) konnte bezüglich der gefahrenen Geschwindigkeit das Vorhandensein der relativen Validität nachgewiesen werden (RIEMERSMA ET AL. 1990).

YAN ET AL. (2008) verglichen das Fahrverhalten auf zwei Abbiegespuren, die in der Realität durch ein hohes bzw. niedriges Unfallaufkommen gekennzeichnet sind, in der Simulation und in der Realität. Die Fahrer zeigen in der Fahrsimulation ebenfalls mehr riskante Fahrmanöver (z.B. höhere Verzögerungswerte, geringere Folgeabstände) auf der Abbiegespur mit hohem Unfallaufkommen. Dies spricht für eine relative Validität des Simulators im Hinblick auf riskante Fahrmanöver.

Auch Unterschiede im Fahrstil, die bei Fahrten im realen Verkehr erfasst wurden, konnten bei Simulatorfahrten repliziert werden (WADE & HAMMOND, 1998). Fahrer, die im Realverkehr stärker beschleunigten und bremsten sowie die erlaubte Höchstgeschwindigkeit überschritten, zeigten ähnliche Verhaltensmuster auch im statischen Fahrsimulator. Auch Verhaltensmuster bei der Annäherung an Kreuzungen waren ähnlich.

SHECHTMAN ET AL. (2009) untersuchten die Anzahl und Art der Fahrfehler die Probanden beim Durchfahren von Kreuzungen im Rahmen einer Real- und Simulatorfahrt machten. Hierzu wurden reale Kreuzungen im Fahrsimulator nachgebaut. Die Autoren fanden keine signifikanten Interaktionseffekte zwischen der verwendeten Methode (Realfahrzeug vs. Simulator) und Abbiegerichtung an der Kreuzung (links vs. rechts) und schließen auf eine relative Validität des Fahrsimulators. Auch die Spurhaltung sowie mögliche Fehler im Blickverhalten waren ähnlich.

Eine weitere Validierungsstudie (MEULENERS & FRASER, 2015) fand ebenfalls keine signifikanten Unterschiede zwischen der durch trainierte Beobachter subjektiv bewerteten Gesamtfahrleistung im Realfahrzeug und im Fahrsimulator. Die betrachteten Leistungsaspekte waren Spiegelblicke, die Beobachtung der Verkehrsumgebung, die Geschwindigkeit in Kreuzungsbereichen und das regelkonforme Verhalten an Ampeln und Stoppschildern. Unterschiede gab es allerdings bei Spurhalteleistung, Lückenwahl, Blinkverhalten und Geschwindigkeitsverhalten außerhalb von Kreuzungsbereichen. Auch diese Studie bildete die Geometrie, Verkehrsführung und Beschilderung einer realen Strecke im Fahrsimulator nach.

CASUTT ET AL. (2014) verglichen die Fahrleistung älterer Fahrer im Simulator mit einer Fahrverhaltensbeobachtung im Realverkehr sowie der Leistung, die bei der Bearbeitung kognitiver Tests erbracht wurde. Die Ergebnisse zeigen, dass die Ergebnisse der Simulatorfahrten sowohl das Fahrverhalten im Realverkehr repräsentieren als auch mit den psychometrischen Tests zusammenhängen. Dagegen korreliert das Ergebnis der kognitiven Tests nicht mit der Fahrleistung im Realverkehr. Die Autoren gehen davon aus, dass die Simulatorfahrten einerseits den Probanden beim Durchfahren „normaler“ Situationen die Möglichkeit zur Kompensation alterskorrelierter Defizite gegeben haben, andererseits aber in plötzlichen Gefahrensituationen (z.B. wenn ein unvorhersehbares Hindernis auf der Straße erscheint) stärker mit den Reaktionszeiten psychometrischer Tests korrelieren. Insgesamt sagte die zusammengefasste Leistung der

psychometrischen Tests und der Fahrverhaltensbeobachtung im Realverkehr 50% der Varianz der während der Simulatorfahrt gezeigten Leistung voraus.

BEDARD ET AL. (2010) verglichen das Fahrverhalten älterer Fahrer im Simulator mit dem im Realverkehr gezeigten Verhalten. Trotz der kleinen Stichprobe (n=8) wurde der Zusammenhang zwischen registrierten Fehlerpunkten in beiden Fahrten signifikant.

Auch LEE ET AL. (2003) fanden signifikante Zusammenhänge im Fahrverhalten älterer Fahrer im Simulator (Darstellung der Verkehrsumgebung über einen Monitor und am Tisch montiertes Lenkrad) und im Realfahrzeug und folgern somit, dass der Fahrsimulator ein valides Instrument zur Untersuchung älterer Fahrer darstellt. Neben den Effekten unterschiedlicher Simulorausbaustufen und der Bearbeitung von Nebenaufgaben während der Fahrt untersuchten REED & GREEN (1999) auch Alterseffekte und schlossen aus den Ergebnissen, dass die Simulation relativ valide den Einfluss des Alters auf die Fahrleistung abbilden konnte.

DEVOS ET AL. (2013) verglichen die Fahrleistung von Patienten mit Huntington-Krankheit in der statischen Fahrsimulation mit einer Fahrverhaltensbeobachtung im Realverkehr. Der Zusammenhang der Fahrleistung gemessen über das TRIP-Protokoll (siehe Kapitel 3.7.1) lag bei .72 (Spearman's Rangkorrelationskoeffizient). Bezogen auf die einzelnen Dimensionen des TRIP-Protokolls schwankte die Übereinstimmung zwischen .12 und .67. Die Autoren gehen davon aus, dass die Simulation ein valides Werkzeug darstellt, um die Fahrkompetenz von Patienten mit einer solchen neurologischen Erkrankung zu messen.

Die Vorhersage der zukünftigen Fahrkompetenz und die Unterscheidung sicherer und unsicherer Fahrer war auch das Ziel der Studie von LEW ET AL. (2005). Die gezeigte Leistung während einer Simulator- und Realfahrt wurde mit einer Fahrverhaltensbeobachtung im Realverkehr zehn Monate später verglichen. Während die prädiktive Validität der Simulatorfahrt gut war, zeigte die Fahrkompetenz in der Realfahrt keinen Zusammenhang mit der Fahrkompetenz während der Fahrverhaltensbeobachtung. Dies ist umso erstaunlicher, da der verwendete Simulator relativ einfach war (53 cm Monitor zur Darstellung der Fahrumgebung, am Tisch befestigtes Lenkrad).

Auch andere Autoren bestätigen den diagnostischen Wert von Simulatorfahrten für die Identifikation älterer riskanter Fahrer oder verschiedenen kompetenter älterer Fahrer (LEE ET AL., 2003, LEE &

LEE, 2005). In einer retrospektiven Studie korrelierte das Fahrverhalten älterer Fahrer während einer Simulatorfahrt mit der Verwicklung in einen Unfall im Jahr vor der Simulatorfahrt (LEE ET AL., 2003). Auch die prospektive Studie von LEE & LEE (2005) zeigte nicht nur Leistungseinschränkungen älterer Fahrer während einer Simulatorfahrt, sondern auch Zusammenhänge zwischen dem Fahrverhalten während der Simulatorfahrt und der Häufigkeit von Verkehrsverstößen im 3-Jahres-Zeitraum nach der Fahrverhaltensbeobachtung im Simulator.

SCHUMACHER (2015) replizierte eine Studie von KENNTNER-MABIALA ET AL. (2015b), die alkoholbedingte Leistungsbeeinträchtigungen in einer Fahrverhaltensbeobachtung im Simulator mit Bewegungssystem nachgewiesen haben. Die Replizierung von SCHUMACHER (2015) fand in einem Fahrsimulator ohne Bewegungssystem statt. Trotz der unterschiedlichen Simulorausstattung zeigt sich beim Vergleich beider Studien eine hohe Übereinstimmung sowohl bzgl. der Parameter der Längs- und Querregelung als auch der Auswirkungen des Alkohols.

KAY ET AL. (2013) untersuchten die relative Sensitivität zweier statischer Kompaktsimulatoren, dem STI-Sim und dem MiniSIM, im Hinblick auf alkoholbedingte Effekte auf die Fahrtüchtigkeit. Bezogen auf die Spurhalten (Standardabweichung der Spurposition) erweisen sich beide Simulatoren als sensiti. Die größere Sensitivität des MiniSIM für alkoholbedingte Beeinträchtigungen werden von den Autoren auf die weniger realistische graphische Darstellung und die weniger korrekt simulierte Fahrdynamik zurückgeführt, was dazu führt, dass der Fahrer sich mehr anstrengen muss, um korrekt in der Spur zu fahren.

### 3.6.5 Zusammenfassung und Einflussfaktoren auf die Validität

Die Fahrsimulation ist eine vielseitig einsetzbare Prüfumgebung, deren Vorteile vor allem in der hohen Flexibilität und der großen Variationsbreite bei der experimentellen Gestaltung von Verkehrsszenarien und möglichen Systemfunktionen liegen (Tabelle 3). Zudem können potenziell gefährliche Verkehrsszenarien realistisch und gefahrlos dargestellt werden. Aufgrund der technischen Umsetzung und den damit verbundenen Beschränkungen ergeben sich allerdings auch Nachteile: So sind dynamische Fahrmanöver meist nur eingeschränkt realistisch darstellbar, was die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf das Realfahrzeug einschränken kann. Ein wichtiger Aspekt bei der Anwendung von Fahrsimulato-

ren ist das Problem der Simulatorkrankheit (vgl. hierzu z. B. KENNEDY ET AL., 1993; KENNEDY ET AL., 1992; NEUKUM & GRATTENTHALER, 2006), die durch geeignete Eingewöhnungstrainings aber minimiert werden kann (HOFFMANN & BULD, 2006).

Keine Simulation kann die Realität komplett nachbilden. Es ist daher nicht zielführend, die Validität einer Fahrsimulation an der Umsetzung all ihrer Einzelkomponenten fest zu machen. Bei der Durchführung einer Untersuchung ist vielmehr zu hinterfragen, wie gut die relevanten Aspekte der Untersuchungsfrage in der vorliegenden Ausbaustufe einer Fahrsimulation umgesetzt werden können.

Insgesamt zeigt die Evidenz, dass die Fahrsimulation ein valides Instrument zur Messung des Fahrverhaltens ist. Die Mehrheit der vergleichenden Studien kommt zu dem Schluss, dass sich verschiedene Fahrparameter der Längs- und Querregelung beim Vergleich von Real- und Simulatorfahrt in etwa entsprechen, aber nicht in der absoluten Höhe übereinstimmen. Auch der Einfluss äußerer Faktoren (z.B. Fahrerfahrung, Alter, Straßengestaltung) auf komplexere Verhaltensmuster (z.B. Blickverhalten, Fahrleistung bzw. -fehler) zeigt sich oftmals gleichermaßen im Rahmen von Real- und Simulatorfahrten. Das bedeutet, dass zumindest relative Validität gegeben ist.

Dagegen ist vom Vorhandensein absoluter Validität nicht auszugehen. Mögliche Ursachen dafür liegen in von der Realität abweichenden Wahrnehmungs- und Erlebensaspekten in der Fahrsimulation (LANA, 1996; COLOMBET ET AL., 2011; KEMENY & PANEREI, 2003).

Die Vergleichbarkeit der Ergebnisse zwischen Realverkehr und Simulatorfahrt ist teilweise schwierig zu bewerten, da in den Studien oft nur unzureichende Angaben über die Ausstattung der jeweiligen Simulationsumgebung gegeben werden. Jedoch zeigen die Studien, dass auch einfachere Simulatorumgebungen ohne originales Mockup und Bewegungssystem valide und für die Anwendung im Rahmen der Fahreignungsdiagnostik geeignet sind (LEW ET AL., 2005; LEE ET AL., 2003; SCHUMACHER, 2015). Bislang zieht keine der Studien in Zweifel, dass sich Fahrer in Simulator und Realverkehr vergleichbar verhalten und somit eine Fahrverhaltensdiagnostik möglich ist.

Vorteile der Fahrsimulation	Nachteile der Fahrsimulation
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hohes Maß an experimenteller Kontrolle bei der Szenariengestaltung</li> <li>• Hohe Reproduzierbarkeit der Szenarien</li> <li>• Große Variationsbreite bei der Gestaltung von Umgebungsbedingungen und Systemparametern</li> <li>• Gefahrlose Darstellung gefährlicher Situationen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eingeschränkte Möglichkeit, hochdynamische Fahrmanöver (wie z.B. Spurwechsel) in Bezug auf die kinästhetische Rückmeldung realistisch darzustellen</li> <li>• Übertragbarkeit der Ergebnisse auf das Realfahrzeug nur eingeschränkt möglich</li> <li>• Simulatorkrankheit (Kinetose)</li> <li>• Verändertes Fahrverhaltens aufgrund mangelhafter Gefahrenwahrnehmung</li> </ul>

Tab. 2: Zusammenstellung von Vor- und Nachteilen der Fahrsimulation (BLANA, 1996b und BREUER, 2012a).

Es gibt Hinweise darauf, dass identische Szenarien in Simulationsumgebungen tendenziell kritischer eingeschätzt werden als im Realfahrzeug. Das bedeutet, dass Fahrer im Simulator eher dazu neigen, die Geschwindigkeit vor potentiellen Gefahrenstellen deutlicher zu reduzieren als im Realfahrzeug. Für die Frage der Fahrkompetenzmessung im Fahrsimulator bedeutet dies, dass eine (vermeintlich übertriebene) Verringerung der Geschwindigkeit nicht mit einer mangelnden Fahrkompetenz in Verbindung gebracht werden kann, da sie methodenimmanent sein könnte. Situationsunangepasstes zu schnelles Fahren liefert dagegen einen deutlichen Hinweis auf eine unzureichende Fahrtauglichkeit.

Insbesondere für zeitlich unkritische Verhaltensparameter, welche die strategische und die Steuerungsebene (vgl. MICHON, 1985) kennzeichnen, liegen Nachweise für die Validität vor. Gerade diese Verhaltensparameter sind auch entscheidend für die Messung der Fahrkompetenz. Aus diesem Grund erscheint die Fahrsimulation grundsätzlich ein valides Instrument für die Messung der Fahrkompetenz sein zu können. MULLEN ET AL. (2011) kommen zu folgendem Schluss: „ (...) measures from simulator drives can identify older drivers at risk of future traffic violations, and simulators are sensitive to age-related changes in driving performance and cognition.“ (S. 13-14).

### 3.7 Anforderungen an die Simulation zur Fahrkompetenzmessung älterer Autofahrer

Die technische Umsetzung beim Aufbau einer Simulationsumgebung hat vorrangig zum Ziel, dass der Fahrer sich in der Simulation wie in der realen Fahrt verhalten und (soweit möglich) auf dieselben Informationen zurückgreifen kann. Welche Anforderungen dabei konkret an die verschiedenen funktionalen Komponenten der Simulationsumgebung (s. ALLEN ET AL., 2011) zu stellen sind, ergibt sich aus

der konkreten Fragestellung. Inzwischen gibt es eine Vielzahl unterschiedlicher Fahrsimulatoren, die sich im Wesentlichen im Grad der Komplexität des technischen Aufbaus und der Möglichkeit, das Fahren und die Fahrumgebung detailgetreu nachzubilden, unterscheiden (BLANA, 1996; FISHER ET AL., 2010). Sie reichen von der einfachen „Tischsimulation“ mit einem stark reduzierten Umfang an Komponenten bis hin zum Fahrsimulator mit Bewegungs- und Translationssystem, welcher dazu in der Lage ist, nahezu alle relevanten Informationen in hoher Detailtreue darzustellen.

Um valide Ergebnisse zu erhalten, muss diejenige Simulationsumgebung gewählt werden, die den Anforderungen der jeweils gegebenen Fragestellung gerecht wird. Im Folgenden werden basierend auf den bisherigen Analysen Anforderungen an die Fahrsimulation (im Hinblick auf entsprechende Ausbaustufen und Merkmale wie Sichtsystem, Bewegungssystem, Datenaufzeichnung) für die Fahrkompetenzmessung älterer Autofahrer abgeleitet und begründet:

- Da im Rahmen dieses Projekts vor allem die Fahrkompetenzmessung in Bezug auf das Fahren von PKW adressiert werden soll, sollte das physikalische Fahrzeugmodell ein „Standard“-Pkw mit durchschnittlicher Motorisierung sein.
- Um repräsentative Fahraufgaben realisieren zu können, muss das Umgebungsmodell alle relevanten Straßentypen (z.B. städtische Straßen, Landstraßen, Autobahnen) mit ihren jeweiligen Spezifika (z.B. Auf- und Abfahrten der Autobahn) darstellen können. Weiterhin sind alle verkehrsbeeinflussenden Elemente notwendig, die diagnostisch relevant werden können. Dies betrifft z.B. Ampeln, Verkehrsschilder, Objekte, die zu einer Verdeckung fahrrelevanter Informationen führen können, parkende Fahrzeuge und sicherheitsrelevante Wetterbedingungen (insbesondere Regen).
- Um einen möglichst realistischen Fahreindruck zu erhalten, sollte sich der umgebende Verkehr realistisch verhalten (z.B. beim Abbiegen

abbremsen, angemessene Längs- und Querabstände einhalten) und die Variabilität des menschlichen Fahrerverhaltens widerspiegeln. Andererseits müssen Verkehrssituationen standardisiert erzeugt werden können, die eine Bewertung der Fahrkompetenz ermöglichen (z.B. Rechts-vor-Links-Kreuzung mit einem Fahrzeug von rechts, das genau zum richtigen Zeitpunkt an die Kreuzung heranfährt). Um die Vielfalt des Realverkehrs abbilden zu können, müssen neben Pkw auch Lkw, Fahrräder, Motorräder und Fußgänger darstellbar sein.

- Ein generisches Mockup mit den Komponenten Gas, Bremse, Lenkrad, Bedienhebel- und -schaltern sowie diversen Anzeigeelementen (Tachometer, Drehzahlmesser) erfasst die Bedieneingaben des Fahrers. Es wird in der Regel gut akzeptiert, so dass ein reales Fahrzeug nicht zwingend erforderlich erscheint. Der Fahrer sitzt in einem nachgebildeten Fahrersitz, der einen weiten Verstellbereich besitzt, und damit Fahrern verschiedenster Größe ein komfortables Bedienen des Fahrzeugs erlaubt. Um Fahrern von Automatikfahrzeugen eine anstrengende Umgewöhnung zu ersparen, ist die Darstellung eines Automatikgetriebes vorzuziehen (oder die Möglichkeit zur Auswahl zu geben). Fahrer mit Schaltwagen gewöhnen sich in der Regel sehr schnell daran, in der Simulation nicht kuppeln und schalten zu müssen. Das Bedienegefühl der Pedale sowie insbesondere des Lenkrads (z.B. Rückstellkräfte beim Kurvenfahren) muss einem realen Fahrzeug sehr ähnlich sein.
- Die Geräuschsimulation sollte den Motorklang, die Fahrgeschwindigkeit und andere Verkehrsteilnehmer abbilden, da eine akustische Rückmeldung zum einen hilfreich ist bei der Simulatorfahrzeugbeherrschung und zum anderen das Eintauchen in die simulierte Welt im Sinne von Präsenz (SLATER & WILBUR, 1997), erleichtert.
- Eine Bewegungssimulation ist für die Fahrkompetenzmessung verzichtbar, da sie zum einen sehr kostenintensiv ist und zum anderen keinen größeren diagnostischen Mehrwert verspricht. Da die Fahrer allerdings ohne vestibulär-kinästhetische Rückmeldung regelmäßig zu stark verzögern, sind die entsprechenden Bremsverzögerungswerte als diagnostisch nicht relevant zu betrachten.
- Um einen realistischen Fahreindruck (z.B. der gefahrenen Geschwindigkeit) hervorzurufen, sollte die Visualisierung einen Mindestsichtbereich nicht unterschreiten und eine Darstellung des rückwärtigen Verkehrs beinhalten. Der Sichtbereich sollte auch die Darstellung

potentieller Gefahren erlauben, die sich seitlich nähern. Auch eine Darstellung bestimmter spezifischer alterskritischer Fahrsituationen, die einen Schulter- oder Seitenblick erfordern (z.B. Auffahrten oder Abbiege- und Spurwechselmanöver an komplexen Knotenpunkten) oder die Beachtung von peripheren Verkehrsteilnehmern notwendig machen (Fußgänger, Radfahrer, ausparkende Fahrzeuge, etc.), sollte möglich sein. Demnach ist für die vorliegende Fragestellung (Entwicklung einer sensitiven und validen Diagnostik der Fahrtauglichkeit von älteren Fahrern) ein minimaler Sichtbereich von 180 Grad vorzusehen.

- Es sollte stets ein definiertes Eingewöhnungstraining vor der Fahrverhaltensbeobachtung im Simulator durchgeführt werden, damit die Ergebnisse der Fahrverhaltensbeobachtung valide sind und Probleme aufgrund der Simulatorkrankheit möglichst nicht auftreten. Dies ist besonders wichtig, weil bisherige Befunde zeigen, dass ältere Fahrer anfälliger für entsprechende Symptome sind (ALLEN ET AL., 2006).

Jede Simulationsumgebung, die zur Messung der Fahrkompetenz genutzt werden soll, muss im Hinblick auf ihre Validität untersucht und bestätigt werden. Dabei sollten ältere Fahrer im Rahmen von Fahrverhaltensbeobachtungen im Realverkehr und an den zu validierenden Simulatoren untersucht werden. Bei vorliegender Validität müssen das Leistungsprofil bei verschiedenen situativen Anforderungen sowie das die Fahrkompetenz betreffende Gesamturteil übereinstimmen.

### 3.8 Operationalisierung einer ausreichenden Fahrkompetenz

Verschiedene Autoren haben unterschiedliche Verfahren entwickelt, um Fahrverhaltensbeobachtungen im Realverkehr zu protokollieren und am Ende einer Fahrt zu einem zusammenfassenden Urteil über die Fahrkompetenz des Probanden zu kommen. Im Folgenden werden nach einer Übersicht über verbreitete Verfahren Empfehlungen bzgl. der Diagnose einer ausreichenden Fahrkompetenz gegeben.

#### 3.8.1 TRIP-Protokoll

Das TRIP-Protokoll (Test Ride for Investigating Practical Fitness to Drive) wurde an der Universität Groningen entwickelt (DE RAEDT & PONJAERT-KRISTOFFERSEN, 2001). Durch das Verfahren



wird das situationsübergreifende Fahrverhalten des Fahrers bewertet und nicht das konkrete Verhalten in einer spezifischen Fahrsituation. Der Fahrlehrer beurteilt das Verhalten auf mehreren Einzeldimensionen, die wiederum mehrere Unteritems haben. Die Leistung pro Item wird nach der Fahrt auf einer vierstufigen Ratingskala bewertet (1: „ungenügend“, 2: „zweifelhaft“, 3: „zufriedenstellend“, 4: „gut“). Am Ende des Protokolls wird ein Gesamturteil gegeben, das den Fahrer entweder für fahrtauglich, bedingt fahrtauglich, aktuell fahruntauglich oder generell fahruntauglich erklärt. Die Interrater-Reliabilität ist mit Werten von ca. 0.8 sehr hoch (AKINWUNTAN ET AL., 2003).

Das TRIP-Protokoll wurde von einzelnen Forschergruppen immer wieder angepasst (z.B. AKINWUNTAN ET AL., 2003; SOMMER ET AL., 2003; TANT, 2002; POSCHADEL, 2012b), ergänzt und umstrukturiert. Deshalb gibt es „das“ TRIP-Protokoll nicht. Die genaue Anzahl der Dimensionen und Unteritems schwankt von Forschergruppe zu Forschergruppe, oft auch von Studie zu Studie.

### 3.8.2 Wiener Fahrprobe

Die Wiener Fahrprobe (RISSER & BRANDSTÄTTER, 1985) ist eine Weiterentwicklung des Kölner Fahrverhaltenstests (KROJ & PFEIFFER, 1973), der das älteste Verfahren einer standardisierten Fahrverhaltensbeobachtung im deutschsprachigen Raum darstellt. Anders als das TRIP-Protokoll bezieht sich die Wiener Fahrprobe auf das Fahrverhalten in einzelnen Verkehrssituationen und das Verhalten des Fahrers wird zu definierten Fahrtabschnitten bzw. Fahraufgaben bewertet. Die Wiener Fahrprobe besteht in ihrer Ursprungsform aus einer definierten Standardstrecke in der Wiener Innenstadt, auf der vorab von geschulten Beobachtern 82 mögliche Fehlverhaltensweisen definiert wurden. Bezüglich der Übereinstimmung zwischen unterschiedlichen Beurteilern geben RISSER & BRANDSTÄTTER einen Wert von 67% an.

### 3.8.3 Fahrverhaltensbeobachtung nach BRENNER-HARTMANN (2002)

Die Fahrverhaltensbeobachtung nach BRENNER-HARTMANN (2002) bezieht sich auf keine bestimmte Standardstrecke. Die Standardisierung des Vorgehens wird dadurch operationalisiert, dass bestimmte Streckenelemente in der Prüfstrecke enthalten sein müssen, die Dauer auf 45 min festgelegt wird und bestimmte zu beobachtende Fahrverhaltenskategorien definiert werden.

Die Beobachtungskategorien beinhalten das Geschwindigkeitsverhalten, das Abstandsverhalten, die Fahrbahnbenutzung, das Sicherungsverhalten, gefährdendes Verhalten und das Kommunikationsverhalten. Das Fahrverhalten der Probanden wird auf diese Weise in einzelnen Verkehrssituationen während der Fahrt beurteilt.

