

# **Bedeutung kompensativer Fahrerstrategien im Kontext automatisierter Fahrfunktionen**

**Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

**Fahrzeugtechnik Heft F 118**

The logo for 'bast' is written in a bold, lowercase, green sans-serif font. The letters are thick and have a slight shadow effect, giving it a three-dimensional appearance. The 'b' and 'a' are particularly prominent.

# **Bedeutung kompensativer Fahrerstrategien im Kontext automatisierter Fahrfunktionen**

von

Gudrun M. I. Voß  
Maximilian Schwalm

Institut für Kraftfahrzeuge  
RWTH Aachen

**Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

**Fahrzeugtechnik Heft F 118**

**bast**

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

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

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

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

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

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

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

## Impressum

**Bericht zum Forschungsprojekt FE 82.0614/2014:**  
Bedeutung kompensativer Fahrerstrategien  
im Kontext automatisierter Fahrfunktionen

### Herausgeber

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

### Fachbetreuung

Heike Hoffmann  
Alexander Frey

### Redaktion

Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit

### Druck und Verlag

Fachverlag NW in der  
Carl Schünemann Verlag GmbH  
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 0943-9307

ISBN 978-3-95606-327-5

Bergisch Gladbach, Juni 2017

---

## Kurzfassung – Abstract

### **Bedeutung kompensativer Fahrerstrategien im Kontext automatisierter Fahrfunktionen**

Aufgrund der Wichtigkeit individueller Mobilität nutzen viele Menschen heutzutage ein Auto zur Fortbewegung. Hierbei scheint es normal zu sein, neben dem Fahren zusätzliche, nicht fahrbezogene Aktivitäten auszuüben. Obwohl die Fahrzeugführung an sich bereits anspruchsvoll ist und die menschlichen Kognitionsressourcen begrenzt sind, geschehen relativ selten schwere Unfälle. Empirische Studien des fahrgesteuerten Fahrens deuten darauf hin, dass Fahrer Strategien besitzen, die es ihnen ermöglichen, auch im Mehrfachaufgabenkontext eine sichere Fahrleistung zu garantieren: Sie scheinen einen Fahrleistungszielwert zu besitzen, den sie im kontinuierlichen Abgleich mit der aktuellen Fahrleistung versuchen zu erreichen. Darüber hinaus scheinen Fahrer die Bearbeitung nicht fahrbezogener Aufgaben zu reduzieren, sobald sie sich einer kritischen Fahrsituation nähern. In den vergangenen Jahren machte die Entwicklung automatisierter Fahrfunktionen deutliche Fortschritte. Dies führte zu tiefgreifenden Veränderungen der Fahrer-Fahrzeug-Interaktion, da Fahrer im Normalverkehr des automatisierten Fahrens (SAE Level 3) nicht mehr die Verantwortung für die Fahrzeugführung tragen und es ihnen freisteht, sich mit nicht fahrbezogenen Aufgaben zu beschäftigen. Hiervon ausgehend stellt sich die Frage, ob und wenn ja, welche Rolle die Fahrerstrategien im Kontext des automatisierten Fahrens spielen. Das aktuelle Forschungsvorhaben beschäftigt sich mit dieser Thematik: Basierend auf der Idee eines Fahrleistungszielwerts wurden Grenzwerte akzeptierter Fahrleistungsbereiche in Abhängigkeit verschiedener Personen- und Situationsfaktoren bestimmt. Des Weiteren wurde untersucht, inwiefern Fahrern ihre Strategien auch in Übernahmesituationen des automatisierten Fahrens in Abhängigkeit verschiedener Systemkonfigurationen zur Verfügung stehen. Abschließend wurden die Erkenntnisse dieser beiden Schritte zur Ableitung von Gestaltungsempfehlungen für zukünftige automatisierte Systeme genutzt.

### **Relevance of compensative driver strategies in the context of automated driving functions**

Due to the importance of individual mobility, the majority of people nowadays use a car for transportation. While doing so, it seems to be normal to perform additional, non-driving related tasks next to the main task of driving. Even though this task itself is complex and human cognitive resources are limited, serious accidents occur relatively seldom. Empirical studies suggest that in the context of driver-operated driving, drivers seem to have strategies at their disposal that enable them to guarantee a safe driving performance even in multitasking situations. They seem to have a target value in the driving performance, which they try to reach by constantly aligning the current level of driving performance to it. Furthermore, drivers seem to reduce the processing of non-driving related tasks when approaching a critical situation. In recent years, the development of automated driving functions has made considerable progress. This led to fundamental changes in the driver-vehicle-interaction. In automated driving (SAE level 3), the responsibility of the driving task is taken from drivers during normal traffic and they are permitted to engage themselves in other, non-driving related tasks. Due to this fact, the question arises whether and, if so, which role driver strategies might play in automated driving. The current research project concerns this subject. Based on the idea of a target value in the driving performance, thresholds of accepted driving performance values were defined in dependence on different individual and situational factors. Furthermore, it was investigated for different system configurations to what extent driver strategies are available in takeover situations from automated to non-automated driving. Finally, the results of these two steps were used to make recommendations for the design of future automated driving systems.

## Summary

### Relevance of compensative driver strategies in the context of automated driving functions

#### 1 Problem Definition

Nowadays, individual mobility can be regarded as a criterion for societal satisfaction. Therefore, it is not surprising that the people's majority uses a car for transportation on a daily basis. While using their vehicle, it seems to be absolutely normal to perform additional, non-driving related tasks besides the driving task (DINGUS et al., 2006). Although the manifold and safety-critical task of vehicle guidance is already very demanding (DONGES, 2015), and human cognitive resources are limited (KAHNEMAN, 1973), serious accidents do rarely occur (ADAC, 2012). This fact allows the conclusion that humans seem to have specific abilities or strategies at their disposal which enable them avoiding accidents even in multitasking contexts und thus guarantee a safe driving performance.

In the past, a variety of empirical studies already investigated these abilities, which can be denominated as compensative driver strategies, in the context of driver-operated driving (e.g. RAUCH, GRADENEGGER, & KRÜGER, 2009; PLATTEN, SCHWALM, & KREMS, 2011; SCHWALM, VOß, & LADWIG, 2015 etc.). According to those studies, drivers seem to reduce or even interrupt their activity in non-driving related tasks when approaching a critical situation or in case the current/anticipated driving performance is no longer rated to be acceptable. Since such regulative driver behaviour seems to be central for the avoidance of accidents, different model approaches were already developed in an attempt to conceptualise this pattern. Besides the models of WILDE (1982), FULLER (2005) and HORREY, LESCH, MITSOPOULOS-RUBENS and LEE (2015), SCHWALM et al. (2015) developed a further working model that tries both to integrate previous models and to take into consideration the driving task as well as non-driving related tasks. For this reason, this model is used as preferred basis of explanation and discussion in this research project.

Due to technological advances, the development and implementation of automated driving functions

clearly made progress within the last years. This development leads to a fundamental change in the driver-vehicle-interaction. While drivers constantly keep the responsibility for the driving task during driver-operated driving, this responsibility is taken from them in normal traffic of automated driving. Drivers then are allowed to engage in additional, non-driving related tasks. However, they still need to be able taking over the driving task at any point of time (SAE level 3, SAE International, 2014). On the basis of this reconceptualisation, there is already a vast amount of empirical studies that addresses the topic of automated driving. These studies mainly focus on takeover behaviour, short-term and long-term changes in driver behaviour as well as impacts of automation effects. Thereby, they significantly contribute to the design of automated driving systems (RADLMAYR & BENGLER, 2015). To the authors' best knowledge, the concrete investigation of compensative driver strategies in the context of automated driving was not yet pursued. However, there are some interesting questions that are highly relevant with regard to safety and comfort aspects and hence should be examined closely: 1) How should automated driving systems be configured and implemented in order to meet the demands of potential users and to prevent user-sided regulatory interventions? 2) Do drivers have their strategies ad hoc at their disposal in automated driving, so that they can guarantee a safe driving performance in critical situations, in which they have to take over the driving task again? 3) How should automated driving functions and systems be designed to ensure optimal support of driver strategies?

The current research project strives for answering these questions. Three work packages were processed. Each of them dealt with one of the questions. The work package 1 focused on the subjective evaluation of driving performances and trajectories (question 1). On the basis of existing scientific research (e.g. DICK, 2001; EBERL, 2014; ENGELBRECHT, ENGELN, & ARNDT, 2009), the construct of a 'subjectively experienced driving performance' that both refers to longitudinal and lateral control of vehicle guidance, should be defined and be made measurable. Additionally, concrete thresholds of a subjectively accepted driving performance regarding lateral vehicle guidance should be determined. In work package 2, a model-based empirical study should investigate whether and to what extent driver strategies are

available in demanding situations of automated driving, in which way a potentially restricted availability of the strategies affects the objective and subjective driving security, and whether the system's design is able to support the activation of the strategies (question 2). Finally, work package 3 was supposed to derive design recommendations on the basis of the results of the previous work packages (question 3). In the following, methods and results of the empirical work packages 1 and 2 are presented. The last chapter, 'Implications for Practice', specifies the conclusions of the third work package.

## 2 Research methods

In the following, a short overview regarding applied research methods is given for the empirical work packages 1 and 2.

### 2.1 Work Package 1

The first work package that focused on the subjective evaluation of driving performances (question 1, see above) was methodically divided in three sub-work packages: 1) creating a collection of potentially relevant terms describing the construct of a 'subjectively experienced driving performance'; 2) construct definition and development of a measurement methodology as well as 3) determination of concrete thresholds of a subjectively accepted driving performance regarding lateral vehicle guidance.

In order to collect potentially relevant terms for the construct description, a broad review of national and international literature on the topic of 'subjectively experienced driving performance' was conducted. With the objective of producing a comprehensive pool of attributes, an additional online study was realised. In this study, participants were asked to describe in their own words the perceived differences between good and bad driving performance, both presented via video sequences. For the purpose of structuring and reducing this collection, an expert card sorting (SPENCER & GARRETT, 2009) was applied.

In the second sub-work package, the reduced pool of attributes was used to identify distinctive items of the construct, to examine the construct factor-analytically and to develop a measurement methodology, i.e. a questionnaire. For that reason,

an online survey was conducted as a first step. The participants' task was to compare video material of a good as well as a bad driving performance that had been checked for suitability in advance. For this purpose, participants were asked to rate both driving performances (good vs. bad) by means of all attributes of the reduced pool. Afterwards, the survey data was used to define the construct 'subjectively experienced driving performance' via a discrimination and factor analysis (distinctive items and factor structure) and, on the basis of this, to develop a questionnaire methodology.

In a third sub-work package, thresholds of a subjectively accepted driving performance were to be identified regarding lateral vehicle guidance (total offset) as a function of specific personal and situational factors (sensation seeking, driving experience, weather, existence/deviation of oncoming traffic). For this purpose, different trajectories were simulated within a rural road scenario and were presented to the participants in the form of videos. Besides a general evaluation of the appropriateness of each driving performance, subjects had to answer the questionnaire which was previously developed.

### 2.2 Work Package 2

In order to answer the research questions and hypotheses of the second work package (also see question 2), a simulator study was conducted in the driving simulator of the Institute of Automotive Engineering of the RWTH Aachen University. Within this study, several traffic jam drives were simulated on a two-lane motorway (six experimental drives), during which the participants had to continually perform an additional, non-driving related task. In half of the drives, a traffic jam pilot was available (SAE level 3 with the restriction hands-on) that could completely take over longitudinal and lateral control. The study design included a system-initiated deactivation, i.e. a takeover situation, at a previously defined moment of the drive (narrow curve). The takeover request (TOR) was varied as a three-level between-group factor. In all of the three conditions, there was a visual signal lighting up in the instrument cluster at the moment of the takeover. The manipulation was realised by means of the variation of an acoustic signal one second before the actual takeover (no signal (TOR no) vs. low salient (TOR low) vs. high salient (TOR high)). As dependent variables, objective parameters

(mean lane deviation, level of activity in the non-driving related task) as well as ratings on several subjective questions (sensation seeking questionnaire, questionnaire of the work package 1 as well as questions concerning vehicle control and perception of the situation and the takeover) were used.

### 3 Research results

In this chapter, an overview of the present research project's results concerning the work packages 1 and 2 is given.

#### 3.1 Work Package 1

Work package 1 served for answering the first question (see problem definition). For the purpose of generating potential attributes of the construct 'subjectively experienced driving performance', a literature study as well as an online survey were conducted. In the course of reviewing the literature, 269 terms out of 52 scientific sources were finally selected. The online survey, in which the data of  $N = 108$  subjects were analysed, resulted in a total of 138 terms. Together with the terms of the literature research, these could be used for the card sorting. This method that was used for clustering and reducing the collection of terms resulted in a reduced item pool of 115 terms.

In order to prepare the online survey, the first step of the second sub-work package was the generation and suitability check of the video material of a good and a bad driving performance. While in the finally selected video of a good driving performance, a rule-consistent motorway drive with an adjacent overtaking manoeuvre was displayed, the bad driving performance was characterised by e.g. small distance to the vehicle ahead and crossing road markings. This driving sequence similarly ended with an overtaking manoeuvre. In a second step, the online study that was completed by  $N = 110$  subjects was conducted. The data of this survey was evaluated by means of a discriminant and explorative factor analysis. The discriminant analysis resulted in a total of 22 particularly distinctive items that altogether could distinguish well between a good and a bad driving performance. They were selected as items of the construct 'subjectively experienced driving performance' and were analysed factor-analytically. The result was one strong factor that could explain

81.1 % of overall variance. The completion of the second sub-work package comprised the derivation of the questionnaire methodology: The questionnaire itself consisted of 22 items of the construct, each assigned with a six-point Likert-scale, ranging from 'disagree' to 'agree'. For the analysis of the questionnaire, a formula was suggested that allowed the calculation of an overall scale value (range: 0 100).

The third sub-work package served for the identification of driving performance thresholds. Depending on the condition, thresholds between 0.4 and 0.9 m could be revealed. This means that, depending on specific personal and situational factors, drivers seem to accept a deviation of 0.4 to 0.9 m to the left that is, to the road centre. Weather conditions (sun vs. rain) as well as driving experience do not or only slightly seem to influence the drivers' judgment. However, the lateral deviation of potential oncoming traffic does seem to be essential. The greater this deviation to the middle of the road, the lower is the accepted threshold of one's own driving performance. Drivers' sensation seeking seems to moderate this effect, additionally. If the oncoming traffic has no deviation at all, high sensation seekers accept greater deviations concerning their own driving performance than low sensation seekers. As soon as the oncoming traffic does show an offset in the direction of the middle of the road, this distinction (low vs. high sensation seekers) is not significant anymore.

#### 3.2 Work Package 2

The second work package investigated the compensative driver strategies in takeover situations of automated driving (see question 2 of the problem definition). In general, the results of the study, including data of  $N = 64$  subjects, show that drivers increase their activity in non-driving related tasks during normal traffic of automated driving. Concerning the availability of compensative driver strategies in takeover situations from automated to driver-operated driving, it emerged that drivers are indeed able to reduce activity in the non-driving related task after a TOR and to align it to the level of non-automated driving. This reduction occurred fastest in the "TOR high" condition. Likewise, results showed that the driving performance after the takeover was better in the "TOR high" condition than in the other two system configuration conditions. To investigate whether a fast, i.e. strong

reduction of the non-driving related task after a TOR was related to a better driving performance after the takeover, correlation analyses were conducted. Here, a significant relation could only be revealed within the “TOR high” condition. All in all, the results indicate that only the high salient TOR suffices activating the compensative driver strategies and guaranteeing a safe driving performance.

Besides the analysis of the objective data, the subjective data was evaluated, too. As a check for comparability between the groups, the perception of the TOR was queried. It could be shown that the visual symbol as well as the acoustic signal were sufficiently perceived within all system configurations. Concerning the perception of a critical situation in the context of the narrow curve (that is, while automated driving during the takeover), the following conclusions could be drawn: The perception of a critical driving situation is highly dependent on the driving mode, the processing of non-driving related tasks and the TOR configuration. It appears that the curve was especially perceived as critical in automated driving in the “TOR no” condition. To investigate the relation between the other subjective questions and the objective data, further correlation analyses were conducted. They revealed that drivers’ sensation seeking rather does not seem to have a significant influence on the occurrence or the characteristic of the compensative driver strategies. However, there seems to be at least partly a connection between the driving performance after the takeover and the overall score of the questionnaire of a ‘subjectively experienced driving performance’, as well as a connection to the perception of re-gaining control.

#### **4 Implications for practice**

Based on the results of the work packages 1 and 2, implications for practice, that is, recommendations for the design of future automated driving systems can be derived (question 3 of the problem definition). The first work package served – besides the construct definition – for the identification of acceptance thresholds regarding lateral control. The results indicate that these thresholds strongly diverge depending on specific situational and personal parameters. Besides factors like sensation seeking that surely should be considered in system development, driving behaviour of other road users (here: of the oncoming traffic) seems to

be a crucial influencing factor. Regarding future automated systems, this could mean that the aspect of other road users’ driving behaviour inevitably has to be considered when programming driving trajectories. More than ever, the cooperative character of automated systems seems to play an important role. It seems necessary for vehicles to communicate with each other and to cooperatively align trajectories that are perceived as acceptable by all passengers. That means, if, for example, a vehicle on a two-lane road has to swerve to the middle of the road because of an obstacle, the oncoming vehicle should align its own trajectory immediately, so that neither a collision has to be expected nor the subjective acceptance threshold is overstepped. Besides the concrete planning of trajectories depending on specific situational and personal factors, the action relevance of driving performance thresholds, or rather, the overstepping of them should be investigated and considered in system development as a next step. The current research project leaves open in what way the overstepping of the driving performance threshold by an automated system implies not only possible comfort losses but also security relevance. Following studies like SCHWALM et al. (2015), it is possible that drivers intervene regulatory, for example by means of countersteering, as soon as they expect their driving performance threshold to be overstepped by the system. If this happened in a situation in which the driver, compared to the system, is not able to sufficiently handle the driving task, e.g. due to a lack of important context information or necessary skills, the risk of accidents is going to strongly increase.

Based on the simulator study of the second work package, the following suggestions regarding an advantageous system design in takeover situations can be derived: Following the results of the study, a TOR should be designed rather visual-acoustical than merely visual. Furthermore, a TOR should be rather high salient than low salient. This can firstly be justified since the high salient TOR supported driver strategies best and, secondly, since takeover situations of the pure visual TOR were most often rated as critical. The present study leaves open, in what way other modalities or different takeover intervals would allow a modified or better activation of the driver strategies. Likewise, it remains open, how takeover abilities could differ in other test scenarios or in case of other non-driving related tasks. This should be investigated in future studies.



Regarding the derivation of TOR design recommendations it can also be generally discussed whether it could be helpful for driving and system safety to develop guidelines or directives containing relevant criteria that should be considered in system development. Even though previous studies already provide important contributions to the design of systems (for example concerning takeover intervals), the recommendations are broadly diversified because of different underlying test scenarios. Here, a general guideline could be helpful. For example, time intervals in which a TOR should be presented to optimally support the compensative driver strategies could be defined. Besides the design of the TOR, a last aspect concerns the possibility of a 'direct' application of compensative driver strategies as a measure of takeover readiness. By means of a system-based evaluation, it could be determined whether drivers display the necessary behavioural adaptations in preparation of a takeover. If this is not the case, it has to be the system's task to abort the takeover and to initiate a risk-minimal manoeuvre.

## Inhalt

<b>1</b>	<b>Ausgangslage und generelle Zielsetzung des Projekts</b> . . . . .	11	2.2.2	Erstellung des Videomaterials	30
1.1	Bestehende Literatur zu Fahrerfähigkeiten im Rahmen des nicht-automatisierten, fahrgesteuerten Fahrens. . . . .	11	2.2.3	Manipulationscheck	32
1.2	Bestehende Modelle zum regulativen Fahrerverhalten . . . . .	12	2.2.4	Hauptstudie. . . . .	32
1.3	Neuerungen des automatisierten Fahrens. . . . .	15	2.2.5	Erstellung des Fragebogens zur Erfassung „subjektiv angemessen empfundener Fahrleistung“ . . . . .	36
1.4	Forschungsbedarf im Themenkomplex der kompensativen Fahrerstrategien im Hinblick auf das automatisierte Fahren . . . . .	16	2.3	Empirische Erfassung akzeptierter Fahrleistungsbereiche . . . . .	37
1.5	Bestehende Literatur zu subjektiver Fahrleistungsbewertung . . . . .	17	2.3.1	Methode . . . . .	37
1.5.1	Modelle und Erklärungsansätze zur subjektiven Fahrleistungsbewertung. . . . .	18	2.3.2	Stichprobe. . . . .	38
1.5.2	Potenzielle Einflussfaktoren der subjektiven Fahrleistungsbewertung. . . . .	20	2.3.3	Ergebnisse . . . . .	39
1.6	Bestehende Literatur zu Automations- einflüssen auf Fahrerverhalten. . . . .	21	2.3.4	Diskussion der Ergebnisse. . . . .	45
1.7	Ziel und Struktur des aktuellen Forschungsprojekts . . . . .	23	<b>3</b>	<b>Arbeitspaket 2 – Fokus hoch-automatisierte Fahrsituationen</b> . . . . .	46
<b>2</b>	<b>Arbeitspaket 1 – Fokus Fahrleistungsbewertung</b> . . . . .	24	3.1	Methode . . . . .	47
2.1	Generierung von Items zur Beschreibung des Konstrukts der „subjektiv angemessen empfundenen Fahrleistung“ . . . . .	24	3.1.1	Aufbau und Material . . . . .	47
2.1.1	Itemgenerierung mittels Literaturrecherche . . . . .	24	3.1.2	Randomisierung, Design und Ablauf . . . . .	50
2.1.2	Itemgenerierung mittels Online-Befragung . . . . .	25	3.2	Stichprobe. . . . .	52
2.1.3	Expert Card Sorting . . . . .	28	3.3	Ergebnisse . . . . .	52
2.2	Untersuchung der Faktorenstruktur des Konstrukts „subjektiv angemessen empfundene Fahrleistung“ und Ableitung eines objektiven Instruments zur Erfassung des Konstrukts. . . . .	28	3.3.1	Datenaufbereitung . . . . .	52
2.2.1	Experteninterview . . . . .	29	3.3.2	Wahrnehmung der Takeover Requests (TOR) und des Übernahmesymbols . . . . .	53
			3.3.3	Analyse der Effekte automatisierten Fahrens auf das Fahrerverhalten im Normalverkehr . . . . .	53
			3.3.4	Reduktion der Aktivität in der nicht fahrbezogenen Tätigkeit nach dem TOR. . . . .	54
			3.3.5	Analyse des Fahrverhaltens nach der Übernahme. . . . .	56
			3.3.6	Zusammenhang zwischen der Aktivität in der nicht fahrbezogenen Tätigkeit und Fahrleistung . . . . .	57
			3.3.7	Zusammenhang zwischen Objektiv- und Subjektivdaten . . . . .	57
			3.3.8	Zusammenhang der Objektivdaten mit dem Sensation Seeking . . . . .	58

3.3.9	Wahrnehmung kritischer Fahrsituationen . . . . .	59
3.4	Diskussion der Ergebnisse . . . . .	59
<b>4</b>	<b>Arbeitspaket 3 – Diskussion und Ableitung von Handlungsempfehlungen . . . . .</b>	<b>61</b>
4.1	Handlungsempfehlungen ausgehend von Arbeitspaket 1 . . . . .	61
4.2	Handlungsempfehlungen ausgehend von Arbeitspaket 2 . . . . .	63
<b>5</b>	<b>Literatur . . . . .</b>	<b>65</b>

## **Anhänge**

Die Anhänge zum Bericht sind im elektronischen BAST-Archiv ELBA unter:

<http://bast.opus.hbz-nrw.de> abrufbar.

## 1 Ausgangslage und generelle Zielsetzung des Projekts

Heutzutage gilt uneingeschränkte und individuell ausgerichtete Mobilität als wichtiges und unabdingbares Element der gesellschaftlichen Zufriedenheit. Sie erlaubt Menschen, ihre Ziele gemäß eigener Anforderungen und Bedürfnisse zu erreichen und trägt somit zur persönlichen Selbstverwirklichung bei. Folglich stellt das Führen eines Automobils für einen großen Teil der Menschen unseres Kulturkreises eine alltägliche, notwendige und selbstverständliche Tätigkeit dar.