BRENNER-HARTMANN (2002) summiert die Fehler zu einer Gesamtfehlerzahl ohne die verschiedenen Fehlerarten zu gewichten, d.h. Fehler mit geringerer Sicherheitsrelevanz (z.B. nicht blinken) gehen mit gleichem Gewicht ein wie Fehler mit hoher Sicherheitsrelevanz (z.B. Gefährdung anderer motorisierter Verkehrsteilnehmer). Er unterscheidet aber zwischen „Unsicherheiten“ und „Fehlern“.

Am Ende der Fahrverhaltensbeobachtung beurteilt der Testleiter, ob im Fahrverhalten des Testfahrers keine vs. vereinzelte vs. nicht unerhebliche vs. schwerwiegende Auffälligkeiten zu beobachten waren. Eine ausreichende Fahrkompetenz kann angenommen werden, wenn das Gesamtrating keine oder nur vereinzelte Auffälligkeiten zeigt.

### 3.8.4 Weitere Beispiele für die Bewertung von Fahrverhaltensbeobachtungen

GLASER ET AL. (2013) verwenden für ihr Verfahren zur Messung der Fahrkompetenz im Realverkehr unter anderem eine Fahrverhaltensbeurteilung, die am Ende der Fahrt die Beeinträchtigung der Fahrkompetenz auf einer 6-stufigen Skala (hoch, merklich, eher gering, gering, (praktisch) keine, nicht aufgetreten) für unterschiedliche Fehlertypen schätzt. Die verwendeten Fehlerkategorien sind: Geschwindigkeit, Abstand, Spur, Blinken, Annähern, Kreuzung, Sichern, Spiegel, Sonstiges. Weiterhin schätzt der Beurteiler die generelle Fahrkompetenz auf einer 6-stufigen Skala für neun verschiedene Kategorien des Fahrverhaltens (Geschwindigkeitwahl, Abstandwahl, Spurverhalten, Blinken und Zeichengebung, Annähern und Verhalten an Kreuzung, Sichern und Spiegelnutzung, Verhalten gegenüber Radfahrern/Fußgängern, Überholen, generell) ein.

Bei NIEMANN & HARTJE (2013) erfolgt die Bewertung der Fahrkompetenz analog zum Kölner Fahrverhaltenstest (KROJ & PFEIFFER, 1973). Weiterhin werden unfallträchtige Fahrverhaltensweisen des Probanden protokolliert, die den Fahrlehrer zum aktiven Eingreifen veranlassen haben. Unmittelbar am Ende der Fahrverhaltensbeobachtung beurteilt der Fahrlehrer unterschiedliche Aspekte des Fahrverhaltens nach seiner subjektiven Einschätzung auf einer Notenskala von 1 bis 6 (sehr gut, gut,

befriedigend, ausreichend, mangelhaft, ungenügend) und bildet eine Gesamtnote. Die Fahrverhaltensbeobachtung wird bei Gesamtnoten von 1 bis 4 als „bestanden“ und bei den Noten 5 und 6 als „nicht bestanden“ bewertet. Die während des Fahrens betrachteten Fahrverhaltensaspekte sind:

- Fahrtvorbereitung (u.a. Rückspiegel und Seitenspiegel einstellen)
- Verhalten an Kreuzungen (u.a. rechtzeitiges Blinken, Vorfahrt beachten, Halten bei Rot)
- Spurverhalten (u.a. beim Einordnen und Abbiegen)
- Geschwindigkeit (Begrenzungen beachten; Anpassung an die Verkehrssituation)
- Sichern (u.a. Rückbeobachtung, Sichern nach rechts und links, Schulterblick)
- Abstand halten (zum vorausfahrenden Fahrzeug und seitlich)
- Beachten anderer Verkehrsteilnehmer (Radfahrer, Fußgänger, Personen an Haltestellen)

LUNDQVIST (2001) benutzt das von der Schwedischen Straßenverkehrsbehörde (VVFS 1999) vorgesehene Verfahren zur Bewertung der Fahrkompetenz im Rahmen einer Fahrverhaltensbeobachtung im Realverkehr. Auf einer 25 km langen Versuchsstrecke mit Anteilen auf städtischen Straßen, Landstraßen und Autobahnen wurden die Probanden von offiziellen Prüfern beurteilt. Die Fahrleistung wurde anhand von fünf Kriterien bewertet: (1) Korrektes und situationsangepasstes Geschwindigkeitsverhalten, (2) Fahrzeugkontrolle inkl. Lenken, Bremsen und Schalten, (3) Position in der Fahrspur, (4) Verkehrsverhalten inkl. Regeltreue und Routenplanung (5) Aufmerksamkeit in schwierigen Situationen.

Die gezeigte Leistung wird für jede Dimension auf einer Skala von 1 bis 5 bewertet (1-2: fahruntüchtig, 3: angemessene Fahrleistung, 5: hervorragende Fahrleistung). Basierend auf diesen Bewertungen gibt der Prüfer ein Gesamturteil (bestanden vs. nicht bestanden), das sich jedoch nicht direkt aus den Einzeldimensionen ergibt oder berechnet werden kann.

Ein etwas anderer Ansatz wird von VLAHODIMITR-KOU ET AL. (2013) mit dem Driving Observation Schedule (DOS) vorgestellt. Um die Fahrkompetenz älterer Fahrer in einem möglichst natürlichen Umfeld zu erheben, werden bei dieser Methode die Probanden in ihrem eigenen Fahrzeug und auf einer bekannten Strecke, die sie selbst auswählen, untersucht. Sie dürfen Radio hören und einen Beifahrer mitnehmen, mit dem sie üblicherweise unterwegs sind. Die mit Hilfe des DOS evaluierten Fahrfehler sind folgenden Kategorien zugeordnet: (1) Beobachtung der Verkehrsumgebung, (2)

Zeichengebung, (3) Geschwindigkeitsverhalten, (4) Lückenwahl, (5) Befolgung der Vorfahrtsregeln und (6) Fahrzeugposition in der Spur bzw. Folgeabstand. Daneben werden kritische Fahrfehler (Beinaheunfall, Abbruch der Fahrt, verbaler Eingriff des Beurteilers nötig) dokumentiert. VLAHODIMITR-KOU ET AL (2013) berichten von einer Inter-Rater-Reliabilität von .91.

Weitere Fahrverhaltenstests, die im Folgenden nicht detaillierter beschrieben werden, sind:

- Modified Driving Performance Evaluation (MDPE; JANKE & EBERHARD, 1998): Bewertet werden Aufmerksamkeits-, Geschwindigkeits- und Bahnführungsverhalten an festgelegten Orten einer ca. 30-45 minütigen Fahrtstrecke. Die Fahrfehler werden als „normal“ (1 Fehlerpunkt), kritisch (3 Fehlerpunkte) oder gefährlich (5 Fehlerpunkte) kodiert.
- Washington University Road Test (WURT; HUNT ET AL., 1997): Die Fahrleistung wird auf einer festgelegten 9.6 km langen Strecke rund um die Universität Washington bewertet. An definierten Stellen der Strecke wird das vom Fahrer gezeigte Verhalten anhand von zwei oder drei Kategorien eingeordnet (z.B. 0: „blinkt trotz Hinweis durch Prüfer nicht“, 1: „blinkt erst nach Hinweis“, 2: „blinkt korrekt“).
- Record of Driving Errors (RODE; BARCO ET AL. 2015): Über die gesamte Strecke hinweg (und nicht nur an definierten Stellen) wird die Fahrleistung des Fahrers eingeschätzt. Dabei werden Fahrfehler mehrstufig bewertet, indem (1) das aktuelle Verkehrsaufkommen notiert, (2) die Verkehrssituation kategorisiert (z.B. Rechtsabbiegen, Spurwechsel), (3) die Ebene des Fahrfehlers beschrieben (operational, taktisch, Informationsverarbeitung), und (4) die notwendige Information durch den Fahrlehrer (bremsen, lenken, warnen) aufgezeichnet wird.

### 3.8.5 Empfehlungen zur Fahrkompetenzmessung

Anhand der Übersicht über verschiedene Methoden zur Diagnose der Fahrleistung aus Kapitel 3.8.4 wurde eine Reihe von Maßnahmen abgeleitet, die zu einer reliablen und validen Einschätzung der Fahrtauglichkeit beitragen können:

- Die Fahrkompetenzmessung sollte ähnlich wie beispielsweise in der Wiener Fahrprobe im Rahmen einer vorher festgelegten Strecke erfolgen. Diese Strecke muss Fahrsituationen und –aufgaben enthalten, die die Beobachtung der für die Fahrkompetenz relevanten

Verhaltensweisen erlaubt. Bei der Untersuchung älterer Fahrer sollten die in Tabelle 1 vorgeschlagenen Szenarien enthalten sein.

- Da für den älteren Fahrer schon die Beobachtungssituation in einem fremden Fahrzeug sehr neu und daher belastend ist, sollte ein Abschnitt zur Eingewöhnung des Probanden an das Fahrzeug und die Gesamtsituation ist der eigentlichen Messstrecke voranzustellen. Vor der Fahrverhaltensbeobachtung sollte lediglich sehr allgemein instruiert werden, dass sich der Proband an die Verkehrsregeln halten und sicher fahren soll.
- Definierte Abbruchkriterien (s. SCHUBERT & WAGNER, 2003) sollten den Probanden vor unnötiger Belastung schützen. Falls das Leistungsniveau des Probanden nicht dauerhaft den Sinn einer erneuten Fahrverhaltensbeobachtung in Frage stellt, sollte ein Wiederholungstermin angesetzt werden.
- Die Bewertung sollte mit Hilfe eines standardisierten Protokollbogens erfolgen. Auch wenn einzelne Aspekte der Fahrleistung post-hoc eingeschätzt werden können, ist im Hinblick auf eine maximale Standardisierung und Objektivität eine itemgebundene Fehlerzählung während der Fahrt anzuraten, um die Objektivität der Beurteilung zu gewährleisten. Da der Einfluss eines einzelnen extrem kritischen Ereignisses auf das Gesamturteil durch keinen Algorithmus, der auf Einzelratings pro Szenario basiert, abzubilden ist, wird für das Gesamtrating ein klinisches Gesamturteil empfohlen (KENNTNER-MABIALA ET AL. 2015).
- Aspekte des Fahrverhaltens sollten – soweit möglich – automatisch protokolliert werden, um Beobachter zu entlasten und Fahrverhaltensaspekte möglichst objektiv zu erfassen. Dies betrifft z.B. Geschwindigkeits- und Abstandsmaße (THW, TTC), Reaktionszeiten sowie die Güte der Spurhaltung und Werte des Spurverlassens (SDLP, Time to Line Crossing, TLC) (vgl. ÖSTLUND, 2006).
- Für eine reliable Bestimmung der Fahrkompetenz müssen die Beurteiler sich im Rahmen eines Trainings mit dem Bewertungssystem, den enthaltenen Kategorien und den Skalen vertraut machen. Das Training sollte neben allgemeinen Informationen und einer Diskussion der relevanten Leistungsstufen auch praktische Übungsaspekte enthalten und die Urteile zur Sicherstellung einer ausreichenden Interraterreliabilität mit Expertenratings vergleichen. Außerdem sollten detaillierte Bewertungsvorgaben gegeben werden. Normwerte, die eine aussagekräftige Einordnung der individuellen Leistung erlauben, sollten verfügbar sein.

- Die Bewertung einer Fahrverhaltensbeobachtung muss den Trade-Off zwischen Sensitivität und Spezifität diagnostischer Tests berücksichtigen. Aufgrund der großen Bedeutung, die der Führerschein für die Mobilität und Lebensqualität vieler älterer Fahrer hat, und der absolut betrachteten geringen Unfallzahl älterer Fahrer, ist sehr großer Wert auf eine hohe Spezifität der Fahrverhaltensbeobachtung zu legen.

## 4 Beschreibung der für die Simulation entwickelten Prüfstrecke

### 4.1 Vorüberlegungen

Der Prüfparcours soll neben repräsentativen Szenarien auch eine Auswahl von Szenarien enthalten, die dazu geeignet sind, altersspezifische Leistungsdefizite (siehe Tabelle 1) zu erfassen. Auf eine Reaktionsmessung auf schwer sichtbare Verkehrsteilnehmer im Dunkeln oder verschiedene, schnell wechselnde Lichtbedingungen wird im Rahmen des zu erstellenden Prüfparcours verzichtet, da es nicht möglich ist, derartige Szenarien für die Fahrverhaltensbeobachtung im realverkehr reliabel herzustellen.

Die Validität des entwickelten Prüfparcours wird im Rahmen dieses Projekts durch einen Vergleich mit einer Fahrverhaltensbeobachtung im Realverkehr überprüft. Hierbei wird darauf geachtet, dass die Strecke im Simulator inhaltlich und strukturell mit der Strecke im Realverkehr vergleichbar ist. Eine exakte Abbildung der realen Strecke wird bewusst nicht angestrebt, um einen ortsunabhängigen Einsatz der simulierten Strecken zu ermöglichen.

Um möglichst trennscharfe, altersensitive Verkehrsszenarien zu erhalten, wurde eine ausführliche Re-Analyse eigener durchgeführter Fahrsimulatorstudien vorgenommen (KAUSSNER ET AL., 2015; KAUSSNER ET AL., 2014b; KENNTNER-MABIALA ET AL., 2015a, KENNTNER-MABIALA ET AL., 2013). Trennscharfe Szenarien, d.h. Szenarien, die besonders gut zwischen fahrkompetenten und nicht-fahrkompetenten Personen unterscheiden, wurden als Grundlage für den Parcours des vorliegenden Projekts verwendet,

## 4.2 Beschreibung des Prüfparcours

Die ausgewählten Szenarien des Prüfparcours zur Fahrverhaltensbeobachtung älterer Fahrer können unterteilt werden in

- Überlandszenarien (Landstraßen, ggf. mit kleineren Ortschaften)
- Autobahnszenarien und
- Stadtszenarien.

Bei den Überlandszenarien kann weiter differenziert werden, zwischen

- Überlandszenarien, in denen die Spurhaltung und damit operationale Aspekte der Fahraufgabe im Sinne der Fahrzeugstabilisierung (MILCHON, 1985) im Vordergrund stehen und
- Überlandszenarien mit Fahrmanövern, die primär taktische Fahrleistungen d.h. Anpassungen der Fahrweise an die aktuelle Situation hinsichtlich Straßenverlauf, umgebenden Verkehr u.ä. prüfen.

Auf der Autobahn stehen Aufgaben wie Einfädeln in den fließenden Verkehr, Spurwechsel, Überholmanöver sowie Geschwindigkeits- und Abstandswahl im Vordergrund. In der Stadt liegt der Schwerpunkt auf Knotenpunkten, unterschiedlichen Vorfahrtsregelungen und der Interaktion mit anderen Verkehrsteilnehmern (Fußgänger, Radfahrer, Busse und andere Pkws). Somit zielen sowohl Autobahn als auch Stadt primär auf eine Prüfung von taktischen Aspekten bzw. höheren kognitiven Leistungen ab. Die Navigationsaufgabe, welche sowohl durch Einblendung von Pfeilen als auch akustisch erfolgt, kann der strategischen Ebene zugeordnet werden. Einige Szenarien prüfen darüber hinaus eine korrekte Orientierung des Fahrers, indem das Navigationsgerät den Probanden auffordert ‚Richtung Würzburg‘ zu fahren.

Insgesamt handelt es sich – im Einklang mit den in der Fachliteratur genannten Anforderungen an eine Fahrverhaltensbeobachtung – um eine repräsentative Auswahl an unterschiedlichen Fahraufgaben mit durchschnittlichem Anforderungscharakter, anhand derer sicheres Fahren nach StVO geprüft werden kann (vgl. z.B. UTZELMANN & BRENNER-HARTMANN, 2005). Die Repräsentativität der Szenarien wird auch dadurch gewährleistet, dass alle Fahrfehlerarten nach BRENNER-HARTMANN (2002) mehrfach auftreten können und alle Fahrleistungsvariablen prüfbar sind, die üblicherweise zur Validierung psychometrischer Fahrkompetenztests untersucht werden (vgl. BUKASA & PIRINGER, 2001).

Zur Fahrtdauer einer Fahrverhaltensbeobachtung finden sich in der Literatur verschiedene Angaben von 45 min (SCHUBERT & WAGNER, 2003; UTZELMANN & BRENNER-HARTMANN, 2005) bis 90 min (BARTHELMESS, 1972; GOLZ ET AL., 2004). Für den aktuellen Anwendungsbereich sollte die Dauer einer Fahrverhaltensbeobachtung lange genug sein, um einen repräsentativen Eindruck des Fahrverhaltens eines älteren Fahrers gewinnen zu können, gleichzeitig aber – auch aus Verträglichkeitsgründen – in einem zumutbaren Rahmen liegen. Um mögliche Dekompensationsprozesse beurteilen zu können, erscheint eine Fahrtlänge von ca. 60 Minuten angemessen.

Eine Übersicht der Prüfstrecke und der enthaltenen Fahraufgaben geben Tabelle 3 und Tabelle 4. Der Prüfparcours besteht aus zwei Teilstrecken. Teilstrecke 1 kann in beiden im Rahmen des Projekts verwendeten Simulatoren (Kompaktsimulator und High-Fidelity-Simulator) gefahren werden. Teilstrecke 2 setzt einen Sichtbereich von deutlich mehr als 180° voraus und kann damit nicht im verwendeten Kompaktsimulator gefahren werden. Eine ausführlichere Darstellung der Fahrscenarien inkl. Screenshots ist als Anhang zu diesem Dokument über die Homepage der BASt in elektronischer Form erhältlich.

Jeder Testfahrt wird eine Eingewöhnungsstrecke von 10-minütiger Dauer vorangestellt. Sie dient dazu, dass sich die Probanden wieder an das Fahren im Simulator gewöhnen können. Während der Eingewöhnung werden keine Fehler registriert und auch keine anderen Fahrkompetenzparameter aufgezeichnet. Ausgangspunkt dieser Strecke ist ein Innenhof in der Stadt. Es folgen eine kurze Fahrt durch eine Innenstadt und anschließend eine freie Fahrt auf einer Landstraße mit zwei Ortsdurchfahrten. Zum Schluss erfolgt eine kurze Fahrt auf der Autobahn, die auf einem Parkplatz beendet wird.

Abschnitt	Beschreibung
Start	Der Fahrer startet die Fahrt in einem städtischen Innenhof mit Parkplätzen.
Stadt 1	Der Fahrer folgt der Straße an einer Bushaltestelle vorbei und überquert eine Kreuzung mit einmaliger Vorfahrt (Zeichen 301).
Stadt 2	Der Fahrer folgt dem Straßenverlauf, der aufgrund parkender Autos und Gegenverkehr leicht verengt ist. An der nächsten Kreuzung mit grüner Ampel muss der Fahrer links abbiegen (Aufforderung durch Navigationssystem: „Fahren Sie Richtung Würzburg“). Erschwert wird dies durch Gegenverkehr und ein Auto, welches vor ihm aus der Gegenrichtung rechts abbiegt.
Überland 1	Der Fahrer fährt auf der Landstraße (Überholverbot und Tempolimit 70 km/h) und nähert sich einer roten Ampel, die jedoch auf grün wechselt. Er folgt dem Straßenverlauf, wobei das Tempolimit nach der Ampel aufgehoben wird.
Autobahn 1	Der Fahrer folgt bei Tempolimit 80 km/h dem jetzt zweispurigen Straßenverlauf, um dann rechts abzubiegen und auf eine Autobahn mit moderatem Verkehr aufzufahren.
Autobahn 2	Der Fahrer folgt der Autobahn bei moderatem Verkehr. Das Tempolimit beträgt zuerst 120 km/h, dann 130 km/h.
Autobahn 3	Der Fahrer fährt von der Autobahn auf einen Parkplatz ab, auf dem sich einige Fahrzeuge und Personen befinden (keine unmittelbare Gefahr). Der Fahrer fährt danach sofort wieder auf die Autobahn auf.
Autobahn 4	Der Fahrer folgt der Autobahn bei moderatem Verkehr. Das Tempolimit beträgt 120 km/h.
Überland 2	Der Fahrer verlässt die Autobahn (Tempolimit 60 km/h), um auf eine Straße mit je einer Fahrspur pro Richtung und einer erlaubten Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h zu gelangen. Es folgt eine Kreuzung mit einmaliger Vorfahrt und eine Erhöhung des Tempolimits auf 100 km/h.
Überland 3	Der Fahrer folgt der Landstraße und passiert zwei Überholverbotschilder. Das vorausfahrende Fahrzeug kann aufgrund starken Gegenverkehrs nicht überholt werden.
Überland 4	Der Fahrer folgt einer freien Landstraße mit sanften Kurven bei etwas Gegenverkehr.
Stadt 3	Der Fahrer erreicht eine Ortschaft und muss zuerst auf 70 km/h, dann auf 50 km/h verzögern. Direkt nach dem Ortseingang muss er sich nach links einordnen und an einer grün werdenden Ampel links abbiegen, jedoch in der Kreuzung aufgrund eines querenden Fußgängers anhalten. Anschließend verlässt er den Ort wieder.
Autobahn 5	Der Fahrer folgt dem Navigationshinweis („Fahren Sie Richtung Würzburg“) über eine Kreuzung mit einmaliger Vorfahrt, um auf eine Autobahn mit moderatem Verkehr aufzufahren.
Autobahn 6	Der Fahrer folgt der Autobahn bei einem Tempolimit von 130 km/h und passiert ein rechts haltendes Fahrzeug (keine Gefahr). Anschließend wird eine Baustelle angekündigt und das Tempolimit schrittweise auf 60 km/h reduziert (bei Überholverbot). Nach der Baustelle ist erneut eine Höchstgeschwindigkeit von 130 km/h erlaubt.
Autobahn 7	Der Fahrer folgt einer Autobahn (Linkskurve). Direkt nach der Kurve blockiert eine Baustelle die rechte Spur. Nach kurzer freier Fahrt blockiert ein

	stehender LKW erneut die rechte Spur. Es folgt eine weitere freie Fahrt bei Tempolimit 120 km/h.
Überland 5	Der Fahrer verlässt die Autobahn (Tempolimit 60 km/h), um auf eine Straße mit je einer Fahrspur pro Richtung und einer erlaubten Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h zu gelangen. Es folgt eine Kreuzung mit einmaliger Vorfahrt und eine Erhöhung des Tempolimits auf 100 km/h.
Überland 6	Der Fahrer fährt auf einer Landstraße, muss jedoch einem Traktor folgen, den er aufgrund eines Überholverbots nicht überholen darf (er wird dabei von einem anderen Fahrzeug ordnungswidrig überholt).
Autobahn 8	Der Fahrer folgt einer freien Landstraße (Tempolimit 70 km/h). Danach fährt er auf eine moderat befahrene zweispurige Autobahn auf, die bald dreispurig wird.
Autobahn 8	Der Fahrer folgt der dreispurigen Autobahn mit Tempolimit 120 km/h, welches kurze Zeit später aufgehoben wird. Anschließend beginnt es zu regnen und es besteht die Gefahr von Aquaplaning. Nachdem der Regen endet, ist kurzzeitig eine Höchstgeschwindigkeit von 130 km/h erlaubt, ehe sich die Autobahn bei einem erneuten Tempolimit 120 km/h von drei auf zwei Spuren verengt.
Überland 7	Der Fahrer verlässt die Autobahn und gelangt auf eine einspurige Landstraße. An einer Kreuzung nähert sich ein Fahrzeug von rechts, der Fahrer befindet sich aber auf der Vorfahrtstraße und folgt dem Straßenverlauf weiter.
Stadt 4	Der Fahrer erreicht einen Ort und verlässt eine nach rechts abknickende Vorfahrtsstraße, indem er geradeaus in eine Tempo 30-Zone (Zusatzschild ‚Vorsicht Kinder‘) fährt. Dem Fahrer kommt in dieser Straße ein Bus entgegen, welcher an einer Haltestelle anhält. Die erlaubte Höchstgeschwindigkeit wird auf 50 km/h erhöht. Anschließend muss der Fahrer auf eine Rechts-vor-links-Kreuzung achten, ehe er den Ort verlässt.
Überland 8	Der Fahrer folgt der freien Landstraße bei etwas Gegenverkehr sowie einem Tempolimit von 80 km/h.
Stadt 5	Der Fahrer gelangt in eine Ortschaft, folgt dort dem Straßenverlauf und überquert einen Zebrastreifen (keine Fußgänger). Im Anschluss folgt eine nach links abknickende Vorfahrtstraße. Der Fahrer hat den Anweisungen des Navigationsgeräts zufolge der abknickenden Vorfahrt zu folgen („Fahren Sie Richtung Würzburg“).
Stadt 6	Der Fahrer nähert sich einem Zebrastreifen, der von einem Fußgänger überquert wird. Ein kurz darauf folgender zweiter Zebrastreifen wird ebenfalls von einem Fußgänger überquert, der vor Betreten des Überwegs von Schildern teilweise verdeckt wird.
Stadt 7	Der Fahrer folgt der Straße an einer Bushaltestelle vorbei und wird vom Navigationssystem aufgefordert, Richtung Würzburg zu fahren. Dabei muss er einen (leeren) Radweg überfahren, um rechts abbiegen zu können. Der Fahrer fädelt auf die neue Vorfahrtsstraße ein.
Stadt 8	Der Fahrer folgt dem Straßenverlauf, der an einer leeren Bushaltestelle vorbeiführt. Kurz davor steht ein Tempo 30-Schild und ‚Achtung Kinder‘. Im Anschluss ist wieder eine Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h erlaubt.
Stadt 9	Der Fahrer gelangt an eine rechts-vor-links Kreuzung mit Zeichen 102, es kommen jedoch nur Fahrzeuge von links und vorne.