Obwohl es Autofahrern zumeist gar nicht bewusst ist, erfordert die bloße Aufgabe der Fahrzeugführung durch ihre Vielfältigkeit (unter anderem Stabilisations- und Navigationsaufgaben sowie die zusätzliche Interaktion mit der hochkomplexen Verkehrsumwelt, siehe zum Beispiel DONGES, 1982 oder DONGES, 2015) ein hohes Maß an Aufmerksamkeit und ist somit bereits hochgradig anspruchsvoll. Nichtsdestotrotz beschäftigen sich Fahrer während mehr als der Hälfte ihrer Fahrzeit (54 %) mit weiteren, nicht immer zwingend fahrbezogenen Aufgaben (DINGUS et al., 2006). HUEMER und VOLLRATH (2012) bieten einen guten Überblick über die Aufgaben, die im Fahrkontext hauptsächlich auftreten. Im Rahmen einer Machbarkeitsstudie identifizierten sie neben diversen anderen Beschäftigungen auch Rauchen, Essen, Trinken und Interaktionen mit dem Beifahrer, zum Beispiel Gespräche, als häufige nicht fahrbezogene Aufgaben. Da die menschlichen Kognitionsressourcen begrenzt sind (KAHNEMAN, 1973) und deshalb eine überhöhte kognitive Belastung zu Fehlern – das heißt beim Autofahren zu Unfällen – führen kann, stellen diese zusätzlichen, nicht fahrbezogenen Aufgaben eindeutig ein potenzielles Sicherheitsrisiko dar. Unter dieser Prämisse ist es deshalb umso bemerkenswerter, dass gravierende Unfälle im Straßenverkehr statistisch gesehen trotzdem nur alle 3,8 Millionen gefahrene Kilometer auftreten (ADAC, 2012). Es ist also anzunehmen, dass Fahrer bestimmte Mechanismen oder Fähigkeiten besitzen, die es ihnen zumeist ermöglichen, auch in sicherheitskritischen Mehrfachfähigkeitssituationen eine sichere Fahrzeugführung zu gewährleisten und Unfälle zu vermeiden.

### 1.1 Bestehende Literatur zu Fahrerfähigkeiten im Rahmen des nicht-automatisierten, fahrgesteuerten Fahrens

Aufgrund der enormen Sicherheitsrelevanz dieses Phänomens existieren bereits diverse Studien, die sich empirisch dem Themenkomplex der Fahrerfähigkeiten und -mechanismen annähern. Ihr Fokus liegt auf der Untersuchung der Strategien, die Fahrer im nicht-automatisierten, das heißt fahrgesteuerten Fahren<sup>1</sup>, verwenden, um trotz der hohen Belastung durch zusätzliche, nicht fahrbezogene Aufgaben eine sichere Fahrleistung in kritischen Fahrsituationen garantieren zu können. Diesbezüglich konnten RAUCH, GRADENEGGER und KRÜGER (2009) bereits zeigen, dass die Initiierung zusätzlicher, nicht fahrbezogener Aufgaben scheinbar von der subjektiv erfahrenen Kritikalität einer Fahrsituation abhängt. Je gefährlicher eine Situation wahrgenommen wird, desto unwahrscheinlicher ist es, dass Fahrer sich mit nicht fahrbezogenen Aufgaben beschäftigen. Zu einem ähnlichen Schluss kamen PLATTEN, SCHWALM und KREMS (2011), PLATTEN, MILICIC, SCHWALM und KREMS (2013) sowie SCHWALM, KEINATH und ZIMMER (2008). Sie schlussfolgerten, dass Fahrer kontinuierlich die Situation überwachen und bei der Wahrnehmung einer kritischen beziehungsweise anspruchsvollen Fahrsituation die Bearbeitung von nicht fahrbezogenen Aufgaben reduzieren oder sie sogar vollständig unterbrechen beziehungsweise beenden. SCHWALM, VOß und LADWIG (2015) fanden heraus, dass Fahrer die Bearbeitung zusätzlicher, nicht fahrbezogener Aufgaben reduzieren, wenn sie erwarten, dass ihre Fahrleistung einen subjektiv kritischen Wert erreicht. Durch diese Anpassungen können sie der zusätzlichen Belastung durch die veränderte Verkehrssituation gerecht werden und den Workload auf einem angemessenen und sicheren Niveau halten. Aufgrund dieses regulativen beziehungsweise kompensativen Charakters in der Aufgabebearbeitung kann man die Gesamtheit dieses Fahrerhaltens zur Unfallvermeidung auch mit dem Begriff der „kompensativen Fahrerstrategien“ beschreiben.

<sup>1</sup> Die Begriffe „nicht-automatisiertes Fahren“ und „fahrgesteuertes Fahren“ werden im weiteren Verlauf des Berichts komplementär verwendet. Sie bezeichnen beide das Fahren im SAE Level 0 (s. SAE International, 2014)

## 1.2 Bestehende Modelle zum regulativen Fahrerverhalten

In der Literatur existieren diverse Ansätze und Modelle, die versuchen, regulative Fahrerverhaltensweisen zu erklären und zu konzeptualisieren. Als prominente Beispiele solcher Modelle lassen sich WILDES Ansatz der Risikohomöostase (1982), FULLERS task-capability interface (2005) oder das Framework zur calibration on skills von HORREY, LESCH, MITSOPOULOS-RUBENS und LEE (2015) nennen.

Ausgangspunkt von WILDES Theorie der Risikohomöostase (1982) ist der Versuch, ein Modell zur Erklärung von Unfallursachen zu konzeptualisieren (Bild 1). Gemäß diesem Modell schätzen Fahrer das wahrgenommene Risiko einer Situation ein, gleichen es mit dem Risiko, welches sie grundsätzlich bereit sind einzugehen, ab und passen hierauf ihr Verhalten an. Autofahren kann in diesem Sinne als ein homöostatischer Regulationsprozess verstanden werden, in dem versucht wird, Ist- und Sollwerte hinsichtlich des Unfallrisikos anzugleichen und Diskrepanzen zu vermeiden. Im Rahmen dieses Prozesses spielt neben Situations- und Nutzerfaktoren auch die Antizipation der Situationsentwicklung eine wichtige Rolle. Des Weiteren ist für WILDES Modell (1982) charakteristisch, dass der Risikozielwert die einzige von außen manipulierbare Größe ist. Outputgröße ist das Unfallrisiko, welches jedoch im Sinne eines closed-loop-Modells Einfluss auf die Risikowahrnehmung haben kann.

Eine andere Alternative zur Erklärung regulativen Fahrerverhaltens bietet FULLER (2005). Mit dem von ihm postulierten task-capability interface bietet er die Möglichkeit eines Modells, welches über den Zusammenhang zwischen Leistungsfähigkeit und

situativen Anforderungen die Kontrolle des Fahrers über die bestehende Fahrsituation beschreibt (Bild 2). FULLER (2005) beschreibt dabei die Leistungsfähigkeit als ein Potenzial, welches aus biologischen Eigenschaften wie beispielsweise Reaktionsfähigkeit, Verarbeitungsfähigkeit und -geschwindigkeit sowie anderen Faktoren wie Training oder Erfahrung des Fahrers zusammengesetzt ist. Dieses Potenzial kann allerdings durch Komponenten wie Einstellung, Motivation und Müdigkeit negativ beeinflusst werden. Die situativen Anforderungen werden durch eine Vielzahl von Faktoren definiert: Zum einen haben Umweltfaktoren (zum Beispiel Sicht, Straßenqualität und -verlauf), andere Verkehrsteilnehmer und die Bedienungseigenschaften des Fahrzeugs einen maßgeblichen Einfluss auf die Anforderungshöhe. Zum anderen existieren Anforderungen, welche der Fahrer beeinflussen kann. Hierzu zählen die Fahrzeugtrajektorie und -geschwindigkeit, aber auch strategische Entscheidungen wie die Routenplanung oder die Wahl des Reisezeitpunkts. Wie WILDE (1982) geht auch FULLER (2005) davon aus, dass Fahrer das Ziel einer Homöostase anstreben. Konträr zu WILDE ist hier jedoch nicht das Risiko die relevante Zielgröße sondern die Aufgabenschwierigkeit. Nach FULLER (2005) ist die Aufgabenschwierigkeit umgekehrt proportional zur Differenz zwischen der Leistungsfähigkeit und den situativen Anforderungen: Liegt die Leistungsfähigkeit über den Anforderungen, so ist dies in der Einschätzung des Fahrers eine einfache Aufgabe. Liegen die Anforderungen hingegen in der Höhe der Leistungsfähigkeit, kann die Aufgabe als schwierig bezeichnet werden. Überschreiten die Anforderungen gar die Leistungsfähigkeit, ist damit zu rechnen, dass die Aufgabe zu schwierig ist und der Fahrer daran scheitert. Im Kontext der Spurführung würde dies bedeuten, dass poten-

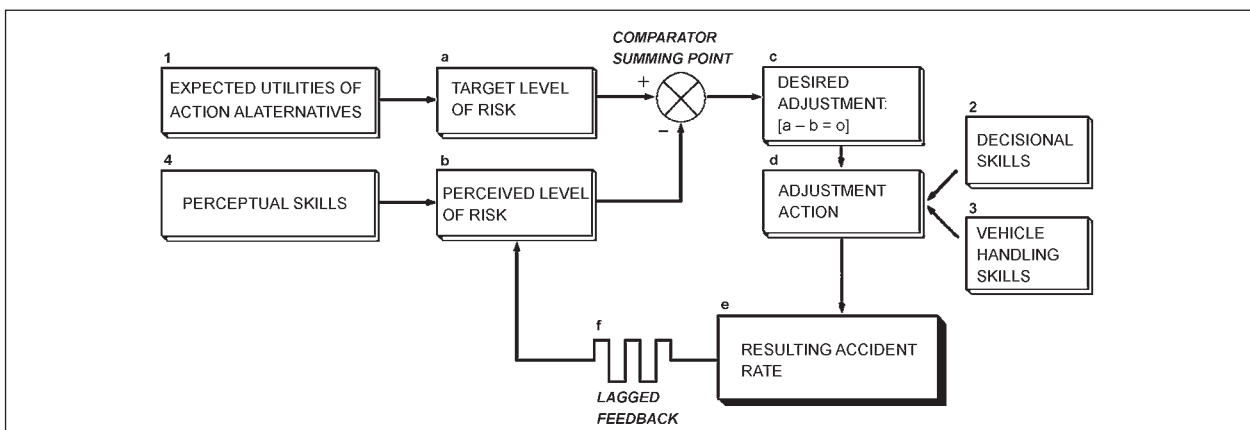


Bild 1: Modell der Risikohomöostase nach WILDE (1982, S. 212)

ziell mit dem Abkommen von der Spur oder gar einer Kollision zu rechnen ist. Um dies zu vermeiden und einen sicheren Zielwert in der Aufgabenschwierigkeit zu erreichen, diskutiert FULLER (2005) die Möglichkeit der Regulation von Umwelt- und Nutzerfaktoren.

Das Framework zur calibration on skills nach HORREY et al. (2015) weist einige Parallelen zum Modell nach FULLER (2005) auf (Bild 3). Auch hier

werden die selbstregulatorischen Verhaltensanpassungen in einer sich verändernden Fahrsituation beschrieben und verschiedene Einflussfaktoren (Situations- und Nutzerfaktoren) auf das Fahrerverhalten erläutert. Es wird ebenfalls ein Abgleich zwischen Anforderungen und der Leistungsfähigkeit postuliert. Nach HORREY et al. (2015) findet eine „Kalibrierung“, das heißt eine subjektive Einschätzung, beider Größen statt. In Abhängigkeit dieses Urteils entscheidet sich der Fahrer für bestimmte,

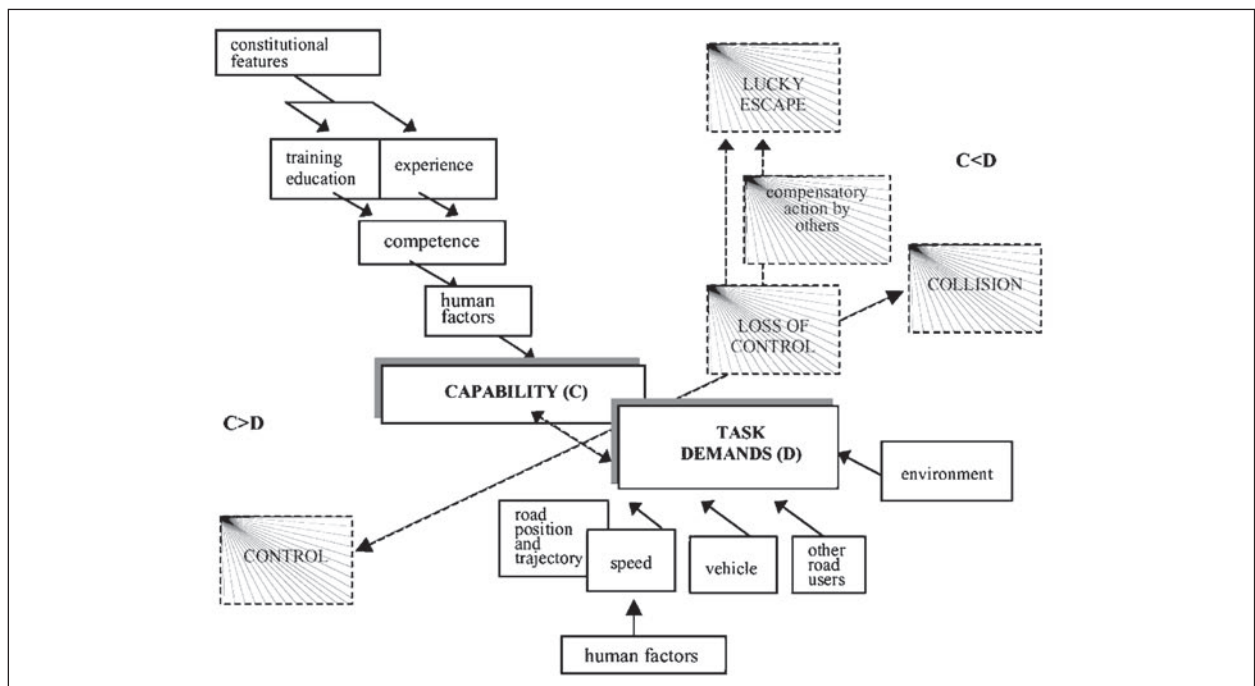


Bild 2: Task-capability interface nach FULLER (2005, S. 465)

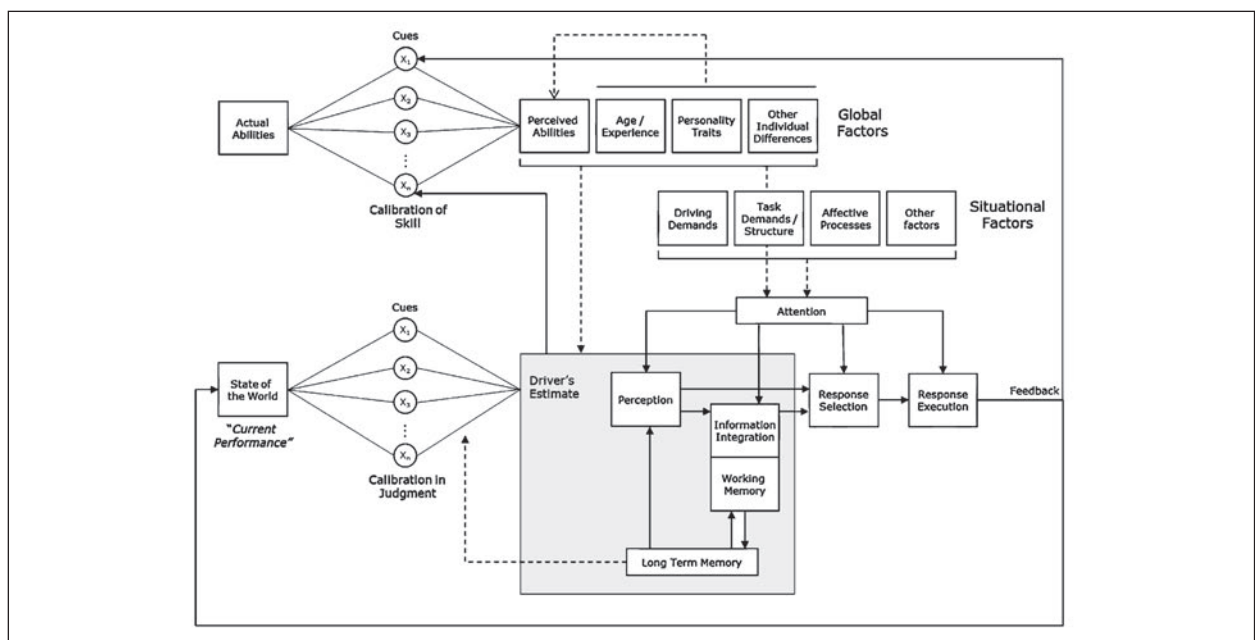


Bild 3: Framework zur 'calibration on skills' nach HORREY et al. (2015, S. 28)

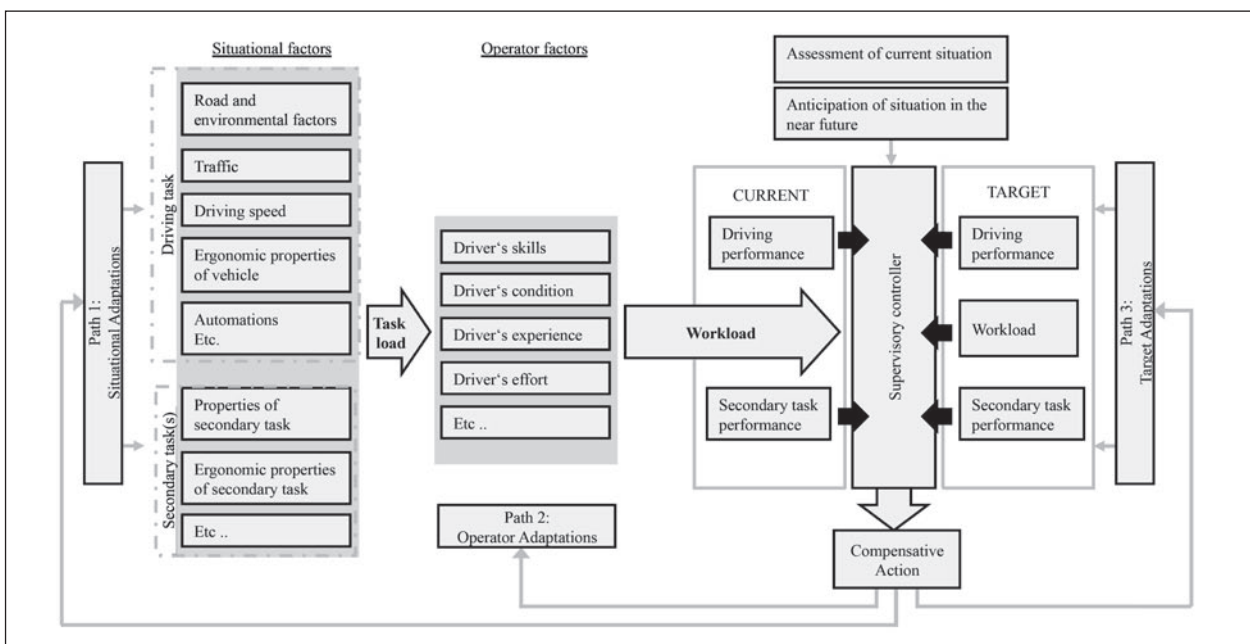
auf die Fahraufgabe bezogene Handlungen. Dabei ist anzunehmen, dass nur „gut kalibrierte“ Fahrer, das heißt Fahrer, die ihre Fähigkeiten und die Situation adäquat einschätzen können, die der Situation angemessenen Handlungen auswählen und ausführen.

Obwohl sich anhand dieser drei Modelle bereits eine Vielzahl von selbstregulatorischen Fähigkeiten erklären lässt, existieren diverse Schwachpunkte in diesen Erklärungsansätzen. So fokussieren sie sich ausschließlich auf die reine Fahraufgabe und diskutieren nur unzureichend die Rolle und Konsequenzen möglicher zusätzlicher, nicht fahrbezogener Aufgaben. Des Weiteren enthalten diese Erklärungsansätze nicht das scheinbar relevante Konstrukt des Workloads. Ein dritter Nachteil besteht in der Tatsache, dass die einzelnen Modelle jeweils ausschließlich eine Variante kompensativer Fahrerstrategien beinhalten. Beispielsweise fokussieren sich WILDE (1982) und FULLER (2005) insbesondere auf Anpassungen in der Fahraufgabe – zum Beispiel Geschwindigkeitsreduktionen – als möglichen Adaptationsmechanismus. Keines der Modelle strebt einen ganzheitlichen Erklärungsansatz an, der die verschiedenen kompensativen Strategien miteinander verbindet.

In einem relativ neuen Arbeitsmodell versuchen SCHWALM, VOß und LADWIG (2015) sich diesen Schwierigkeiten anzunehmen und einen solchen ganzheitlichen Ansatz zu bieten, der sowohl Fahr-

aufgabe als auch zusätzliche, nicht fahrbezogene Aufgaben sowie das zentrale Workload-Konstrukt enthält (Bild 4). Dieses Arbeitsmodell soll im aktuellen Forschungsprojekt vorrangig zur Untersuchung und Diskussion der kompensativen Fahrerstrategien im Kontext des automatisierten Fahrens zu Rate gezogen werden. Gemäß diesem Erklärungsansatz lässt sich eine Fahrsituation durch sogenannte Situationsfaktoren (situational factors) beschreiben. Diese sind zum einen Eigenschaften der Fahraufgabe (zum Beispiel Ergonomie des Fahrzeugs, Straßenbedingungen, Geschwindigkeit). Zum anderen sind die Eigenschaften zusätzlicher, nicht fahrbezogener Aufgaben (die im Arbeitsmodell von SCHWALM et al. als „Secondary Tasks“ bezeichnet werden) ein wichtiger Teil der Fahrsituation (zum Beispiel Unterbrechbarkeit der zusätzlichen Aufgabe). Gemeinsam konstituieren die verschiedenen Situationsfaktoren den Task load, der, moderiert über diverse Nutzerfaktoren wie Erfahrung, Zustand und Motivation, in einen subjektiv erlebten Workload resultiert.

Eines der wichtigsten Elemente des Arbeitsmodells ist der sogenannte Supervisory Controller. Mittels einer Evaluation der aktuellen Situation und der Antizipation der Situationsentwicklung wird an dieser Stelle ein Vergleich von Ist- und Soll-Werten in der Fahraufgabe, der nicht fahrbezogenen Aufgabe sowie dem Workload vorgenommen. Die Soll- oder auch Zielwerte sind dabei als Richtwerte zu verstehen, die idealerweise erreicht werden sollten, damit



**Bild 4:** Arbeitsmodell nach SCHWALM et al. (2015) und VOß & SCHWALM (2015, S. 262)

fahrerseitige Komfort- und Sicherheitsbedürfnisse erfüllt werden. Für die Fahraufgabe wäre dies beispielsweise ein minimaler Fahrleistungswert, der nicht unterschritten werden sollte. Sofern der Supervisory Controller dennoch Diskrepanzen zwischen einem Ist- und dem Soll-Wert in einer der drei Größen (Fahraufgabe, nicht fahrbezogene Aufgabe und Workload) detektiert oder erwartet, besteht die Modellannahme, dass er zur Wiederherstellung des Gleichgewichts kompensative Maßnahmen einleitet. Hierzu existieren drei proaktive Handlungsmöglichkeiten (Pfade): Erstens sind funktionale Anpassungen in der Situation denkbar (zum Beispiel Reduktion der Geschwindigkeit oder der Bearbeitung der nicht fahrbezogenen Aufgabe). Zweitens lassen sich die Nutzerfaktoren beeinflussen (zum Beispiel Erhöhung der aufgewendeten Anstrengungen). Drittens sind Anpassungen in den Zielwerten denkbar (zum Beispiel Herabsetzen des Zielwerts in der nicht fahrbezogenen Aufgabe).

Je nach Situation ist es möglich, dass einer der drei Pfade realistischer als die anderen erscheint. Beispielsweise ist es nicht zu erwarten, dass Autofahrer ihre Geschwindigkeit reduzieren, wenn sie unter Zeitdruck stehen. Ein anderes Beispiel wäre eine Situation, in der Fahrer bereits stark beansprucht sind. Hier ist es unwahrscheinlich, dass der zweite Pfad zum Tragen kommt und die Anstrengungen weiter erhöht werden. Entweder ist diese Erhöhung der Anstrengungen stark aversiv oder gar nicht möglich, da bereits alle verfügbaren Ressourcen genutzt werden. Oftmals stellt deshalb die Regulation der Zielwerte (Pfad 3) eine annehmbare und realistische Alternative dar. Dabei ist anzunehmen, dass die Fahraufgabe aufgrund ihrer Sicherheitsrelevanz als wichtigste Aufgabe wahrgenommen wird. Dem Erreichen des Zielwerts in dieser kann aus diesem Grund deutliche Priorität zugesprochen werden. Reduktionen beziehungsweise Kompensationen in der Bearbeitungsaktivität sind deshalb vor allem in den nicht fahrbezogenen Aufgaben zu erwarten. Das aktuelle Forschungsvorhaben fokussiert sich im Rahmen der Diskussion der kompensativen Fahrerstrategien aus diesem Grund im weiteren Verlauf explizit auf die folgenden zwei Elemente des Arbeitsmodells: Ein handlungsrelevanter Zielwert in der Fahrleistung sowie die Regulation der nicht fahrbezogenen Aufgabe als wahrscheinliche Maßnahme im Rahmen der kompensativen Fahrerstrategien.

### 1.3 Neuerungen des automatisierten Fahrens

Im Zuge des stetigen technologischen Fortschritts in der Automobilbranche fand in den vergangenen Jahren eine starke Entwicklung vom fahrgesteuerten Fahren in Richtung des automatisierten Fahrens statt. Es wurden und werden weiterhin Systeme entwickelt, die in der Lage sind in einem bestimmten Maße die Fahraufgabe hinsichtlich der Längs- und Querregelung zu übernehmen und die Fahrumgebung dabei zu überwachen.

Zur besseren Differenzierung verschiedener Systeme wurden Nomenklaturen entwickelt, die Systeme hinsichtlich der folgenden Hauptcharakteristika kategorisieren: Die Ausführung von Längs- und Querregelung, die Umgebungsüberwachung, die Rückfallebene im Falle kritischer Fahrsituationen und der Systemumfang (das heißt, welche Anwendungsfälle abgedeckt werden). Bild 5 bietet eine Übersicht der Automatisierungslevel nach SAE (SAE International, 2014) und BAST (GASSER, 2012). Gemäß diesen Klassifizierungen wird der Grad der Automatisierung in vier bzw. fünf verschiedene Level (Stufen) unterteilt. Die erste Stufe stellt die „Driver Assistance“ oder das „assistierte Fahren“ dar. Hierbei wird Längs- oder Querführung des Fahrzeugs von der Automatisierung übernommen, wohingegen der Fahrer alle übrigen Aufgaben der Fahraufgabe bewältigt. In der zweiten Stufe, der „Partial Automation“ bzw. dem „teilautomatisierten Fahren“, werden Längs- und Querführung von der Automatisierung übernommen; alle übrigen Aspekte der Fahraufgabe obliegen jedoch weiterhin dem Fahrer. In der dritten Stufe, der „Conditional Automation“ bzw. dem „hochautomatisierten Fahren“, überwacht die Automatisierung zusätzlich die Umgebung. Dem Fahrer ist es erlaubt, zusätzliche nicht fahrbezogene Aufgaben auszuführen. In kritischen Situationen, die vom automatisierten System nicht gelöst werden können, wird der Fahrer vom System mit ausreichender Zeitreserve zu einer Übernahme aufgefordert. In der vierten Stufe, der „High Automation“ oder dem „vollautomatisierten Fahren“, wird der Fahrer nicht mehr als Rückfallebene benötigt und das Fahrzeug kann im spezifischen Anwendungsfall ohne einen (übernahmefähigen) Fahrer fahren. Darüber hinaus wird durch die SAE eine weitere, fünfte Stufe „Full Automation“ definiert, die die vierte Stufe auf die gesamte Fahrt, d. h. alle Anwendungsfälle, ausdehnt. Außerdem existiert eine „Stufe Null“, welche das Fahren ohne



	Level 0	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 5
Englische Bezeichnung nach SAE J3016	No Automation	Driver Assistance	Partial Automation	Conditional Automation	High Automation	Full Automation
Deutsche Bezeichnung nach BAST/VDA	Driver Only	Assistiert	Teil Automatisiert	Hoch Automatisiert	Voll Automatisiert	-
Ausführung von Längs- und Querführung	Fahrer	Fahrer und System	System	System	System	System
Überwachung der Umgebung	Fahrer	Fahrer	Fahrer	System	System	System
Finale Rückfallsituation in dynamischen Fahrsituationen	Fahrer	Fahrer	Fahrer	Fahrer	System	System
Systemumfang	-	Spezifische Anwendung	Spezifische Anwendung	Spezifische Anwendung	Spezifische Anwendung	Gesamte Fahrt
Beispielsystem	-	Adaptive Cruise Control, Lane Keeping Assist	Stauassistent	Stau-Chauffeur	Parkhaus Pilot	Roboter-Taxi

**Bild 5:** Einordnung der Automationsgrade (entnommen und angepasst aus ECKSTEIN, 2014)

jegliche Automatisierung, das heißt das fahrer-gesteuerte Fahren zusammenfasst (ECKSTEIN, 2014).

Diese Konzeptionierung des automatisierten Fahrens führt im SAE Level 3 (SAE International, 2014) dazu, dass dem Fahrer im Normalverkehr des automatisierten Fahrens die direkte Zuständigkeit der Fahrzeugführung abgenommen wird. Solange die Automation aktiv ist, steht es ihm frei, sich mit anderen, nicht fahrbezogenen Aufgaben zu beschäftigen. Im Grunde lässt sich also sagen, dass sich beim automatisierten Fahren die Priorisierung zwischen den Aufgaben verschiebt. Die bisher als Primäraufgabe zu verstehende Fahraufgabe verliert ihre prominente Rolle und tauscht diese mit den nicht fahrbezogenen Aufgaben, die im automatisierten Fahren im kognitiven Fokus des Fahrers stehen. Durch diese veränderte Priorisierung und Verschiebung des kognitiven Fokus entsteht eine der größten Sicherheitsproblematiken des automatisierten Fahrens bezogen auf das SAE Level 3. Zwar ist der Fahrer im Regelfall nicht mehr für die Fahrzeugführung zuständig; er muss jedoch im Falle kritischer Situationen, in denen die Automation aufgrund ihrer Systemgrenzen deaktiviert wird, als Rückfallebene zur Verfügung stehen (SAE International, 2014). Solche Situationen könnten unter anderem beispielsweise ein unerwartet auftretendes Hindernis, das Wegfallen von für die Automatisierung erforderlicher Fahrbahnmarkierung oder

auch eine Streckenführung, die für die Sensorik eines automatisierten Systems nicht antizipierbar ist, sein. Dieses Erforderlichwerden der Rückübernahme der Fahraufgabe hat eine hohe Relevanz im Rahmen der Diskussion kompensativer Fahrerstrategien. Dies soll im folgenden Kapitel näher erläutert werden.

#### 1.4 Forschungsbedarf im Themenkomplex der kompensativen Fahrerstrategien im Hinblick auf das automatisierte Fahren

Wie zuvor dargelegt, ist es Fahrern im SAE Level 3 erlaubt, sich mit nicht fahrbezogenen Aufgaben zu beschäftigen, obwohl sie im Zweifelsfall als Rückfallebene benötigt werden. Es ist anzunehmen, dass die kompensativen Fahrerstrategien eine notwendige Fähigkeit darstellen, um anspruchsvolle Fahrsituationen (das heißt auch eine Übernahme-situation) erfolgreich lösen zu können. Während angenommen werden kann, dass der Fahrer im nicht-automatisierten, fahrgesteuerten Fahren kontinuierlich auf seine kompensativen Fahrerstrategien zurückgreifen kann (SCHWALM et al., 2015), bleibt es offen, welche Rolle die kompensativen Fahrerstrategien im Kontext automatisierter Fahrfunktionen spielen. Bisher wurden die kompensativen Fahrerstrategien – wie oben berichtet – nach bestem Wissen der Autoren insbesondere im Kon-

text des fahrgesteuerten Fahrens untersucht. Die Neuerungen hinsichtlich des automatisierten Fahrens wurden jedoch in empirischen Studien zu Fahrerstrategien bislang nicht berücksichtigt. Infolgedessen ergeben sich einige interessante Fragestellungen, die aufgrund ihrer Komfort- und Sicherheitsrelevanz untersucht werden sollen:

Wie das Arbeitsmodell von SCHWALM et al. (2015) postuliert, sind die Ist- und Sollwerte in der Fahrleistung enorm wichtige und handlungsrelevante Elemente. Damit neuartige automatisierte Fahrfunktionen eine hohe Nutzerakzeptanz genießen können, scheint es schlüssig, automatisierten Systemen eine solche Fahrleistung zugrunde zu legen, die fahrerseitigen Ansprüchen, insbesondere dem Soll-Wert (d. h. einer Komfortzone) in der Fahrleistung, entspricht. Als Fragestellung formuliert bedeutet dies:

Wie müssen Trajektorien automatisierter Systeme konfiguriert und implementiert sein, damit sie den Ansprüchen und Erwartungen potenzieller Nutzer entsprechen und diese im Zweifelsfall nicht regulativ eingreifen?

Neben dieser Fragestellung, die eher auf die Konfiguration objektiver Parameter (hier der Fahrtrajektorie) abzielt, gibt es einen weiteren, stark sicherheitsrelevanten Aspekt. Es ist zu klären, ob und in welchem Ausmaß Fahrern die kompensativen Strategien in kritischen Situationen des automatisierten Fahrens zur Verfügung stehen. Im Kontext des automatisierten Fahrens (SAE Level 3) bedeutet eine kritische Fahrsituation nämlich im Regelfall, dass Fahrer die Fahraufgabe wieder übernehmen müssen. Zu klären ist, inwiefern Fahrer in der Lage sind, sichere Übernahmen zwischen automatisiertem und nicht-automatisiertem Fahren zu garantieren. Möglich wäre, dass durch den während der automatisierten Fahrt verschobenen Aufmerksamkeitsfokus auf die zusätzlichen, nicht fahrbezogenen Aufgaben die Situationswahrnehmung und -antizipation eingeschränkt sind und der Ist-Soll-Abgleich somit beeinträchtigt wird. Notwendige regulative beziehungsweise kompensative Verhaltensanpassungen (zum Beispiel eine spontane Reduktion nicht fahrbezogener Aufgaben) könnten hierdurch inhibiert werden. Zusammengefasst lautet eine konkrete Fragestellung hierzu:

Stehen Fahrern ihre Strategien auch im automatisierten Fahren ad hoc zur Verfügung, sodass sie in kritischen Fahrsituationen, in denen sie die Fahrzeugführung übernehmen müssen, eine sichere Fahrt garantieren können?

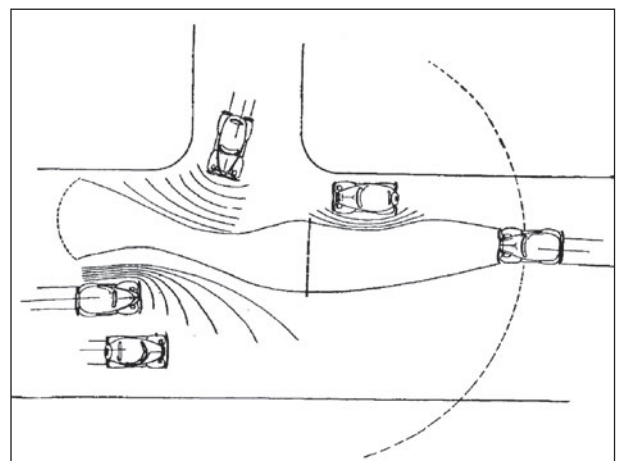
Anhand von Ergebnissen hinsichtlich dieser beiden Fragestellungen scheint es im Rahmen des Möglichen, Gestaltungs- beziehungsweise Konfigurationsempfehlungen für zukünftige automatisierte Systeme abzuleiten. Eine dritte relevante Fragestellung lautet deshalb:

Wie sollten automatisierte Fahrfunktionen und -systeme gestaltet sein, damit sie Fahrer optimal in ihren Strategien unterstützen können?

Nachfolgend sollen bestehende Arbeiten aus der Literatur dargestellt werden, die bei der Beantwortung dieser Fragestellungen von Relevanz sein könnten. Zuerst soll bestehende Literatur zur subjektiven Fahrleistungsbewertung diskutiert werden. Ein weiteres Kapitel legt die bestehenden Erkenntnisse hinsichtlich des Automationseinflusses auf das Fahrerverhalten dar.

## 1.5 Bestehende Literatur zu subjektiver Fahrleistungsbewertung

Die Idee akzeptierter Fahrleistungsbereiche beziehungsweise akzeptierter Trajektorien wird schon seit einer Vielzahl von Jahren diskutiert. Bereits GIBSON und CROOKS (1938) thematisierten sogenannte „fields of safe travel“, welche sämtliche möglichen sicheren Pfade eines Fahrzeugs darstellen (Bild 6). Dieses Konstrukt bezieht sich allerdings weniger auf das Subjektivempfinden von Fahrern, sondern ist vielmehr die objektive Beschreibung des Raumes, in dem ein Fahrzeug sicher geführt werden kann. Andere Ansätze, die diese Ideen von GIBSON und CROOKS (1938) aufgriffen und ebenfalls versuchten sichere Fahrbereiche anhand



**Bild 6:** Fields of safe travel nach GIBSON und CROOKS (1938, S. 455)

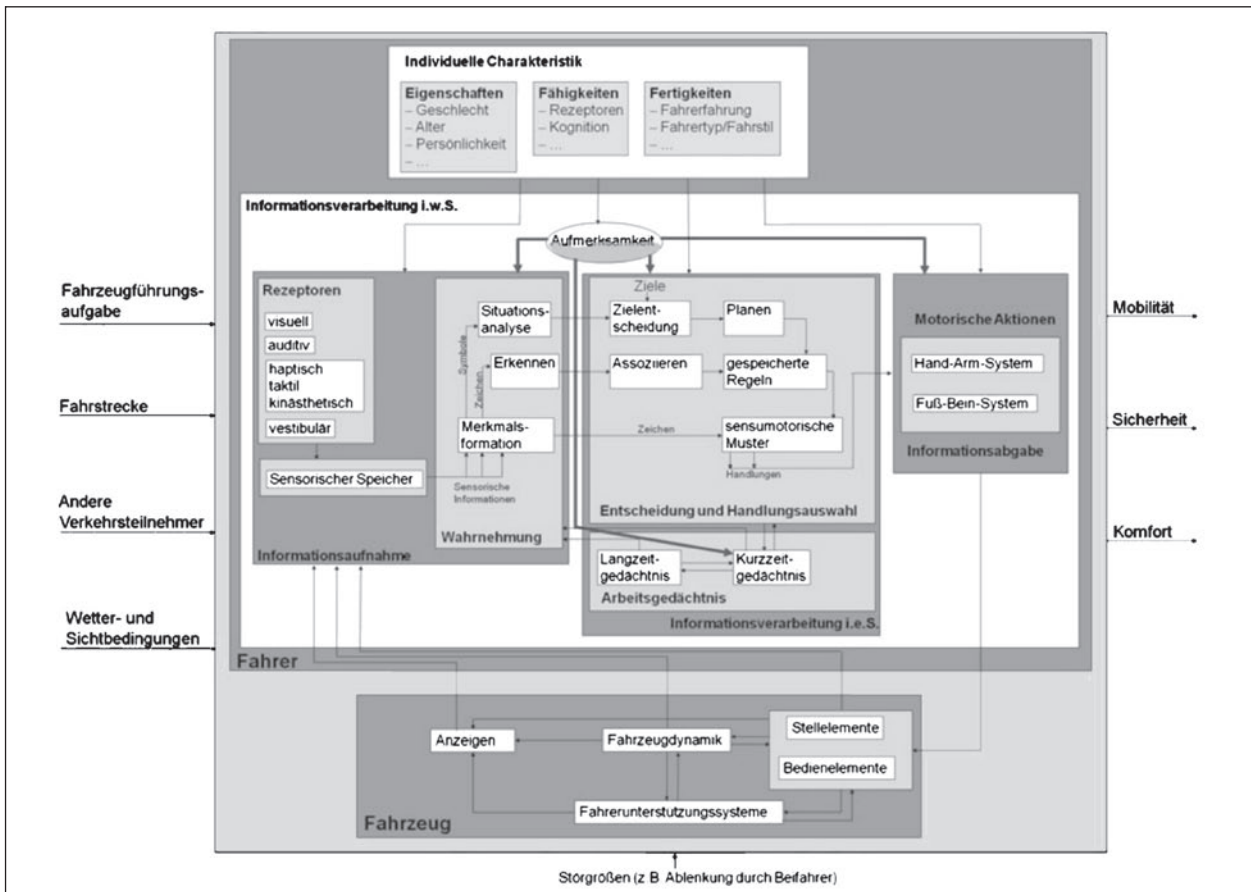
technischer Parameter zu bestimmen sind KONTARATOS (1974) und OHTA (1993, in TEH, JAMSON, CARSTEN & JAMSON, 2014).

Nach bestem Wissen der Autoren wurde die Bestimmung solcher Bereiche beziehungsweise Trajektorien, basierend auf nutzerseitigen Subjektivurteilen, nur unzureichend untersucht. Dies scheint – wie oben diskutiert – insbesondere im Hinblick auf automatisierte Systeme essenziell zu sein. Es existieren allerdings diverse Ansätze und Modelle, die sich grundsätzlich mit dem subjektiven Fahrerleben befassen.

**1.5.1 Modelle und Erklärungsansätze zur subjektiven Fahrleistungsbewertung**

Ein eher allgemeiner Ansatz, welcher sich auf basale Informationsverarbeitungsprozesse (WICKENS & CARSWELL, 2006) beruft, ist der von ABENDROTH (2001), in (ABENDROTH & BRUDER, 2012). Ihr Modell umfasst drei fahrerseitige Verarbeitungsstufen: Die Informationsaufnahme, die Informationsverarbeitung sowie die Informationsabgabe (Bild 7). Der Stufe der Informationsaufnahme werden dabei

alle Wahrnehmungsprozesse zugeordnet, die für das Entdecken und Erkennen von Informationen relevant sind. Anschließend wird auf der Stufe der Informationsverarbeitung entschieden, welche dieser Umweltreize nach gespeicherten Regeln zu einer Handlung führen oder ignoriert werden. Dieser Entscheidungsprozess ist stark von der individuellen Charakteristik des Fahrers, wie dessen Geschlecht, Fahrerfahrung etc., abhängig. Auf der dritten Stufe, der Informationsabgabe, werden die getroffenen Entscheidungen in motorische Aktionen umgesetzt. Diese abgegebenen Reaktionen wirken sich wiederum auf das Fahrzeug aus, beispielsweise durch Änderungen in der Fahrdynamik. Diese Veränderungen werden dann in einer Schleifenreaktion wieder auf der ersten Verarbeitungsstufe wahrgenommen und anschließend erneut bewertet. Wie schon von WICKENS und CARSWELL (2006) grundlegend postuliert, stehen dem Fahrer im Rahmen dieses Prozesses nur beschränkte Ressourcen zur Verfügung. So wird in ABENDROTHS Modell (2001, in ABENDROTH & BRUDER, 2012) die Effizienz der drei Stufen der Informationsverarbeitung von der zur Verfügung stehenden Aufmerksamkeit beeinflusst. Folglich



**Bild 7:** Modell zur fahrerseitigen Informationsverarbeitung (ABENDROTH, 2001; in: ABENDROTH & BRUDER, 2012, S. 5)

nimmt der Fahrer nicht alles bewusst wahr, kann jedoch über die bewusste Zuwendung von Aufmerksamkeit die Effizienz der Verarbeitungsstufen beeinflussen.

Die Idee einer subjektiv akzeptierten Fahrleistung beziehungsweise einer Trajektorie, welche der Fahrer gegebenenfalls durch Verhaltensadaptionen versucht, aufrechtzuerhalten, ließe sich wie folgt in dieses Modell eingliedern: Fahrer bewerten, moderiert durch individuelle Merkmale, ihre Fahrleistung in Bezug auf Komfort und Sicherheit und entscheiden sich nachfolgend auf Grundlage dessen für oder gegen eine Handlung beziehungsweise Handlungsanpassung.

Der Ansatz von ABENDROTH (2001); in (ABENDROTH & BRUDER, 2012) erlaubt es also, die Idee der subjektiven Fahrleistungsbewertung in einen elementaren kognitiven Rahmen einzubetten. Er ermöglicht jedoch noch keine Ableitung der relevanten Parameter, anhand derer diese Bewertung stattfindet. Die Klärung dieser offenen Frage wird in anderen Arbeiten angestrebt, von denen drei zentrale Herangehensweisen (zwei rein psychologische und eine interdisziplinäre) im Folgenden dargestellt werden sollen.

Zunächst soll die Situation des Fahrens nach DICK (2001, 2002) vorgestellt werden. In seinem Modell wird die allgemeine Fahrerfahrung in den psychologischen Hauptdimensionen Raum (Begrenzung vs. Freiraum) und Zeit (Wechsel vs. Kontinuität) repräsentiert (Bild 8). Dieses Modell berücksichtigt überdies subjektive Rahmenbedingungen und erklärt mithilfe dieser die Bandbreite an Stimmungsvariationen während des Fahrens. Dementsprechend sind die Stimmungen Störung, Anregung, Routine und Entspannung an den entsprechenden Stellen zwischen den Hauptdimensionen verortet. Insgesamt erlaubt dieses Modell, Fahr Situationen einem Raster an subjektiven Bewertungsdimensionen (Hauptdimensionen und Stimmungen) zuzuordnen. In Bild 8 sind innerhalb des Kreises beispielhafte typische Situationen für die jeweiligen Stimmungen aufgeführt.

Ein weiteres rein psychologisches Konstrukt ist das Modell von ENGELBRECHT, ENGELN & ARNDT (2009), welches das Erleben von Fahrspaß und Komfort darstellt (Bild 9). Ziel des Modells ist es, für spezifische Nutzerguppen fahrspaßfördernde sowie -reduzierende Tätigkeiten zu identifizieren. Diese könnten Fahrern in Nutzungssituationen gezielt bereitgestellt werden, um so den Komfort

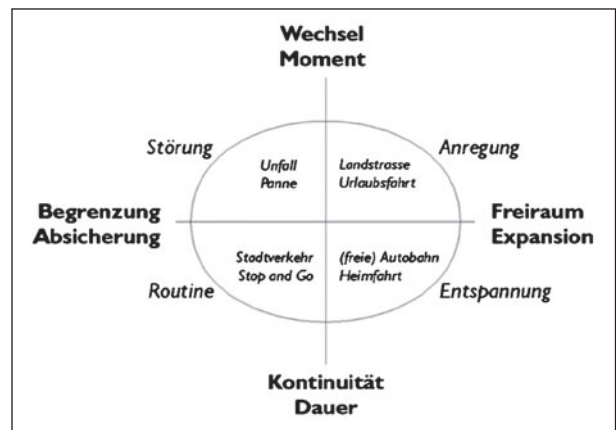


Bild 8: Das Empfinden von Raum und Zeit – Hauptdimensionen des Fahrerlebens nach DICK (2002, S. 7)

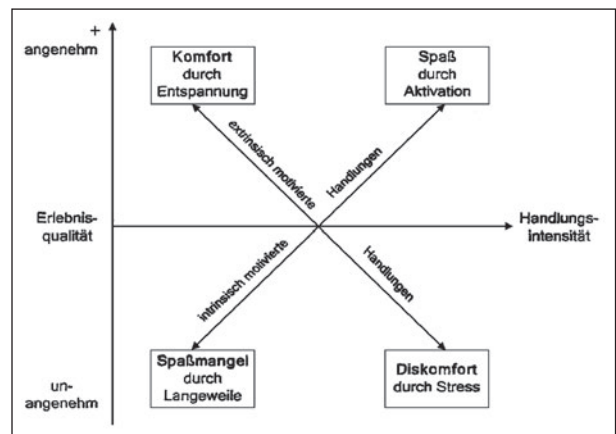
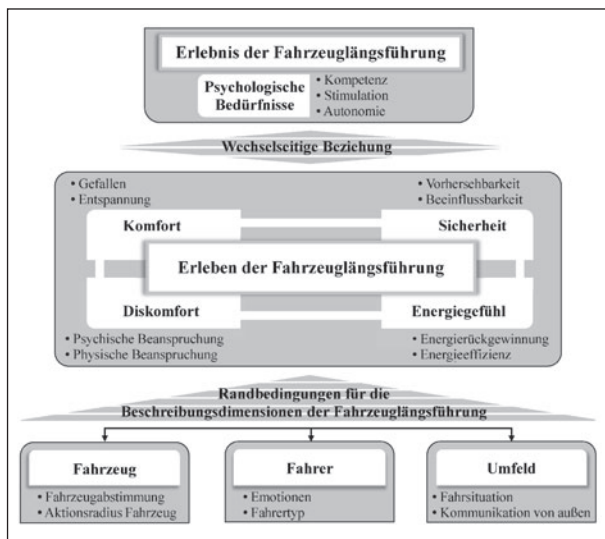


Bild 9: Joy and Convenience in activities Modell von ENGELBRECHT et al. (2009, S. 262)

sowie die subjektive Bewertung der Fahrt zu verbessern. Dafür wurden die Konstrukte „Fahrspaß durch Aktivierung“, „Fahrspaßmangel durch Langeweile“, „Komfort durch Entspannung“ sowie „Diskomfort durch Stress“ erarbeitet. Sowohl die Dimensionen Spaß und Spaßmangel als auch die Dimensionen Komfort und Diskomfort stellen hierbei Gegenpole dar. Die Autoren postulieren, dass eine Fahrleistung als subjektiv gut bewertet wird, wenn durch eine hohe Erlebnisqualität und eine geringe Handlungsintensität während der Fahrt Komfort durch Entspannung entsteht.