Stadt 10	Der Fahrer folgt dem Straßenverlauf über zwei Kreuzungen mit Ampeln (jeweils grün). Radfahrer, Fußgänger, Schilder, Gegenverkehr und parkende Autos können ablenkend wirken, stellen jedoch nie direkte Gefahrenquellen dar.
Stadt 11	Der Fahrer folgt dem Straßenverlauf und muss auf 30 km/h abbremesen, da er an einer rechts liegenden, leeren Busspur mit Kinderwarnschild vorbeifährt. Danach kann er wieder auf 50 km/h beschleunigen.
Stadt 12	Der Fahrer folgt dem Straßenverlauf und überquert eine Vorfahrtskreuzung. Im Anschluss sollte er aufgrund von Rückstau an einer Fußgängerampel vor einer weiteren Vorfahrtskreuzung halten. Nach der Ampel folgt eine rechts-vor-links geregelte Kreuzung, jedoch ohne Verkehr von rechts.
Stadt 13	Der Fahrer folgt dem Straßenverlauf, der aufgrund einer Baustelle auf der Gegenfahrbahn und Gegenverkehr verengt ist. Außerdem gilt eine Höchstgeschwindigkeit von 20 km/h. Im Anschluss folgt eine Tempo 30-Zone. Vor dem Ende dieser Tempo 30-Zone kommt eine rechts-vor-links geregelte Kreuzung (ohne Verkehr). Anschließend fährt der Fahrer über eine ampelgeregelten Fußgängerüberweg, der grün zeigt.
Stadt 14	Der Fahrer nähert sich vor einer Innenstadtkreuzung einem Fahrradfahrer, der auf dem Radweg unterwegs ist. Um auf die Rechtsabbiegespur zu kommen, muss der Fahrer den Radweg überqueren und dabei auf den Radfahrer achten, der vor ihm fährt.
Stadt 15	Der Fahrer überquert eine Kreuzung mit einmaliger Vorfahrt. Im Anschluss muss er an einer Kreuzung mit Stoppschild links abbiegen. Dort muss er vor dem Abbiegen auf einen querenden Fahrradfahrer achten und danach vor einem ampelgeregelten Fußgängerüberweg warten. Es folgt eine rechts-vor-links geregelte Kreuzung (ohne Verkehr).
Stadt 16	Der Fahrer muss bei Gegenverkehr ein rechts parkendes Fahrzeug passieren. Er erreicht einen Zebrastreifen mit querendem Fußgänger. Danach muss der Fahrer erneut an rechts parkenden Fahrzeugen vorbeifahren und den Gegenverkehr beachten. Dann folgt eine rechts-vor-links Kreuzung, an der er einem Motorrad von rechts Vorrang gewähren muss. Schließlich passiert der Fahrer eine leere Bushaltestelle.
Überland 9	Der Fahrer folgt einer freien Landstraße bei etwas Gegenverkehr.
Überland 10	Der Fahrer folgt weiter der freien Landstraße mit leichten Kurven und Gegenverkehr. Nun gilt aber ein Tempolimit von 70 km/h. In der Mitte dieses Abschnitts muss der Fahrer aufgrund eines plötzlichen Wildwechsel anhalten (Warnschild zu Beginn dieses Szenarios).
Ziel	Der Fahrer beendet die Fahrt auf der Landstraße.

Tab. 3: Fahrverhaltensbeobachtung in der Simulation Teil 1

Abschnitt	Beschreibung
Teil2_Start	Der Fahrer beginnt die Fahrt auf einer Landstraße.
Teil2_Überland 1	Der Fahrer folgt der Landstraße (Tempolimit 80 km/h) und fährt dann rechts auf eine andere Straße auf. Hier muss er aufgrund des Verkehrs von links stehenbleiben und eine geeignete Lücke zur Auffahrt wählen. Im Anschluss gilt ein Tempolimit von 70 km/h.
Teil2_Stadt 1	Der Fahrer folgt einer Landstraße mit Tempolimit 70 km/h und gelangt in eine Ortschaft. Dort muss er rechts abbiegen, beim Einordnen jedoch das Fahrzeug von hinten und beim Abbiegen die von links kommenden Fahrzeuge beachten. An der nächsten Kreuzung muss links abgebogen, aufgrund des Gegenverkehrs jedoch in der Kreuzung gewartet werden. Nach einer aufgrund parkender Fahrzeuge leicht verengten Straße, muss der Fahrer rechts abbiegen. Wieder zwingen Fahrzeuge von links zum Warten. Bei der folgenden ampelgeregelten Kreuzung muss beim Rechtsabbiegen auf den querenden Fußgänger geachtet werden.
Teil2_Überland 2	Der Fahrer verlässt den Ort und gelangt auf eine Landstraße mit Tempolimit 70 km/h. Beim Rechtsabbiegen an der nächsten Kreuzung muss aufgrund von Verkehr von links gewartet und eine geeignete Lücke gewählt werden.
Teil2_Autobahn 1	Der Fahrer fährt rechts ab, um auf eine moderat befahrene Autobahn aufzufahren. Dabei muss er auf einen Motorradfahrer von links achten. Danach fährt der Fahrer auf die Autobahn auf.
Teil2_Ziel	Der Fahrer fährt auf einen Parkplatz ab. Die Fahrt endet hier.

**Tab. 4:** Fahrscenarien der Fahrverhaltensbeobachtung in der Simulation Teil 2.



## 5 Definition von Maßen der Fahrkompetenz

Für die Bewertung der Fahrkompetenz wurde im Fahr Simulator und im Realfahrzeug S.A.F.E., eine Applikation der Software SILAB, verwendet. Diese wurde zur Durchführung von Fahrverhaltensbeobachtungen bei Simulator- und Realfahrten entwickelt und wird mit Hilfe eines Tablet-PCs (Bild 1) durchgeführt.

Für eine Fahrverhaltensbeobachtung mit S.A.F.E. wird die eigentliche Fahrstrecke in überschaubare Einzelszenarien von wenigen Minuten Dauer unterteilt. Auf dem zugehörigen Interface können geschulte Testleiter für jedes Szenario Fahrfehler teilautomatisiert registrieren und klassifizieren. Darauf basierend können eine globale Beurteilung der Fahrkompetenz und die Erstellung eines Fahrleistungsprofils erfolgen.

S.A.F.E. wurde in Anlehnung an ein entsprechendes Paper-Pencil-Verfahren von BRENNER-HARTMANN (2002) entwickelt. Der Testleiter kann mit der Applikation Fahrfehler registrieren und die Fahrleistung von Klienten auf einer 11-stufigen Rating-Skala (Fitness-to-Drive-Skala nach KAUSSNER ET AL., 2014 und KENNTNER-MABIALA ET AL., 2015a,b, in Anlehnung an NEUKUM & KRÜGER, 2003) beurteilen. Indem wichtige Kennwerte der Fahrleistung visualisiert und bestimmte Fehlerarten (teil-)automatisiert gezählt werden, wurde das ursprüngliche Paper-Pencil-Verfahren vereinfacht und in seiner Objektivität erhöht.

Das FtD-Expertenurteil wird mit Hilfe von S.A.F.E. isoliert für jedes Fahr Szenario und abschließend für die Gesamtfahrt vergeben. Für diese Ratings und die in Subkategorien unterteilten Fehlersummen konnte im Rahmen von Schulungen eine Interrater-Reliabilität von über .80 nachgewiesen werden.

Alle Eingaben des Testleiters sowie die automatisch registrierten Fahrfehler werden am Ende einer Fahrprobe in einem übersichtlichen Testprotokoll zusammengefasst. Bei Fahrproben in der Simulation entstehen zudem Aufzeichnungsdateien, in denen verschiedene Standardparameter der Fahrleistung, die automatisiert aus den über die Simulation aufgezeichneten Fahrdaten errechnet werden, aufgeführt sind.



Bild 1: S.A.F.E.-Applikation.

### 5.1 Erfassung von Fahrfehlern

Auf der S.A.F.E. Bedienoberfläche hat der Testleiter die Möglichkeit, Fahrfehler nach den folgenden Kategorien zu registrieren, die von der ursprünglichen Klassifikation von BRENNER-HARTMANN (2002) geringfügig abweichen.

- **Längsführung:** Gs1 (schneller als zulässige Höchstgeschwindigkeit), Gs2 (unangepasstes Schnellfahren, unangepasst starke Beschleunigung / Verzögerung i.S. eines offensiven Fahrstils), Gs3 (unangepasstes Langsamfahren, unregelmäßige / ruckelige Längsführung, zu geringe Beschleunigung / zu frühes Verzögern i.S. eines unsicheren Fahrstils), Ab1/ Ab2 (zu geringer Längsabstand innerorts/außerorts)
- **Querführung:** Ab3 (zu geringer Querabstand), Fb1 (fehlende Spurgenaugigkeit / Abkommen von der Fahrbahn)
- **Spurwahl:** Fb2 (Spurwechselfehler), Fb3 (unangepasste Spurwahl), Fb4 (Befahren unzulässiger Fahrbahnen)
- **Sichern und Navigation:** Si1 (fehlendes, nicht ausreichendes, verzögertes Sichern), Si2 (Verkehrsverstöße gegenüber Vorrangregeln), Si3 (überevorsichtiges Sichern), Nav (Navigationsfehler)
- **Kommunikation:** Ko1 (fehlendes, verzögertes, verfrühtes Blinken), Ko2 (unklare Kommunikation), Ko3 (Umgang mit Zeichengebung anderer)
- **Kritische Situationen:** Gf1 (Gefährdung von Fußgängern und Radfahrern), Gf2 (Gefährdung von anderen motorisierten Verkehrsteilnehmern), Eingriffe durch den Fahrlehrer (verbale Eingriffe, Handlungseingriffe), Kollisionen

Abweichend zu BRENNER-HARTMANN (2002) wurden unter anderem die Kategorien Kollisionen (für die Simulation), Eingriffe durch den

Fahrlehrer/Versuchsleiter (primär für Fahrten im Realverkehr) und Navigationsfehler ergänzt. Zudem werden Gefährdungsfehler, Eingriffe und Kollisionen immer in Kombination mit derjenigen Fehlerkategorie vergeben, auf welche die kritische Situation zurückzuführen ist. Auf diese Weise werden Gs2 und Gs3 neu definiert. So beschreibt der Gs3-Fehler nicht mehr nur zu langsames Fahren, sondern auch eine unregelmäßige, ruckelige oder unsichere Längsführung. Ein unangepasstes Verzögerungs-, Beschleunigungs- oder Geschwindigkeitsverhalten wird nur dann vergeben, wenn dies auf eine eher offensive Fahrweise zurückzuführen ist. Dies ist insbesondere für die Beurteilung der Fahrleistung von Senioren sinnvoll, um auch zwischen einem unsicheren und einem eher regelwidrig-offensiven Fahrstil differenzieren zu können. Schließlich werden abweichend zu BRENNER-HARTMANN (2002) nur ganze, keine halben Fehler vergeben, die bei BRENNER-HARTMANN (2002) als sogenannte Unsicherheiten registriert wurden.

Verbalkategorie	Numeralkategorie
absolut fahrnsicher	10
	9
kritisches Fahrverhalten	8
	7
	6
auffälliges Fahrverhalten	5
	4
	3
normales Fahrverhalten	2
	1
uneingeschränkt fahrsicher	0

**Bild 2:** Fitness-to-Drive-Skala nach KAUSSNER ET AL. (2014) und KENNTNER-MABIALA ET AL. (2015b), in Anlehnung an NEUKUM & KRÜGER (2003).

Daneben kann mit S.A.F.E. auch die Anzahl willentlicher Spurwechsel als taktischer Parameter registriert werden.

Zur Unterstützung des Testleiters werden in der Simulation die Fahrparameter zum Geschwindigkeits- und Abstandsverhalten sowie zur Spurhaltung dargestellt. Im Rahmen von Realfahrproben sind lediglich Informationen zum Geschwindigkeitsverhalten verfügbar, die bislang aber nicht in die Datenaufzeichnung/-auswertung eingehen. Weitere Informationen zur Spurhaltung und zum Abstandsverhalten benötigen den Zugriff auf die CAN-Daten des Fahrzeuges. Dies ist ohne Unterstützung durch den

gefährliche Fehler auch stärker gewichtet. Ferner wird in der Vergabe von Fehlern wegen zu geringem Längsabstand nicht zwischen inner- und außerorts differenziert, so dass die Kategorien Ab1 und Ab2 zur Kategorie Ab1/2 zusammengefasst wurden. Weiterhin wurden die Kategorien jeweiligen Fahrzeughersteller nur sehr schwer möglich.

## 5.2 Fitness-to-Drive-Skala

Am Ende eines Bewertungsszenarios wird durch ein akustisches Signal die sogenannte Ratingphase eingeleitet, während welcher der Testleiter das Fahrverhalten im vorausgegangenen Szenario auf der Fitness-to-Drive-Skala (FtD-Skala; KAUSSNER ET AL., 2014 und KENNTNER-MABIALA ET AL., 2015b, in Anlehnung an NEUKUM & KRÜGER, 2003) einstufen kann (Bild 2).

Die Basisstruktur dieser Skala ist ein zweistufiges Beurteilungsverfahren. Die Skala besteht zum einen aus drei verbalen Kategorien: „normales Fahrverhalten“, „auffälliges Fahrverhalten“, „kritisches Fahrverhalten“. Zum anderen finden sich innerhalb jeder verbalen Kategorie drei numerische Sub-Kategorien, um eine feinere Differenzierung (hoch – mittel – niedrig) zu erlauben. Weiterhin gibt es an beiden Enden der Skala eine zusätzliche Extremkategorie: „uneingeschränkt fahrsicher“ und „absolut fahrnsicher“.

Während der gesamten Ratingphase ist die Skala rot unterlegt. In Abhängigkeit der registrierten Fehler werden bestimmte Ratingstufen schattiert und können nicht mehr vergeben werden (z.B. dürfen nach einer Kollision nur noch Ratingstufen im roten Bereich gewählt werden). Nach der Rating-Phase erscheint das Fehlerprotokoll des nächsten Szenarios.

Wenn der Testleiter am Ende der Fahrt alle Bewertungen vorgenommen hat, wird das zusammenfassende FtD-Rating vergeben. Dieses fällt der Testleiter basierend auf seinem klinischen Urteil, wird aber durch Informationen zur Häufigkeit einzelner Ratingstufen während der Fahrt und Fehlersummen mit entsprechenden Normwerten, die im individuellen Testprotokoll visualisiert werden, unterstützt.

## 6 Validierung der Fahrverhaltensbeobachtung in der Simulation

Der in Kapitel 4 beschriebene Testparcours zur Messung der Fahrkompetenz von Senioren wurde in zwei Simulatoren unterschiedlicher Ausbaustufe implementiert und im Rahmen einer Studie anhand einer Realfahrtprobe mit Fahrern im Alter zwischen 25 und 50 Jahren und Fahrern, die älter als 70 Jahre alt sind, validiert. Ziel der Studie war es, zu prüfen, ob die Fahrkompetenz älterer Autofahrer in den beiden Simulatoren vergleichbar gut gemessen werden kann wie bei einer Fahrverhaltensbeobachtung im Realverkehr. Im Folgenden werden die Methoden und Ergebnisse dieser Validierungsstudie vorgestellt.

### 6.1 Methoden

#### 6.1.1 Stichprobe

Die Teilnehmer der Studie wurden aus dem Testfahrerpanel des WIIW rekrutiert und erhielten für Ihre vollständige Teilnahme eine Aufwandsentschädigung von 100 €. Um die Leistungsbereitschaft der Teilnehmer zu erhöhen, erhielt außerdem der beste Fahrer jeder Altersgruppe einen Tankgutschein im Wert von 40 €.

Alle Testfahrer haben entweder bereits schon vorab oder direkt im Vorfeld ihrer Studienteilnahme ein ausgiebiges Trainingsprogramm für das Fahren im Simulator absolviert und eine gute Simulatorverträglichkeit aufgewiesen. Um darüber hinaus für alle Fahrer eine gute Simulatorfahrzeugbeherrschung zu erreichen, haben außerdem alle Fahrer an einem gesonderten Termin die Gelegenheit erhalten, erneut Fahrmanöver wie Bremsen und Beschleunigen oder Abbiegen an Kreuzungen zu üben sowie den Kompaktsimulator kennenzulernen.

#### 6.1.2 Versuchsdesign und -ablauf

Für die Validierungsstudie wurde ein 2x3-Versuchsplan realisiert mit dem dreistufigen, abhängigen Faktor ‚Methode‘ (Realverkehr vs. High-Fidelity-Simulator vs. Kompaktsimulator) und dem zweistufigen Gruppenfaktor ‚Alter‘ (25-50 Jahre vs. > 70 Jahre)

Alle Fahrer absolvierten an verschiedenen Terminen eine Fahrverhaltensbeobachtung am High-

Fidelity-Simulator, am Kompaktsimulator und im Realverkehr. Die Reihenfolge der Simulatoren wurde permutiert. Da aus ethischen Gründen ein ausführliches Feedback durch den Fahrlehrer am Ende der Fahrverhaltensbeobachtung im Realverkehr vorgesehen war und dieses Feedback die Leistung in den simulierten Fahrten in erheblichem Maße beeinflussen könnte, fand die Fahrverhaltensbeobachtung im Realverkehr immer als letzte statt.

Bei jedem Probanden wurde darauf geachtet, dass die Fahrverhaltensbeobachtung im Realverkehr von einem Testleiter beurteilt wurde als Fahrverhaltensbeobachtung im Simulator.

- Termin 1: Einführung und Simulatorgewöhnung (Dauer ca. 2.0h):
- An diesem Termin unterschrieben die Teilnehmer nach einer ausführlichen Erklärung des Studienablaufs ihre Einverständniserklärung zur Teilnahme am Versuch und die Erklärung zum Datenschutz.
- Anschließend wurde der MMSE (Mini Mental State Examination nach FOLSTEIN ET AL., 1975) durchgeführt, um eine Altersdemenz auszuschließen.
- Um Symptome der Simulator Sickness zu vermeiden und um ein vergleichbares Niveau bezüglich der Simulatorfahrzeugbeherrschung für alle Probanden zu erhalten, absolvieren alle Fahrer in beiden Simulatoren vor den Fahrverhaltensbeobachtungen ein Simulatorgewöhnungsprogramm in Anlehnung an HOFFMANN UND BULD (2006).
- Zum Abschluss wurden die theoretischen Kenntnisse in verkehrsrelevanten Bereichen anhand einer Auswahl von Fragen gemessen, die für die amtliche Führerscheintheorieprüfung gestellt werden.
  - Termin 2/3: Fahrverhaltensbeobachtungen in den Simulatoren (Dauer jeweils ca. 1.5h)
- Die Reihenfolge der Fahrverhaltensbeobachtungen im High-Fidelity-Simulator und im Kompaktsimulator wurde permutiert.
- Vor der eigentlichen Fahrverhaltensbeobachtung wurde eine kurze Eingewöhnungsfahrt durchgeführt. Im Kompaktsimulator wurde nur Teil 1, im High-Fidelity-Simulator wurden Teil 1 und Teil 2 des Parcours (Kapitel 4.2) gefahren.
- Dabei wurden neben der Einschätzung der Fahrkompetenz durch den Versuchsleiter mit Hilfe von S.A.F.E. folgende Fragebögen zur Datengewinnung verwendet:
- Probanden-Fragebogen zum momentanen Befinden (vor Eingewöhnungsfahrt, nach Eingewöhnungsfahrt, nach Fahrverhaltensbeobachtung)

- Einschätzung der eigenen Fahrkompetenz (Ftd-Rating, Auftreten diverser Fahrfehler) durch den Probanden
- Protokoll und Einschätzung des Testleiters sowie verbale Zusammenfassung der Fahrverhaltensbeobachtung (als Grundlage für das Feedbackgespräch nach Termin 4)
  - Termin 4: Fahrverhaltensbeobachtung im Realverkehr (Dauer ca. 2h)
- Die Fahrverhaltensbeobachtung im Realverkehr erfolgte in Begleitung eines Fahrlehrers. Zunächst wurde ein Sehtest durchgeführt. Die Probanden konnten wählen, ob sie in einem Fahrzeug mit Automatikgetriebe (Fahrschulfahrzeug) oder mit manuellem Getriebe (WIVW-Fahrzeug) fahren. Die Fahrzeuge waren mit einer zweiten Pedalerie ausgestattet, so dass der Fahrlehrer im Falle kritischer Situationen eingreifen konnte. Im Anschluss erhielt der Proband eine ausführlich Rückmeldung zu allen drei Fahrverhaltensbeobachtungen zum Theoriefragebogen. Weiterhin wurden Tipps gegeben, wie der Proband seine Fahrweise eventuell verbessern kann.

### 6.1.3 Implementierung der Fahrverhaltensbeobachtung in die Simulation

Um zu untersuchen, welche Mindestanforderung an Fahrsimulatoren für die Durchführung von Fahrverhaltensbeobachtungen zu stellen sind, wurde der Fahrparcours an zwei Simulatoren implementiert: einem statischen Simulator mit Original-Mockup, Spiegeln, die über Displays simuliert werden, und einer Rundumsicht, die auch z.B. auf der Autobahn Schulterblicke erlaubt (High-Fidelity-Simulator) und auf einem Simulator geringerer Ausbaustufe, der den in Kapitel 3.6 definierten Mindestanforderungen entspricht und sich durch Kostengünstigkeit und leichte Transportierbarkeit auszeichnet (Kompaktsimulator). Sicher ist es bereits allein aufgrund der unterschiedlichen Sichtverhältnisse nicht möglich, die Fahrverhaltensbeobachtung aus dem High-Fidelity-Simulator 1:1 auf den Kompaktsimulator zu übertragen. Deshalb und um den diagnostischen Mehrwert einer Rundumsicht im Vergleich zu einer Sicht von maximal 180° zu prüfen, wurde die Strecke in Abschnitte mit Szenarien aufgeteilt, die eine Rundumsicht erfordern und solche, bei denen ein geringerer Ausschnitt der Fahrumgebung ausreicht (vgl. Kapitel 3.6). Die Fahrverhaltensbeobachtung im Kompaktsimulator ist daher etwas kürzer. Hierdurch können aber Aussagen darüber getroffen werden, welcher Zusatznutzen durch den Einsatz von High-Fidelity-Simulatoren im Vergleich zu

Kompaktsimulatoren im Bereich der Fahrkompetenzmessung zu erwarten ist.

Ziel ist es, zu untersuchen, ob zum einen ein Kompaktsimulator von älteren Autofahrern ähnlich gut akzeptiert und beherrscht werden kann wie ein High-Fidelity-Simulator und zum anderen, ob die Aussagekraft einer Fahrverhaltensbeobachtung im Kompaktsimulator vergleichbar ist mit der in einem High-Fidelity-Simulator. Die beiden Simulatoren werden im Folgenden ausführlich beschrieben.

#### High-Fidelity-Fahrsimulator

Das Mockup des High-Fidelity-Simulators besteht aus einem Opel Insignia (Bild 3 und 4). Ins Lenkrad wurde eine Lenkkraftsimulation (SensoDrive Lenkmotor) integriert. Zwei LCD-Displays mit je 1280×720 Punkten werden für das Instrumentenfeld und das Navigationssystem verwendet.



**Bild 3:** Statischer High-Fidelity-Simulator der WIVW GmbH.

Das frontale Sichtfeld deckt einen Winkel von 300° (horizontal) bzw. 47° (vertikal) ab. Es ist also eine nahezu vollständige Rundumsicht vorhanden. Das Sichtfeld ist aus fünf Bildkanälen mit einer Auflösung von je 1400×1050 Punkten zusammengesetzt, die jeweils über Projektoren auf eine flache Leinwand projiziert werden. Die Projektionsflächen sind nahtlos miteinander verbunden. Die Außenspiegel sind als LCD-Displays ausgeführt. Im Kofferraum simuliert ein LCD-Display die Sicht nach hinten. Der Innenspiegel entspricht damit dem Serienfahrzeug. Die Update-Rate der Grafik beträgt 60 Hz.



**Bild 4:** Innenansicht des statischen High-Fidelity-Simulators.

Die Soundsimulation verwendet die vier in den Türen befindlichen Original-Lautsprecher des Fahrzeugs. Zur Durchführung der Simulation stehen neun PCs zur Verfügung, welche über 1 Gbit Ethernet verbunden sind. Ein zusätzliches Tablet dient dem Testleiter zur Bedienung der S.A.F.E. Anwendung.

### Kompaktsimulator

Das Mockup des Kompaktsimulators enthält keine Bestandteile eines realen Fahrzeugs. Stattdessen wird ein einfaches Cockpit durch einen Fahrersitz und ein generisches Armaturenbrett simuliert (Bild 5).

Das frontale Sichtfeld deckt einen Winkel von ca. 180° (horizontal) bzw. 40° (vertikal) ab. Das Sichtfeld setzt sich aus drei 4K UHD LCD Fernseher (Phillips) mit einer Auflösung von je 3840 x 2160 Pixeln (Format 16:9, Bildschirmdiagonale 108cm) zusammen. Die Update-Rate der Fernseher beträgt 80 Hz.

Die Soundsimulation verwendet fünf Lautsprecher: Zwei befinden sich hinter dem Fahrer (jeweils links und rechts), während die restlichen drei vor dem Fahrer hinter dem Lenkrad installiert sind.

Zur Durchführung der Simulation steht ein Rechnernetz bestehend aus sechs PCs zur Verfügung, welche über 1 Gbit Ethernet verbunden sind. Ein zusätzliches Tablet dient dem Testleiter zur Bedienung der S.A.F.E. Anwendung.



**Bild 5:** Kompaktsimulator der WIVW GmbH.

Die kompakte Bauweise auf dem mit Rollen ausgestatteten Metallgrund erlaubt es, den Simulator leicht zu verschieben. Die Bestandteile des Mockups (Bild 6) sind: Pedalerie, Force-Feedback-Lenkrad und Schaltung (im Rahmen der Studie ohne Funktion).