EBERL (2014) verfolgt mit seinem Modell des Fahrerlebens der Fahrzeuglängsführung (Bild 10) im Gegensatz zu DICK (2001) und ENGELBRECHT et al. (2009) keinen rein psychologischen, sondern einen interdisziplinären Ansatz. In diesem berücksichtigt er die Erkenntnisse von DICK (2001), ENGELBRECHT et al. (2009) und TISCHLER und RENNER (2007). Jedoch bemängelt EBERL



**Bild 10:** Modell des Erlebens der Fahrzeuglängsführung von EBERL (2014, S. 36)

(2014), dass bisherige Modelle keine allgemeine Definition und Modellvorstellung zur Fahrleistungsbewertung liefern konnten, da sie jeweils unterschiedliche Ziele verfolgen. So sei der untersuchte Komfort bereits mehrfach modelliert, jedoch nie genau definiert worden und bleibe somit ein diffuser Begriff. EBERL (2014) ermittelte daher in einer Literaturrecherche erste Erlebnisdimensionen. Diese erweiterte er im Anschluss durch die Inputs von Expertenworkshops und einer explorativen Befragung. Daraus resultieren schlussendlich vier Erlebnisdimensionen: Komfort (Gefallen und Entspannung), Diskomfort (psychische und physische Beanspruchung), Sicherheit (Vorhersehbarkeit und Beeinflussbarkeit) und Energiegefühl (Energiezurückgewinnung und Energieeffizienz). Die Dimension Energiegefühl ergibt sich daraus, dass EBERL (2014) in seiner Untersuchung des Fahrerlebens die Bedienung von Elektrofahrzeugen als Schwerpunkt setzte. Darüber hinaus definierte EBERL (2014) verschiedene situative Rahmenbedingungen (Fahrzeug, Fahrer und Umfeld), die das Fahrerleben beeinflussen können.

Neben diesen drei beispielhaft dargestellten Modellen gibt es noch weitere Ansätze, welche sich mit der Thematik des Fahrerlebens beschäftigen (siehe Tabelle 1). Wie in diesem Kapitel ersichtlich wird, existieren bereits eine Vielzahl von Ansätzen und Modellen, die versuchen das subjektive Fahrerleben zu konzeptualisieren. Diese liefern bereits wichtige Beiträge zum Ziel der Bestimmung von subjektiv akzeptierten Trajektorien. Allerdings gibt es einige Aspekte, die von ihnen nicht beachtet werden. So beziehen sich die meisten nur auf die

Forschungsarbeit	Erlebnisdimension
Physiologische Simulation des Bremsverhaltens von Fahrzeugführern (GREZIK, 2009)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zurechtkommen</li> <li>• Kontrollierbarkeit</li> <li>• Sicherheit</li> <li>• Komfort</li> <li>• Akzeptanz</li> </ul>
Enhancement of Driver Anticipation and Its Implications on Efficiency and Safety (POPIV, 2012)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Unterstützung</li> <li>• Gefallen</li> <li>• Energieeffizienz</li> <li>• Komfort</li> <li>• Sicherheit</li> <li>• Bevormundung</li> </ul>
Ansatz zur Messung von positive Fahr-Erleben (TISCHLER & RENNER, 2007)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Komfort</li> <li>• Rückmeldung</li> <li>• Längsdynamik</li> <li>• Handlungsfreiheit</li> <li>• Kontrollierbarkeit</li> </ul>
Analytische und experimentelle Untersuchung der Mensch-Maschine-Schnittstelle von Pkw-Bremsanlagen (TRUTSCHEL, 2007)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Komfort</li> <li>• Sicherheit</li> </ul>
The MINI E field study (VILIMEK, KEINATH & SCHWALM, 2012)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sicherheit</li> <li>• Reichweite</li> <li>• Energieeffizienz</li> <li>• Gefallen</li> <li>• Stimulation</li> <li>• Kompetenz</li> <li>• Pedalbetätigungsverhalten</li> </ul>
Bewertungsverfahren von Fahrerassistenzsystemen (WINNER, 2012)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Komfort</li> <li>• Sicherheit</li> <li>• Erwartungskonformität</li> </ul>

**Tab. 1:** Ansätze zur Strukturierung des Fahrerlebens bezüglich der Fahrzeuglängsführung (entnommen und angepasst aus EBERL, 2014, S. 32)

Längsführung des Fahrzeuges und lassen Aspekte der Querführung außer Acht. Diese sind aber vor allem in Bezug auf die Entwicklung automatisierter Fahrsysteme höchst relevant und nicht zu vernachlässigen. Ferner fehlt bisher die Messmethodik, mit welcher man die verschiedenen Dimensionen des Fahrerlebens reliabel und valide erfassen könnte. Dies ist jedoch unabdingbar für eine anwendungsorientierte Diskussion des Konstrukts.

### 1.5.2 Potenzielle Einflussfaktoren der subjektiven Fahrleistungsbewertung

Neben der theoretischen Konzeptualisierung des subjektiven Fahrerlebens, scheint die Variabilität des subjektiven Fahrerlebens ein weiterer wichtiger Punkt zu sein. Aufgrund der Komplexität und Viel-

schichtigkeit von Fahrsituationen erscheint es schlüssig, dass das subjektive Fahrerleben durch verschiedene Situations- und Personenfaktoren beeinflusst werden kann. Eine Fahrleistung, die in einer Situation als akzeptabel bewertet wird, könnte unter anderen äußeren Bedingungen als nicht akzeptabel bewertet werden. Hierzu gibt es nach bestem Wissen der Autoren bis dato wenig empirische Literatur. Allerdings scheint es schlüssig, dass Faktoren, die den Fahrer oder die Fahrleistung auf anderer Ebene beeinflussen, auch das subjektive Fahrerleben moderieren könnten.

So konstatiert beispielsweise SCHIEßL (2008), dass mit erhöhtem Verkehrsaufkommen auch die Belastung des Fahrers steigt, da er weniger Handlungsmöglichkeiten beziehungsweise Bewegungsspielraum hat. TEH, JAMSON, CARSTEN und JAMSON (2014) bezeichnen dies als „boxed-in-effect“. Aufgrund der schwerwiegenden Konsequenzen eines Zusammenstoßes mit einem entgegenkommenden im Vergleich zu einem in dieselbe Richtung fahrenden Fahrzeug kann davon ausgegangen werden, dass der Gegenverkehr eine deutlich stärkere Einschränkung der Bewegungsfreiheit des Fahrers darstellt als der mitfließende Verkehr. Folglich lässt sich vermuten, dass der Gegenverkehr auch mehr Einfluss auf die subjektive Fahrleistungsbewertung hat und in empirischen Studien bezüglich der Beschaffenheit der Komfortzone des Fahrers bevorzugt untersucht werden sollte.

Wetterverhältnisse finden in der Fahrforschung eine immense Beachtung (zum Beispiel AUFRAY, AUDIN, MONSERE & BERTINI, 2008; ZULHAIDI, HAFZI, ROHAYU, WONG & FARHAN, 2010). Dabei besteht weitgehend Einigkeit darüber, dass Regen von allen Wetterbedingungen den stärksten Einfluss auf die Fahrleistung hat (zum Beispiel ASHLEY, STRADER, DZIUBLA & HABERLIE, 2015; HAUTIÈRE, DUMONT, BRÉMOND & LEDOUX, 2009). Dies trifft zwar statistisch gesehen auch zu (Statistisches Bundesamt, 2016), allerdings wird hier auch deutlich, dass Wetterbedingungen insgesamt im Vergleich zu anderen unfallverursachenden Faktoren nur eine untergeordnete Rolle spielen. DINGUS et al. (2006) belegten dies in einer groß angelegten Feldstudie. Übertragen auf den vorliegenden Kontext dürfte der Faktor Wetter also angesichts dieser niedrigen Unfallrate allenfalls marginalen Einfluss auf die subjektive Fahrleistungsbewertung haben.

Neben situativen Faktoren ist auch der Einfluss von Personenfaktoren auf das subjektive Fahrerleben

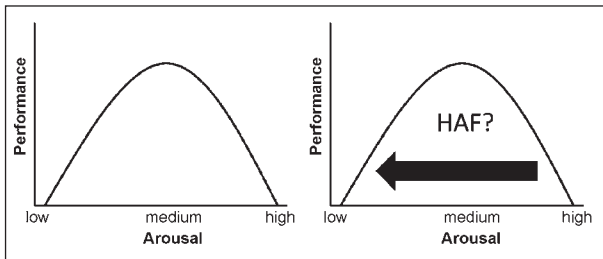
zu diskutieren. Laut dem Statistischen Bundesamt (2016) stellen die jungen Erwachsenen in Bezug auf die Involvierung in tödlich endende Unfälle die gefährdetste Gruppe dar. Auch in der Forschung gibt es eine Reihe von Autoren, welche die Bedeutung von Fahrerfahrung betonen (zum Beispiel KONSTANTOPOULOS, CHAPMAN & CRUNDALL, 2010; MUELLER & TRICK, 2012; YOUNG, REGAN & HAMMER, 2007). Neben der Fahrerfahrung werden in der Literatur weitere Personenfaktoren diskutiert. Unter ihnen ist auch das Sensation Seeking zu finden. Es wird vielfach in Zusammenhang mit einem riskanten Fahrstil gebracht (ARTHUR & GRAZIANO, 1996; HEINO, 1996; HORVATH & ZUCKERMAN, 1993; IVERSEN & RUNDMO, 2002; JONAH, 1997; JONAH, THIESSEN & AU-YEUNG, 2001; OLTEDAL & RUNDMO, 2006; YAGIL, 2001).

Es lässt sich also festhalten, dass es einige Situations- und Personenfaktoren gibt, die möglicherweise die subjektive Fahrleistungsbewertung und somit die Akzeptanzschwellen in der Fahrleistung beeinflussen. Die Überprüfung dieser potenziellen Einflüsse steht allerdings noch aus.

## 1.6 Bestehende Literatur zu Automationseinflüssen auf Fahrerverhalten

Wie für den Themenkomplex der subjektiven Fahrleistungsbewertung gibt es bereits auch eine gewisse Bandbreite an Literatur, die sich mit dem Einfluss der Automation auf das Fahrerverhalten beschäftigt. Bis vollautonome Systeme über die gesamte Fahrzeit das Fahrzeug eigenständig steuern können, muss der Fahrer – wie bereits erwähnt – als Rückfallebene fungieren, sobald die automatisierte Fahrfunktion an die Systemgrenzen stößt (SAE Level 3; SAE International, 2014). Aus diesem Grund liegt der Fokus aktueller Automationsforschung auf dem Übernahmeverhalten, den kurz- und langfristigen Änderungen im Fahrerverhalten sowie den Auswirkungen von Automationseffekten (RADLMAYR & BENGLER, 2015).

Ein Aspekt, der grundsätzlich im Rahmen von menschlichem Verhalten diskutiert wird, ist das Erregungslevel (arousal). TEIGEN (1994) beispielsweise postuliert, dass Menschen eine optimale Leistungsfähigkeit bei einem mittleren Arousallevel besitzen. Ein zu hohes oder zu niedriges Arousallevel führt zu einer verringerten Leistungsfähigkeit. TEIGEN (1994) greift in seiner Arbeit auf das



**Bild 11:** Einfluss des hochautomatisierten Fahrens auf das menschliche Arousallevel (RADLMAYR & BENGLER, 2015, S. 14)

Yerkes-Dodson-Law (YERKES & DODSON, 1908) zurück. Es erscheint realistisch, dass eine automatisierte Fahrfunktion Einfluss auf dieses Konstrukt hat. RADLMAYR und BENGLER (2015) vermuten, dass hochautomatisiertes Fahren das Arousallevel verringert, d. h. einen kognitiven Underload hervorruft (Bild 11). Potenzielle Leistungseinbußen wären die Konsequenz.

Gemäß dem Arbeitsmodell von SCHWALM et al. (2015) wäre zu vermuten, dass Fahrer versuchen, diesen durch die Automation hervorgerufenen Underload zu vermeiden. Dies könnte beispielsweise darüber geschehen, dass Fahrer die Zielwerte und die Aktivität zusätzlicher, nicht fahrbezogener Aufgaben (Pfad 1 und 3) heraufsetzen. Somit würden der Task und Workload sowie in Konsequenz das Arousallevel erhöht. In diversen Studien konnte tatsächlich bereits gezeigt werden, dass Fahrer während aktiver Automation die Bearbeitungsaktivität einer zusätzlichen, nicht fahrbezogenen Aufgabe erhöhen (zum Beispiel GRIFFITHS & GILLESPIE, 2005; MERAT, JAMSON, LAI & CARSTEN, 2012; LLANERAS, SALINGER & GREEN, 2013). In der Studie von LLANERAS et al. (2013) konnte darüber hinaus gezeigt werden, dass Fahrer unter Verwendung eines SAE Level 2 Systems – im Vergleich zu einer Fahrt mit einem SAE Level 1 System – öfter von der Straße wegblicken und sich die Bearbeitungsfrequenz nicht fahrbezogener Aufgaben erhöht.

In diesem Zusammenhang ist es möglich, dass die erhöhte Fokussierung auf eine nicht fahrbezogene Aufgabe Auswirkungen auf die Aufmerksamkeit des Fahrers haben kann. Im Rahmen einer empirischen Studie konnte bereits der Nachweis geliefert werden, dass es nach ca. 20 bis 30 Minuten automatisierter Fahrt zur Abnahme der Vigilanz kommen kann (WARM, DEMBER & HANCOCK, 1996). Dies könnte bedeuten, dass Fahrer nach einer bestimmten Zeit im automatisierten Fahren selten auftre-

tende Reize (zum Beispiel ein Warnschild oder einen die Straße kreuzenden Passanten) schlecht detektieren. Dies wirft erneut die Frage der Verfügbarkeit kompensativer Fahrerstrategien beziehungsweise des genauen Fahrerverhaltens im Rahmen von Übernahme-situationen des automatisierten Fahrens auf. Wie SCHWALM et al. (2015) postulieren, ist für diesen Prozess die Wahrnehmung und Antizipation der Fahraufgabe wichtig. In diesem Zusammenhang beschreiben ENDSLEY und KIRIS (1995) sowie KABER und ENDSLEY (1997) das sogenannte „Out-of-the-loop-performance“-Problem. Dieses Konzept postuliert, dass die Verwendung eines automatisierten Systems zu einem verringerten Situationsbewusstsein führt und infolgedessen eine geringere Leistungsfähigkeit des Fahrers, bezogen auf die Fahraufgabe, bewirkt.

Aufgrund dieses potenziellen Sicherheitsrisikos – hervorgerufen durch eine eingeschränkte Situationswahrnehmung und -antizipation – beschäftigen sich viele empirische Studien mit dem Einfluss verschiedener Konfigurationen einer Übernahmeaufforderung auf das Fahrerverhalten in Übernahme-situationen. Es wird unter anderem untersucht, inwiefern verschiedene Übernahmeaufforderungen in der Lage sind, den Fahrer in den Loop der Fahraufgabe zurückzuholen. Hierbei stehen zumeist die Salienz der Übernahmeaufforderung und das Intervall zwischen Übernahmeaufforderung und Übernahme selbst im Vordergrund. Es sollen bezüglich dieser Thematik nun einige repräsentative Studien vorgestellt werden. Dabei ist anzumerken, dass die Vergleichbarkeit zwischen den Studien nicht immer gewährleistet werden kann, da sich die Test-szenarien jeweils unterschieden (RADLMAYR & BENGLER 2015). Dies bedeutet, dass es schwierig ist, ausgehend von diesen Studien grundsätzliche und allgemeingültige Gestaltungsempfehlungen für automatisierte Systeme abzuleiten.

In einer Studie des hochautomatisierten Fahrens von GOLD, DAMBÖCK, LORENZ und BENGLER (2013) im dynamischen Fahrsimulator wurde beispielsweise untersucht, wie sich die Variation des Übernahmintervalls auf die Qualität der fahrerseitigen Entscheidungsfindung und Reaktion auswirkt. Um eine Ablenkungsquelle von der Fahraufgabe zu erzeugen, wurden die Probanden gebeten, eine zusätzliche, nicht fahrbezogene Aufgabe (Surrogate Reference Task) auszuführen. Die Ergebnisanalysen fokussierten sich auf die Übernahmeleistung hinsichtlich der Fahraufgabe. Die Aktivität in der nicht fahrbezogenen Aufgabe wurde

nicht ausgewertet. Es konnte gezeigt werden, dass im Vergleich zu einem längeren Intervall (sieben Sekunden) ein kürzeres (fünf Sekunden) zwar zu einer schnelleren Entscheidungsfindung und Reaktion führt, die Qualität der Übernahme jedoch schlechter ist.

Eine weitere Untersuchung von PETERMANN-STOCK, HACKENBERG, MUHR und MERGL (2013) beschäftigte sich mit den benötigten Übernahmeintervallen für unterschiedliche Arten zusätzlicher, nicht fahrbezogener Aufgaben. Die Ergebnisse lieferten den Nachweis, dass sich die Reaktionszeiten – und somit das erforderliche Intervall – bei der Bearbeitung einer hoch beanspruchenden, zusätzlichen, nicht fahrbezogenen Aufgabe verlängern. Eine der wichtigsten Schlussfolgerungen aus der Studie ist, dass ein Übernahmeintervall von zehn Sekunden im Normalfall auch bei starker Ablenkung von der Fahraufgabe ausreichend sein sollte, um eine sichere Übernahme gewährleisten zu können.

NAUJOKS, MAI und NEUKRUM (2014) führten eine empirische Studie im dynamischen Fahrsimulator durch. Die Probanden durchliefen diverse Autobahnscenarien, wobei sie zusätzlich eine nicht fahrbezogene Aufgabe ausführen mussten. NAUJOKS et al. (2014) untersuchten die Unterschiede zwischen einer rein visuellen und einer akustisch-visuellen Übernahmeaufforderung. Als abhängige Variable wählten sie die Hands-On-Time und die laterale Fahrzeugkontrolle aus. Die Ergebnisse der Simulatorstudie zeigten, dass die kombinierte Übernahmeaufforderung, die eine höhere Salienz im Vergleich zu einem rein visuellen Signal besitzt, einen positiven Effekt auf die besagten objektiven Parameter hat.

Diese und andere bestehende Literatur gibt zwar erste Anhaltspunkte für die Untersuchung der kompensativen Fahrerstrategien im automatisierten Fahren, kann die oben genannte Fragestellung jedoch nicht erschöpfend beantworten. Wie dargestellt, fokussieren sich die Studien zumeist auf Automationseffekte im Allgemeinen und den Vergleich verschiedener Übernahmeaufforderungen hinsichtlich ihrer Eignung, den Fahrer in den Loop der Fahraufgabe zurückzuholen. Die kompensative Regulation nicht fahrbezogener Aufgaben wird nach bestem Wissen der Autoren nicht thematisiert.

## 1.7 Ziel und Struktur des aktuellen Forschungsprojekts

Wie im Kapitel zum Forschungsbedarf beschrieben, gibt es einige Fragestellungen, die hinsichtlich der kompensativen Fahrerstrategien im automatisierten Fahren beantwortet werden sollten. Die vorangegangenen zwei Kapitel zu bestender Literatur leisten bereits wichtige Informationen zur Beantwortung dieser offenen Punkte. Allerdings reichen die hieraus gewonnenen Erkenntnisse nicht aus, die Fragestellungen umfassend und erschöpfend zu beantworten.

Ziel des aktuellen Forschungsprojekts FE 82.0614/2014 „Bedeutung kompensativer Fahrerstrategien im Kontext automatisierter Fahrfunktionen“ war es deshalb, die Beantwortung der Fragestellung weiter voranzutreiben. Zur Erreichung dieser Zielsetzung wurden drei Arbeitspakete formuliert, die jeweils eine der Fragestellungen thematisierten. Im ersten Arbeitspaket lag der Fokus auf dem Themenkomplex der subjektiven Fahrleistungsbewertung sowie der Zielwertbestimmung innerhalb dieser. Basierend auf den zuvor beschriebenen Vorarbeiten sollte die subjektive Fahrleistungsbewertung mittels eines Konstrukts, das nachfolgend als „subjektiv angemessen empfundene Fahrleistung“ bezeichnet ist, konzeptualisiert werden. Eine wichtige Anforderung an das Konstrukt ist, dass es sowohl für die Längs- als auch für die Querführung anwendbar ist. Darüber hinaus sollte eine Messmethodik zur Erfassung des Konstrukts entwickelt werden. Anhand dieser Methodik sollten dann in einem dritten Schritt konkrete Ziel- beziehungsweise Schwellenwerte einer subjektiv akzeptierten Fahrleistung definiert werden. Das zweite Arbeitspaket untersuchte die Auswirkungen des automatisierten Fahrens auf die Existenz und Ausprägung der kompensativen Fahrerstrategien mit dem Fokus der Bearbeitungsreduktion nicht fahrbezogener Aufgaben. In diesem Rahmen war zu überprüfen, inwiefern es einen Zusammenhang zwischen der potenziellen Nichtverfügbarkeit der Strategien und der tatsächlichen Fahrleistung gibt und ob das Systemdesign die Aktivierung der Strategien unterstützen kann. Das abschließende dritte Arbeitspaket sollte der Diskussion der Ergebnisse sowie der Ableitung von Handlungsempfehlungen im Rahmen der Gestaltung und Bewertung von automatisierten Assistenzsystemen dienen. Nachfolgend wird jedes der Arbeitspakete detailliert beschrieben. Zur Konkretisierung der zuvor aufgestellten Fragestellungen wurden in jedem Arbeitspaket zuerst Forschungsfragen bezie-



hungsweise Hypothesen abgeleitet. Diese werden jeweils zu Beginn der relevanten (Unter-)kapitel beschrieben. Darauf folgend werden die zur Untersuchung der Forschungsfragen und Hypothesen verwendeten Methoden beschrieben. Es folgt die Darstellung und kritische Betrachtung der erlangten Ergebnisse.