**Bild 6:** Pedalerie und Lenkrad des Kompaktsimulators.

Anzeigeelemente (z.B. Tachometer, Drehzahlmesser), Navigationshinweise und Rückspiegel (Innen-, Rück- und Außenspiegel) werden in das Sichtfeld eingeblendet und sind daher nicht als physische Bestandteile vorhanden (Bild 7).



**Bild 7:** Sichtsystem des Kompaktsimulators mit eingeblendeten Anzeigen, Rückspiegeln und Navigationshinweisen.

### 6.1.4 Fahrverhaltensbeobachtung im Realverkehr

Die Fahrverhaltensbeobachtung im Realverkehr wird als Validitätskriterium verwendet, da sie im Realverkehr als der Goldstandard der Fahrkompetenzmessung gilt (BALL & ACKERMAN, 2011). Sie dient damit als Vergleichsmaßstab für die Eignung der Fahrsimulation als Methode zur Fahrkompetenzmessung.

Die Auswahl der Strecke erfolgte basierend auf Erkenntnissen einschlägiger eigener Vorarbeiten (HARGUTT ET AL., 2012; KAUSSNER ET AL., 2016; KENNTNER-MABIALA ET AL., 2015a) sowie auf etablierten Richtlinien und einschlägiger Fachliteratur (siehe z.B. GOLZ ET AL. 2004; POSCHADEL ET AL., 2012b; UTZELMANN & BRENNER-HARTMANN 2005; SCHUBERT & WAGNER 2003).

Es handelt sich um eine 60-minütige Strecke in und um Würzburg, die in Kooperation mit der Fahrschule Kwiotek ausgewählt wurde. Enthalten ist ein repräsentativer Querschnitt an Fahraufgaben auf der Landstraße, im innerstädtischen Bereich und auf der Autobahn. Der Schwerpunkt der Fahrt liegt auf gemäß der einschlägigen Fachliteratur typischen alterskritischen Situationen (Knotenpunkte und Vorfahrtsregeln, Spurwahl/-wechsel und Einfädeln in fließenden Verkehr; POSCHADEL ET AL., 2012b; DESTATIS, 2017).

Eine ausführlichere Darstellung der Strecke und der enthaltenen Fahraufgaben inkl. Kartenausschnitte ist als Anhang zu diesem Dokument als elektronisches Dokument über die Homepage der BAST erhältlich.

### 6.1.5 Methode der Fahrkompetenzmessung

Sowohl für die Fahrverhaltensbeobachtung im Realverkehr als auch für die Fahrverhaltensbeobachtung in den beiden Fahrsimulatoren wird die Fahrkompetenz des Probanden von einem geschulten Psychologen mit Hilfe der Tablet-Applikation S.A.F.E. beurteilt. Während der Fahrt werden Fahrfehler registriert sowie ein situationsbezogenes und ein fahrtenübergreifendes Fahrkompetenzrating vergeben. (für eine ausführliche Beschreibung siehe Kapitel 5).

Zusätzlich bewertet der Proband selbst sein Fahrverhalten nach jeder Fahrverhaltensbeobachtung auf der FtD-Skala und gibt an, welche Situationen ihm besonders leicht bzw. schwer gefallen sind und welche Fahrfehler ihm wie häufig passiert sind bzw. welche Fahrfehler wie typisch für ihn sind (6-stufige

Skala: gar nicht – sehr wenig – wenig – mittel – stark – sehr stark).

Im Rahmen der Fahrverhaltensbeobachtung im Realverkehr findet darüber hinaus auch durch den Fahrlehrer eine Bewertung der Fahrleistung in folgender Form statt

- Ftd-Rating (Paper-Pencil-Methode)
- Häufigkeitsrating verschiedener Fahrfehler (z.B. Überschreitung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit; Paper-Pencil-Methode, 6-stufige Skala: gar nicht – sehr wenig – wenig – mittel – stark – sehr stark)
- Angabe, ob eine Führerscheinprüfung bestanden worden wäre

Neben dem S.A.F.E.-Testprotokoll werden während der Fahrverhaltensbeobachtung in der Simulation eine Reihe weiterer Fahrdaten bezüglich Geschwindigkeit, Spurhaltung und Abständen zu anderen Verkehrsteilnehmern aufgezeichnet. Daneben wird die Fahrt per Videoaufnahme (Szenerie und Fahrerverhalten) dokumentiert.

### 6.1.6 Schulung der Testleiter

Jede Versuchsfahrt im Simulator und im Realverkehr wird von einem Testleiter beobachtet. Dabei wurde darauf geachtet, dass ein Testleiter niemals für dieselbe Person sowohl die Fahrverhaltensbeobachtung im Simulator als auch die Fahrverhaltensbeobachtung im Realverkehr beurteilt. Im Rahmen der Validierungsstudie dürfen nur speziell trainierte Beobachter mit Hilfe der Applikation S.A.F.E. Fahrfehler registrieren und klassifizieren sowie ein globales Urteil über die Fahrkompetenz eines Probanden abgeben.

Zur Durchführung der allgemeinen Testleiterschulung (Gesamtdauer ca. 10 Stunden) stehen am WIVW Schulungsstrecken mit Musterlösungen zur Verfügung, mit deren Hilfe die einzelnen Fehlerkategorien sukzessive erarbeitet werden. Nach jedem Szenario werden die registrierten Fehler und das abgegebene Rating mit dem Trainer diskutiert und die Musterlösung erläutert. Den Abschluss der Schulung bildet das Rating einer längeren Prüfstrecke.

Als Maß für den Schulungserfolg eines Teilnehmers werden eine Abweichung von maximal  $\pm 1$  im Gesamtrating und eine Korrelation von mindestens .7 zwischen den szenarienbezogenen Ratings auf der 11-stufigen Skala und den Fehlersummen pro Fehlerkategorie der Schulungsteilnehmer mit den entsprechenden Daten der Musterlösung voraus-

gesetzt. Ist das Kriterium nicht erfüllt, wird die Schulung wiederholt.

Da die Konsistenz der Beurteilung der Fahrleistungen essentiell für die Aussagekraft dieser Studie ist, wird neben der Gesamtschulung ein spezifisches Training der Testleiter durchgeführt. Jeder im Rahmen von Fahrverhaltensbeobachtungen in der Simulation eingesetzte Testleiter hat zum Kennenlernen beide Teile des Prüfparcours mindestens einmal selbst durchfahren. Weiterhin muss jeder Testleiter an beiden Simulatoren (High-Fidelity-Fahrsimulator, Kompaktsimulator) jeweils mindestens

eine Testfahrt beurteilt haben. Jeder im Rahmen der Fahrverhaltensbeobachtung im Realverkehr beschäftigte Testleiter beurteilt zu Übungszwecken vier Fahrverhaltensbeobachtungen im Realverkehr.

Als Ergebnis dieses ausführlichen Testleitertrainings reicht die Korrelation zwischen den szenarienbezogenen Ratings der für diese Studie trainierten Testleiter von  $r=.871$  bis  $r=.892$ , die Korrelation der Fehlersummen pro Fehlerart von  $r=.986$  bis  $r=.992$ .

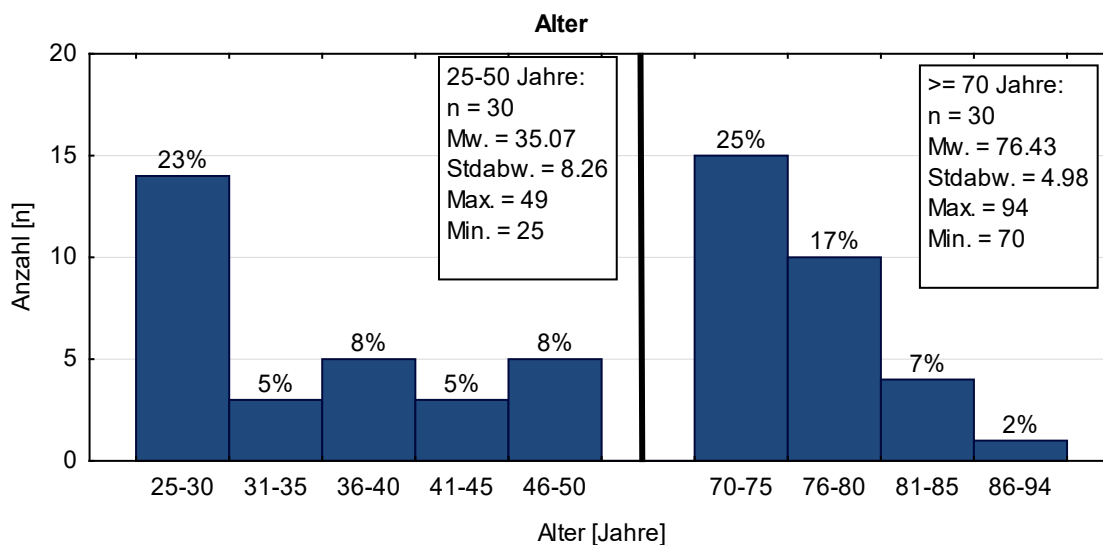


Bild 8: Altersverteilung der Stichprobe getrennt für Vergleichsgruppe und Senioren.

## 6.2 Ergebnisse der Validierungsstudie

### 6.2.1 Stichprobenbeschreibung

Die Datenerhebung fand vom 25. Juli 2016 bis zum 31. Juli 2017 statt.

Die Stichprobe der Validierungsstudie umfasst insgesamt N=60 Fahrer, die in zwei Altersgruppen aufgeteilt sind (Bild 8). Die eine Hälfte der Stichprobe ist zwischen 25 und 49 Jahre alt (Mw. = 35.07; Stdabw. = 8.26), die andere Hälfte zwischen 70 und 94 Jahre (Mw. = 76.43; Stdabw. = 4.98). In der Gruppe der Jüngeren sind die meisten Probanden zwischen 25 und 30 Jahre alt (n=14), bei den Älteren überwiegt der Anteil der 70-75-Jährigen. Während bei den jüngeren Fahrern gleich viele Frauen und Männer vertreten sind (Bild 9), überwiegt in der Gruppe der Älteren der Anteil männlicher Fahrer (20 Männer im Vergleich zu 10 Frauen).

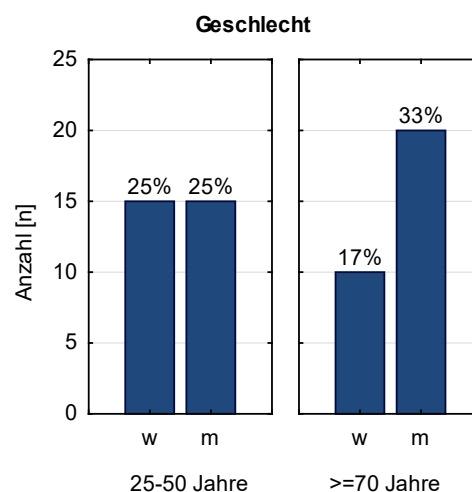


Bild 9: Geschlechterverteilung der Stichprobe getrennt nach Altersgruppe.

Die jüngeren Studienteilnehmer berichten im Mittel jährliche Fahrleistungen von ca. 17800 km (Stdabw. = 14078 km/Jahr). Die älteren Studienteilnehmer fahren durchschnittlich deutlich weniger (Mw. =

10373 km/Jahr; Stdabw. = 5340 km/Jahr), da insbesondere Fahrleistungen von über 20000 km/Jahr nicht vorkommen.

**6.2.1 Datenauswertung**

Für alle relevanten Parameter (globales Rating, Fahrfehler) werden getrennt nach Methode (High-Fidelity-Simulator, Kompaktsimulator, Realfahrt) und Altersgruppe die folgenden Deskriptiva berechnet:

Häufigkeiten, Mittelwerte, Standardabweichung. Unterschiede werden interferenzstatistisch abgesichert. Diese Deskriptiva dienen als Grundlage für die Erstellung von Normwerte. Außerdem werden die Ergebnisse der verschiedenen Methoden miteinander korreliert. Zur Bestimmung eines geeigneten Kriteriums für eine bestandene vs. eine nicht

bestandene Fahrprobe, werden Spezifitäten und Sensitivitäten verschiedener Kriterien berechnet und in ROC-Kurven dargestellt.

Bezüglich der FtD-Ratings und Fehlerhäufigkeiten sind die Daten vollständig (N=60). Lediglich bei der Berechnung der Reaktionszeiten bei Wildwechsel und der SDLP gibt es vereinzelt fehlende Werte, welche nicht ersetzt und somit auch nicht in die Berechnung der Deskriptiva (z.B. Mittelwert, Korrelation) einbezogen werden.

**6.2.2 Globale Beurteilung der Fahrkompetenz**

Bild 10 zeigt die FtD-Ratings des Psychologen für die Realfahrt, die Fahrt im High-Fidelity-Simulator und im Kompaktsimulator. Insgesamt zeigen sich sehr ähnliche Verteilungen der Ratings.

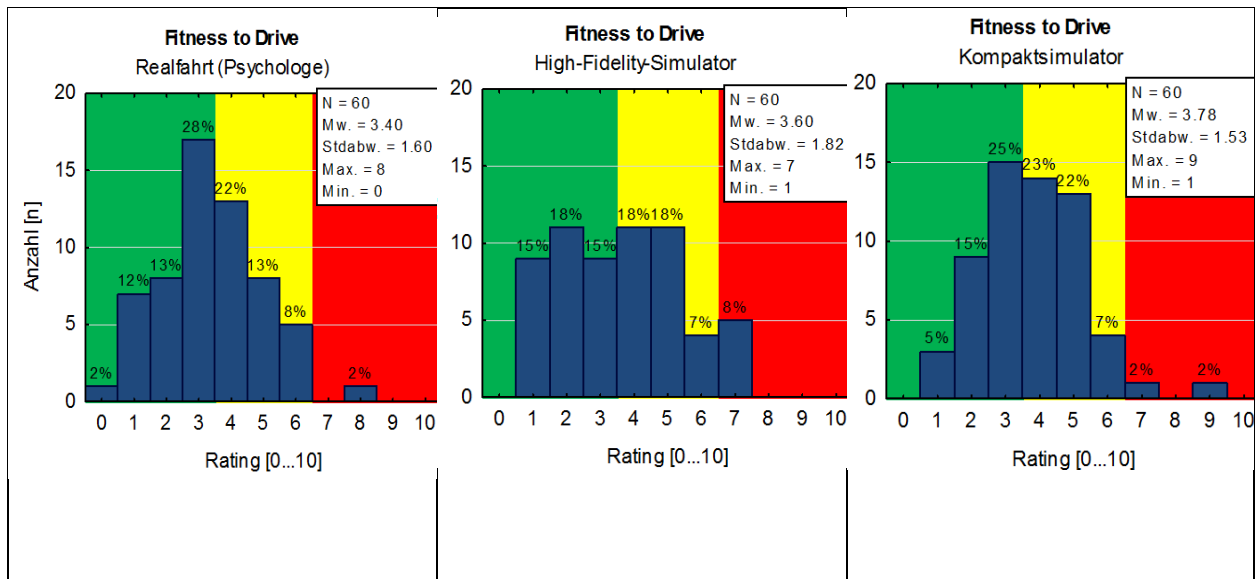


Bild 10: Häufigkeit der einzelnen FtD-Ratings des Psychologen getrennt in Abhängigkeit der Messmethode.

Ein kritisches Fahrverhalten zeigt sich während der Fahrverhaltensbeobachtung im Realverkehr nur für einen Probanden, während der Fahrverhaltensbeobachtung im High-Fidelity-Simulator für fünf Fahrer und während der Fahrverhaltensbeobachtung im Kompaktsimulator für zwei Fahrer. Der Fahrer, der im Realverkehr ein kritisches Rating durch den Psychologen erhalten hat, wird auch in beiden Simulatoren als kritisch beurteilt.

Für alle Fahrverhaltensbeobachtungen zeigt sich ein deutlicher und statistisch signifikanter Alterseffekt mit schlechteren FtD-Ratings für ältere Fahrer (Bild 11).

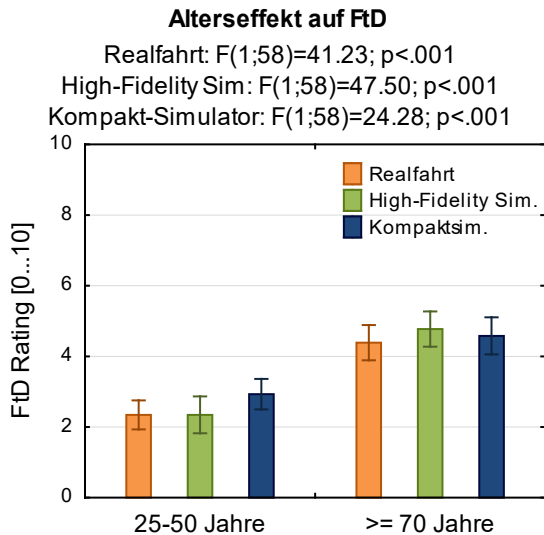
Während die Realfahrt immer an letzter Stelle stattfand (vgl. Kapitel 6.1.2), war die Reihenfolge der

Simulatorfahrten (High-Fidelity vs. Kompakt) permutiert. Eine Varianzanalyse mit den Faktoren Messmethode (High-Fidelity vs. Kompakt) und Reihenfolge (erste vs. zweite Stelle) erbrachte keinen signifikanten Reihenfolgeeffekt.

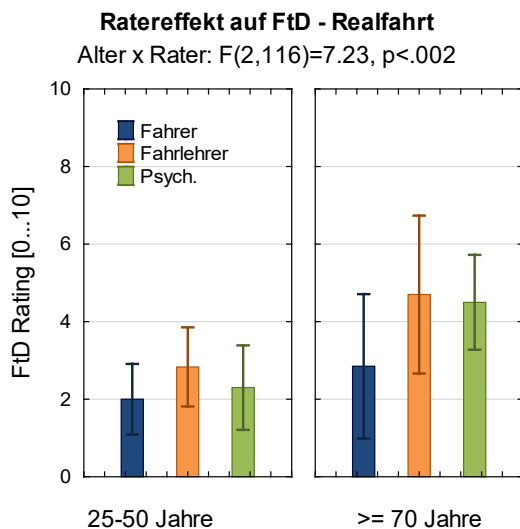
Wie in Bild 12 zu sehen ist, bewerteten die Fahrer ihre eigene Fahrkompetenz signifikant besser als der Psychologe und der Fahrlehrer (Bild 12). Dieser Effekt der Selbstüberschätzung der eigenen Leistung war für ältere Fahrer ausgeprägter als für jüngere Fahrer und war auch bei den Fahrten im Fahr-simulator deutlich zu beobachten. Dementsprechend lagen die Korrelationen zwischen den FtD-Ratings der Psychologen und den Fahrern selbst (Realfahrt r=.447) sowie des Fahrlehrers und der Fahrer selbst (r=.552) nur im mittleren Bereich.



Dagegen war der Zusammenhang zwischen Fahrlehrer- und Psychologurteil deutlich höher ( $r=.759$ ).



**Bild 11:** FtD-Rating des Psychologen getrennt nach Altersgruppe und Messmethode.



**Bild 12:** Vergleich der FtD-Ratings durch Fahrer, Psychologe und Fahrlehrer getrennt für die jüngere und die ältere Stichprobe.

Bezüglich der Beurteilungen der Fahrkompetenz durch den Psychologen ist der statistische Zusammenhang zwischen dem Rating im Simulator und dem im Realverkehr für beide Simulorausbaustufen hoch (High-Fidelity-Simulator  $r=.772$ , s. Bild 13; Kompakt-Simulator  $r=.716$ , s. Bild 14).

Bemerkenswert an dieser Stelle ist, dass bei der Versuchsdurchführung darauf geachtet wurde, dass der Psychologe, der die Fahrverhaltensbeobachtung in den Simulatoren beurteilte, ein anderer war, als derjenige, der die Fahrverhaltensbeobachtung im Realverkehr beobachtete.

Der Zusammenhang zwischen den Ratings durch den Fahrlehrer im Realverkehr und den Ratings durch den Psychologen in den Simulatoren liegt dagegen nur im mittleren Bereich (High-Fidelity-Simulator  $r=.518$ , s. Bild 15); Kompakt-Simulator  $r=.591$ , s. Bild 16).

Der Fahrlehrer vergibt bei der Realfahrt im Durchschnitt eine schlechtere Bewertung (Mw. = 3.77, Stdabw. = 1.85) als der Psychologe bei der Fahrverhaltensbeobachtung im High-Fidelity Simulator (Mw. = 3.60, Stdabw. = 1.82). Die Bewertung durch den Psychologen im Kompakt-Simulator stimmt dagegen im Niveau mit dem Ergebnis der Fahrverhaltensbeobachtung durch den Fahrlehrer im Realverkehr überein (Mw. = 3.78, Stdabw. = 1.53).

Einen Vergleich der Bewertungshäufigkeit der drei verbalen Kategorien der FtD-Skala („normales Fahrverhalten“, „auffälliges Fahrverhalten“, „kritisches Fahrverhalten“) für Realfahrt und Simulator gibt Tab. 5. Fahrer, die vom Fahrlehrer ein kritisches Rating erhalten, werden auch im Rahmen der Fahrverhaltensbeobachtung im Simulator als mindestens auffällig bewertet. Umgekehrt wird kein Fahrer im Simulator als kritisch beurteilt, dem im Rahmen der Realfahrt vom Fahrlehrer eine normale Fahrkompetenz zugesprochen wird.

Realfahrt Fahrlehrer	High-Fidelity Sim.		Kompaktsim.			
	normal	auffällig	kritisch			
normal	22	19	8	11	0	0
auffällig	7	8	15	18	4	0
kritisch	0	0	3	2	1	2
Realfahrt Psychologe	High-Fidelity Sim.		Kompaktsim.			
	normal	auffällig	kritisch			
normal	25	19	8	14	0	0
auffällig	4	8	18	17	4	1
kritisch	0	0	0	0	1	1

**Tab. 5:** Vergleich der Bewertungskategorie bei der Fahrverhaltensbeobachtung im Realverkehr und im Simulator (normal: FtD  $\leq 3$ , auffällig: FtD 4-6, kritisch: FtD  $\geq 7$ ).

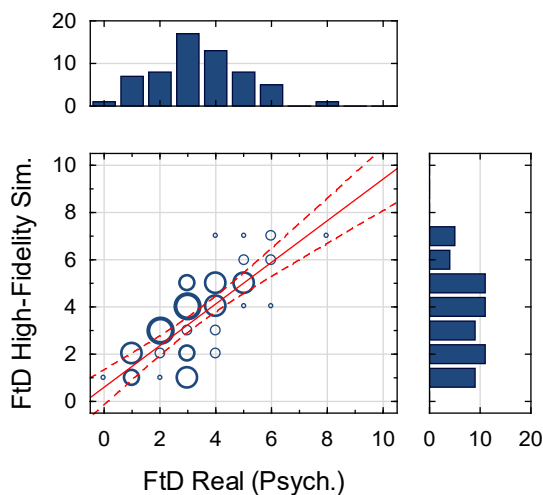
Dem Fahrlehrer wurde die FtD-Skala ausführlich erläutert und erklärt. Während Psychologen aufgrund ihrer Ausbildung sich in der Regel jedoch sehr bewusst sind über gewisse Urteilsverzerrungsmechanismen aufgrund von Sympathien, Geschlecht, aktueller Stimmung sind diese einem Fahrlehrer weniger bewusst. Die Urteile des Fahrlehrers unterliegen in diesem speziellen Setting daher vermutlich in höherem Maß subjektiven Einflüssen und Urteilsverzerrungen als die Urteile der Psychologen.

Die Fahrprobe im High-Fidelity-Simulator bestand aus zwei Teilen: Teil 1 war identisch mit der Fahrprobe im Kompakt-Simulator, Teil 2 bestand aus

zusätzlichen Szenarien, die eine weitere Sicht (für Schulterblicke u.ä.) und damit einen höheren Aufwand bezüglich der Hardware erfordern. Den oben berichteten Korrelationen bezüglich des High-Fidelity-Simulators liegt die Gesamtwertung für beide Streckenteile zu Grunde. Legt man der Korrelation nur die Bewertungen für Streckenteil 1 zugrunde, verringert sich die Korrelation zwischen Fahrprobe im Realverkehr und Fahrprobe im High-Fidelity-Simulator in nur sehr geringem Masse von  $r=.772$  auf  $r=.760$ . Auch eine Befragung der Versuchsleiter nach Durchführung des 2. Teils der Fahrprobe im High-Fidelity-Simulator zeigt, dass nur eine Minderheit der Aussage „Teil 2 erbrachte einen diagnostischen Mehrwert“ zustimmt. In Bezug auf die jüngeren Probanden bejahen diese Aussage 24% tendenziell, bezüglich der älteren Probanden 34%.

#### FtD Real (Psych.) vs. High-Fidelity Sim.

$$r = .772$$



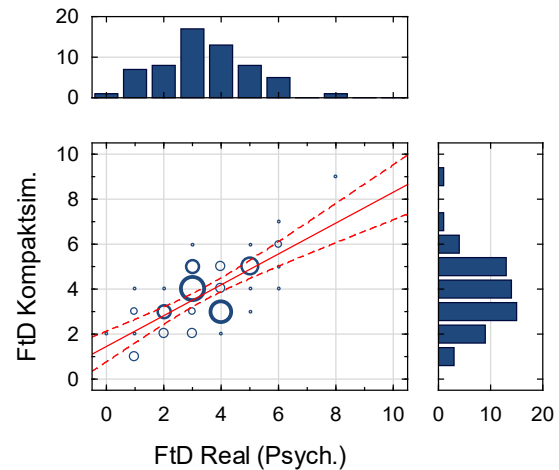
**Bild 13:** Zusammenhang zwischen Ratings der Fahrverhaltensbeobachtung im Realverkehr und im High-Fidelity-Simulator durch den Psychologen.

Die ROC-Kurve (ROC = Receiver Operating Characteristics, auch Grenzwertoptimierungskurve) ist ein Diagramm, in dem die Richtig-Positiv-Rate gegen die Falsch-Positiv-Rate aufgetragen wird. Sie ist eine Anwendung der Signalentdeckungstheorie. Dargestellt wird im Verlauf der Kurve das Verhältnis zwischen Treffern (Sensitivität: Fahrverhaltensbeobachtung im Simulator und Fahrverhaltensbeobachtung im Realverkehr wurden beide nicht bestanden) und falschem Alarmen (1-Spezifität: Fahrverhaltensbeobachtung im Simulator wurde nicht bestanden, aber Fahrverhaltensbeobachtung im Realverkehr wurde bestanden). Die Krümmung der Kurve gibt damit die Diskriminationsfähigkeit der Fahrverhaltensbeobachtung im Simulator wider. Idealerweise hat die Kurve einen möglichst steilen

Anstieg und nähert sich dann asymptotisch der 100% Spezifität an.

#### FtD Real (Psych.) vs. Kompaktsim.

$$r = .716$$



**Bild 14:** Zusammenhang zwischen Ratings der Fahrverhaltensbeobachtung im Realverkehr und im Kompaktsimulator durch den Psychologen.

Durch eine Variation des Kriteriums für eine bestandene Fahrverhaltensbeobachtung kann das Verhältnis zwischen Sensitivität und Spezifität beeinflusst werden. Bei FtD-Ratings  $\leq 4$  gilt die Fahrverhaltensbeobachtung im Realverkehr als bestanden, bei Ratings  $\geq 5$  als nicht bestanden. Dieser Grenzwert ist aus inhaltlicher Sicht dadurch zu begründen, dass vorhergehende Studien gezeigt haben, dass Schwankungen im Rating von  $\pm 1$  im Zufallsbereich liegen. Daher ist bei einem Wert von 4 noch nicht von größeren Auffälligkeiten zu sprechen.

Bild 17 stellt die ROC-Kurve des High-Fidelity-Simulators zur ROC-Kurve des Kompaktsimulators in Bezug. Angestrebt wird ein möglichst ausgewogenes Verhältnis zwischen Sensitivität und Spezifität. Die Auswertung zeigt, dass die Diskriminationsfähigkeit des Kompaktsimulators durchweg unter der des High-Fidelity-Simulators liegt. Das beste Verhältnis zwischen Sensitivität und Spezifität wird bei einem Kriteriumswert im Simulator von  $k=4$  erreicht, d.h. Fahrverhaltensbeobachtungen im Simulator bis zu einem FtD-Rating von 4 gelten als bestanden, höhere Ratings von 5 an aufwärts gelten als nicht bestanden.

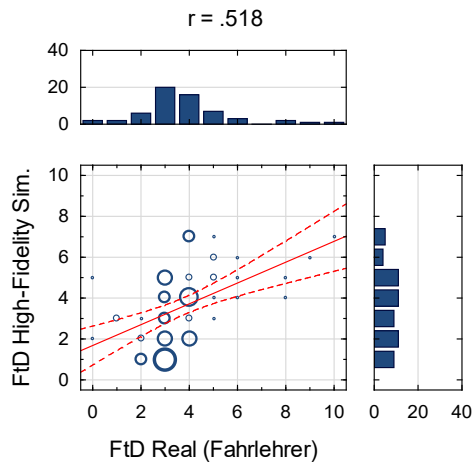
Wendet man das Kriterium  $k=4$  für das Bestehen einer Fahrverhaltensbeobachtung an, haben 14 der 60 Testfahrer die Fahrverhaltensbeobachtung im Realverkehr nicht bestanden. Von diesen 14 Personen wiederum wurden durch die Fahrverhaltensbeobachtung im High-Fidelity-Simulator zwei Personen nicht erkannt (falsch klassifiziert im Sinne einer

Falsch-negativ-Klassifikation). Beide erhalten im High-Fidelity-Simulator ein FtD-Rating von 4 – zeigen also lediglich ein leicht auffälliges Fahrverhalten. Im Kompaktsimulator werden von den 14 durchgefallenen Fahrern im Realverkehr drei Personen nicht erkannt. Zwei erhalten im Kompaktsimulator ein FtD-Rating von 4 und eine Person ein FtD-Rating von 3.

Andererseits haben von den 46 Personen, welche die Fahrverhaltensbeobachtung im Realverkehr

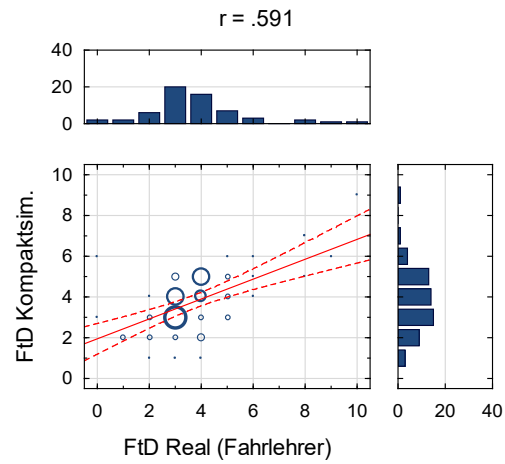
bestanden haben, jeweils acht die Fahrverhaltensbeobachtung im High-Fidelity-Simulator bzw. im Kompaktsimulator nicht bestanden. In beiden Simulatoren erhalten diese Fahrer mit jeweils einer Ausnahme ein FtD-Rating von 5 (Ausnahme High-Fidelity-Sim.: FtD-Rating 7; Ausnahme High-Fidelity-Sim.: FtD-Rating 6).

**FtD Real (Fahrlehrer) vs. High-Fidelity Sim.**

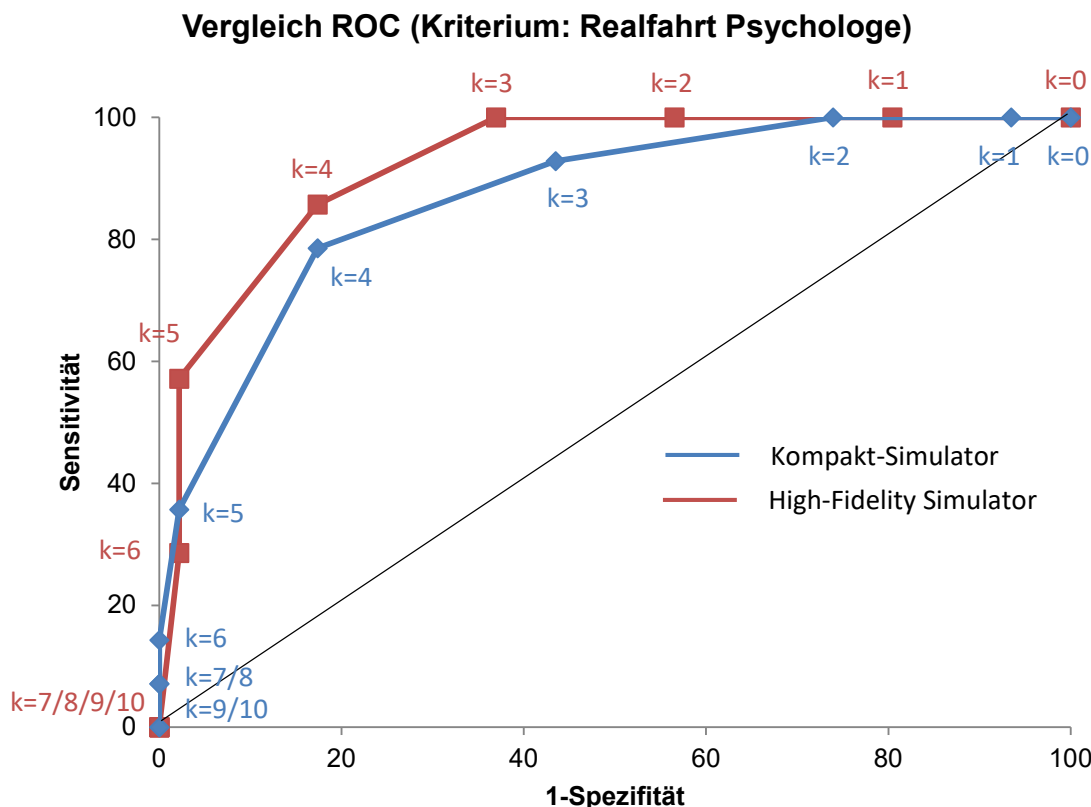


**Bild 15:** Zusammenhang zwischen Ratings durch den Fahrlehrer während der Fahrverhaltensbeobachtung im Realverkehr und der Ratings durch den Psychologen während der Fahrverhaltensbeobachtung im High-Fidelity-Simulator.

**FtD Real (Fahrlehrer) vs. Kompaktsim.**



**Bild 16:** Zusammenhang zwischen Ratings durch den Fahrlehrer während der Fahrverhaltensbeobachtung im Realverkehr und der Ratings durch den Psychologen während der Fahrverhaltensbeobachtung im Kompaktsimulator



**Bild 17:** Vergleich der ROC-Kurven für den High-Fidelity-Simulator und den Kompakt-Simulator.  $k$  ist der kritische Wert, bis zu dem eine Fahrverhaltensbeobachtung als bestanden gilt.

### 6.2.3 Analyse der Fahrfehler

Neben dem FtD-Rating werden vom Psychologen sowohl während der Fahrverhaltensbeobachtung im Realverkehr als auch im Simulator die Fahrfehler dokumentiert. Die Fahrfehler lassen sich in die zusammenfassenden Fehlerkategorien (a) Fehler in der Längsführung, (b) Fehler in der Querführung, (c) Kognitive Fehler und (d) Kritische Fehler einordnen.

Die Korrelationen zwischen dem FtD-Rating in der Realfahrt und den zusammengefassten Fahrfehlerkategorien liegen im mittleren bis hohen Bereich (Tabelle 6). Dabei liegen aber die Korrelationen für den High-Fidelity-Simulator durchweg höher als für den Kompakt-Simulator. Sie befinden sich damit auf ähnlichem Niveau wie der Zusammenhang zwischen den Fehlern und dem FtD-Rating bei der Fahrverhaltensbeobachtung in der Realfahrt.

Für beide Simulatoren korreliert die Gesamtzahl der Fahrfehler während der Fahrverhaltensbeobachtung im Simulator am höchsten mit dem FtD-Rating nach der Fahrverhaltensbeobachtung im Realverkehr. Das bedeutet, dass jede Fehlerkategorie im Simulator zwar mit dem Gesamtrating der Fahrverhaltensbeobachtung im Realverkehr korreliert, der höchste Zusammenhang jedoch bei Betrachtung aller Fehlerkategorien besteht.

Fehlerkategorie	Vergleich von FtD-Real mit Fehler in		
	Realfahrt	High-Fidelity-Simulator	Kompaktsimulator
Gesamt	$r = .849$ 	$r = .793$ 	$r = .647$ 
Längsführung	$r = .628$ 	$r = .665$ 	$r = .492$ 
Querführung	$r = .609$ 	$r = .706$ 	$r = .629$ 
Kognitive	$r = .783$ 	$r = .665$ 	$r = .553$ 
Kritische	$r = .499$ 	$r = .627$ 	$r = .530$ 

**Tab. 6:** Korrelationen zwischen FtD-Rating nach der Realfahrt und den verschiedenen zusammengefassten Fahrfehlerkategorien jeweils für die Fahrverhaltensbeobachtung in der Realfahrt, im High-Fidelity-Simulator und im Kompaktsimulator (zum Zwecke einer einheitlichen Darstellung ist die Fehlerhäufigkeit als Prozentrang angegeben).

Ein ähnliches Bild ergibt sich, wenn man den Zusammenhang betrachtet zwischen den Fahrfehlern während der Realfahrt und den Fahrfehlern während der Simulatorfahrten (Tab. 7). Auch hier ist für die Gesamtzahl der Fehler der Zusammenhang zwischen der Fahrverhaltensbeobachtung im Realverkehr und im Simulator am höchsten.

Dagegen ist der Zusammenhang der Fehler zwischen den beiden Simulatoren für die Kategorien Gesamtfehler, Längsführung und Querführung ähnlich hoch ( $r = .778 - r = .792$ ).

Mit Ausnahme der kritischen Fehler zeigt sich ein mittlerer bis hoher Zusammenhang zwischen der Anzahl der Fahrfehler in allen drei Fahrverhaltensbeobachtungen.

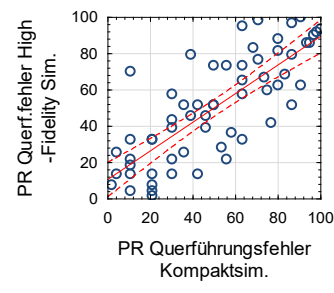
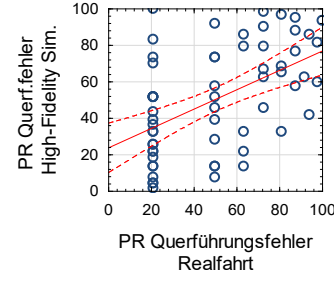
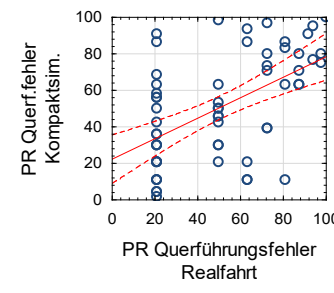
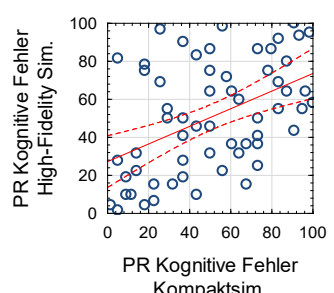
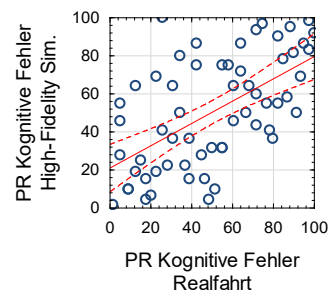
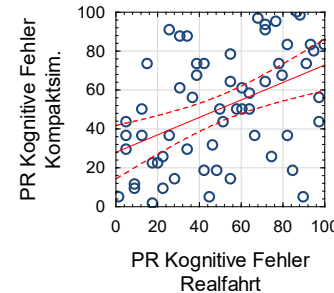
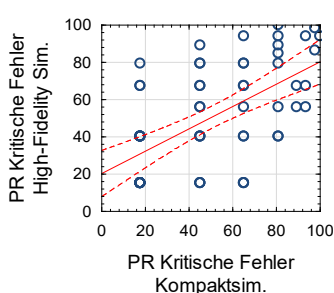
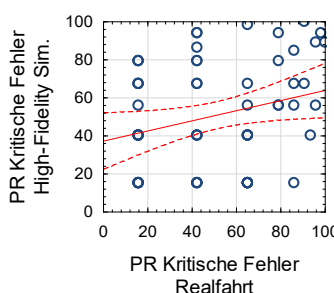
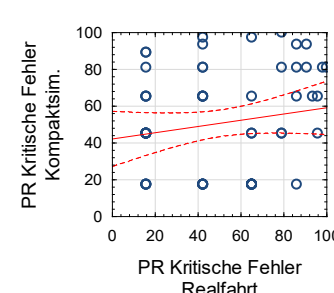
Eine qualitative Analyse der verbalen Berichtsprotokolle, in denen die Versuchsleiter für alle drei Fahrer jeweils die Hauptfehlerkategorien angaben und den Verlauf der Fahrt knapp verbal zusammen-

fassten, ergab, dass die berichteten Hauptfehlerkategorien für alle drei Messverfahren pro Proband sehr ähnlich waren. Diskrepanzen gab es lediglich bei der Beurteilung des Sicherungsverhaltens.

Im Realverkehr und im High-Fidelity-Simulator wurden fehlende Seitenblicke und ausschließliches Sichern über Spiegel als Fehler klassifiziert. Im Kompakt-Simulator macht aufgrund des eingeschränkten Sichtfelds von 180° ein Seitenblick keinen Sinn. Viele Fahrer machten dennoch auch im Kompakt-Simulator einen Seitenblick (vermutlich aus Gewohnheit). Zwischen den Ratern wurden fehlende Seitenblicke im Kompakt-Simulator unterschiedlich bewertet: Teilweise wurde ausschließliches Sichern über die Spiegel als Fehler gewertet, der sogar der Grund dafür sein konnte, dass eine Fahrprobe nicht bestanden wurde. Teilweise wurden im Kompakt-Simulator fehlende Seitenblicke jedoch nicht als Fehler gewertet.

Fehlerkategorie	Vergleich der Fehlerkategorien		
	Kompakt - High-Fidelity	High-Fidelity -Real	Kompakt - Real
Gesamt	$r = .778$ 	$r = .774$ 	$r = .586$ 
Längsführung	$r = .792$ 	$r = .597$ 	$r = .496$ 

**Tab. 7:** Korrelationen zwischen den verschiedenen Messmethoden (Realfahrt, High-Fidelity-Simulator, Kompakt-Simulator) für die Gesamtzahl der Fehler und die verschiedenen zusammengefassten Fahrfehlerkategorien (zum Zwecke einer einheitlichen Darstellung ist die Fehlerhäufigkeit als Prozentrang angegeben).

Fehlerkategorie	Vergleich der Fehlerkategorien		
	Kompakt - High-Fidelity	High-Fidelity -Real	Kompakt – Real
Querführung	$r = .788$ 	$r = .512$ 	$r = .541$ 
Kognitive	$r = .463$ 	$r = .586$ 	$r = .449$ 
Kritische	$r = .594$ 	$r = .264$ 	$r = .170$ 

Tab. 8 (Fortsetzung): Korrelationen zwischen den verschiedenen Messmethoden (Realfahrt, High-Fidelity-Simulator, Kompaktsimulator) für die Gesamtzahl der Fehler und die verschiedenen zusammengefassten Fahrfehlerkategorien (zum Zwecke einer einheitlichen Darstellung ist die Fehlerhäufigkeit als Prozentrang angegeben).

### 6.2.4 Spurhaltegüte in der Simulation

Die Güte der Spurhaltung wurde nur bei den Simulatorfahrten gemessen. Die Standardabweichung der Querabweichung (SDLP) gibt an, wie stark Fahrer beim Fahren innerhalb der Spur schwanken. Je stärker das Schwanken, umso höhere Werte nimmt die SDLP an.

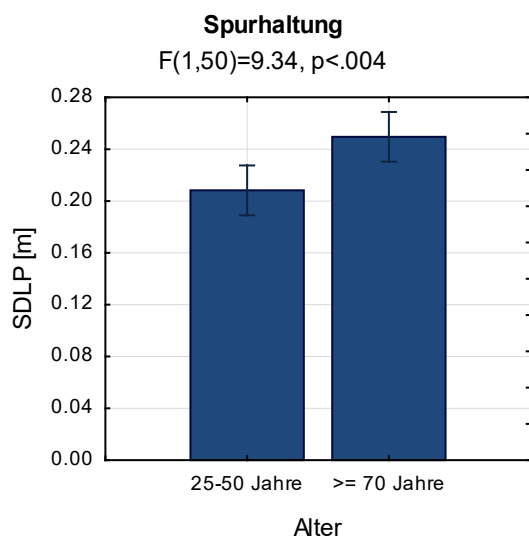
Eine varianzanalytische Analyse der SDLP mit dem Between-Faktor Alter und dem Within-Faktor Simulator zeigt, dass die Spurhaltung der älteren Fahrer signifikant schlechter ist als die der jüngeren Fahrer (Bild 18). Des Weiteren zeigt sich, dass die Spurhaltung im Kompaktsimulator generell schlechter ist als im High-Fidelity-Simulator (Bild 19). Die

Wechselwirkung Alter x Simulator wird nicht signifikant ( $F_{1,50}=.01, p=.905$ ).

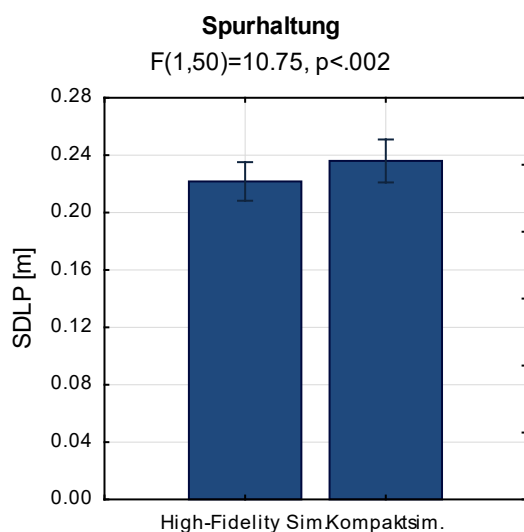
Der Zusammenhang zwischen der Spurhaltung im Kompaktsimulator und im High-Fidelity-Simulator ist mit  $r = .842$  relativ hoch. Fahrer, die im Kompaktsimulator die Spur wenig exakt halten, tun dies demnach auch im High-Fidelity-Simulator.

Auch zwischen dem FtD-Rating und der Spurhaltung zeigt sich ein Zusammenhang. Innerhalb der gleichen Messmethode beträgt die Korrelation zwischen FtD-Rating und Spurhaltung  $r=.522$  für den High-Fidelity-Simulator und  $r=.739$  für den Kompaktsimulator. Der Zusammenhang zwischen den FtD-Ratings im Realverkehr und der Spurhaltung im Simulator liegt für beide Simulatoren immerhin im

mittleren Bereich mit  $r=.496$  für den High-Fidelity-Simulator und  $r=.561$  für den Kompaktsimulator.



**Bild 18:** Spurhaltung in der Simulation getrennt für die beiden Altersgruppen.



**Bild 19:** Darstellung der Spurhaltung im High-Fidelity-Simulator und im Kompaktsimulator.

### 6.2.5 Reaktion auf plötzliches Ereignis

Am Ende des Prüfparcours im Fahrsimulator kommt ein Wildwechsel von rechts, auf den der Fahrer mit Bremsen reagieren muss. Ein solches Szenario ist in der Fahrverhaltensbeobachtung im Realverkehr nicht enthalten. Dieses Szenario wurde in den Parcours implementiert, da derartige Szenarien augenscheinlich sehr einschlägig und aussagekräftig wirken. Auf der anderen Seite sind aber Szenarien, die

eine plötzliche Bremsreaktion erfordern, sehr anfällig für Lerneffekte (s. KAUSSNER ET AL. 2010). Weiterhin sind auch bei gesunden, uneingeschränkten Fahrer bei derartigen plötzlichen Ereignissen oft Kollisionen zu beobachten. Aus diesem Grund gingen die Ergebnisse dieses Szenarios nicht in das Gesamtrating der Fahrkompetenz ein.

Die Verteilungen der Reaktionszeit sind getrennt für beide Simulatoren und Altersgruppen in Bild 20 zu sehen. Während sich die Reaktionszeiten zwischen den beiden Simulatoren nicht unterscheiden ( $F_{1,55}=0.26, p<.611$ ), reagieren jüngere Fahrer in der Tendenz schneller als ältere ( $F_{1,55}=3.22, p<.078$ ). Der Unterschied beträgt ca. 0.1-0.15 s.

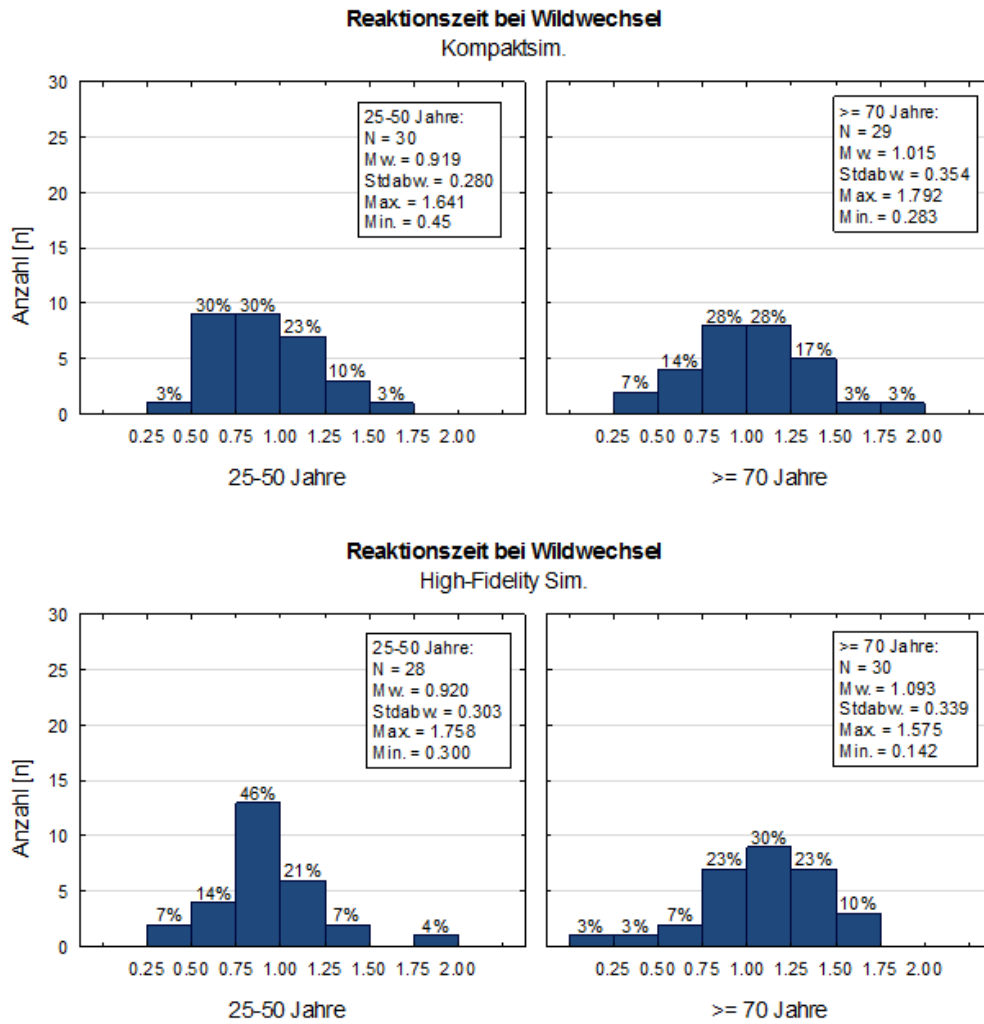
Wahrscheinlich aufgrund von Übertragungseffekten von der ersten auf die zweite Fahrt ist die Korrelation zwischen der Reaktionszeit im High-Fidelity-Simulator und der im Kompaktsimulator mit  $r=.285$  sehr gering. Fahrer erinnern sich vermutlich bei der zweiten Fahrt an das bereits erlebte Szenario und reagieren entsprechend schneller. So ergibt sich bei der 1. Simulatorfahrt im Mittel eine Reaktionszeit von 1.09 s und bei der 2. Simulatorfahrt eine Reaktionszeit von 0.89 s.