## 2 Arbeitspaket 1 – Fokus Fahrleistungsbewertung

Wie zuvor beschrieben, scheint es der Fall zu sein, dass Fahrer ihre Fahrleistung kontinuierlich überwachen, bewerten und versuchen, den aktuellen Ist-Wert an einen sicheren und komfortablen Soll-Wert der Fahrleistung – das heißt an eine „subjektiv angemessen empfundene Fahrleistung“ – anzunähern (siehe zum Beispiel SCHWALM et al., 2015). Mit dem Ziel, automatisierte Fahrfunktionen an nutzerseitige Bedürfnisse, das heißt an einen Zielwert in der Fahrleistung, anzupassen, ist es in einem ersten Schritt von Relevanz zu verstehen, auf welchen Attributen und Faktoren das Konstrukt einer „subjektiv angemessen empfundenen Fahrleistung“ beruht. Darüber hinaus muss es ermöglicht werden, die subjektive Fahrleistungsbewertung objektiv messbar zu machen, damit Zielwerte einer „subjektiv angemessen empfundenen Fahrleistung“ exakt empirisch bestimmt werden können. Ein letzter Schritt umfasst die konkrete Zielwertbestimmung in der Fahrleistung. Die genannten Ziele lassen sich in folgende Forschungsfragen zusammenfassen:

1. Anhand welcher Attribute und Faktoren lässt sich das Konstrukt „subjektiv angemessen empfundene Fahrleistung“ beschreiben?
2. Wie lässt sich das Konstrukt „subjektiv angemessen empfundene Fahrleistung“ valide erfassen?
3. Wie ist eine akzeptierte Fahrleistung beziehungsweise ein Bereich akzeptierter Fahrleistungen (eine Komfortzone) für ausgewählte Situationen gestaltet?

Zur Beantwortung dieser Forschungsfragen wurde im Rahmen des ersten Arbeitspakets das folgende Vorgehen gewählt: Zur Beschreibung des Konstrukts „subjektiv angemessen empfundene Fahrleistung“ wurde eine initiale Literaturrecherche mit einer abgeschlossenen empirischen Studie durchgeführt. Basierend auf den Ergebnissen dieser zwei Ele-

mente wurde ein objektives Fragebogeninstrument entwickelt und anschließend empirisch validiert. Ein dritter Schritt sah vor, das Verfahren einer Fahrleistungsziel-Bestimmung empirisch in ausgewählten Fahrsituationen anzuwenden und konkrete Schwellenwerte akzeptierter Trajektorien zu bestimmen.

Hierbei sei nochmals anzumerken, dass sich das Konstrukt der „subjektiv angemessen empfundenen Fahrleistung“ sowohl auf die Längs- als auch auf die Querregelung beziehen kann und soll. Eine gezeigte Fahrleistung kann in beiden Richtungen als gut oder schlecht bewertet werden. Dies muss sowohl in der Konstruktbeschreibung als auch bei der Fragebogenerstellung beachtet werden.

### 2.1 Generierung von Items zur Beschreibung des Konstrukts der „subjektiv angemessen empfundene Fahrleistung“

Im Rahmen von Diskussionen hinsichtlich des Konstrukts „subjektiv angemessen empfundene Fahrleistung“ gilt es, in einem ersten Schritt ein genaues Verständnis über relevante, das Konstrukt beschreibende Attribute und Faktoren zu erlangen. Hierzu erfolgte im ersten Arbeitspaket die Sammlung von beschreibenden Attributen anhand einer Literaturrecherche sowie einer Online-Befragung. Eine Fokussierung und Eingrenzung auf die relevantesten Begrifflichkeiten wurde mit einem abgeschlossenen Expert Card Sorting (SPENCER & GARRETT, 2009) angestoßen.

#### 2.1.1 Itemgenerierung mittels Literaturrecherche

Zum Aufbau eines Bestandes an Begriffen, der zur Operationalisierung des Konstrukts „subjektiv angemessen empfundene Fahrleistung“ verwendet werden kann, wurden zwei Wege der Itemgenerierung genutzt. Im ersten Schritt wurde nationale sowie internationale Literatur zur subjektiven Wahrnehmung und Bewertung von Fahrleistungen und verwandten Konstrukten gesichtet und ausgewertet. Die Methode und Ergebnisse dieser Begriffssuche sollen nun spezifiziert werden.

#### Methode

Da nach bestem Wissen der Autoren bislang keine Arbeiten existieren, die das Konstrukt „subjektiv angemessen empfundene Fahrleistung“ vollständig



hierfür lässt sich anführen, dass durch die Literaturrecherche nur eine Reproduktion vorhandener Begriffe, die ähnliche Konstrukte wie das der „subjektiv angemessen empfundenen Fahrleistung“ beschreiben, erfolgte. Da zum eigentlichen Konstrukt bislang keine Definition bekannt ist, barg dieses Vorgehen jedoch die Gefahr, dass potenzielle Items des Konstrukts ausgelassen werden könnten, die nicht in der bestehenden Literatur zu ähnlichen Konstrukten vorhanden sind. Ziel der Online-Befragung war es deshalb, potenzielle Items zu identifizieren, die explizit die Bewertung der Fahrleistung betreffen. Die Methode und Ergebnisse dieser Erhebung werden nachfolgend beschrieben.

### Methode

Zur Befragung der Autofahrer wurde eine Online-Umfrage mit dem Online-Umfragetool SurveyMonkey® (FINLEY & FINLEY, 2015) erstellt. In dieser wurden Teilnehmern zwei 30-sekündige Videos von Fahrsituationen mit guter beziehungsweise schlechter Fahrleistung dargeboten (Innersubjekt-Faktor „Güte der Fahrleistung“). Aufgabe der Probanden war es anschließend, den Unterschied zwischen diesen Fahrleistungen mit eigenen Worten zu beschreiben. Dabei wurden die Probanden instruiert, sich vorzustellen, sie selber seien der Fahrer in der gezeigten Situation. Zusätzlich wurden sie gebeten, so spontan wie möglich ihren subjektiven Eindruck zu beschreiben (siehe Bild 13). Die eingebetteten Videos konnten von den Teilnehmern eigenständig abgespielt und beliebig oft wiederholt werden.

Die Videos wurden mit der Silab Software Version 4.0 (WIVW GmbH, Veitshöchheim, Deutschland) erstellt. Zur Operationalisierung wurde ein im Vorhinein ika-seitig entwickeltes Java Tool verwendet, mit dem Fahrverläufe aus der Egoperspektive erstellt werden können. Mit diesem Tool ist es möglich, bestimmte Parameter der Längs- und Querregelung sowie ausgewählte Umgebungsvariablen reproduzierbar zu manipulieren. In den Videos der Studie wurden die Parameter folgendermaßen festgesetzt: Die Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeugs betrug in allen Videos konstant 80 km/h; die statische Spurabweichung lag in den Videos bei null. Das simulierte Ego-Fahrzeug fuhr also bei einer gleichmäßigen Geschwindigkeit mittig auf der Straße. Der Eindruck von guter beziehungsweise schlechter Fahrleistung wurde ausschließlich über die Simulation von lateralem Schwingungsverhalten des Fahrzeugs erzeugt. In beiden Ausprägungen

des Faktors Fahrleistungsgüte (das heißt sowohl in der „guten“ als auch in der „schlechten“ Fahrt) schwang das Fahrzeug mit einer Amplitude von 30 cm und einer Periodendauer von 40 Sekunden quer zur Fahrtrichtung. Hiermit sollte eine gewisse Unregelmäßigkeit – und somit ein eher natürliches Fahrverhalten – sichergestellt werden. Neben dieser Grundschiwingung wurde eine zusätzliche zweite Schwingung appliziert, die über die erste Schwingung gelegt wurde. In der Bedingung der schlechten Fahrleistung hatte diese zweite Schwingung eine Amplitude von 60 cm und eine Periodendauer von 5 Sekunden. Bei guter Fahrleistung hatte diese zweite Schwingung eine Amplitude von 10 cm und eine Periodendauer von 30 Sekunden. Die Manipulation der Querregelung wurde auch in der Darstellung der guten Fahrleistung gewählt, da auch hier ein gewisses, wenn auch deutlich geringeres, Schwingungsverhalten gemäß einer realistischen menschlichen Fahrleistung zu erwarten ist.

Die Videokonfiguration beinhaltete keinen mittelfließenden Verkehr, jedoch aber entgegenkommende Kleinwagen im Videoverlauf. Um eine größere

Umfrage zur Bewertung von Fahrleistung

3/4 75%

Nachfolgend sehen Sie zwei Videosequenzen einer identischen Fahrsituation. Dabei werden in den beiden Videos unterschiedliche Fahrleistungen gezeigt. Stellen Sie sich vor, Sie wären in beiden Videos der Fahrer gewesen.

Worin unterscheidet sich das gezeigte Fahrverhalten der beiden Videos Ihrer Meinung nach? Mit welchen Begriffen könnte der Unterschied am besten beschrieben werden?

Bitte nennen Sie dazu mindestens fünf Begriffe, die Ihnen als Erstes einfallen.

Denken Sie bei der Beantwortung nochmals bitte daran, es geht um Ihren subjektiven Eindruck und nicht um die Beschreibung technischer Parameter. Es gibt keine richtigen oder falschen Antworten. Bitte antworten Sie so spontan wie möglich!

Begriff 1:

Begriff 2:

Begriff 3:

Begriff 4:

Begriff 5:

Begriff 6:

Begriff 7:

Begriff 8:

Begriff 9:

Begriff 10:

Institut für Kraftfahrzeuge – RWTH Aachen University, Gudrun Voß, voss@ika.rwth-aachen.de

Zurück Weiter

Bild 13: Teilnehmeransicht der generierenden Online-Befragung

Bandbreite an Situationen abdecken zu können, wurde über die Teilnehmer hinweg das in den Videos dargestellte Wetter manipuliert. Je einem Drittel der Teilnehmer wurden die Fahrleistungs-Szenarien entweder bei Sonnenschein, Nebel oder Regen dargeboten (Zwischensubjekt-Faktor Wetterszenarien; siehe Bild 14). Insgesamt stellte die Studie also ein 2×3-faktorielles Design (Güte der Fahrleistung und Wetter) dar.

Der Online-Fragebogen wurde in sozialen Netzwerken sowie auf einer universitären Internetplattform veröffentlicht. Über den zugehörigen Link konnte im März/April 2015 frei zugänglich an der Umfrage teilgenommen werden. Zum Zweck einer umfangreichen Itemgenerierung gab es außer dem Besitz eines gültigen Führerscheins keine Teilnahmebeschränkungen.

Im Rahmen der Auswertung wurden alle in der Studie generierten Begriffe einer ersten vorgelagerten Prüfung unterzogen. Vergleichbar dem Vorgehen in der Literaturrecherche wurde auch hier in Vorbereitung auf das Expert Card Sorting (SPENCER & GARRETT, 2009) auf die intuitive Konstruktionsstrategie (MOOSBRUGGER & KELAVA, 2012) zurückgegriffen. Zwei Mitarbeiter der Abteilung Kraftfahrzeug-Systembewertung des ika prüften die Items hinsichtlich ihrer Eignung zur Beschreibung des Konstrukts „subjektiv angemessen empfundene Fahrleistung“ (Antwortformat geeignet/ungeeignet). Diejenigen Begriffe, die beide Experten als ungeeignet bewerteten, wurden vom weiteren Verfahren ausgeschlossen. Zur Herstellung eines einheitlichen Itemformats wurden, wie auch in der Literaturrecherche, alle Begriffe in Adjektivform umformuliert. Übersetzungen waren hier nicht notwendig, da die Sprache der Umfrage deutsch war. Ein finaler Schritt stellte, wie auch in der Literaturrecherche, die Streichung der Duplikate dar, sodass auch hier jeder Begriff nur einmal in die schlussendliche Itemliste aufgenommen wurde. Diese finale Liste wurde dann für das Expert Card Sorting (SPENCER & GARRETT, 2009) verwendet.



**Bild 14:** Wetterszenarien der Videos der generierenden Online-Befragung. Sonnenschein (links), Nebel (Mitte), Regen (rechts)

## Stichprobe

An der Umfrage nahmen  $N = 151$  Personen teil. Davon gaben 108 Personen mindestens einen Begriff für das gezeigte Fahrverhalten an. 43 Personen beantworteten die Frage nicht und wurden deshalb von weiteren Analysen ausgeschlossen. Vom finalen Datensatz waren 30.6 % der Teilnehmer weiblich ( $n = 33$ ). Die Teilnehmer waren zwischen 18 und 63 Jahre alt ( $M = 24.3$  Jahre). Durchschnittlich besaßen die Probanden ihren Führerschein 6.8 Jahre ( $SD = 5.6$  Jahre).

## Ergebnisse

Insgesamt wurden von den 108 Teilnehmern 537 Begriffe genannt. Eine vollständige Liste befindet sich in Anhang 4. Im Rahmen der ersten Itemreduktion durch die intuitive Konstruktionsstrategie wurden 121 Begriffe aus der Liste eliminiert. Somit ergab sich eine Gesamtitemzahl von 416 Begriffen (siehe Bild 15).

Die Häufigkeiten der Begriffsennung variierten zwischen 1 und 35. Meistgenannter Begriff zur Beschreibung der Fahrleistungsunterschiede war „schlangenlinienfahrend“ (35 Nennungen), gefolgt von „sicher“ (30 Nennungen), „gefährlich“ (25 Nennungen) und „unsicher“ (23 Nennungen). Mit nur einer Nennung wurden unter anderem die Begriffe „abwechselnd“, „fließend“ und „ruppig“ am seltensten genannt. Es folgte die Streichung der Duplikate, sodass letztlich 138 Begriffe aus der Befragung für das gemeinsame Card Sorting mit den Begriffen der Literaturrecherche verwendet wurden (siehe Anhang 5).



**Bild 15:** Generierte Begriffe der Online-Umfrage (je größer der Schriftgrad, desto häufiger gefunden)

### 2.1.3 Expert Card Sorting

Die Online-Befragung und Begriffsrecherche in der Literatur ergaben zusammen 407 Begriffe, die im nächsten Schritt von den Experten mittels der Card Sorting Methode (SPENCER & GARRETT, 2009) sortiert, gruppiert und auf Redundanzen überprüft wurden. Ziel dieses Vorgehens war eine Reduktion der Begriffe. Zudem wurde durch das Card Sorting der Versuch einer ersten definitorischen Abgrenzung des Konstrukts „subjektiv angemessen empfundene Fahrleistung“ vorgenommen und erste Begriffsgruppierungen erstellt, welche mit Überbegriffen versehen wurden.

#### Methode

Das Card Sorting ist eine Methode zur logischen, hierarchischen Gruppierung von Begriffen (SPENCER & GARRETT, 2009). Zur Anwendung des Verfahrens wurden die 407 Begriffe der Literaturrecherche und der Online-Umfrage auf Karten gedruckt. So wurde eine effektive Sortierung und Strukturierung technisch grundsätzlich ermöglicht.

Die Methode wurde zunächst von drei Experten (Mitarbeiter der Abteilung Kraftfahrzeug-Systembewertung des ika, die sich mit nutzerseitigen Subjektivevaluationen von Systemen beschäftigen) unabhängig voneinander durchgeführt. Sie erhielten dazu die Instruktion, (1) Begriffe, die das Konstrukt „subjektiv angemessen empfundene Fahrleistung“ nicht beschreiben, zu eliminieren; (2) Redundanzen (beispielsweise die Begriffe „problemlos“ und „störungsfrei“) ausfindig zu machen und dasjenige Wort auszuwählen, welches zur Bewertung „subjektiv angemessen empfundener Fahrleistung“ geeigneter ist (in diesem Beispiel „problemlos“, da dies im Sprachgebrauch häufiger ist); (3) ähnliche Begriffe zu gruppieren (beispielsweise „riskant“ und „unfallwahrscheinlich“) und (4) zu diesen Begriffsgruppen Überbegriffe zu benennen. Hierbei wurde den Experten gestattet, kleinere Anpassungen in den Formulierungen vorzunehmen, sofern ihnen dies als sinnvoll erschien (zum Beispiel „entlastend“ umformulieren zu „belastend“). Dieses Verfahren ergab im ersten Schritt drei unterschiedliche Gruppierungsergebnisse.

Im Anschluss wurden die Ergebnisse dieser drei Sortierungen zusammengeführt und als Basis für ein finales Card Sorting verwendet (Instruktionen wie zuvor). Dieses wurde von einem Mitarbeiter des Bereichs Kraftfahrzeug-Systembewertung durchge-

führt. Ziel dieses Schritts war die Reduzierung der Items auf eine finale Zusammenstellung von Begriffen, die der umfassenden Beschreibung des Konstrukts „subjektiv angemessen empfundene Fahrleistung“ dienen. In diesem Schritt wurden, sofern erforderlich, zusätzliche finale Formulierungsanpassungen in den Begriffen vorgenommen, damit ein möglichst einheitliches Begriffsformat gegeben war (zum Beispiel „derzeit optimal“ ändern zu „optimal“).

#### Ergebnisse

Das von drei Experten unabhängig durchgeführte Card Sorting ergab im ersten Schritt drei Versionen von Begriffsgruppierungen zur Beschreibung von „subjektiv angemessen empfundener Fahrleistung“. Experte 1 reduzierte den Itempool auf 119 Begriffe und wies sie sieben Überbegriffen zu. Experte 2 selektierte 60 Begriffe und fasste diese in sechs Überbegriffe zusammen. Experte 3 wählte 149 Begriffe aus und gruppierte sie in zehn Überbegriffe. Das finale Card Sorting ergab 115 Items, die in sechs Überbegriffe gruppiert wurden. Diese lauteten: Sicherheit/Risiko (Beispielitem: zuverlässig), Komfort (z. B. bequem), Fahrzeugverhalten (z. B. träge), Antizipation (z. B. vorhersehbar), Bewertungen (z. B. angemessen) und Fahrlerzustände (z. B. fahrlässig); für die Gesamtaufstellung der Begriffscluster siehe Anhang 6). Die final ausgewählten Adjektive stellten die Basis für das weitere Vorgehen innerhalb des Arbeitspakets 1 dar, auf welches in den folgenden Kapiteln näher eingegangen werden soll.

## 2.2 Untersuchung der Faktorenstruktur des Konstrukts „subjektiv angemessen empfundene Fahrleistung“ und Ableitung eines objektiven Instruments zur Erfassung des Konstrukts

Wie in der Einleitung beschrieben, ist ein umfassendes Verständnis bezüglich des Konstrukts „subjektiv angemessen empfundene Fahrleistung“ unerlässlich. Hierzu wurde in einem ersten Schritt bereits ein Itempool von 115 Items erstellt, mithilfe dessen sich das Konstrukt vermutlich gut beschreiben lässt. In einem zweiten Schritt galt es, diesen noch recht großen Itempool auf die trennschärfsten Items zu reduzieren und die zugrundeliegende Faktorenstruktur des Konstrukts „subjektiv angemessen empfundene Fahrleistung“ empirisch zu identifizieren. Die so erlangten Ergebnisse konnten dann

zur Konstruktion eines Fragebogens zur Erfassung von „subjektiv angemessen empfundener Fahrleistung“ genutzt werden.

Zum Erreichen dieser beiden Ziele, der Konstruktbeschreibung und der Fragebogenerstellung, wurde eine empirische Studie („Hauptstudie“ dieses Teilarbeitspakets) durchgeführt. Zusätzlich hierzu wurden weitere methodische Schritte als Vorbereitung vorgelagert: Mit dem Ziel, solche Items zu identifizieren, die besonders gut zwischen zwei Fahrleistungen differenzieren können, sollte in der Hauptstudie im Rahmen eines Extremwertvergleichs eine gute mit einer schlechten Fahrleistung verglichen werden. Die reproduzierbare Darstellung der Fahrleistungen sollte über Videosequenzen operationalisiert werden. Dazu mussten in einem ersten Schritt die diversen Facetten schlechter Fahrleistung möglichst umfassend beschrieben werden. Hierzu wurde eine Expertenbefragung durchgeführt. Es folgte die Erstellung des Videomaterials mit einer angeschlossenen Online-Studie zur Überprüfung der Fahrleistungsmanipulationen in den Videos. Mit dem überprüften Videomaterial wurde dann die Hauptstudie durchgeführt. Ein finaler Schritt umfasste die Erstellung des Fragebogens zur Erfassung von „subjektiv angemessen empfundener Fahrleistung“. Im Folgenden werden diese Schritte in chronologischer Reihenfolge beschrieben.

### 2.2.1 Experteninterview

Ein erster, vorbereitender Schritt für die Hauptstudie war die Sammlung diverser Facetten schlechter Fahrleistung, die als Grundlage für die Filmaufnahmen dienten. Hierzu wurde eine Expertenbefragung durchgeführt, deren Methode und Ergebnisse nun dargestellt werden.

### Methode

Anhand eines offenen, paper-pencil Fragebogens wurde in einer Expertenbefragung erhoben, welche Aspekte eine schlechte Fahrleistung definieren (Fragebogen siehe Anhang 7). Die Abfrage der Aspekte erfolgte dabei für die Längs- und Querregelung in getrennten Antwortfeldern. Grund für diese Aufteilung war, dass sich, wie bereits angesprochen, das Konstrukt der „subjektiv angemessen empfundenen Fahrleistung“ auf beide Bewegungsrichtungen beziehen sollte. Als Experten wurden solche Personen ausgewählt, die sich in ihrem Arbeitsalltag mit objektiven und subjektiven Fahrtrajektorien beschäftigen.

### Stichprobe

N = 19 Personen (n = 4 weiblich) beantworteten den Fragebogen fristgerecht. Die Befragten waren zwischen 24 und 44 Jahre alt (M = 30.8 Jahre, SD = 5.3). Alle befragten Experten waren Mitarbeiter des ika. Zwei Befragte waren zum Zeitpunkt der Erhebung im Bereich Kraftfahrzeug-Systembewertung, neun im Bereich Fahrerassistenz und sechs im Bereich Fahrwerk tätig. Zwei Befragte spezifizierten ihren Bereich nicht näher (Fahrzeugtechnik allgemein). Dabei waren die Teilnehmer der Erhebung zwischen 0.7 und 14 Jahre in den jeweiligen Bereichen tätig (M = 3.6, SD = 3.5).

### Ergebnisse

Insgesamt nannten die Experten 37 Attribute schlechter Längsregelung und 29 Attribute schlechter Querregelung (siehe Anhang 8). Hierbei wurden als Aspekte der Längsregelung 15 Attribute mehr als einmal genannt. Am häufigsten wurde dabei mit

Cluster Längsregelung	Beispiel Item
Abstand	Große Schwankungen beim Folgeabstand
Bremsvorgang	Ruckartige/abrupte Bremsung
Geschwindigkeit	Zu langsames Fahren/Limit-Unterschreitung
Schaltung	Konstantfahrt mit zu hoher Drehzahl/niedrigem Gang
Technische Parameter	Hohe Totzeit zwischen Eingabe des Fahrerwunsches und Reaktion Fahrzeug
Cluster Querregelung	Beispiel Item
Gefährdung	Abrupte Spurwechsel/Ausscheren (besonders auf Autobahnen)
Lenkvorgang	Weites Ausholen vor Kurven/Radius falsch einschätzen
Spur	Seitenabstand zu gering
Technische Parameter	Übersteuerungstendenz

Tab. 2: Cluster der Quer- und Längsregelung

elf Nennungen „zu dichtes Auffahren auf das Vorderfahrzeug“ genannt. Alle 37 Attribute der Längsregelung ließen sich fünf Clustern zuordnen (Tabelle 2). Bei den Nennungen schlechter Eigenschaften hinsichtlich der Querregelung wurden 13 Attribute mehr als einmal genannt. Dabei wurde „häufige Lastwechsel“ mit acht Nennungen am häufigsten genannt. Alle 29 genannten Attribute schlechter Querregelung ließen sich vier Clustern zuordnen (Tabelle 2).

### 2.2.2 Erstellung des Videomaterials

Diese Sammlung von Attributen schlechter Fahrleistung wurde in einem Folgeschritt dazu genutzt, das Videomaterial für die Hauptstudie zu erstellen. Dazu wurden die relevantesten Fahrleistungsattribute, die in den Videos dargestellt werden sollten, zunächst selektiert. Anschließend wurden die Filmsequenzen erstellt und ausgewählt. Dabei sollten im Video der schlechten Fahrleistung die Kriterien gemäß der Expertenbefragung implementiert werden. Im Video der guten Fahrleistung sollten die Kriterien invertiert und eine möglichst regelkonforme sowie komfortable Fahrt dargestellt werden.

#### Auswahl der darzustellenden Fahrleistungsattribute

Die Expertenbefragung ergab insgesamt 66 Attribute schlechter Längs- und Querregelung. Um eine angemessene Dauer der Filmaufnahmen und einen möglichst hohen Realitätsgrad sicherzustellen, konnten nicht alle genannten Attribute in den Aufzeichnungen dargestellt werden. Damit trotzdem eine möglichst breite und repräsentative Auswahl an Fahrleistungen gewährleistet werden konnte, wurde wie folgt vorgegangen: Erstes Auswahlkriterium war die Häufigkeit der Nennung. Es wurde pro Cluster jeweils das Attribut mit den meisten Nennungen ausgewählt.