Der Zusammenhang zwischen der Reaktionszeit auf den Wildwechsel mit dem FtD-Rating im jeweiligen Simulator bzw. mit dem FtD-Rating in der Realfahrt liegt mit Korrelation von  $r=.212$  bis  $r=.337$  im niedrigen Bereich (Bild 21).

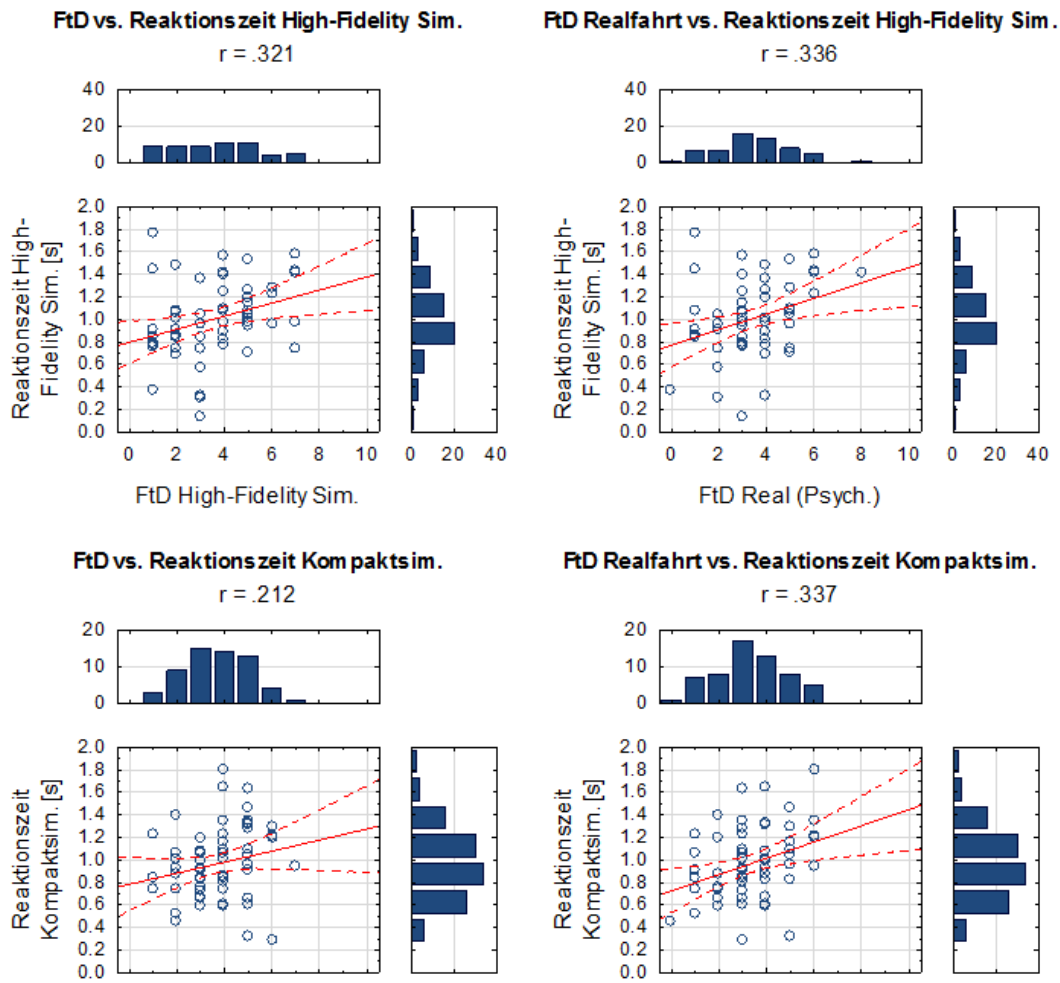
### 6.2.6 Verträglichkeit der Fahrverhaltensbeobachtung im Simulator

Die Ausprägung von Symptomen der Simulatorkrankheit (z.B. Unwohlsein, Schwindel, Übelkeit, Müdigkeit) war in vorliegender Studie insgesamt eher gering mit einer maximalen Zunahme der Symptome nach der Fahrt im Vergleich zu den Symptomen vor der Fahrt von weniger als einem halben Skalenwert (Skala von 1 „gar nicht“ bis 6 „sehr stark“). Bild 22 zeigt die Veränderung der von den Studienteilnehmern berichteten Symptome nach der Fahrt im Vergleich zu vor der Fahrt. Einen signifikanten Alterseffekt gab es nur für den Kompaktsimulator für das Item „Fühlen Sie sich unwohl?“. Die älteren Teilnehmer gaben für dieses Item eine signifikant größere Symptomverschlechterung an als die jüngeren Teilnehmer ( $F_{1,56}=5.47, p<.023$ ). Das leicht höhere Unwohlsein nach der Fahrt im High-Fidelity-Simulator ist dagegen unabhängig von der Altersgruppe.

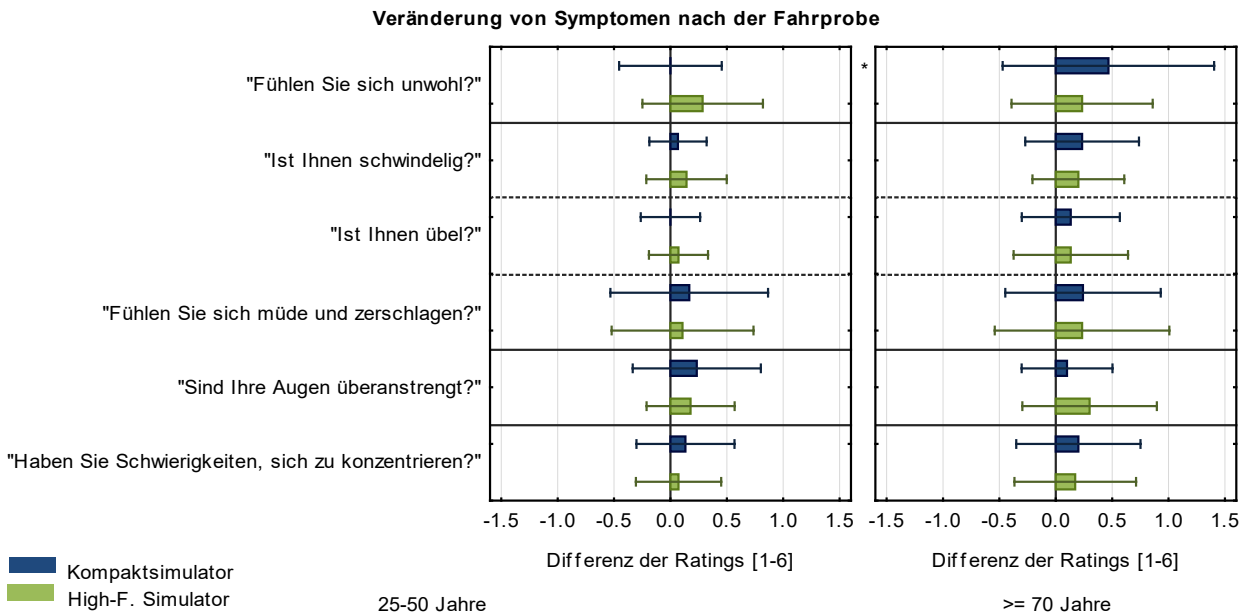




**Bild 20:** Reaktionszeiten auf den Wildwechsel getrennt nach Altersgruppe (links junge, rechts alte Fahrer) und Simulator (oben Kompaktsimulator, unten High-Fidelity-Simulator).



**Bild 21:** Zusammenhang zwischen Reaktionszeit auf Wildwechsel und FtD-Rating im Simulator (links) und in der Realfahrt (rechts).

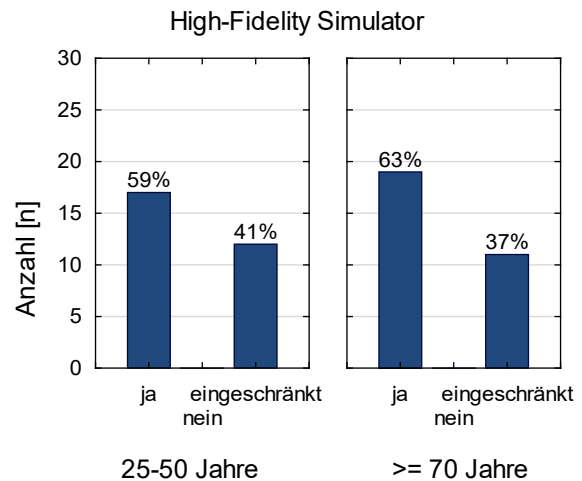


**Bild 22:** Veränderungen von Symptomen der Simulator Sickness nach der Fahrverhaltensbeobachtung im Vergleich zu vor der Fahrverhaltensbeobachtung getrennt nach Alter und Simulator.

### 6.2.7 Akzeptanz der Fahrverhaltensbeobachtung in der Simulation

Sämtliche Teilnehmer sowohl der älteren als auch der jüngeren Stichprobe halten eine Fahrverhaltensbeobachtung im Realverkehr für geeignet, die Fahrkompetenz zu prüfen (Frage: „Halten Sie diese Fahrt im wirklichen Verkehr für geeignet, die Fahrtauglichkeit von Fahrern zu überprüfen?“). Die Akzeptanz der Fahrverhaltensbeobachtung im Simulator kann diese uneingeschränkte Akzeptanz nicht erreichen. Dennoch beurteilt keiner der Probanden den High-Fidelity-Simulator als ungeeignet, die Fahrkompetenz zu messen. Vielmehr hält die Mehrheit der Fahrer den High-Fidelity-Simulator als Diagnoseinstrument für geeignet. Immerhin 41% der jüngeren und 37% der älteren Stichprobe halten den High-Fidelity Simulator jedoch für nur eingeschränkt geeignet, die Fahrkompetenz zu prüfen (Bild 23).

### "Halten Sie diese Fahrt im Simulator für geeignet, die Fahrtauglichkeit von Fahrern zu überprüfen?"



**Bild 23:** Akzeptanz des High-Fidelity-Simulators.

Der Kompaktsimulator wird etwas kritischer bewertet. Nur 50% der jüngeren und 57% der älteren Teilnehmer halten diesen für uneingeschränkt geeignet, um die Fahrkompetenz zu prüfen. 37% beider Teilstichproben antworten, dass der Kompaktsimulator nur eingeschränkt geeignet ist, die Fahrkompetenz zu prüfen. 13% der jüngeren und 7% der älteren Fahrer halten ihn sogar für ungeeignet (Bild 24).

### "Halten Sie diese Fahrt im Simulator für geeignet, die Fahrtauglichkeit von Fahrern zu überprüfen?"

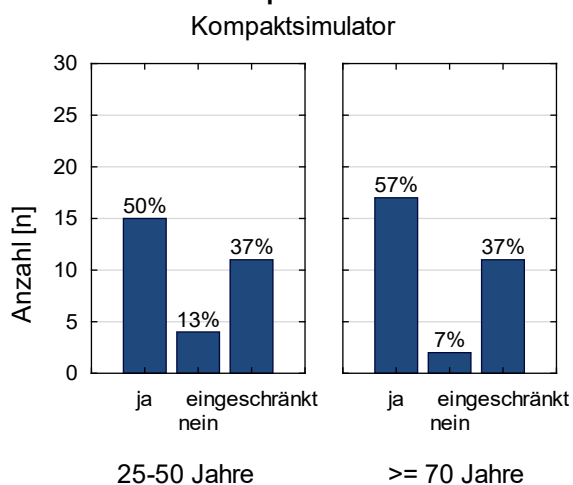


Bild 24: Akzeptanz des Kompaktsimulators.

## 7 Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse

Ziel des vorliegenden Forschungsvorhabens war es, zu untersuchen, ob die Fahrkompetenz älterer Autofahrer im Fahrsimulator vergleichbar gut gemessen werden kann wie im Realverkehr.

In einem Literaturüberblick wurden nach einer Darstellung von Leistungsvermögen und Leistungsgrenzen zunächst Unfallschwerpunkte älterer Autofahrer herausgearbeitet und darauf basierend geeignete Fahrszenarien zur Prüfung der Fahrkompetenz älterer Autofahrer abgeleitet. Verschiedene Methoden der Fahreignungsdiagnostik und der Fahreignungsbewertung wurden dargestellt und zu den Möglichkeiten der Fahrsimulation in Bezug gesetzt. Nach einer Zusammenfassung von Studien zur Validität von Fahrsimulatoren erfolgte eine Ableitung von Anforderungen an die Simulation im Hinblick auf die Fahrkompetenzmessung älterer Autofahrer. Anhand eines Überblicks unterschiedlicher Verfahren zur Operationalisierung einer ausreichenden Fahrkompetenz wurden Empfehlungen abgeleitet, wie eine Diagnose der Fahrkompetenz erfolgen sollte.

Basierend auf den Befunden der Literaturanalyse wurde ein Fahrparcours für die Simulation entwickelt, der die in der einschlägigen Fachliteratur genannten Anforderungen an eine Fahrverhaltensbeobachtung im Realverkehr erfüllt. Insbesondere sind neben repräsentativen Fahraufgaben mittlerer Schwierigkeit auch altersspezifisch sensitive

Szenarien enthalten, von denen bekannt ist, dass sie älteren Autofahrern häufig Schwierigkeiten bereiten.

Um eine standardisierte und möglichst objektive Bewertung der Fahrkompetenz zu ermöglichen, wurde die Tablet-Applikation S.A.F.E. in den Fahrparcours implementiert. Bei der Fahrverhaltensbeobachtung mit S.A.F.E. registrieren und klassifizieren geschulte Testleiter für jedes Szenario Fahrfehler teilautomatisiert. Darauf basierend erfolgen eine globale Beurteilung der Fahrkompetenz und die Erstellung eines Profils der Fahrkompetenz.

Der im Rahmen dieses Projekts entwickelte Fahrparcours wurde anhand einer Fahrverhaltensbeobachtung im Realverkehr in Begleitung eines Fahrlehrers an einer Stichprobe von N=60 Fahrern validiert. Es wurde ein 2x3-Versuchsplan realisiert mit dem dreistufigen, abhängigen Faktor ‚Methode‘ (Realverkehr vs. High-

Fidelity-Simulator vs. Kompaktsimulator) und dem zweistufigen Gruppenfaktor ‚Alter‘ (25-50 Jahre vs. > 70 Jahre).

Bei der Fahrverhaltensbeobachtung im Realverkehr handelte es sich um eine 60-minütige Strecke in und um Würzburg. Enthalten war ein repräsentativer Querschnitt an Fahraufgaben, der strukturell mit der Fahrverhaltensbeobachtung im Simulator vergleichbar ist.

Zur Untersuchung der Frage, welche Ausbaustufe der Fahrsimulation mindestens notwendig ist, um valide Ergebnisse zu erzielen, wurde der entwickelte Fahrparcours auf zwei Simulatoren implementiert: einem High-Fidelity-Simulator, der über sehr hochwertige Hardware-Komponenten und eine Sichtfeldweite von 300° (horizontal) verfügt, und einem kostengünstigeren Kompaktsimulator, dessen Hardware-Komponenten einfacher sind und dessen Sichtfeldweite 180° beträgt. Die Fahrverhaltensbeobachtung im High-Fidelity-Simulator bestand aus zwei Teilen: Teil 1 war identisch mit der Fahrverhaltensbeobachtung im Kompaktsimulator, Teil 2 bestand aus zusätzlichen Szenarien, die eine weitere Sicht (für Schulterblicke u.ä.) und damit einen höheren Aufwand bezüglich der Hardware erfordern.

Die Analyse der Daten zeigte, dass die Gruppe der Älteren in den verschiedenen Fahrleistungsparametern (globales Fahrleistungsrating, Anzahl Fahrfehler, Güte der Spurhaltung) sowohl in beiden Simulatoren als auch im Realverkehr bei hoher individueller Varianz im Mittel signifikant schlechter abschnitt als die Vergleichsgruppe. Dieses Ergebnis kann im Sinne einer relativen Validität der Fahrsimulation gedeutet werden (vgl. MULLEN ET AL. 2011). Die relative Validität bezieht sich auf die

gleichförmige Auswirkung der bei einer Studie vorgenommenen experimentellen Variation (hier: ältere Fahrer vs. Fahrer mittleren Alters) bei den untersuchten Methoden. Gehen Fahrverhaltensparameter als Folge experimenteller Bedingungen im Fahr Simulator und im Realfahrzeug in die gleiche Richtung, dann ist die relative Validität der Simulation gegeben.

Der Anspruch an die im vorliegenden Projekt entwickelte Untersuchungsmethodik ist aber nicht nur, den Nachweis der relativen Validität zu erbringen, sondern vielmehr eine gute Prädiktion der Fahrkompetenz im Realverkehr durch die fahrerische Leistung in der Fahrsimulation auf individueller Ebene zu erzielen.

Das globale Fahrkompetenzrating sowie die Gesamtzahl der Fahrfehler in der Simulation korrelieren im mittleren bis hohen Bereich mit den globalen Fahrkompetenzratings aus der Realfahrt: Verwendet man das Fahrkompetenzrating eines Psychologen in der Realfahrt als Kriterium, werden Korrelationen von  $r=.647$  bis  $r=.793$  erreicht. Die Vorhersagequalität bezüglich des Ratings durch den Fahrer im Realverkehr ist mit  $r=.518$  bis  $r=.591$  etwas geringer. Dies ist vermutlich dadurch zu erklären, dass der Fahrlehrer eine klinische Gesamtbewertung der Fahrkompetenz fällt, während der Psychologe einem standardisierten und einheitlichen Bewertungsverfahren folgt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass im Rahmen der vorliegenden Validierungsstudie die Fahrverhaltensbeobachtung im Realverkehr von einem anderen Beobachter bewertet wurde als die Fahrverhaltensbeobachtung in der Simulation.

Insgesamt ist damit ist die prädiktive Validität der im Rahmen dieses Projekts für die Simulation entwickelten Fahrverhaltensbeobachtung weitaus höher als für alle derzeit in der diagnostischen Praxis verwendeten psychometrischen Tests (POSCHADEL ET AL. 2009; NIEMANN & HARTJE, 2013): Laut POSCHADEL ET AL. (2009) führt die Prädiktion über psychometrische Tests und die gesundheitliche Situation zu Fehlklassifikationen von 40-50%. NIEMANN UND HARTJE (2013) berichten von Zusammenhängen von maximal  $r=.40$  mit den Ergebnissen einer Fahrprobe. Im Gegensatz dazu korrelierte das Ergebnis der entwickelten Fahrverhaltensbeobachtung in der Simulation deutlich höher mit dem Fahrkompetenzrating in der Realfahrt. Auch bei den diagnostischen Gütekriterien Sensitivität und Spezifität ergeben sich mit Werten von ca. 80% zufriedenstellende Werte. Befunde aus High-Fidelity-Simulator und Kompaktsimulator korrelieren sehr hoch miteinander, der Zusammenhang zur Fahrverhaltensbeobachtung im Realverkehr ist

aber für den High-Fidelity-Simulator etwas höher. Der höchste statistische Zusammenhang zwischen der Leistung in den Fahrverhaltensbeobachtungen im Simulator und der Leistung in der Realfahrt findet sich für die Gesamtzahl der Fahrfehler ( $r=.793$ ). Dieser Befund steht im Einklang mit anderen Studien, die ebenfalls zeigen konnten, dass die Gesamtzahl der Fahrfehler ein sehr sensibler Parameter für unterschiedliche Beeinträchtigungen ist (KAUSSNER ET AL. 2010; KENNTNER-MABIALA ET AL. 2015b; SCHUMACHER 2015).

Für die Anwendung der Simulation zur Diagnose der Fahreignung in der Praxis sind aber Sensitivität und Spezifität im Sinne einer korrekten Klassifikation in bestandene und nicht bestandene Fahrproben bedeutsamer als der alleinige statistische Zusammenhang zwischen Befunden der Simulatorfahrt und der Realfahrt. Durch eine Variation des Kriteriums für eine bestandene Fahrverhaltensbeobachtung im Simulator kann das Verhältnis zwischen Sensitivität und Spezifität beeinflusst werden. Angestrebt wird eine möglichst hohe Sensitivität bei ebenfalls hoher Spezifität. Das beste Verhältnis zwischen Sensitivität und Spezifität wird für beide Simulatoren bei  $k=4$  erreicht, d.h. Fahrverhaltensbeobachtungen bis zu einem FtD-Rating von 4 (vgl. Bild 2) gelten als bestanden, höhere Ratings von 5 an aufwärts gelten als nicht bestanden. Dieser Grenzwert ist auch aus inhaltlicher Sicht zu begründen: So haben vorhergehende Studien gezeigt, dass Schwankungen im Rating von  $\pm 1$  im Zufallsbereich liegen, daher ist bei einem FtD-Wert von 4 noch nicht von größeren Auffälligkeiten zu sprechen (z.B. KENNTNER-MABIALA ET AL. 2015a,b; KAUSSNER ET AL., 2014, 2015).

Die Analyse ergibt bei  $k=4$  insgesamt eine Sensitivität von 85.7% für die Fahrprobe im High-Fidelity-Simulator und von 78.6% für den Kompaktsimulator. Das bedeutet, dass nicht alle Teilnehmer, die in der Simulatorfahrprobe als untauglich diagnostiziert werden auch die Realfahrprobe nicht bestanden haben. Dieser sogenannte positive prädiktive Wert beträgt 60.0% für den High-Fidelity-Simulator und 57.9% für den Kompaktsimulator. D.h. lediglich ca. 60% der Fahrer, die im Simulator auffällig werden, sind entsprechend der Fahrverhaltensbeobachtung im Realverkehr nicht ausreichend fahrkompetent. Andererseits sind nahezu alle Fahrer, die die Fahrverhaltensbeobachtung im Simulator bestehen auch im Realverkehr fahrkompetent. Dieser negative prädiktive Wert ist 95.0% für den High-Fidelity-Simulator und 92.7% für den Kompaktsimulator.

Die Einzelfallanalyse der falsch negativ klassifizierten Fahrer zeigt, dass vor allem Diskrepanzen

zwischen den Ratern in Bezug auf fehlende Seitenblicke bzw. ein Sicherungsverhalten ausschließlich über Spiegel (z.B. beim Spurwechseln und Abbiegen) zu diesen Abweichungen führten. Durch eine Überarbeitung der Raterschulung, bei der genauer definiert und trainiert wird, wie verschiedene Sicherungsverhaltensweisen zu bewerten sind, kann die Sensitivität der Fahrverhaltensbeobachtung im Simulator weiter erhöht werden. Gerade auch fehlende Seitenblicke am Kompaktsimulator, die aufgrund des eingeschränkten Sichtfelds von 180° für den Fahrer auch keinen Nutzen im Sinne eines Informationsgewinns haben, wurden von den Ratern unterschiedlich bewertet. Eine weitere Maßnahme zur Vereinheitlichung der Ratings und damit auch zur Erhöhung der diagnostischen Güte der Fahrverhaltensbeobachtung im Kompaktsimulator könnte daher sein, die Fahrer besonders zu instruieren, einen Seitenblick durchzuführen.

Von den falsch negativ klassifizierten Fahrern haben drei (75%) ein FtD-Rating von 4, einer (25%) ein FtD-Rating von 3. Mit einem Rating von 4 zeigen die Betroffenen durchaus kleinere Auffälligkeiten in der Fahrverhaltensbeobachtung im Simulator. Diese Auffälligkeiten führen aber nicht zum Nicht-Bestehen der Fahrverhaltensbeobachtung. Entsprechende Ergebnisse mit kleineren Auffälligkeiten sollten im Rahmen einer Einzelfalldiagnostik mit dem Teilnehmer besprochen werden und sollten zu mindestens zu Hinweisen führen, welche Fahrverhaltensaspekte der Teilnehmer in Zukunft verstärkt beachten sollte und wo evtl. Trainingsbedarf besteht. Unter Umständen würde vom Testleiter eine erneute Fahrverhaltensbeobachtung empfohlen werden, die innerhalb einer bestimmten Frist durchgeführt werden sollte.

Eine falsch positive Diagnostik führt nicht nur zu Unannehmlichkeiten bei den betreffenden Fahrern (z.B. einem Wiederholungstest), sondern kann auch die Akzeptanz der Fahrverhaltensbeobachtung im Simulator bei den betroffenen Fahrern mindern. Als Konsequenz ist die Fahrkompetenzdiagnostik im Simulator nicht als allgemeine Screeningmaßnahme für ältere Autofahrer ohne Auffälligkeiten zu empfehlen, sondern vor allem bei begründeten Hinweisen auf eine Beeinträchtigung der Fahrtauglichkeit geeignet. Die Diagnostik könnte z.B. im Rahmen einer Rehabilitationsmaßnahme nach einer Erkrankung erfolgen. Eine auf diese Weise vorselektierte Stichprobe weist eine höhere Prävalenz fahruntauglicher Teilnehmer auf, so dass die Anzahl falsch positiv diagnostizierter Fahrer deutlich geringer ist.

## 8 Schlussfolgerungen

Im Rahmen dieses Projekts ist es gelungen, eine Fahrverhaltensbeobachtung für die Fahrsimulation mit einem Bewertungskonzept zu entwickeln, die sensitiv ist für fahrrelevante Einschränkungen, die mit dem Alter einhergehen. Diese ist, bei entsprechender Eingewöhnung an das Fahren im Simulator gut verträglich.

Befunde aus High-Fidelity-Simulator und Kompaktsimulator korrelieren sehr hoch miteinander, der Zusammenhang zur Fahrverhaltensbeobachtung im Realverkehr ist aber für den High-Fidelity-Simulator etwas höher. Dies ist zu großen Teilen auf das eingeschränkte Sichtfeld im Kompaktsimulator zurückzuführen, was eine Bewertung des Sicherungsverhaltens durch die Beobachter erschwert hat. Eine Überarbeitung des Schulungskonzepts für Rater speziell bezüglich des Sicherungsverhaltens am Kompaktsimulator sowie eine gezielte Instruktion der Testfahrer, Seitenblicke auch am Kompaktsimulator durchzuführen, könnten daher geeignete Maßnahmen sein, um die Nachteile des kleineren Sichtfelds zu kompensieren. Zusammenfassend lässt sich daher sagen, dass der Kompaktsimulator ebenso wie der High-Fidelity-Simulator geeignet ist, die Fahrkompetenz älterer Autofahrer zu messen.

Die prädiktive Validität der Fahrverhaltensbeobachtung im Fahrsimulator ist weitaus höher als diejenige derzeit im Einsatz befindlicher psychometrischer Tests. Es sind aber weitere Studien mit Patientengruppen zu empfehlen, da davon auszugehen ist, dass die diagnostischen Gütekriterien (Sensitivität, Spezifität, positiver und negativer prädiktiver Wert) des Verfahrens bei Personen mit deutlicher ausgeprägten Einschränkungen zum einen steigen und zum anderen für den diagnostischen Alltag auch relevanter sind.

## 9 Ausblick und weiterer Forschungsbedarf

Eine Einschränkung der hier durchgeführten Studie ist die Auswahl der Probanden. Alle Teilnehmer waren aktive Autofahrer, Personen mit einem Hinweis auf Demenz wurden von der Teilnahme ausgeschlossen. Daher war der Fall des Nichtbestehens der Fahrverhaltensbeobachtung auch eher selten. Diejenigen Probanden, welche die Fahrverhaltensbeobachtung nicht bestanden haben, befanden sich mehrheitlich in einem Zwischenbereich zwischen

normalem Fahrverhalten und mittelschweren Auffälligkeiten bezüglich des Fahrverhaltens. In diesem Zwischenbereich kann die Tagesform des einzelnen Probanden einen großen Einfluss darauf haben, ob die Fahrt bestanden wird oder nicht. In der Praxis ist die Diagnose der Fahrkompetenz aber eher für Personen mit weitreichenderen Einschränkungen (z.B. Demenz oder Zustand nach Schlaganfall) relevant. Bei diesem Personenkreis ist eher von schweren Auffälligkeiten bezüglich des Fahrverhaltens auszugehen. Aufgrund unserer Erfahrungen in dieser Studie und vor allem aufgrund der Befunde der Einzelfallanalysen gehen wir davon aus, dass schwere Auffälligkeiten des Fahrverhaltens reliabel mit einer Fahrverhaltensbeobachtung im Simulator diagnostiziert werden können. Für eine empirische Absicherung sind aber Studien mit Patienten, bei denen tatsächlich Zweifel an einer ausreichenden Fahrkompetenz bestehen, erforderlich.

Eine vielversprechende Möglichkeit für die künftige Weiterentwicklung der Fahrverhaltensbeobachtung in der Simulation ist die Einbindung von geriatrischen Rehazentren. Im klinischen Setting können z.B. Patienten nach Schlaganfall bereits recht früh an die Simulation herangeführt werden. Das Üben der Simulatorfahrfertigkeit kann in diesem Kontext als alltagsnahe therapeutische Maßnahme betrachtet werden. Die in vorliegendem Projekt entwickelte Fahrverhaltensbeobachtung erfolgt dann am Ende der Rehamassnahme und kann zum einen den Erfolg der Rehamassnahme abbilden und erlaubt zum anderen eine erste Prognose, ob und wann die

aufgrund der Krankheit eingeschränkte Fahrkompetenz wieder ausreichend hergestellt ist.

Im Rahmen des vorliegenden Projekts wurden bereits erste Normdaten erhoben. Für eine Anwendung der Fahrverhaltensbeobachtung in der Simulation in der Praxis und für eine einfachere Interpretation der Befunde außerhalb des Forschungskontextes ist es erforderlich, dass an größeren Stichproben weitere Normierungsdaten erhoben werden.

Die Fahrverhaltensbeobachtung im Realverkehr gilt als Goldstandard der Fahrverhaltensdiagnostik. Zum heutigen Zeitpunkt ist aber grundsätzlich auch noch ungeklärt, wie reliabel Ergebnisse einer Fahrverhaltensbeobachtung im Realverkehr sind und damit wie „wahr“ sie sind. Die tatsächliche Fahrkompetenz eines Fahrers kann Tagesschwankungen unterliegen, die sich auch in einer Fahrverhaltensbeobachtung im Realverkehr abbilden. Darüber hinaus bleibt bei Fahrverhaltensbeobachtungen im Realverkehr die grundsätzliche Schwierigkeit einer eingeschränkten Reliabilität aufgrund nicht zu kontrollierender Verkehrsbedingungen und Wetterverhältnisse. Von großem Interesse wäre daher die Frage, wie hoch die Ergebnisse zweier Fahrverhaltensbeobachtungen im Realverkehr korrelieren, die in einem kurzen Zeitraum von zwei verschiedenen Beurteilern durchgeführt werden. Dieses Ausmaß an Reliabilität würde das erreichbare Maß an Vorhersagekraft durch einen beliebigen Prädiktor darstellen.

## 10 Literatur

- ABENDROTH, B. & BRUDER, R. (2009). Die Leistungsfähigkeit des Menschen für die Fahrzeugführung. In H. WINNER, S. HAKULI, G. WOLF (Hrsg.), *Handbuch Fahrerassistenzsysteme – Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort*; (S. 4-14): Vieweg und Teubner Continental.
- ADAC (2010). *Mobilität in Deutschland. Ausgewählte Ergebnisse. Fakten und Argumente kompakt*.
- AKINWUNTAN A. E., DE WEERDT, W., FEYS, H., ARNO, P., & KIEKENS, K. (2003). Reliability of a road test after stroke. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 84(12), 1792-1796.
- ALLEN, R. W., PARK, G. D., FIORENTINO, D., ROSENTHAL, T. J., and COOK, M. L. (2006). Analysis of simulator sickness as a function of age and gender. DSC Europe 2006.
- ALLEN, R. W., ROSENTHAL, T. J. & COOK, M. L. (2011). A short history of driving simulation. In D. L. FISHER, M. RIZZO, J. K. CAIRD & J. D. LEE (Hrsg.), *Handbook of driving simulation for engineering, medicine and psychology*. S. 2-1 - 2-15, Boca Raton: CRC Press.
- ANSTEY, K.J., WOOD, J., LORD, S., WALKER, J.G. (2005). Cognitive, sensory and physical factors enabling driving safety in older adults. *Clinical Psychology Review*, 25(1), 45-65.
- BALL, K. K. & ACKERMAN, M. L. (2011). The older driver (Training and assessment: Knowledge, skills and attitudes). In: D. L. FISHER, M. RIZZO, J. K. CAIRD & J. D. LEE (Hrsg.), *Handbook of driving simulation for engineering, medicine, and psychology*. S. 25-1 - 25-10, Boca Raton: CRC Press.
- BANTON, T., STEFANUCCI, J., DURGIN, F., FASS, A., & PROFFITT, D. (2005). The perception of walking speed in a virtual environment, *Presence: Teleoperators & Virtual Environments* 14 (4), 394-406.
- BARCO, P. P., CARR, D. B., RUTKOSKI, K., XIONG, C. & ROE, C. M. (2015). Interrater Reliability of the Record of Driving Errors (RODE). *American Journal of Occupational Therapy* 69.
- BARTHELMESS, W. (1972). Analyse des Fahrverhaltens von Anfängern. Eine empirische Untersuchung an Fahrschülern (Diplomarbeit). Regensburg.
- BELLA, F. (2008). Driving simulator for speed research on two-lane rural roads. *Accident Analysis & Prevention*, 40(3), 1078-1087.
- BERGHAUS, G. & BRENNER-HARTMANN, J. (2012). Fahreignung, Fahrsicherheit und deren Begutachtung – Grundlagen. Kap. B 1.1, B 1.2, B 1.3 und B 1.6 in: Madea, B., Mußhoff, F. & Berghaus, G. (Hrsg.). *Verkehrsmedizin – Fahreignung, Fahrsicherheit, Unfallrekonstruktion*. Köln: Deutscher Ärzte-Verlag
- BLAAUW, G. J. (1982). Driving experience and task demands in simulator and instrumented car: A validation study. *Human Factors*, 24, 473-486.
- BLANA, E. & GOLIAS, J. (1999). Behavioural validation of a fixed-base driving simulator. Paper presented at the Driving Simulation Conference (DSC) 1999, Paris.
- BLANA, E. (1996a). Driving simulator validation studies: A literature review. Leeds: Institute of Transport Studies.
- BLANA, E. (1996b). A survey of driving research simulators around the world ITS Working Paper 481. Leeds: Institute of Transport Studies.
- BLANA, E., & GOLIAS, J. (2002). Differences between vehicle lateral displacement on the road and in a fixed-base simulator. *Human Factors*, 44(2), 303-313.
- BRACKSTONE, M., WATERSON, B., & MCDONALD, M.. (2009). Determinants of following headway in congested traffic. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 12(2), 131-142.
- BRENNER-HARTMANN, J. (2002). Durchführung standardisierter Fahrverhaltensbeobachtungen im Rahmen der medizinisch-psychologischen Untersuchung (MPU). Paper presented at the 38.BDP-Kongress für Verkehrspsychologie, Regensburg.
- BROUWER, W., BUSSCHER, R. B., DAVIDSE, R. J., POT, H., & VAN WOLFFELAAR, P. C. (2011). Traumatic Brain Injury. Tests in a driving



- simulator as part of the neuropsychological assessment of fitness to drive. In D.L. Fisher, M. Rizzo, J.K. Caird, & J.D. Lee (Hrsg.), *Handbook of Driving Simulation for Engineering, Medicine and Psychology*. Boca Raton: CRC Press.
- BRÜNGER-KOCH, M., BRIEST, S., & VOLLRATH, M. (2006). Virtual driving with different motion characteristics - braking manoeuvre analysis and validation. DSC 2006 Europe.
- BUHMANN, C., MAINTZ, L., HIERLING, J., VETTORAZZI, E., MOLL, C., ENGEL, A. K., ZANGEMEISTER, W. H. (2014). Effect of subthalamic nucleus deep brain stimulation on driving in Parkinson disease. *Neurology*, 82(1), 32-40.
- BUKASA, B., & PIRINGER, A. (2001). Validierungsstudien zur Überprüfung der Aussagekraft von Leistungstests für die Fahreignungsbegutachtung. *Psychologie in Österreich*, 3, 187-195.
- BULD, S., HOFFMANN, S., TOTZKE, I., & KRÜGER, H.-P. (2006). Autobahnauffahrten in Abhängigkeit von Verkehrsdichte und-bewegung: Studie durchgeführt im Rahmen des Virtuellen Instituts „Humane Automation“. Interner Bericht, IZVW Würzburg.
- BUNDESANSTALT FÜR STRASSENWESEN (Hrsg.) (2017). Begutachtungs-Leitlinien zur Kraftfahrereignung, Bergisch Gladbach, Stand 14.08.2017.
- CASUTT, G., MARTIN, M., KELLER, M. & JÄNCKE, L. (2014). The relation between performance in on-road driving, cognitive screening and driving simulator in older healthy drivers. *Transportation Research Part F* 22, 232-244.
- CIUARA, T. (2010). Standardisierte Hamburger Fahrprobe im Rahmen einer verkehrsmedizinischen Untersuchung gem. Fahrerlaubnisverordnung. Abgerufen unter [http://www.verkehrsinstitut-hanse.de/files/hamburger\\_fahrprobe-broschure.pdf](http://www.verkehrsinstitut-hanse.de/files/hamburger_fahrprobe-broschure.pdf)
- COLOMBET, F., PAILLOT, D., MERIENNE, F., & KEMENY, A. (2011). Enhancement of the SAAM driving simulator graphics pipeline for speed perception studies. Paper presented at the ASME 2011 World Conference on Innovative Virtual Reality.
- DALCHOW, J. L., NIEWOEHNER, P. M., HENDERSON, R. R. & CARR, D. B. (2010). Test acceptability and confidence levels in older adults referred for fitness-to-drive evaluations. *American Journal of Occupational Therapy* 64(2), 252-258.
- DAVIDSE, R.J. (2006). Older drivers and ADAS: Which systems improve road safety? *IATSS Research*, 30, 6-20.
- DESTATIS (2017). Unfälle von Senioren im Straßenverkehr 2016. Abgerufen unter [https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/TransportVerkehr/Verkehrsunfaelle/UnfaelleSenioren5462409167004.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/TransportVerkehr/Verkehrsunfaelle/UnfaelleSenioren5462409167004.pdf?__blob=publicationFile)
- DEUTSCHE AKADEMIE FÜR VERKEHRSWISSENSCHAFT (2017). 55. Deutscher Verkehrsgerichtstag 2017 : Veröffentlichung der auf dem 55. Deutschen Verkehrsgerichtstag vom 25. bis 27. Januar 2017 in Goslar gehaltenen Vorträge, Referate und erarbeiteten Empfehlungen. Köln: Luchterhand.
- DEVOS, H., NIEUWBOER, A., VANDENBERGHE, W., TANT, M., DE WEERDT, W., & UC, E. (2013). Validation of driving simulation to assess on-road performance in Huntington Disease. Paper presented at the Proceedings of the Seventh International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training, and Vehicle Design, 2013-6-17 to 2013-6-20, Bolton Landing New York.
- DI STEFANO, M. & MACDONALD, W. (2010). Australian Occupational Therapy Driver Assessors' Opinions on Improving On-Road Driver Assessment Procedures. *American Journal of Occupational Therapy* 64(2), 325-335.
- ELLINGHAUS, D., & STEINBRECHER, J. (1990). Junge Fahrer - Besser oder schlechter als ihr Ruf? Uniroyal-Verkehrsuntersuchung (Vol. 15). Köln: Gesellschaft für angewandte Sozialforschung und Planung.
- FALKENSTEIN, M., POSCHADEL, S., WILDWALL, N. & HAHN, M. (2011). Kognitive Veränderungen im Alter und ihr Einfluss auf die Verkehrssicherheit älterer Verkehrsteilnehmer: Defizit, Kompensationsmechanismen und Präventionsmöglichkeiten. In G. RUDINGER & K. KOCHERSCHIED (Hrsg.), *Ältere Verkehrsteilnehmer – Gefährdet oder gefährlich? Defizite,*

- Kompensationsmechanismen und Präventionsmöglichkeiten (S. 43-59). Göttingen: V&R unipress.
- FASTENMEIER, W. (1995) Autofahrer und Verkehrssituationen. Köln: TÜV Rheinland.
- FASTENMEIER, W., GSTALTER, H. & GEHLERT, T. (2014). Older drivers: possibilities and limits of testing and screening. Paper presented at the Interdisciplinary Conference on Ageing and Safe Mobility, BASt Bergisch-Gladbach, 27-28.
- FISHER, D. L., RIZZO, M., CAIRD, J. & LEE, J. D. (2011). Handbook of driving simulation for engineering, medicine, and psychology: An Overview. In D. L. FISHER, M. RIZZO, J. CAIRD & J. D. LEE (Hrsg.), Handbook of driving simulation for engineering, medicine, and psychology. S. 1-1 - 1-16, Boca Raton: CRC Press.
- FOLSTEIN, J. F., FOLSTEIN, S. E. & MC HUGH, P. R. (1975). "Mini-mental state": a practical method for grading cognitive state of patients for the clinician. *Journal of Psychiatric Research*, 43, 882-885.
- FRIES, W., WILKES, F. & LÖSSL, H. (2008). Fahr-eignung bei Krankheit, Verletzung, Alter, Medi-kamenten, Alkohol und Drogen. Ein Leitfaden für Betroffene, Ärzte, Psychologen, Rechtsanwälte, Behörden. 2.neu bearbeitete Ausgabe. Verlag C.H. Beck.
- GELAU, C., METKER, T. & TRÄNKLE, U. (1994). Untersuchungen zu Leistungsfähigkeit und Ver-kehrsverhalten älterer Autofahrer. In U. TRÄNKLE (Hrsg.), *Autofahren im Alter* (S. 139-229). Köln: TÜV Rheinland Verlag.
- GIAMBRA, L. M. & QUILTER, R. E. (1988). Sus-tained attention in adulthood: A unique, large-sample, longitudinal and multicohort analysis using the Mackworth Clock-Test. *Psychology and Aging*, 3(1), 75-83.
- GLASER, W. R., WASCHULEWSKI, H., GLASER, M. O. & SCHMID, D. (2013). Ein Verfahren zur Messung der Fahrsicherheit im Realverkehr ent-wickelt am Begleiteten Fahren. *Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen Heft M 235*. Bergisch-Gladbach.
- GODLEY, S. T, TRIGGS, T. J, & FILDES, B. N. (2002). Driving simulator validation for speed research. *Accident Analysis & Prevention*, 34(5), 589-600.
- GOLZ, D., HUCHLER, S., JÖRG, A. & KÜST, J. (2004). Beurteilung der Fahreignung. *Zeitschrift für Neuropsychologie*, 15 (3), 157-167.
- GRAAB, B., DONNER, E., CHIELLINO, U., HOPPE, M. (2008). Analyse von Verkehrsunfäl- len hinsichtlich unterschiedlicher Fahrerpopulati- onen und daraus ableitbarer Ergebnisse für die Entwicklung adaptiver Fahrerassistenzsysteme. *Tagung aktive Sicherheit 2008*. München.
- HAHN, M., FALKENSTEIN, M., WILD-WALL, N. (2010). Age-related performance differences in compensatory tracking under a dual task condi- tion. *Occupation Ergonomics*, 9, 75-86.
- HAIGH, R. (1993). The aging process: A challenge for design. *Applied Ergonomics*, 24 (1), 9-14.
- HAKAMIES-BLOMQUIST, L., RAITANEN, T., & O'NEILL, D. (2002). Driver ageing does not cause higher accident rates per km. *Transportation Research Part F*, 5, 271-274.
- HAMPEL, B., KÜPPERS, F., UTZELMANN, H. D. & HAAS, R. (1982). Ermittlung der an Fahrprü- fungsorte zu stellenden Anforderungen (Bericht zum Forschungsprojekt 7516/2). Köln: Bundes- anstalt für Straßenwesen.
- HANNEN, P., HARTJE, W., & SKRECZEK, W. (1998). Beurteilung der Fahreignung nach Hirn- schädigung - Neuropsychologische Diagnostik und Fahrprobe. *Der Nervenarzt*, 69, 864-872.
- HARGUTT, V., KAUSSNER, Y., KRÜGER, H.-P., & MAAG, C. (2012). Nicht krankheitsbedingte psy- chologische Determinanten der Fahreignung und Fahrsicherheit. In B. Madea, F. Mußhoff & G. Berghaus (Hrsg.), *Verkehrsmedizin - Fahreignung, Fahrsicherheit, Unfallrekonstruktion* (2. Aufl., S. 624-647). Köln: Deutscher Ärzte Verlag.
- HARTJE, W (2004). *Neuropsychologische Begut- achtung*. Hogrefe Verlag.
- HOFFMANN, H. (2013). Experimentelle Untersu- chung zur Unterstützung der Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen für ältere Kraftfahrer. *Bericht der Bundesanstalt für Straßenwesen F 86*. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW.

- HOFFMANN, S. & BULD, S. (2006). Darstellung und Evaluation eines Trainings zum Fahren in der Fahrsimulation. Integrierte Sicherheit und Fahrerassistenzsysteme, VDI-Berichte, 1960, 113-132.
- HOLTE, H. (in Vorbereitung). Seniorinnen und Senioren im Straßenverkehr. Bedarfsanalysen im Kontext von Lebenslagen, Lebensstilen und verkehrssicherheitsrelevanten Erwartungen. Projekt der Bundesanstalt für Straßenwesen (F1100.4315008), Bergisch Gladbach.
- HUNT, L. A., MURPHY, C. F., CARR, D., DUCHEK, J. M., BUCKLES, V., MORRIS, J. C. (1997). Environmental cueing may affect performance on a road test for drivers with dementia of the Alzheimer type. *Alzheimer Disease & Associated Disorders* 11, 13-16.
- ICHIKAWA, K. (2003). Considering safe distance between moving vehicles. *Memoirs of the Faculty of Education*, 53, 123-138.
- JANKE, M. K., EBERHARD, J. W. (1998). Assessing medically impaired older drivers in a licensing agency setting. *Accident Analysis & Prevention* 30(3), 347-361.
- JOHANNSEN, H. & MÜLLER, G. (2013). Anpassung von Kraftfahrzeugen an die Anforderungen älterer Menschen auf Basis von Unfalldaten. In B. SCHLAG und K. J. BECKMANN (Hrsg.), *Mobilität und demografische Entwicklung*, (S. 211-237). Köln: TÜV Media GmbH.
- KAISER, H. J. & OSWALD, W. D. (2000). Autofahren im Alter – eine Literaturanalyse. *Zeitschrift für Gerontopsychologie & -psychiatrie*, 13, 131-170.
- KARTHAUS, M., WILLEMSSEN, R., JOIKO, S., & FALKENSTEIN, M. (2015). Kompensationsstrategien älterer Autofahrer. *Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen M254*. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW.
- KAUSSNER, Y. (2007). *Fahrtauglichkeit bei M. Parkinson*. (Dissertation), Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Würzburg.
- KAUSSNER, Y. & KRÜGER, H.-P. (2012). Psychopharmaka und Fahrtüchtigkeit. In G. GRÜNDER & O. BENKERT (Hrsg.), *Handbuch der Psychopharmakotherapie* (S. 1217-1225). Berlin: Springer.
- KAUSSNER, Y., KENNTNER-MABIALA, R., HOFFMANN, S., KLATT, J., TRACIK, F. KRÜGER, H.-P. (2010). Effects of oxcarbazepine and carbamazepine on driving ability: A double-blind, randomized crossover trial with healthy volunteers. *Psychopharmacology*, 210(1), 53-63.
- KAUSSNER, Y., KENNTNER-MABIALA, R., & HOFFMANN, S. (2014). A modular approach to diagnose fitness to drive in driving simulation. Poster presented at the Internationale Konferenz on Ageing and Safe Mobility, Bergisch-Gladbach, Germany, 27.11-28.11.2014.
- KAUSSNER, Y., KENNTNER-MABIALA, R., HOFFMANN, S. & VOLK, M. (2015). Entwicklung und Evaluation eines Fahrsimulator-Trainings zur Erhaltung der Fahrtauglichkeit von Senioren. *Blutalkohol*, 52: Sup I, 32-33.
- KAY, G., AHMAD, O., BROWN, T. & VEIT, A. (2013). Comparison of the MiniSim and STISIM driving simulators for the detection of impairment: an alcohol validation study. Paper presented at the Proceedings of the Seventh International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training, and Vehicle Design, 2013-6-17 to 2013-6-20, New York.
- KEMENY, A., & PANERAI, F. (2003). Evaluating perception in driving simulation experiments. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(1), 31-37.
- KENNEDY, R. S., & FOWLKES, J. E. (1992). Simulator sickness is polygenic and poly-symptomatic: Implications for research. *The International Journal of Aviation Psychology*, 2(1), 23-38.
- KENNEDY, R. S., LANE, N. E., BERBAUM, K. S., & LILIENTHAL, M. G. (1993). Simulator sickness questionnaire: An enhanced method for quantifying simulator sickness. *The international Journal of Aviation Psychology*, 3(3), 203-220.
- KENNTNER-MABIALA, R., KAUSSNER, Y., HOFFMANN, S. & NEUKUM, A. (2013). New solutions for testing and enhancing fitness to drive of neuropsychological patients with driving simulation. Joint Meeting of the FESN (Federation of the European Societies of Neuropsychology)/GNP (Gesellschaft für Neuropsychologie) September 12-14, 2013, Berlin, Germany.