Bei der Längsregelung war dies für die Cluster „Abstand“ und „Bremsvorgang“ unproblematisch. Im Cluster „Geschwindigkeit“ konnte das am häufigsten genannte Attribut (zu langsames Fahren/Limit-

Unterschreitung) jedoch nicht berücksichtigt werden, da es in Filmaufzeichnungen nicht klar erkennbar wäre. Stattdessen wurde das am zweithäufigsten genannte Attribut „Sehr/zu starke Beschleunigung“ ausgewählt. Die Cluster „Schaltung“ und „technische Parameter“ wurden insgesamt nicht berücksichtigt, da die enthaltenen Attribute, zum Beispiel „Konstantfahrt mit zu hoher Drehzahl“ in Videos nicht sichtbar wären (Tabelle 3).

Bei der Querführung wurden in den Clustern „Spur“ und „Gefährdung“ das jeweils häufigste Attribut ausgewählt. Das am häufigsten genannte Item des Clusters „Lenkvorgang“ konnte nicht berücksichtigt werden, da „häufige Lastwechsel“ nicht als Eigenschaft der Querregelung, sondern als Eigenschaft der Längsregelung gelten. Die Lastwechselreaktion beschreibt den Übergang vom Zug- in den Schubbetrieb. Diese Reaktion hat in Kurvenfahrten zwar Auswirkungen auf die Querdynamik eines Fahrzeugs, kann jedoch nicht als Querregelungsattribut gelten und ist zudem in Filmaufzeichnungen aus Fahrerperspektive nicht realistisch darstellbar (BRAESS & SEIFFERT, 2012). Deshalb wurde auch hier das zweithäufigste Attribut ausgewählt (Ruckartige/abrupte Lenkbewegungen). Wie bei der Längsführung wurde auch in der Querführung das Cluster „technische Parameter“ nicht berücksichtigt, da die enthaltenen Attribute, zum Beispiel „Geringe Rückmeldung der Querkräfte an Lenkrad“ auch an dieser Stelle in den Filmaufzeichnungen nicht darstellbar wären (Tabelle 3).

#### Aufzeichnung der Filmsequenzen

Basierend auf den ermittelten Attributen (siehe Tabelle 3) wurden im Anschluss die Videos erstellt. Mit dem Ziel, Längs- und Querdynamik möglichst realistisch darstellen zu können und etwaige Nachteile einer aufgezeichneten Fahrsimulation (z. B. die Schwierigkeit, simuliertes Fahrverhalten natürlich wirken zu lassen) zu vermeiden, wurde das Videomaterial im Rahmen von Realfahrten erstellt.

Die Filmaufnahmen wurden auf dem Testgelände der FTL GmbH Film + Test Location bei Aldenhoven aufgezeichnet, welches durch den Nachbau einer

Längsrichtung	Querrichtung
Zu dichtes Auffahren auf Vorderfahrzeug (Abstand)	Pendeln in Spur (Spur)
Häufige Wechsel bremsen/beschleunigen (Bremsvorgang)	Überfahren der Seitenlinie (Gefährdung)
Sehr/zu starke Beschleunigung (Geschwindigkeit)	Ruckartige/abrupte Lenkbewegungen (Lenkvorgang)

Tab. 3: Ausgewählte Fahrleistungsattribute

Autobahn inkl. Fahrbahnmarkierungen, Leitplanke, Standstreifen etc. authentische Aufzeichnungen ermöglichte.

Bei den Aufnahmen fuhren zwei Fahrzeuge hintereinander auf einem 600 m langen, zweispurigen und geraden Autobahnnachbau ohne Gegenverkehr. Das vorausfahrende Führungsfahrzeug fuhr in jeder Situation mit 60 km/h konstant mittig auf der rechten Fahrspur. Im zweiten, dem manöverausführenden Fahrzeug (Folgefahrzeug), wurde die Kamera für die Filmaufnahmen montiert. Für möglichst realistische Aufnahmen wurde diese in Fahrerperspektive montiert. Zudem waren die A-Säule sowie das Armaturenbrett des Folgefahrzeugs sichtbar (siehe Bilder 16, 17).

Aus den sechs ermittelten Attributen, je drei aus der Längs- und Querregelung, wurden mehrere Situationen, die die Attribute unterschiedlich kombinierten, abgeleitet. Sie dienten als Grundlage für die Erstellung von Videosequenzen schlechter Fahrleistung. Es wurde zum einen die Reihenfolge der zu integrierenden Fahrleistungsattribute variiert und zum anderen die parallele beziehungsweise sequenzielle Darstellung der Attribute der Längs- und Querregelung manipuliert. Da die geplante Hauptstudie schlechte und gute Fahrleistung kontrastieren sollte, wurden zusätzlich diverse Fahrsituatio-



**Bild 16:** Kameraposition im manöverausführenden Fahrzeug



**Bild 17:** Kameraperspektive mit A-Säule und Armaturenbrett als Referenz

nen mit einer guten Fahrleistung aufgezeichnet. In diesen wurde versucht eine möglichst regelkonforme Fahrt darzustellen. Es wurden also insgesamt, sowohl für die gute als auch für die schlechte Fahrleistung, mehrere Videosequenzen erstellt. Aus dieser Sammlung sollte zum Schluss die jeweils am besten geeignete Sequenz ausgewählt werden.

Damit die Videosequenzen möglichst realistisch wirkten, wurde versucht, eine Fahrerintention in die Fahrten zu integrieren. Dazu wurde sowohl den guten als auch den schlechten Fahrleistungen ein Überholvorgang angeschlossen. Dieser wurde sowohl in der guten als auch in der schlechten Fahrleistung unkritisch, also mit frühzeitigem Ausschere dargestellt, um direkte Auswirkungen auf den Eindruck der Fahrleistungen auszuschließen.

Nach Abschluss der Aufnahmen und nach Durchsicht der Videos wurde als Darstellung einer guten Fahrleistung schlussendlich ein Video gewählt, in welchem das Folgefahrzeug dem Führungsfahrzeug mit konstanter Geschwindigkeit und ausreichendem Abstand folgte. Hierbei fuhr es auf der 0-Linie, also mittig in der Spur. Gegen Ende des Videos setzte das Folgefahrzeug zu einem realistischen Überholvorgang an. Diesen Überholvorgang kennzeichnete, dass das Folgefahrzeug erst die Geschwindigkeit leicht erhöhte und dann die Spur wechselte.

Als Darstellung einer schlechten Fahrleistung wurde aus den verfügbaren Sequenzen final ein Video gewählt, welches die darzustellenden Fahrleistungsattribute der Längs- und Querregelung nacheinander und nicht kombiniert zeigte. Dabei begann das Folgefahrzeug mit den Querregelungsattributen. Zuerst pendelte das Fahrzeug innerhalb der Spur inklusive dem Überfahren der Seitenlinien und einer anschließenden ruckartigen Lenkbewegung nach links. Darauf folgten die Längsregelungsattribute mit einer beginnenden starken Beschleunigung, die in einem zu dichten Auffahren auf das Führungsfahrzeug mündete. Anschließend wurde der häufige Wechsel zwischen Bremsen und Beschleunigen dargestellt, indem das Folgefahrzeug den Abstand zum Führungsfahrzeug variierte. Abschließend erfolgte auch in der Videoaufzeichnung zur schlechten Fahrleistung ein realistischer Überholvorgang, vergleichbar mit dem Überholvorgang der guten Fahrleistung. Die Videosequenzen hatten beide jeweils eine Dauer von circa 25 Sekunden.



### 2.2.3 Manipulationscheck

Bevor die ausgewählten Videos in die schlussendliche Hauptstudie eingebunden wurden, sollte mithilfe einer Vorbefragung überprüft werden, ob die Manipulation der Fahrleistungen in den Videosequenzen gemäß den in der Expertenbefragung erfassten Kriterien sichtbar und gelungen war. Die Manipulation kann hierbei als gelungen angesehen werden, wenn die sechs Fahrleistungsattribute in den beiden Videos (gute vs. schlechte Fahrleistung) als signifikant unterschiedlich bewertet werden.

#### Methode

Zur Erhebung von Unterschieden in der Bewertung der Fahrleistungsattribute zwischen den Videos wurde ein Onlinefragebogen mit dem Umfragetool SurveyMonkey® (FINLEY & FINLEY, 2015) erstellt (Anhang 9). In diesem wurden den Probanden nacheinander die beiden Videos gezeigt. Die Teilnehmer wurden instruiert, sich vorzustellen, in der gezeigten Situation der Fahrer des Folgefahrzeugs zu sein. Jedes Video konnte von den Probanden beliebig oft wiederholt werden. Nach jedem Video gaben die Teilnehmer mithilfe einer sechsstufigen Likert-Skala von „trifft nicht zu“ (1) bis „trifft zu“ (6) an, inwiefern die Fahrleistungsattribute auf das jeweilige Video zuträfen. Zusätzlich zu den sechs manipulierten Fahrleistungsattributen wurde das Attribut „Kritischer Überholvorgang“ in die Vorbefragung aufgenommen. Hiermit sollte überprüft werden, inwiefern es Unterschiede in der Wahrnehmung des Manövers zwischen den Videos gab. Zur Vermeidung von Reihenfolgeeffekten wurden die Darstellungsreihenfolge der Videos sowie die Reihenfolge der Fahrleistungsattribute zwischen den Versuchspersonen randomisiert.

### Stichprobe

An der Vorbefragung nahmen  $N = 16$  Personen teil ( $n = 7$  weiblich). Die Teilnehmer waren zwischen 21 und 39 Jahre alt ( $M = 27.5$  Jahre,  $SD = 5.9$  Jahre). Durchschnittlich besaßen die Probanden ihren Führerschein 9.6 Jahre ( $SD = 5.7$  Jahre). Sieben der befragten Personen waren zum Zeitpunkt der Befragung in der Automobilbranche tätig.

### Ergebnisse

Tabelle 4 zeigt die Ergebnisse der Befragung. Beide Videos unterschieden sich für jedes kontrollierte Attribut signifikant. So wurden die Attribute „Starke Beschleunigung“, „Geringer Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug“, „Häufige Wechsel zwischen Bremsen und Beschleunigen“, „Ruckartige Lenkbewegungen“, „Pendeln in Spur/Schlangenlinien“ und „Überfahren der Seitenlinie“ signifikant ( $p \leq .001$ ). Das Attribut „Kritischer Überholvorgang“ erreichte ebenfalls einen signifikanten Unterschied ( $p \leq .01$ ). Dieses Ergebnis weist auf eine gelungene Manipulation hin, sodass die Videos für die Hauptstudie als geeignet angesehen werden können.

### 2.2.4 Hauptstudie

Nach erfolgreichem Abschluss der vorbereitenden Schritte konnte nachfolgend die Hauptstudie durchgeführt werden. Mittels dieser sollten unter den 115 Items die trennschärfsten Begriffe des Konstrukts „subjektiv angemessen empfundener Fahrleistung“ selektiert und hinsichtlich ihrer Faktorenstruktur untersucht werden.

#### Methode

Die Studie wurde als Online-Befragung operationalisiert und erfolgte mithilfe des Umfragetools

Manipulation im Video	MW Bewertung gute Fahrleistung	MW Bewertung schlechte Fahrleistung	t-Test
Starke Beschleunigung	1.25	5.25	$t(15) = -25.30, p \leq .001$
Geringer Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug	1.13	5.06	$t(15) = -16.96, p \leq .001$
Häufige Wechsel zwischen Bremsen und Beschleunigen	1.00	5.31	$t(15) = -36.03, p \leq .001$
Ruckartige Lenk-bewegungen	1.06	5.25	$t(15) = -30.80, p \leq .001$
Pendeln in Spur/Schlangenlinien	1.06	5.31	$t(15) = -29.45, p \leq .001$
Überfahren der Seitenlinie	1.13	5.38	$t(15) = -29.45, p \leq .001$
Kritischer Überholvorgang	1.06	2.56	$t(15) = -3.354, p \leq .01$

Tab. 4: Ergebnisse des Manipulationschecks

SurveyMonkey® (FINLEY & FINLEY, 2015). In dem Onlinefragebogen wurden den Teilnehmern nacheinander die zwei Videoaufnahmen der guten und schlechten Fahrleistung gezeigt. Hierbei konnten die Videos von den Teilnehmern beliebig oft abgespielt werden. Die Instruktion lautete, sich vorzustellen, in der dargestellten Fahrsituation der Fahrer des Folgefahrzeugs zu sein. Im Anschluss an die Betrachtung jeder Filmaufnahme gaben die Probanden mithilfe einer sechsstufigen Likert-Skala von „trifft nicht zu“ (1) bis „trifft zu“ (6) an, inwiefern jedes der 115 Items die Fahrleistung des Fahrers im Folgefahrzeug beschreibt. Zur Vermeidung von Reihenfolgeeffekten wurden sowohl die Reihenfolge der Videos als auch die der Adjektive zwischen den Versuchspersonen randomisiert. Bild 18 zeigt einen Ausschnitt des Onlinefragebogens (Gesamtbefragung in Anhang 10).

### Stichprobe

An der Hauptstudie nahmen  $N = 213$  Personen teil. 103 Personen beantworteten die Fragen nicht vollständig und wurden aus diesem Grund von den weiteren Analysen ausgeschlossen. Die restlichen  $N = 110$  Teilnehmer ( $n = 43$  weiblich) waren zwischen 20 und 63 Jahre alt ( $M = 28.5$  Jahre,  $SD = 9.8$  Jahre). Durchschnittlich waren die Probanden seit 10.9 Jahren im Besitz ihres Führerscheins ( $SD = 9.8$  Jahre). 33 der befragten Personen waren zum Zeitpunkt der Befragung in der Automobilbranche tätig.

Bitte schalten Sie nun den Ton ein und sehen sich das Video aufmerksam an. Stellen Sie sich hierbei bitte vor, Sie wären in der gezeigten Situation der Fahrer (die Kamera stellt Ihre Perspektive dar). Das Video kann beliebig oft wiederholt werden.



Bitte geben Sie nun an, inwiefern die nachfolgenden Eigenschaften auf die gezeigte Fahrleistung des Fahrers zutreffen. Es zählt dabei ausschließlich Ihr subjektiver Eindruck und es gibt keine richtigen oder falschen Antworten. Bitte antworten Sie so spontan wie möglich auf **alle** Begriffe.

	Trifft nicht zu					Trifft zu				
fehlert	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
gefährlich	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
vorsichtig	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
vertraut	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
aufmerksam	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
leichtfertig	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
harmonisch	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**Bild 18:** Ausschnitt des Onlinefragebogens der Hauptstudie mit sieben der 115 Items

### Ergebnisse der Diskriminanzanalyse

In einem ersten Schritt sollte eine Reduzierung der 115 identifizierten Items erfolgen, indem die besonders trennscharfen Fahrleistungsattribute selektiert werden. Dazu wurde mithilfe einer Diskriminanzanalyse überprüft, ob die zwei Fahrleistungen, dargestellt durch die Videosequenzen, mittels der verschiedenen Items unterschieden werden können und welche Items einen großen Beitrag zur Unterscheidung leisten.

In einer ersten Analyse über alle 115 Items ergab sich eine kanonische Korrelation von  $c = .96$  sowie ein signifikantes Wilks-Lambda von  $\Lambda = .07$  ( $p \leq .001$ ). Nachdem die statistischen Gütekriterien folglich auf eine präzise Trennung zwischen den zwei Fahrleistungen durch die 115 Items hinwiesen, wurden die Items anhand des standardisierten kanonischen Diskriminanzfunktionskoeffizienten gefiltert. Es sollten die besonders gut diskriminierenden Items selektiert werden. Alle Items mit einem Koeffizienten größer als  $.3$  und kleiner als  $-.3$  wurden in diesem Schritt als besonders trennscharf ausgewählt. Dieses Vorgehen ergab eine Auswahl von 22 Items (Tabelle 5).

Items > .3 und > -.3	Standardisierte kanonische Diskriminanzfunktionskoeffizienten
gefährlich	-.376
sicher	-.400
diszipliniert	-.479
katastrophal	.478
kritisch	-.342
riskant	.322
kontrolliert	.460
aufregend	.605
irritierend	-.477
konstant	.365
ruhig	-.652
gleichmäßig	-.458
zufriedenstellend	-.845
grenzwertig	.458
präzise	.381
akzeptabel	.391
überzeugend	.444
gut aufgehoben	.585
vorbildlich	.494
stressig	.438
rücksichtsvoll	.724
fahrlässig	.645

**Tab. 5:** Ausgewählte 22 Items nach der Diskriminanzanalyse

Gütemaße	Gesamte 115 Items	Reduktion auf 22 Items
Kanonische Korrelation	.963	.929
Wilks-Lambda	.073	.137
Signifikanz des Wilks-Lambda	.000	.000

Tab. 6: Vergleich der Gütemaße vor und nach der Itemreduktion

Zur Überprüfung, inwiefern sich die übergeordneten Gütemaße durch die Itemreduktion von 115 auf 22 Items verschlechtern, wurde im nächsten Schritt für die 22 ausgewählten Items erneut eine Diskriminanzanalyse berechnet. Dabei zeigten die 22 Items eine kanonische Korrelation von  $c = .93$  und ein signifikantes Wilks-Lambda von  $\Lambda = .14$  (Tabelle 6). Aus dieser zweiten Analyse wird ersichtlich, dass sowohl die kanonische Korrelation als auch das Wilks-Lambda auf eine geringfügig schlechtere Trennfähigkeit nach der Reduktion von 115 auf 22 Items hinweisen. Allerdings liegen die Gütemaße noch immer in einem sehr positiven Bereich und die Reduktion auf 22 Items zur Beschreibung des Konstrukts „subjektiv angemessen empfundene Fahrleistung“ kann angenommen werden.

### Ergebnisse der Faktorenanalyse

Neben der Identifikation besonders trennscharfer Items war das weitere Ziel in der Hauptstudie die zugrundeliegende Faktorenstruktur des Konstrukts „subjektiv angemessen empfundene Fahrleistung“ zu identifizieren. Hierzu wurde im Anschluss an die Diskriminanzanalyse eine explorative Faktorenanalyse über die selektierten 22 Items gerechnet.

Eine Hauptkomponentenanalyse mit Varimax-Rotation ergab einen einzelnen starken Faktor, der 81,1 % der Gesamtvarianz aufklärt. Auch die Auswertung der Faktorladungen (Tabelle 7) sowie die grafische Analyse des Knicks im Screeplot (Bild 19) bestätigten diese Faktorenstruktur. Somit ließe sich die gefundene Faktorenstruktur des Konstrukts „subjektiv angemessen empfundene Fahrleistung“ wie in Bild 20 grafisch darstellen.

### Diskussion der Ergebnisse

Aus der Hauptstudie ergab sich, wie oben beschrieben, ein eindimensionales Faktorenkonstrukt zur Beschreibung von „subjektiv angemessen empfundener Fahrleistung“ (siehe Bild 19). Dieses Ergebnis mag auf den ersten Blick wenig intuitiv und plausibel erscheinen, da es sich unter anderem stark

Items > .3 und > -.3	Faktorladung
gefährlich	-.950
sicher	.932
diszipliniert	.923
katastrophal	-.906
kritisch	-.842
riskant	-.944
kontrolliert	.899
aufregend	-.549
irritierend	-.869
konstant	.895
ruhig	.900
gleichmäßig	.918
zufriedenstellend	.961
grenzwertig	-.940
präzise	.857
akzeptabel	.938
überzeugend	.879
gut aufgehoben	.935
vorbildlich	.948
stressig	-.897
rücksichtsvoll	.927
fahrlässig	-.916

Tab. 7: Faktorladungen der explorativen Faktorenanalyse

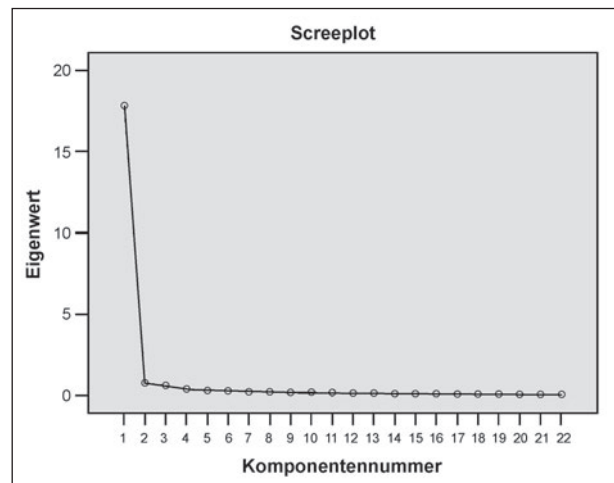
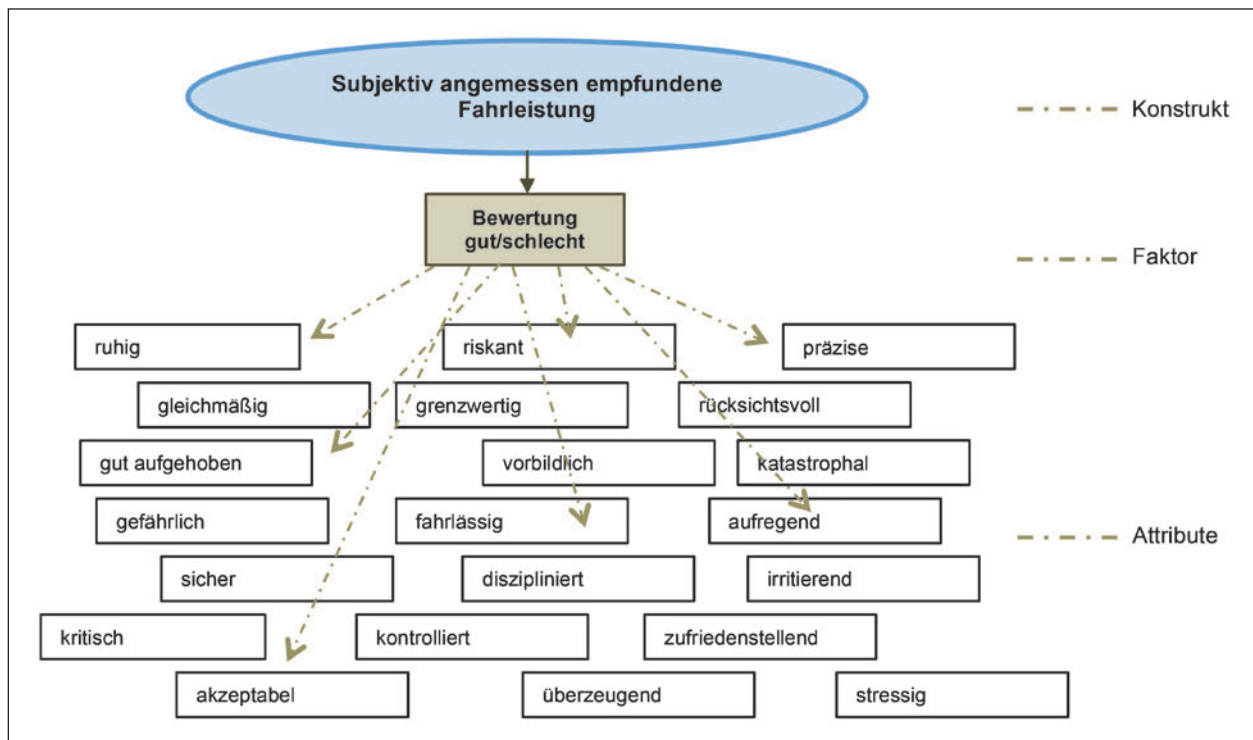


Bild 19: Screeplot der Faktorenanalyse

von den im Card Sorting gebildeten Clustern unterscheidet. Vergleicht man die gefundene Struktur mit Modellen bisheriger Arbeiten, fällt auch hier auf, dass andere Arbeiten eher mehrdimensionale Konstrukte postulieren (siehe Überblick in der Literaturanalyse). Die bei EBERL (2014) beschriebenen Faktorenmodelle beinhalten jeweils minimal zwei Faktoren. Auffällig ist, dass sich je Modell die gefun-



**Bild 20:** Faktorenstruktur des Konstrukts „subjektiv angemessen empfundene Fahrleistung“

Frühere Faktorenmodelle	Komfort & Gefallen	Sicherheit & Kontrolle
DICK, 2001	Entspannung, Anregung	Störung, Routine, Kontinuität
ENGELBRECHT et al., 2009	Fahrkomfort, Fahrspaß	
GREZIK, 2009	Komfort, Akzeptanz	Sicherheit, Zurechtkommen, Kontrollierbarkeit
POPIV, 2012	Komfort, Unterstützung, Gefallen	Sicherheit
TISCHLER & RENNER, 2007	Komfort	Rückmeldung, Handlungsfreiheit, Kontrolliertheit
TRUTSCHEL, 2007	Komfort	Sicherheit
VILIMEK et al., 2012	Gefallen	Sicherheit
WINNER, 2012	Komfort	Sicherheit, Erwartungskonformität

**Tab. 8:** Vergleich früherer Faktorenmodelle und Versuch einer „Zuordnung zu den Clustern „Komfort und Gefallen“ sowie „Sicherheit und Kontrolle“

denen Faktoren jeweils zu den Clustern „Komfort und Gefallen“ und „Sicherheit und Kontrolle“ zuordnen lassen (Tabelle 8). Dabei wurden bei dieser Zusammenstellung sämtliche Faktoren ausgelassen, die im aktuellen Forschungsvorhaben keine Relevanz haben (zum Beispiel „Energieeffizienz“, VILIMEK et al., 2012).