- KENNTNER-MABIALA, R., KAUSSNER, Y., HOFFMANN, S. & VOLK, M. (2015a). Fahrleistung von Senioren im Vergleich zu einer jüngeren Vergleichsgruppe während einer repräsentativen Fahrprobe im Realverkehr. *Blutalkohol*, 52: Sup I, 29-31.
- KENNTNER-MABIALA, R., KAUSSNER, Y., JAGIELLOWICZ-KAUFMANN, M., HOFFMANN, S. & KRÜGER, H.-P. (2015b). Driving performance under alcohol in simulated representative driving tasks: an alcohol calibration study for impairments related to medicinal drugs. *Journal of Clinical Psychopharmacology*, 35(2), 134-142.
- KLEBELSBERG, D., BIEHL, B., FUHRMANN, J., & SEYDEL, U. (1970). Fahrverhalten - Beschreibung, Beurteilung und diagnostische Erfassung. *Kleine Fachbuchreihe* (Vol. 8, S. 128). Wien: Kuratorium für Verkehrssicherheit.
- KLEE, H., BAUER, C., RADWAN, E. & ALDEEK, H. (1999). Preliminary validation of driving simulator based on forward speed. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* (1689), 33-39.
- KROJ, G. & PFEIFFER, G. (1973). *Der Kölner Fahrverhaltens-Test (K-F-V-T)*. Frankfurt: Dr. Arthur Tetzlaff-Verlag.
- LACHENMAYR, B. (1995). Sehen, Sicht, sicher Fahren im höheren Lebensalter. In J. LINDLACHER (Hrsg.), *Ältere Menschen im Straßenverkehr. Bericht über das 9. Symposium Verkehrsmedizin des ADAC. Schriftenreihe Straßenverkehr*, Bd. 34 (S.80-89). München: ADAC.
- LEE, H. C., & LEE, A. H. (2005). Identifying older drivers at risk of traffic violations by using a driving simulator: A 3-year longitudinal study. *American Journal of Occupational Therapy* 59, 97-100.
- LEE, H. C, LEE, A. H, CAMERON, D., & LI-TSANG, C. (2003). Using a driving simulator to identify older drivers at inflated risk of motor vehicle crashes. *Journal of Safety Research*, 34(4), 453-459.
- LEW, H. L, POOLE, J. H, LEE, E. H., JAFFE, D. L, HUANG, H.-C., & BRODD, E. (2005). Predictive validity of driving-simulator assessments following traumatic brain injury: a preliminary study. *Brain Injury*, 19(3), 177-188.
- LOUGHRAN, D. S., SEABURY, S. A., ZAKARAS, L. (2007). *Regulating older drivers: Are new policies needed?* RAND Corporation.
- LUNDQVIST, A. (2001). *Cognitive functions in drivers with brain injury: Anticipation and adaption*. Linköping University Medical Dissertations (No. 678).
- TANT M. L. M. (2002). *Visual performance in hemianopia: assessment, training and driving (unpublished dissertation)*. University of Groningen, The Netherlands.
- MAGER, R., FALKENSTEIN, M., STÖRMER, R., BRAND, S., MÜLLER-SPAHIN, E., BULLINGER, A. H. (2005). Auditory distraction in young and middle-aged adults: a behavioral and event-related potential study. *Journal of Neural Transmission*, 112, 1165-1176.
- METKER, T., GELAU, C. & TRÄNKLE, U. (1994). Altersbedingte kognitive Veränderungen. In U. TRÄNKLE (Hrsg.), *Autofahren im Alter* (S. 99-120). Köln: TÜV Rheinland Verlag.
- MEULENERS, L. & FRASER, M. (2015). A validation study of driving errors using a driving simulator. *Transportation Research Part F, Traffic Psychology and Behaviour* 29, 14-21.
- MICHON, J. A. (1985). A critical view of driver behavior models: What do we know, what should we do? In L. EVANS & R.C. SCHWING (Eds.), *Human Behavior and Traffic Safety* (S. 485-519). New York: Plenum Press.
- MULLEN, N., Charlton, J., DEVLIN, A., & BEDARD, M. (2011). Simulator validity: Behaviors observed on the simulator and on the road. In D. L. FISHER, M. RIZZO, J. K. CAIRD & J. D. LEE (Hrsg.), *Handbook of driving simulation for engineering, medicine, and psychology*, S. 13-1 - 13-18, Boca Raton: CRC Press.
- NELSON, E.A., & DANNEFER, D. (1992). Aged heterogeneity: Fact or fiction? The fate of diversity in gerontological research. *Gerontologist*, 32, 17-23.
- NEUKUM, A. & KRÜGER, H.-P. (2003). Fahrerreaktionen bei Lenksystemstörungen – Untersuchungsmethodik und Bewertungskriterien. In *VDI-Gesellschaft Fahrzeug- und*

- Verkehrstechnik (Ed.), Reifen-Fahrwerk-Fahrbahn (VDI-Berichte, Nr. 1791). Düsseldorf: VDI-Verlag.
- NEUKUM, A., NAUJOKS, F., KAPPES, S., & WEY, T. (2014). Kontrollierbarkeit unerwarteter Eingriffe eines Bremsassistentensystems aus Perspektive des Folgeverkehrs. Paper presented at 9. Workshop Fahrerassistenzsysteme (FAS2014).
- NEUKUM, A., & GRATTENTHALER, H. (2006). Projekt: Simulation von Einsatzfahrten im Auftrag des Präsidiums der Bayerischen Bereitschaftspolizei.
- NIEMANN, H., HARTJE, W. (2013). Beurteilung der Fahreignung hirngeschädigter Patienten in der neurologischen Rehabilitation. *Zeitschrift für Neuropsychologie*, 24(2), 69-87.
- NIEMANN, H., GAUGGEL, S. (2010). Störungen der Aufmerksamkeit. In P. Frommelt & H. Lösslein (Hrsg.), *Neuro-Rehabilitation*, (S. 145-168). Springer.
- NOBRE, A. (2004). Probing the flexibility of attentional orienting in the human brain. In M. I. POSNER, *Cognitive Neuroscience of Attention*. New York: Guilford Press
- ÖSTLUND, J., NILSSON, L., TÖRNROS, J. & FORSMAN, A. (2006). Effects of cognitive and visual load in real and simulated driving. VTI report 533A, VTI, Linköping.
- OWSLEY, C., BALL, K., SLOANE, M. E., ROENKER, D. L., & BRUNI, J. R. (1991). Visual/cognitive correlates of vehicle accidents in older drivers. *Psychology and Aging*, 6(3), 403-415.
- POSCHADEL, S. (2013). Trainierbarkeit der Fahrkompetenz im Alter. In B. SCHLAG & K. J. BECKMANN (Hrsg.), *Mobilität und demografische Entwicklung*. Köln: TÜV Media GmbH.
- POSCHADEL, S., FALKENSTEIN, M., PAPPACHAN, P., POLL, E. & WILLMES VON HINCKELDEY, K. (2009). Testverfahren zur psychometrischen Leistungsprüfung der Fahreignung. *Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen M203*. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW.
- POSCHADEL, S., FALKENSTEIN, M., RINKENAUER, G., MENDZHERITSKY, G., FIMM, B., WORRINGER, B., ENGIN, T., KLEINEMAS, U. & RUDINGER, G. (2012a). Verkehrssicherheitsrelevante Leistungspotenziale, Defizite und Kompensationsmöglichkeiten älterer Autofahrer. *Bericht der Bundesanstalt für Straßenwesen M 231*. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW.
- POSCHADEL, S., BOENKE, D., BLOEBAUM, A., & RABCZINSKI, S. (2012b). Ältere Autofahrer: Erhalt, Verbesserung und Verlängerung der Fahrkompetenz durch Training. Köln: TÜV Media GmbH.
- POTTGIESSER, S., KLEINEMAS, U., DOHMES, K., SPIEGEL, L., SCHÄDLICH, M., RUDINGER, G. (2012). Profile von Senioren mit Autounfällen (PROSA), *Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen M 228*. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW.
- PREUSSER, D. F., WILLIAMS, A. F., FERGUSON, S. A., ULMER, R. G., & WEINSTEIN, H. B. (1998). Fatal crash risk for older drivers at intersections. *Accident Analysis and Prevention*, 30(2), 151-159.
- PURUCKER, C., RÜGER, F., SCHNEIDER, N., NEUKUM, A., & FÄRBER, B. (2014). Comparing the perception of critical longitudinal distances between dynamic driving simulation, test track and Vehicle in the Loop. Paper presented at the Advances in human aspects of transportation. Proceedings of the 5th AHFE Conference. Krakau, Polen.
- QUILTER, R. E., GIAMBRA, L. M. & BENSON, P. E. (1983). Longitudinal age changes in vigilance over an eighteen year interval. *Journal of Gerontology*, 38(1), 51-54.
- RABBITT, P. M. A. (1965). An age-decrement in the ability to ignore irrelevant information. *Journal of Gerontology*, 20, 233-237.
- REED, M. P., & GREEN, P. A. (1999). Comparison of driving performance on-road and in a low-cost simulator using a concurrent telephone dialing task. *Ergonomics*, 42, 1015-1037.
- RIEDEL, W. J., PETERS, M. L., VAN BOXTEL, M. P.J. & O'HANLON, J. F. (1998). The influence of piracetame on actual driving behavior of elderly subjects. *Human Psychopharmacology*, 13, 108-114.

- RIEMERSMA, J. B. J., VAN DER HORST, A., HOEKSTRA, W., ALINK, G. M. M., & OT-TEN, N. (1990). Validity of a driving simulator in evaluating speed-reducing measures. *Traffic engineering and control*, 31(7-8), 416-420.
- RISSE, R. & BRANDSTÄTTER, C. (1985). *Die Wiener Fahrprobe*. Wien: Literas.
- RÜGER, F., SIEBER, M., SIEGEL, A., SIEDERSBERGER, K.-H., & FÄRBER, B. (2015). Kontrollierbarkeitsbewertung von FAS der aktiven Sicherheit in frühen Phasen des Entwicklungsprozesses mit dem Vehicle in the Loop (VIL). Paper presented at the 10. Work-shop Fahrerassistenzsysteme.
- SALTHOUSE, T. A. (1979). Adult age and the speed-accuracy trade-off. *Ergonomics*, 22(7), 811-821.
- SCHADE, F.-D. (2008). Der Kraftfahrer in der zweiten Lebenshälfte: Verkehrsteilnahme und Verkehrsauffälligkeit. In J. SCHADE J & A. ENGELN (Hrsg.), *Fortschritte der Verkehrspsychologie* (S. 51-79). Wiesbaden: Verlag für Sozialwissenschaften.
- SCHLAG, B. (2013). Persönliche Veränderungen der Mobilität und der Leistungsfähigkeit im Alter. In B. SCHLAG und K. J. BECKMANN (Hrsg.), *Mobilität und demografische Entwicklung* (S. 119-143.). Köln TÜV Media GmbH.
- SCHLAG, B. (1994). Risikoverhalten im Straßenverkehr. In A. FLADE (Hrsg.), *Mobilitätsverhalten: Bedingungen und Veränderungsmöglichkeiten aus umweltpsychologischer Sicht* (S. 131-138). Weinheim: Beltz.
- SCHUBERT, W., & WAGNER, T. (2003). Die psychologische Fahrverhaltensbeobachtung - Grundlagen, Methodik und Anwendungsmöglichkeiten. *Zeitschrift für Verkehrssicherheit*, 49(3), 119-127.
- SCHUMACHER, M. (2015). Nachweis alkoholbedingter Leistungsveränderungen mit einer Fahrverhaltensprobe im Fahrsimulator der BAST. *Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen*, Heft M 263. Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach.
- SHECHTMAN, O., CLASSEN, S., AWADZI, K. & MANN, W. (2009). Comparison of driving errors between on-the-road and simulated driving assessment: A validation study. *Traffic Injury Prevention* 10(4), 379-385.
- SHINAR, D., & RONEN, A. (2007). Validation of speed perception and production in a single screen simulator. *Advances in transportation studies*, 2007 (Spec. Iss.), 51-56.
- SHINAR, D. & SCHIEBER, F. (1991). Visual requirements for safety and mobility of older drivers. *Human Factors*, 33, 507-519.
- SLATER, M., & WILBUR, S. (1997). A framework for immersive virtual environments (FIVE): Speculations on the role of presence in virtual environments. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6, 603-616
- SOMMER, S. M., ARNO, P., STRYPSTEN, M., EECKHOUT, G., & ROTHERMEL, S. (2003). D4.3: On-road assessment methodology and reference road test. AGILE Deliverable 4.3. AGILE Konsortium.
- SPENCE, C. & DRIVER, J. (2004): *Crossmodal space & crossmodal attention*. Oxford: University Press.
- SPIELER, D. H., BALOTA, D. A., FAUST, M. E. (1996). Stroop performance in healthy younger and older adults and in individuals with dementia of the Alzheimer's type. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 22 (2), 431-479.
- STAM, T. (2013). Headway performance in the University of Twente driving simulator: a validation study. University of Twente, Amsterdam.
- STAUB, B., DOIGNON-CAMUS, N., DSPRÉS, O. & BONNEFOND, A. (2013). Sustained attention in the elderly: what do we know and what does it tell us about cognitive aging? *Ageing Res Rev.*, 12(2), 459-468.
- SWOV (2010). *Jonge beginnende automobilisten*. SWOV-Factsheet, Leidschendam.
- TÖRNROS, J. (1998). Driving behaviour in a real and a simulated road tunnel - A validation study. *Accident Analysis and Prevention*, 30(4), 497-503.

- TRÄNKLE, U. (1994). Autofahrer im Alter. Mensch-Fahrzeug-Umwelt (Vol. 30). Köln: TÜV Rheinland.
- UNDERWOOD, G., PHELPS, N., WRIGHT, C., VAN LOON, E., & GALPIN, A. (2005). Eye fixation scanpaths of younger and older drivers in a hazard perception task. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 25, 346–356.
- UNDERWOOD, G., CRUNDALL, D. & CHAPMAN, P. (2011). Driving simulator validation with hazards perception. *Transportation Research Part F* 14, 435-446.
- UTZELMANN, H. D. & BRENNER-HARTMANN, J. (2005). Psychologische Fahrverhaltensbeobachtung. In W. SCHNEIDER, W. SCHUBERT, W. EISENMENGER & E. STE-PHAN (Hrsg.), *Begutachtungs-Leitlinien zur Kraffahreignung - Kommentar* (S. 60-64). Bonn: Kirschbaum-Verlag.
- VVFS. (1999). 32. Vägverkets författningssamling föreskrifter om krav för körprov. [Directions for driving license holder]. The Swedish National Road Association.
- WADE, M. G., & HAMMOND, C. (1998). *Simulation validation*. Minneapolis, USA: Human Factors Research Laboratory - University of Minnesota.
- WELLER, G. (2013). Ergebnisse von Fahrversuchen mit älteren Pkw-Fahrern. In B. SCHLAG und K. J. BECKMANN (Hrsg.) (Ed.), *Mobilität und demografische Entwicklung* (S. 145-179.). Köln: TÜV Media GmbH.
- WELLER, G., SCHLAG, B. & GEHLERT, T. (2014). Does older driver's psychophysical fitness predicts their driving performance? Paper presented at the Interdisciplinary Conference on Ageing and Safe Mobility, BAST Bergisch Gladbach.
- WOLBERS, T., KÜST, J., KARBE, H., NETZ, J., & HÖRNBERG, V. (2001). Interaktive Fahrsimulation - ein neuer Weg zur Diagnose und Rehabilitation der Fahrtauglichkeit. *Rehabilitation*, 40, 87-91.
- WOLTER, D. K. (2014). Beginnende Demenz und Fahreignung (Teil 2: Das Assessment und seine praktischen Konsequenzen). *Zeitschrift für Gerontologie und Geriatrie* 4, 345-355.
- YAN, X., ABDELATY, M., RADWAN, E., WANG, X., & CHILAKAPATI, P. (2008). Validating a driving simulator using surrogate safety measures. *Accident Analysis & Prevention*, 40(1). 274-288.

## Schriftenreihe

### Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

#### Unterreihe „Mensch und Sicherheit“

#### 2017

M 271: **Evaluation der Kampagnenfortsetzung 2013/2014 „Runter vom Gas!“**  
Klimmt, Geber, Maurer, Oschatz, Sülflow € 14,50

M 272: **Marktdurchdringung von Fahrzeugsicherheitssystemen 2015**  
Gruschwitz, Hölscher, Raudszus, Zlocki € 15,00

M 273: **Verkehrswahrnehmung und Gefahrenvermeidung – Grundlagen und Umsetzungsmöglichkeiten in der Fahranfängervorbereitung**  
TÜV | DEKRA arge tp 21 € 22,00

M 273b: **Traffic perception and hazard avoidance – Foundations and possibilities for implementation in novice driver preparation**  
Bredow, Brünken, Dressler, Friedel, Genschow, Kaufmann, Malone, Mörl, Rüdell, Schubert, Sturzbecher, Teichert, Wagner, Weiße  
Dieser Bericht ist die englische Fassung von M 273 und liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

M 274: **Fahrschulüberwachung in Deutschland – Gutachten im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen**  
Sturzbecher, Bredow  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

M 275: **Reform der Fahrlehrerausbildung**  
Teil 1: **Weiterentwicklung der Fahrlehrerausbildung in Deutschland**  
Teil 2: **Kompetenzorientierte Neugestaltung der Qualifizierung von Inhabern/verantwortlichen Leitern von Ausbildungsfahrschulen und Ausbildungsfahrlehrern**  
Brünken, Leutner, Sturzbecher  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

M 276: **Zeitreihenmodelle mit meteorologischen Variablen zur Prognose von Unfallzahlen**  
Martensen, Diependaele € 14,50

#### 2018

M 277: **Unfallgeschehen schwerer Güterkraftfahrzeuge**  
Panwinkler € 18,50

M 278: **Alternative Antriebstechnologien: Marktdurchdringung und Konsequenzen für die Straßenverkehrssicherheit**  
Schleh, Bierbach, Piasecki, Pöppel-Decker, Schönebeck  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

M 279: **Psychologische Aspekte des Einsatzes von Lang-Lkw – Zweite Erhebungsphase**  
Glaser, Glaser, Schmid, Waschulewski  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

M 280: **Entwicklung der Fahr- und Verkehrskompetenz mit zunehmender Fahrerfahrung**  
Jürgensohn, Böhm, Gardas, Stephani € 19,50

M 281: **Rad-Schulwegpläne in Baden-Württemberg – Begleit-evaluation zu deren Erstellung mithilfe des WebGIS-Tools**  
Neumann-Opitz € 16,50

M 282: **Fahrverhaltensbeobachtung mit Senioren im Fahrsimulator der BASt Machbarkeitsstudie**  
Schumacher, Schubert € 15,50

M 283: **Demografischer Wandel – Kenntnisstand und Maßnahmenempfehlungen zur Sicherung der Mobilität älterer Verkehrsteilnehmer**  
Schubert, Gräemann, Bartmann € 18,50

M 284: **Fahranfängerbefragung 2014: 17-jährige Teilnehmer und 18-jährige Nichtteilnehmer am Begleiteten Fahren – Ansatzpunkte zur Optimierung des Maßnahmenansatzes „Begleitetes Fahren ab 17“**  
Funk, Schrauth € 15,50

M 285: **Seniorinnen und Senioren im Straßenverkehr – Bedarfsanalysen im Kontext von Lebenslagen, Lebensstilen und verkehrssicherheitsrelevanten Erwartungen**  
Holte € 20,50

M 286: **Evaluation des Modellversuchs AM 15**  
Teil 1: **Verkehrsbewährungsstudie**  
Kühne, Dombrowski  
Teil 2: **Befragungsstudie**  
Funk, Schrauth, Roßnagel € 29,00

M 287: **Konzept für eine regelmäßige Erhebung der Nutzungshäufigkeit von Smartphones bei Pkw-Fahrern**  
Kathmann, Scotti, Huemer, Mennecke, Vollrath  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

M 288: **Anforderungen an die Evaluation der Kurse zur Wiederherstellung der Kraftfahrtauglichkeit gemäß § 70 FeV**  
Klipp, Brieler, Frenzel, Kühne, Hundertmark, Kollbach, Labitzke, Uhle, Albrecht, Buchardt € 14,50

#### 2019

M 289: **Entwicklung und Überprüfung eines Instruments zur kontinuierlichen Erfassung des Verkehrsklimas**  
Schade, Rößger, Schlag, Follmer, Eggs  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

M 290: **Leistungen des Rettungsdienstes 2016/17 – Analyse des Leistungsniveaus im Rettungsdienst für die Jahre 2016 und 2017**  
Schmiedel, Behrendt € 18,50

M 291: **Versorgung psychischer Unfallfolgen**  
Auerbach, Surges € 15,50

M 292: **Einfluss gleichaltriger Bezugspersonen (Peers) auf das Mobilitäts- und Fahrverhalten junger Fahrerinnen und Fahrer**  
Baumann, Geber, Klimmt, Czerwinski € 18,00

M 293: **Fahranfänger – Weiterführende Maßnahmen nach dem Fahrerlaubniserwerb – Abschlussbericht**  
Projektgruppe „Hochrisikophase Fahranfänger“ € 17,50

#### 2020

M 294: **Förderung eigenständiger Mobilität von Erwachsenen mit geistiger Behinderung**  
Markowetz, Wolf, Schwaferts, Luginger, Mayer, Rosin, Buchberger  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.



- M 295: **Marktdurchdringung von Fahrzeugsicherheitssystemen in Pkw 2017**  
Gruschwitz, Hölscher, Raudszus, Schulz € 14,50
- M 296: **Leichte Sprache in der theoretischen Fahrerlaubnisprüfung**  
Schrauth, Zielinski, Mederer  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- M 297: **Häufigkeit von Ablenkung beim Autofahren**  
Kreuzlein, Schleinitz, Krems € 17,50
- M 298: **Zahlungsbereitschaft für Verkehrssicherheit**  
Obermeyer, Hirte, Korneli, Schade, Friebel € 18,00
- M 299: **Systematische Untersuchung sicherheitsrelevanter Fußgängerverhaltens**  
Schüller, Niestegge, Roßmerkel, Schade, Rößger, Rehberg, Maier € 24,50
- M 300: **Nutzungshäufigkeit von Smartphones durch Pkw-Fahrer Erhebung 2019**  
Kathmann, Johannsen, von Heel, Hermes, Vollrath, Huemer € 18,00
- M 301: **Motorräder – Mobilitätsstrukturen und Expositionsgrößen**  
Bäumer, Hautzinger, Pfeiffer € 16,00
- M 302: **Zielgruppengerechte Ansprache in der Verkehrssicherheitskommunikation über Influencer in den sozialen Medien**  
Duckwitz, Funk, Schliebs, Hermanns € 22,00
- M 303: **Kognitive Störungen und Verkehrssicherheit**  
Surges  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- M 305: **Re-Evaluation des Alkoholverbots für Fahranfängerinnen und Fahranfänger**  
Evers, Straßgüt € 15,50

**AKTUALISIERTE NEUAUFLAGE VON:**

M 115: **Begutachtungsleitlinien zur Kraftfahrerngung – gültig ab 31.12.2019**

Gräcman, Albrecht € 17,50

**2021**

- M 304: **Zum Unfallgeschehen von Motorrädern**  
Pöppel-Decker  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- M 306: **Stand der Wissenschaft: Kinder im Straßenverkehr**  
Schmidt, Funk, Duderstadt, Schreiter, Sinner, Bahlmann  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- M 307: **Evaluation des Zielgruppenprogramms „Aktion junge Fahrer“ (DVW) – Phase II**  
Funk, Rossnagel, Bender, Barth, Bochert, Detert, Erhardt, Hellwagner, Hummel, Karg, Kondrasch, Schubert, Zens  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- M 308: **Evaluation der Zielgruppenprogramme „Kind und Verkehr“ (DVR, DVW) und „Kinder im Straßenverkehr“ (DVW) – Phase II**  
Funk, Bender, Rossnagel, Barth, Bochert, Detert, Erhardt, Hellwagner, Hummel, Karg, Kondrasch, Schubert, Zens  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

- M 309: **Entwicklung und Evaluation effizienter Trainingsmaßnahmen für ältere Verkehrsteilnehmer zur Förderung ihrer Fahrkompetenz**  
Schoch, Julier, Kenntner-Mabiala, Kauschner € 16,00
- M 310: **Erfassung der subjektiven Wahrnehmung und Bewertung verkehrssicherheitsrelevanter Leistungsmerkmale und Verhaltensweisen älterer Autofahrer – Entwicklung und Prüfung eines Selbsttests**  
Horn € 18,50
- M 311: **Safety Performance Indicators im Straßenverkehr – Überblick und Erfahrungen aus der internationalen Praxis**  
Funk, Orłowski, Braun, Rücker € 20,50
- M 312: **Konzept für eine regelmäßige Erhebung der Nutzungshäufigkeit von Smartphones bei Radfahrern und Fußgängern**  
Funk, Roßnagel, Maier, Crvelin, Kurz, Mohamed, Ott, Stamer, Stößel, Tomaselli  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- M 313: **Analyse der Merkmale und des Unfallgeschehens von Pedelec-Fahrern**  
Platho, Horn, Jänsch, Johannsen  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- M 314: **SENIORWALK**  
Holte € 19,00
- M 315: **Untersuchungen zur wissenschaftlichen Begleitung des reformierten Fahrlehrerrechts**  
Bredow, Ewald, Thüs, Malone, Brünken  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- M 316: **VERKEHRSKLIMA 2020**  
Holte € 16,50
- M 317: **Alternative Antriebstechnologien – Marktdurchdringung und Konsequenzen für die Straßenverkehrssicherheit**  
Pöppel-Decker, Bierbach, Piasecki, Schönebeck  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- M 318: **Verkehrssicherheitsberatung älterer Kraftfahrerinnen und -fahrer in der hausärztlichen Praxis – Bestandsaufnahme**  
Schoch, Kenntner-Mabiala  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- M 319: **Protanopie und Protanomalie bei Berufskraftfahrern und Berufskraftfahrerinnen – Prävalenz und Unfallrisiko**  
Friedrichs, Schmidt, Schmidt  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- M 320: **Eignung von Fahrsimulatoren für die Untersuchung der Fahrkompetenz älterer Autofahrer**  
Maag, Kenntner-Mabiala, Kauschner, Hoffmann, Ebert  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

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 03-48

Alternativ können Sie alle lieferbaren Titel auch auf unserer Website finden und bestellen.

[www.schuenemann-verlag.de](http://www.schuenemann-verlag.de)

Alle Berichte, die nur in digitaler Form erscheinen, können wir auf Wunsch als »Book on Demand« für Sie herstellen.