Nachdem nun bisherige Modelle in das oben stehende Clusterschema integrierbar sind, stellt sich die Frage, warum diese zwei scheinbar offensichtlich wichtigen Komponenten einer Fahrleistung in der aktuellen Erhebung nicht sichtbar wurden. Inspiziert man allerdings die einzelnen Items des gefundenen Konstrukts, wird ersichtlich, dass diese

sich sehr wohl den Clustern zuordnen ließen. So ließen sich die Items „ruhig“, „gleichmäßig“, „konstant“, „gut aufgehoben“, „aufregend“, „irritierend“, „zufriedenstellend“, „akzeptabel“, „überzeugend“ und „stressig“ dem Cluster „Komfort und Gefallen“ zuordnen; die Items „gefährlich“, „sicher“, „kritisch“, „riskant“, „grenzwertig“, „fahrlässig“, „katastrophal“, „diszipliniert“, „kontrolliert“, „präzise“, „rücksichtsvoll“ und „vorbildlich“ wiederum eher dem Cluster „Sicherheit und Kontrolle“.

Diese rein deskriptive Zuordnung zeigt somit, dass die scheinbar existierenden Cluster einer Fahrleistung sich in der aktuellen Studie – wenn auch nur in einem einzelnen Faktor – wiederfinden lassen. Um

zu erklären, dass dies sogar plausibler ist als die Faktorenstruktur der bisherigen Modelle, muss man die Methodik und Hintergründe dieser bisherigen Ansätze genauer betrachten. In verschiedenen Arbeiten bleibt die Ableitung der Faktoren unklar beziehungsweise der Geltungsbereich der Arbeit ist eingeschränkt. Ein Beispiel stellt die Studie von TRUTSCHEL (2007) dar. Diese hat einen technischen Schwerpunkt und basiert auf Forschungsarbeiten im Bereich von Bremssystemen. Vor diesem Hintergrund erscheinen die Faktoren „Bremskomfort“ und „Sicherheit“ sehr treffend, beschreiben jedoch ausschließlich die Bewertung im Kontext von Pkw-Bremsanlagen. Diese haben gewiss einen Einfluss auf die Fahrleistungsbewertung, stellen aber vermutlich nur einen einzelnen kleinen Teil der Gesamtbewertung einer Fahrleistung dar. Da die Herleitung der Faktoren in der aktuellen Arbeit im Gegensatz dazu klar und auch der Geltungsbereich relativ breit ist, soll nun kurz diskutiert werden, warum trotz zweier Cluster nur ein Faktor gefunden wurde: Die Ergebnisse und die ermittelten Items lassen darauf schließen, dass Autofahrer die Cluster „Komfort und Gefallen“ sowie „Sicherheit und Kontrolle“ sehr wohl wahrnehmen und auch einzelne Unterschiede in diesen differenzieren können. Jedoch erscheint es plausibel, dass diese Cluster nicht unabhängig voneinander bewertet werden können. So kann aus den vorliegenden Ergebnissen gefolgert werden, dass ein Fahrer eine Fahrleistung nicht als sicher empfinden wird, wenn ihm die Fahrleistung nicht gefällt und umgekehrt, ihm eine Fahrleistung auch nicht gefällt, wenn er sich unsicher fühlt.

### 2.2.5 Erstellung des Fragebogens zur Erfassung „subjektiv angemessen empfundener Fahrleistung“

Nachdem die in der Hauptstudie erlangten Ergebnisse also als plausibel bezeichnet werden können, wurde aus den selektierten 22 ermittelten Items ein Fragebogen erstellt (Bild 21). In Anhang 11 findet sich die paper-pencil-Version des Instruments zur Erfassung des Konstrukts „subjektiv angemessen empfundene Fahrleistung“.

	Trifft nicht zu	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	Trifft zu
ruhig		○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	
diszipliniert		○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	

**Bild 21:** Ausschnitt des Fragebogens zur „subjektiv angemessenen empfundene Fahrleistung“

Der Fragebogen beginnt mit einer kurzen Instruktion, die den Probanden ihre Aufgaben verdeutlicht. Die Probanden werden angewiesen, ihren subjektiven Eindruck einer gezeigten oder erlebten Fahrleistung so spontan wie möglich wiederzugeben. Dazu stehen den Teilnehmern die ermittelten 22 Fahrleistungsitems zur Verfügung. Die Probanden sollen mithilfe einer sechsstufigen Likert-Skala von „trifft nicht zu“ (1) bis „trifft zu“ (6) für das zu evaluierende Szenario angeben, inwiefern die jeweilige Eigenschaft für den Teilnehmer subjektiv auf die gezeigte Fahrleistung zutrifft. Es sei hier angemerkt, dass die im Anhang abgedruckte Instruktion befragungsspezifisch anpassbar ist und hier lediglich als ein allgemeines Beispiel dient.

Hinsichtlich der Auswertung und Interpretation der über diesen Fragebogen erlangten Ergebnisse lassen sich einige Empfehlungen ableiten: In einem ersten Schritt sollten alle Items, welche negativ auf das Konstrukt laden (siehe Tabelle 7), umkodiert werden. Das heißt, ein Wert von eins sollte durch eine sechs, eine zwei durch eine fünf etc. ersetzt werden. Somit ließe sich ein konsistentes Skalenniveau erzeugen, in dem ein hoher Wert für eine subjektiv als gut wahrgenommene Fahrleistung zu verstehen wäre. Ein niedriger Wert wäre gleichbedeutend zu einer subjektiv als schlecht wahrgenommenen Fahrleistung. Im Anschluss wird ein weiterer Schritt angeraten. Über die Berechnung eines Gesamtskalenwerts könnte die ganzheitliche Betrachtung des Konstrukts „subjektiv angemessen empfundene Fahrleistung“ ermöglicht werden. Hierzu wäre die Anwendung der folgenden Formel von Nöten:

$$\left( \sum_{i=1}^{22} Item_i \right) - 22 \Big/ 1.1$$

Diese Formel berechnet, ausgehend von den 22 Einzelwerten der Items, einen reskalierten Gesamtsummenwert mit einem möglichen Wertebereich zwischen null und 100. Werte nahe oder gleich null, bezeichnen eine negative Subjektivbewertung einer Fahrleistung. Werte nahe oder gleich 100 entsprechen gleichermaßen einer positiven Subjektivbewertung einer Fahrleistung. Diese Methodik wurde im Rahmen einer Onlinestudie in einem weiteren Schritt des ersten Arbeitspakets, welcher nun beschrieben werden soll, angewendet.

## 2.3 Empirische Erfassung akzeptierter Fahrleistungsbereiche

Der dritte Schritt des ersten Arbeitspakets zielte darauf ab, unter Verwendung des zuvor entwickelten Fragebogens empirisch akzeptierte Fahrleistungsbereiche zu erfassen (siehe Forschungsfrage 3). Im Kapitel zu bestehender Literatur zur subjektiven Fahrleistungsbewertung wurde bereits kurz diskutiert, dass Personen- und Situationsfaktoren potenziell Einfluss auf die subjektiv akzeptierten Fahrleistungsbereiche haben. Um diesen Sachverhalt im Rahmen der dritten Forschungsfrage zu konkretisieren, wurde folgende zu testende Hypothese abgeleitet:

Der Bereich einer „subjektiv angemessen empfundener Fahrleistung“ kann durch einen oberen Schwellenwert eingegrenzt werden (hinsichtlich des Querversatzes). Dieser variiert in Abhängigkeit von verschiedenen Variablen: Fahrerfahrung und ausgeprägtes Sensation Seeking setzen die Schwelle hinauf, Gegenverkehr und Regen setzen diese hinab.“

Zur Überprüfung dieser Hypothese wurde eine Online-Studie durchgeführt, deren Methode und Ergebnisse nun dargestellt werden sollen.

### 2.3.1 Methode

Wie auch die bisherigen Online-Studien, wurde auch diese Befragung mittels des Online-Umfrage-tools SurveyMonkey® (FINLEY & FINLEY, 2015) erstellt (Gesamtbefragung in Anhang 12). Der Befragungszeitraum war im Februar 2016. Der Befragungslink wurde über soziale Netzwerke und persönliche Ansprache via E-Mail verbreitet.

Auf der ersten Seite der Befragung erhielten die Probanden eine allgemeine Instruktion und wurden randomisiert auf einen von sechs weiterführenden Befragungslinks verwiesen. In jeder dieser sechs Befragungsversionen war es die Aufgabe der Probanden, in insgesamt sieben Videos die gezeigte Fahrleistung des Ego-Fahrzeugs zu bewerten. Dazu wurde die Instruktion gegeben, dass die Videos beliebig oft wiederholt werden können und dass sich die Teilnehmer vorstellen sollen, selber der Fahrer in der gezeigten Situation zu sein. Zur Bewertung der Fahrleistungen gab es verschiedene Fragen: Eine Frage zur Gesamtbewertung der Fahrleistung („gar nicht angemessen“, „eher nicht angemessen“, „eher angemessen“ und „völlig an-

Wie bewerten Sie die im Video gezeigte Fahrleistung insgesamt?

ger nicht angemessen    eher nicht angemessen    eher angemessen    völlig angemessen

Die Fahrleistung ist               

Bitte geben Sie an, inwiefern die nachfolgenden Begriffe auf die im Video gezeigte Fahrleistung zutreffen.

Es zählt dabei ausschließlich Ihr subjektiver Eindruck und es gibt keine richtigen und falschen Antworten. Bitte antworten Sie so spontan wie möglich auf alle Begriffe. Hierfür stehen Ihnen sechs Antwortmöglichkeiten von „trifft nicht zu (- - -)“ bis „trifft zu (+ + +)“ zur Verfügung.

	trifft nicht zu - - -	--	-	+	++	trifft zu + + +
rücksichtsvoll	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
konstant	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
riskant	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
überzeugend	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

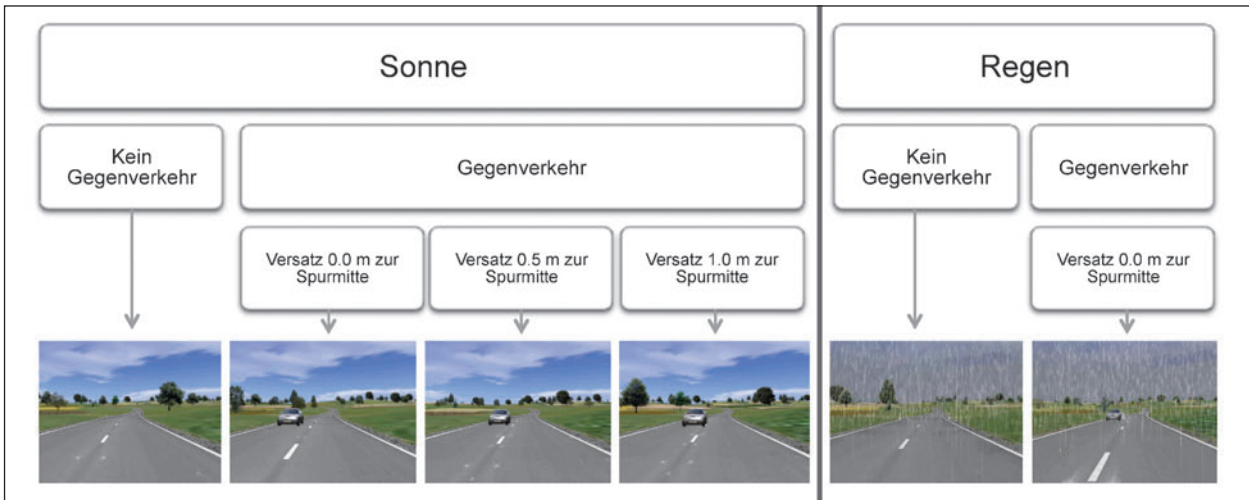
Bild 22: Ausschnitt der Befragung zur Erfassung von subjektiven Akzeptanzschwellen in der Fahrleistung

gemessen“) sowie der Fragebogen des Konstrukts „subjektiv angemessen empfundene Fahrleistung“. Die abhängigen Variablen der Befragung waren somit die Bewertung der Angemessenheit sowie der Gesamtscore des Fragebogens. Pro Seite des Fragebogens wurde eine Videosequenz mit den zugehörigen Fragen dargeboten (siehe Bild 22).

Die Videos wurden unter Verwendung des ika-seitigen Java-Tools zur Fahrleistungsmanipulation mit der Silab Software Version 4.0 (WIVW GmbH, Veitshöchheim, Deutschland) generiert. Die Videos hatten jeweils eine Dauer von ca. 35 Sekunden. Sie stellten eine Fahrt aus der Ego-Perspektive dar. Es war kein mitfließender Verkehr sichtbar und das eigene Fahrzeug fuhr mit einer konstanten Geschwindigkeit von 80 km/h.

Die Fahrleistung des Ego-Fahrzeugs wurde in den Videos über die mittlere Spurabweichung manipuliert. Sie variierte auf sieben Stufen in 0,1er Schritten zwischen 0,2 und 0,8 m in Richtung der Fahrbahnmitte (Innersubjekt-Faktor). Wie bereits erwähnt, existierten sechs Fragebogenversionen. Jede dieser Versionen repräsentierte ein spezifisches, über Situationsfaktoren definiertes Testszenario. Diese Testszenarios basierten auf der Kreuzung von in der Studie verwendeten unabhängigen Situationsvariablen. Dies waren die Zwischensubjekt-Faktoren Wetter (Sonne vs. Regen) und Gegenverkehr (kein Verkehr. Versatz 0,0 m vs. Versatz 0,5 m vs. Versatz 1,0 m). Bild 23 stellt das Versuchsdesign hinsichtlich der sechs Versionen dar. Hierbei ist zu beachten, dass keine komplette Kreuzung der Variablen durchgeführt wurde.

Zwei weitere unabhängige Variablen waren die Personenfaktoren Fahrerfahrung (zweistufig: unerfahren/erfahren) und Sensation Seeking (zweistufig: niedrig/hoch). Fahrerfahrung wurde im demografischen Fragebogen über zwei Fragen erfasst: Jähr-



**Bild 23:** Grafische Darstellung des Versuchsdesigns der Online-Studie zur Bestimmung von Akzeptanzschwellen in der Fahrleistung

Kategorie	Unabhängige Variable	Stufen	Faktor	Operationalisierung
Fahrleistung	Mittlere Spurabweichung	7 (0,2 bis 0,8 m in Richtung der Fahrbahnmitte)	Inner-Subjekt	Manipulation in den Videos
Situation	Gegenverkehr	4 (kein Gegenverkehr/ Gegenverkehr ohne Versatz/ Gegenverkehr mit 0,5 m Versatz/ Gegenverkehr mit 1,0 m in Richtung Fahrbahnmitte)	Zwischen-Subjekt	Manipulation in den Videos
Situation	Wetter	2 (Sonne/Regen)	Zwischen-Subjekt	Manipulation in den Videos
Person	Fahrerfahrung	2 (unerfahren/erfahren)	Zwischen-Subjekt	Post-hoc Identifikation (km-Leistung pro Jahr)
Person	Sensation Seeking	2 (hoch/niedrig)	Zwischen-Subjekt	Post-hoc Identifikation (AISS)

**Tab. 9:** Übersicht der unabhängigen Variablen der Studie

liche Kilometerleistung und Jahre des Führerscheinbesitzes. Die Klassifizierung der Stichprobe in unerfahren/erfahren fand schlussendlich über das Kriterium der jährlichen Kilometerleistung statt. Alle Personen mit einer Leistung < 5.000 km pro Jahr wurden als unerfahren klassifiziert. Alle anderen Probanden galten als erfahren (im Kapitel 2.3.2 wird die Auswahl dieser Variable hinsichtlich ihrer Eignung zur Klassifizierung der Fahrerfahrung geprüft). Das Sensation Seeking wurde über das Arnett Inventory of Sensation Seeking (AISS, ROTH & MAYERHOFER, 2003) erfasst (siehe Anhang 13). Dieses Befragungsinventar erfasst die Tendenz zur Erlebnissuche und Risikomotivation anhand von 20 Aussagen, welche über eine vierstufige Likertskala mit den Antwortoptionen „trifft gar nicht auf mich zu“ (1), „trifft kaum auf mich zu“ (2), „trifft etwas auf mich zu“ (3) und „trifft stark auf mich zu“ (4) zu bewerten sind. Über den Mittelwert der 20 Items lässt sich dann ein Gesamtwert hinsichtlich

des Sensation Seekings berechnen. Für die Klassifizierung als hohes und niedriges Sensation Seeking wurde die Mitte der Skala verwendet. Alle Probanden mit einem Wert  $\leq 2.5$  wurden als niedrig im Sensation Seeking eingestuft. Somit waren beide Personenfaktoren post-hoc identifizierte Zwischen-Subjektfaktoren. Tabelle 9 bietet eine Gesamtübersicht über alle unabhängigen Variablen der Studie. Zusammengefasst stellte die Studie ein  $7 \times 4 \times 2 \times 2 \times 2$  mixed-Design mit den Faktoren mittlere Spurabweichung, Gegenverkehr, Wetter, Fahrerfahrung und Sensation Seeking dar.

### 2.3.2 Stichprobe

Insgesamt beantworteten  $N = 161$  Personen den Fragebogen vollständig. Die Altersspanne betrug dabei 19 bis 64 Jahre ( $M = 28.6$ ;  $SD = 11.3$ ). Sowohl Geschlecht als auch Fahrerfahrung und Ausprägung des Sensation Seeking waren relativ gleich-

Version	N
Sonne + kein Verkehr	23
Sonne + Versatz 0,0 m	19
Sonne + Versatz 0,5 m	21
Sonne + Versatz 1,0 m	24
Regen + kein Verkehr	43
Regen + Versatz 0,0 m	31

Tab. 10: Anzahl der vollständig ausgefüllten Fragebogen pro Version

mäßig verteilt: 48,4 % der Probanden waren weiblich, 56,5 % waren unerfahrene Fahrer und 43,5 % niedrige Sensation Seeker. Diese 161 verteilten sich wie in Tabelle 10 dargestellt auf die sechs Fragebogenversionen.

Hinsichtlich des Personenfaktors Fahrerfahrung ist anzumerken, dass die Kategorisierung über die jährliche Kilometerleistung als angemessen erachtet werden kann. Vergleicht man die Klassifizierung über diese Variable mit der Klassifizierung über die Jahre des Führerscheinbesitzes, findet man eine signifikante Korrelation von  $r = .36$  ( $p \leq .001$ ). Dies bedeutet, dass die Anzahl der Jahre des Führerscheinbesitzes umso größer ist, je höher die jährliche Kilometerleistung ist.

### 2.3.3 Ergebnisse

Im Folgenden sollen die Ergebnisse der Studie vorgestellt werden. Dabei soll zuerst auf die deskriptiven Statistiken hinsichtlich der diversen Subjektfragen (Angemessenheit insgesamt und Gesamtscore des Fragebogens) eingegangen werden. Es folgt die Bestimmung der Akzeptanzschwellen mittels binärer logistischer Regressionen. Ein letzter Schritt stellt den Vergleich zwischen der allgemeinen Frage zur Angemessenheit und dem Gesamtscore des Fragebogens dar.

#### Deskriptive Statistiken

Um einen ersten Eindruck über die Antworten der Probanden zu erlangen, wurden diese zunächst grafisch veranschaulicht. Bild 24 zeigt die Bewertung der allgemeinen Angemessenheit in Abhängigkeit der mittleren Spurabweichung für die verschiedenen Bedingungen. Bild 25 stellt dies für den Gesamtscore des Fragebogens dar.

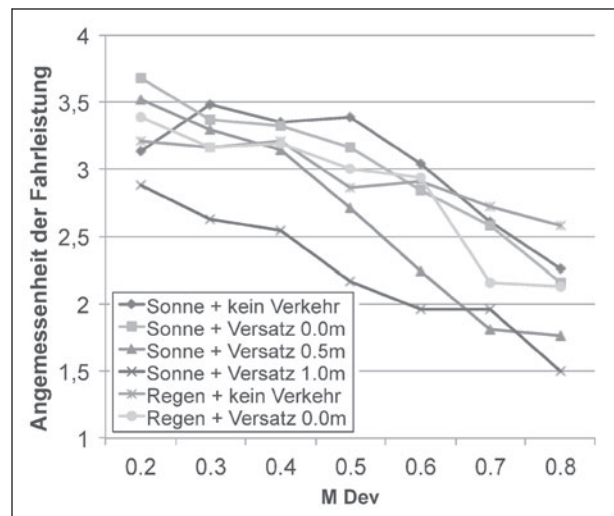


Bild 24: Bewertung der gesamten Angemessenheit der Fahrleistung

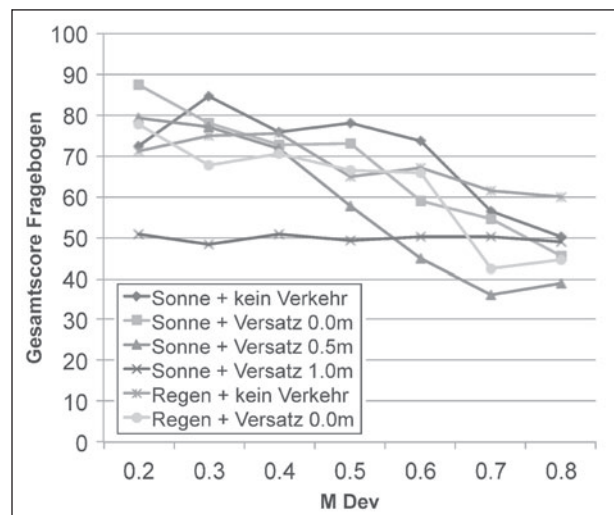


Bild 25: Gesamtscore des Fragebogens in Abhängigkeit der Fahrleistung

#### Binäre logistische Regressionen

Zur Bestimmung von Akzeptanzschwellen in der Fahrleistung wurden binäre logistische Regressionen gerechnet. Hierzu wurde in einem ersten Schritt die vierstufige Bewertung der Angemessenheit der Fahrleistung zu einem zweistufigen Format (nicht angemessen vs. angemessen) zusammengefasst und als abhängige Variable in den Berechnungen verwendet. Diese Zweiteilung erschien vor dem Hintergrund der Studie – der Identifikation konkreter Schwellenwerte zwischen einer subjektiv angemessenen und nicht mehr angemessenen Fahrleistung – sinnvoll.

In einem zweiten Schritt wurde dann die Berechnung binärer logistischer Regressionen durchge-



führt. Diesen Analysen lagen zwei Gedanken zugrunde: Es sollte die Wahrscheinlichkeit, mit der eine bestimmte Fahrleistung als angemessen beziehungsweise nicht angemessen bewertet wird, bestimmt werden. Hierbei wurde eine Wahrscheinlichkeit von 0.5 als relevante Schwelle einer akzeptierten Fahrleistung verstanden. Darüber hinaus sollte untersucht werden, inwiefern die verschiedenen unabhängigen Variablen einen Einfluss auf diese Bewertung haben. Im Zuge dessen wurde je einer der Situationsfaktoren in seiner Ausprägung (zum Beispiel Wetter = Sonne) konstant gehalten (entsprechend eines „Filters“), um konkrete Aussagen über den Einfluss der anderen Variablen zu ermöglichen. Da die mittlere Spurabweichung der Hauptinteressensfaktor war (über diese Variable wurde der Schwellenwert der Fahrleistung bestimmt), wurde diese in den Analysen zwingend in das Regressionsmodell aufgenommen. Die verbleibenden weiteren Faktoren wurden in Abhängigkeit ihrer inkrementellen Varianzaufklärung schrittweise in die Regressionsmodelle aufgenommen.

Als erster Filter wurde Wetter = Sonne gewählt. Die logistische Regression mit iterativem Vorwärtseinschluss zeigte, dass ausschließlich die mittlere Spurabweichung sowie der Gegenverkehr einen signifikanten Einfluss auf die Fahrleistungsbewertung hatten (siehe Tabelle 11). Hierbei schien ausschließlich der Versatz des Gegenverkehrs und nicht die bloße Anwesenheit eine signifikante Rolle zu spielen. Die Bedingungen „Kein Verkehr“ und „Versatz 0,0 m“ unterschieden sich nicht signifikant voneinander.

Da der Faktor Gegenverkehr unter diesem Filter scheinbar einen Einfluss auf die Fahrleistungsbewertung besitzt, wurden vier weitere binäre logistische Regressionen durchgeführt, in denen die Rolle des Gegenverkehrs beachtet wurde. Hierzu wurde pro zusätzlicher Berechnung der Filter so

AV: Binäre Fahrleistungsbewertung			
UV	B	Odds Ratio	p
M Dev	-5.7	.00	≤ .001
Kein Verkehr			≤ .001
Versatz 0,0 m	.27	1.32	n. s.
Versatz 0,5 m	-.87	.42	≤ .001
Versatz 1,0 m	-1.77	.17	≤ .001

Tab. 11: Ergebnisse der binären logistischen Regression unter dem Filter Wetter = Sonne  
Anmerkung: R<sup>2</sup> Nagelkerke = .36

adaptiert, dass die Faktorenausprägung des Wetters Sonne mit jeweils einer Ausprägung des Faktors Gegenverkehr kombiniert wurde (das heißt Filter = Sonne + kein Verkehr; Filter = Sonne + Versatz 0,0 m etc.). Die Ergebnisse dieser Berechnungen lieferten die notwendigen Parameter zur Aufstellung von logistischer Funktionsgleichungen (Regressionskoeffizient B sowie Konstante), anhand derer die Wahrscheinlichkeit ermittelt werden konnte, mit der unter dem jeweiligen Filter eine bestimmte mittlere Spurabweichung als angemessen bewertet wird.

Die Ergebnisse der Analysen sind in den Tabellen 12 bis 15 zusammengefasst. Bild 26 stellt die resultierenden Funktionen sowie die Akzeptanzschwellen einer „subjektiv angemessen empfundenen Fahrleistung“ dar. Die Schwellenwerte für die beiden Bedingungen Sonne + kein Verkehr und Sonne + Versatz 0,0 m lagen bei 0,72 m, während der

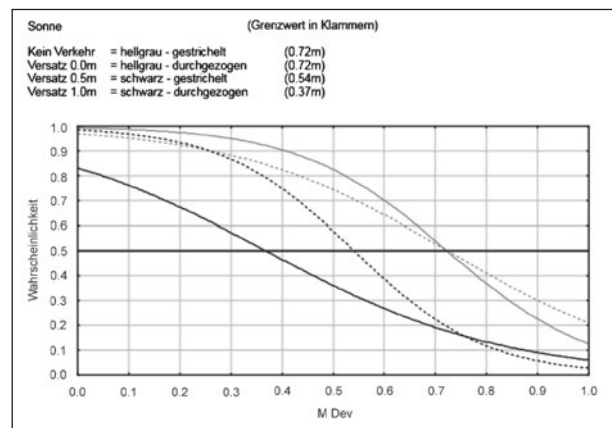


Bild 26: Funktionen und Schwellenwerte aller relevanten Bedingungen unter Wetter = Sonne

AV: Binäre Fahrleistungsbewertung			
UV	B	Odds Ratio	p
M Dev	-4.78	.01	≤ .001
Konstante	3.46	31.67	≤ .001

Tab. 12: Ergebnisse der binären logistischen Regressionsanalyse unter dem Filter Wetter = Sonne + kein Verkehr  
Anmerkung: R<sup>2</sup> Nagelkerke = .21

AV: Binäre Fahrleistungsbewertung			
UV	B	Odds Ratio	p
M Dev	-7.00	.00	≤ .001
Konstante	5.03	153.49	≤ .001

Tab. 13: Ergebnisse der binären logistischen Regressionsanalyse unter dem Filter Wetter = Sonne + Versatz 0,0 m  
Anmerkung: R<sup>2</sup> Nagelkerke = .33

Schwellenwert für die Bedingung Sonne + Versatz 0,5 m bei 0,54 m lag. Der Grenzwert für die vierte Bedingung, Sonne + Versatz 1,0 m, lag bei 0,37 m. Bild 27 zeigt eine grafisch-schematische Darstellung der akzeptierten Fahrleistungsbereiche.

Dieselbe Prozedur wurde mit dem Filter Wetter = Regen durchgeführt. In einer ersten logistischen Regressionsanalyse erwies sich lediglich der Faktor mittlere Spurabweichung als signifikant (siehe Tabelle 16). Aus diesem Grund bedurfte es keiner

AV: Binäre Fahrleistungsbewertung			
UV	B	Odds Ratio	p
M Dev	-7.77	.00	≤ .001
Konstante	4.20	66.92	≤ .001

Tab. 14: Ergebnisse der binären logistischen Regressionsanalyse unter dem Filter Wetter = Sonne + Versatz 0,5 m  
Anmerkung: R<sup>2</sup> Nagelkerke = .43

AV: Binäre Fahrleistungsbewertung			
UV	B	Odds Ratio	p
M Dev	-4.33	.01	≤ .001
Konstante	1.60	4.93	≤ .001

Tab. 15: Ergebnisse der binären logistischen Regressionsanalyse unter dem Filter Wetter = Sonne + Versatz 1,0 m  
Anmerkung: R<sup>2</sup> Nagelkerke = .19

weiteren regressionsanalytischen Berechnungen mit adaptierten Filtern, sondern die Parameter der Funktionsgleichung konnten aus der ersten Berechnung entnommen werden. Der resultierende Graph samt Schwellenwert (0,75 m) ist in Bild 28 zu sehen.

AV: Binäre Fahrleistungsbewertung			
UV	B	Odds Ratio	p
M Dev	-3.61	.03	≤ .001
Konstante	-2.71	14.97	≤ .001

Tab. 16: Ergebnisse der binären logistischen Regressionsanalyse unter dem Filter Wetter = Regen  
Anmerkung: R<sup>2</sup> Nagelkerke = .13

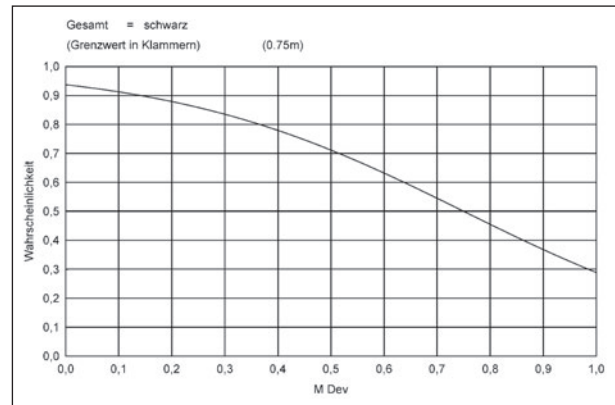


Bild 28: Funktionen und Schwellenwerte aller relevanten Bedingungen unter Wetter = Regen

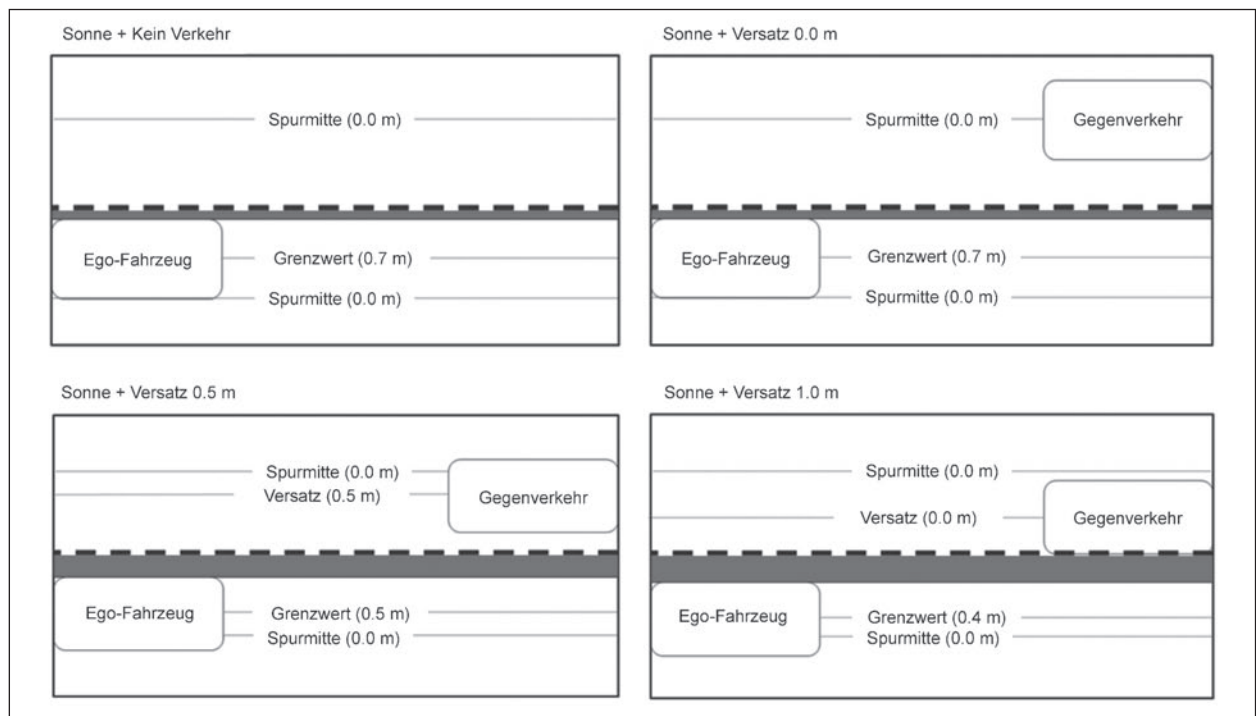


Bild 27: Grafisch-schematische Darstellung der Akzeptanzschwellen für den Filter Wetter = Sonne  
Anmerkung: Die nicht akzeptierten Bereiche eines Lateralversatzes nach links sind in dunkelgrau dargestellt

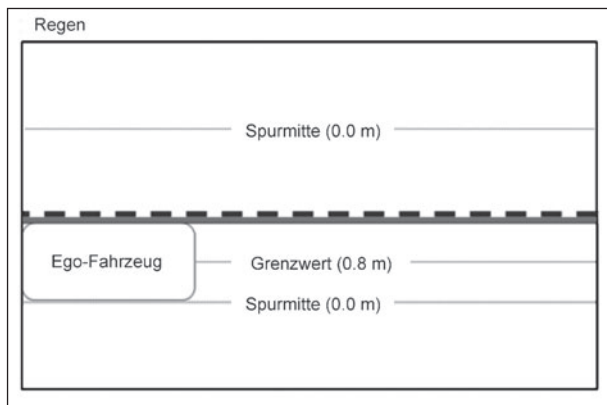
Bild 29 beinhaltet eine grafisch-schematische Zusammenfassung der Ergebnisse.

Im Folgenden wurde diese Vorgehensweise mit dem Filter Gegenverkehr = Kein Verkehr wiederholt. Auch hier wurde in der anfänglichen Regressionsanalyse nur der Faktor mittlere Spurabweichung signifikant (siehe Tabelle 17). Aus diesem Grund bedurfte es erneut keiner weiteren regressionsanalytischen Berechnungen mit adaptierten Filtern. Stattdessen konnten die Parameter der Funktionsgleichung aus der ersten Berechnung entnommen werden. Der resultierende Graph samt Schwellenwert (0,79 m) ist in Bild 30 zu sehen. Zusätzlich zeigt Bild 31 eine grafisch-schematische Darstellung der Akzeptanzschwelle.

Als nächster Filter wurde Gegenverkehr = Versatz 0,0 m gewählt. In einer ersten regressionsanalytischen Berechnung wurden sowohl die mittlere Spurabweichung als auch Sensation Seeking und Wetter signifikant (siehe Tabelle 18).

Die einzelnen Ausprägungen der signifikant gewordenen Faktoren stellten die Grundlage für adaptierte Filter bei erneuten regressionsanalytischen Berechnungen dar. Dabei wurden die Kombinationen Versatz 0,0 m + Sonne + Low Sensation Seeking, Versatz 0,0 m + Regen + Low Sensation Seeking, Versatz 0,0 m + Sonne + High Sensation Seeking und

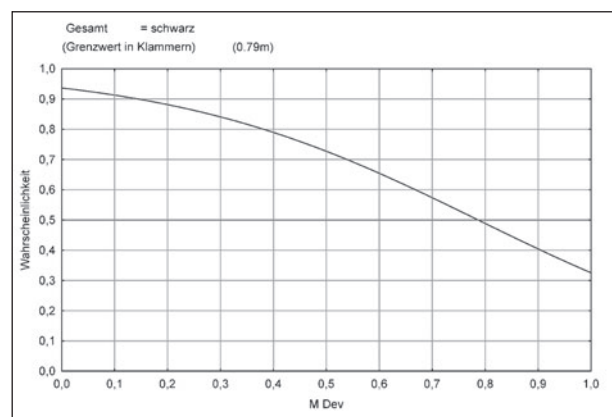
Versatz 0,0 m + Regen + High Sensation Seeking verwendet, um den Einfluss dieser auf die Fahrleistungsbewertung in Abhängigkeit der mittleren Spurabweichung zu untersuchen. Den Ergebnissen konnten die notwendigen Parameter zur Aufstellung der Funktionsgleichungen entnommen werden. Die Ergebnisse dieser Berechnungen sind in den Tabellen 19 bis 22 veranschaulicht, Bild 32 veranschaulicht die resultierenden Funktionen inklusive der jeweiligen Schwellenwerte (Versatz 0,0 m + Sonne + Low Sensation Seeking: 0,61 m; Versatz 0,0 m + Regen + Low Sensation Seeking: 0,56 m; Versatz 0,0 m +



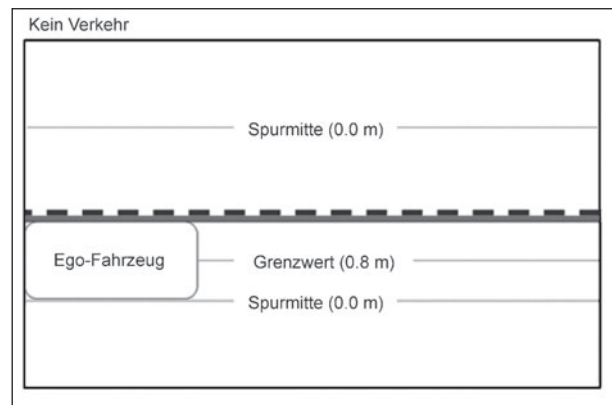
**Bild 29:** Grafisch-schematische Darstellung der Akzeptanzschwellen für den Filter Wetter = Regen  
Anmerkung: Die nicht akzeptierten Bereiche eines Lateralversatzes nach links sind in dunkelgrau dargestellt

AV: Binäre Fahrleistungsbewertung			
UV	B	Odds Ratio	p
M Dev	-3.42	.03	≤ .001
Konstante	-2.69	14.72	≤ .001

**Tab. 17:** Ergebnisse der binären logistischen Regressionsanalyse unter dem Filter Gegenverkehr = Kein Verkehr  
Anmerkung:  $R^2_{\text{Nagelkerke}} = .12$



**Bild 30:** Funktionen und Schwellenwerte aller relevanten Bedingungen unter Gegenverkehr = Kein Verkehr



**Bild 31:** Grafisch-schematische Darstellung der Akzeptanzschwellen für den Filter Gegenverkehr = kein Verkehr  
Anmerkung: Die nicht akzeptierten Bereiche eines Lateralversatzes nach links sind in dunkelgrau dargestellt

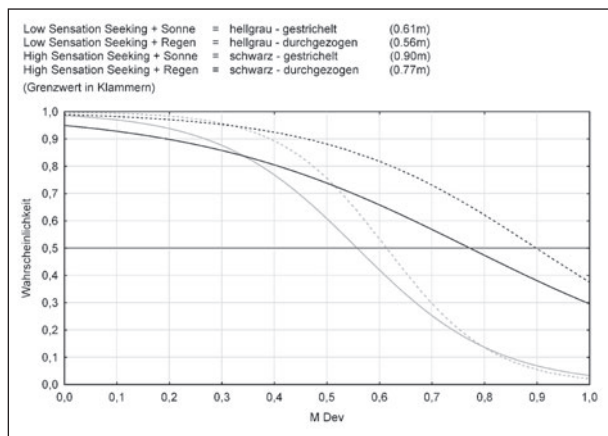
AV: Binäre Fahrleistungsbewertung			
UV	B	Odds Ratio	p
M Dev	-5.72	.00	≤ .001
Sensation Seeking	.98	2.65	≤ .001
Wetter	-.68	.51	≤ .05

**Tab. 18:** Ergebnisse der binären logistischen Regressionsanalyse unter dem Filter Gegenverkehr = Versatz 0,0 m  
Anmerkung:  $R^2_{\text{Nagelkerke}} = .30$

Sonne + High Sensation Seeking: 0,90 m; Versatz 0,0 m + Regen + High Sensation Seeking: 0,77 m). Bild 33 stellt die Schwellenwerte grafisch-schematisch dar.

AV: Binäre Fahrleistungsbewertung			
UV	B	Odds Ratio	p
M Dev	-9.92	.00	≤ .001
Konstante	6.09	439.67	≤ .001

**Tab. 19:** Ergebnisse der binären logistischen Regressionsanalyse unter dem Filter Gegenverkehr = Versatz 0,0 m + Sonne + Low Sensation Seeking  
Anmerkung:  $R^2_{\text{Nagelkerke}} = .52$



**Bild 32:** Funktionen und Schwellenwerte aller relevanten Bedingungen unter Gegenverkehr = Versatz 0,0 m

AV: Binäre Fahrleistungsbewertung			
UV	B	Odds Ratio	p
M Dev	-7.61	.00	≤ .001
Konstante	4.24	69.44	≤ .001

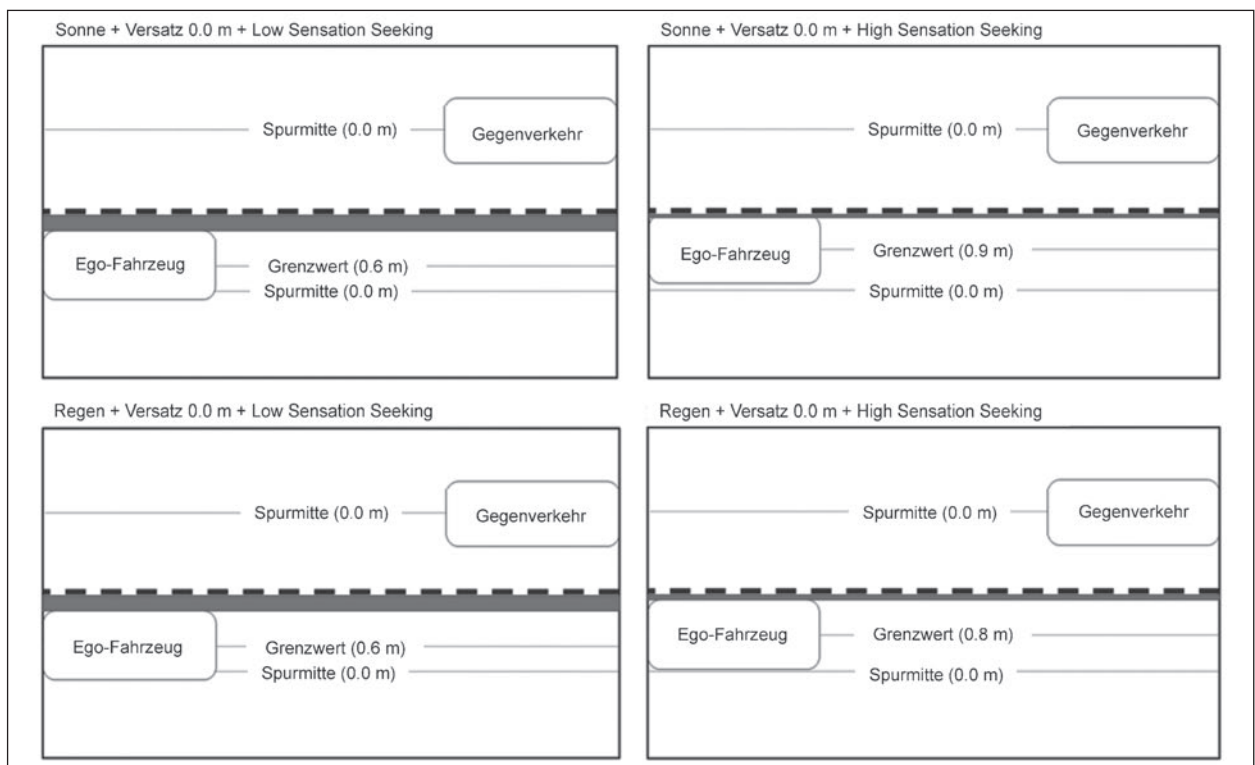
**Tab. 20:** Ergebnisse der binären logistischen Regressionsanalyse unter dem Filter Gegenverkehr = Versatz 0,0 m + Regen + Low Sensation Seeking  
Anmerkung:  $R^2_{\text{Nagelkerke}} = .42$

AV: Binäre Fahrleistungsbewertung			
UV	B	Odds Ratio	p
M Dev	-5.03	.01	≤ .001
Konstante	4.52	91.68	≤ .001

**Tab. 21:** Ergebnisse der binären logistischen Regressionsanalyse unter dem Filter Gegenverkehr = Versatz 0,0 m + Sonne + High Sensation Seeking  
Anmerkung:  $R^2_{\text{Nagelkerke}} = .17$

AV: Binäre Fahrleistungsbewertung			
UV	B	Odds Ratio	p
M Dev	-3.81	.02	≤ .001
Konstante	2.94	18.94	≤ .001

**Tab. 22:** Ergebnisse der binären logistischen Regressionsanalyse unter dem Filter Gegenverkehr = Versatz 0,0 m + Regen + High Sensation Seeking  
Anmerkung:  $R^2_{\text{Nagelkerke}} = .14$



**Bild 33:** Grafisch-schematische Darstellung der Akzeptanzschwellen für den Filter Gegenverkehr = Versatz 0,0 m  
Anmerkung: Die nicht akzeptierten Bereiche eines Lateralversatzes nach links sind dunkelgrau dargestellt

In einem nächsten Schritt wurde diese Vorgehensweise mit dem Filter Gegenverkehr = Versatz 0,5 m wiederholt. Hier wurde in der anfänglichen Regressionsanalyse wieder nur der Faktor mittlere Spurabweichung signifikant (siehe Tabelle 23). Dieses Ergebnis ist äquivalent zu den Ergebnissen mit dem Filter Sonne + Versatz 0,5 m (vgl. Tabelle 14). Da hier nur die mittlere Spurabweichung der einzig signifikante Faktor war, bedurfte es keiner weiteren regressionsanalytischen Berechnungen mit adaptierten Filtern, sondern die Parameter der Funktionsgleichung konnten aus der ersten Berechnung entnommen werden. Aufgrund der Deckung der Ergebnisse entspricht der resultierende Graph samt Schwellenwert (0,54 m) der in schwarz dargestellten Funktion in Bild 26.

AV: Binäre Fahrleistungsbewertung			
UV	B	Odds Ratio	p
M Dev	-7.77	.00	≤ .001
Konstante	4.20	66.92	≤ .001

Tab. 23: Ergebnisse der binären logistischen Regressionsanalyse unter dem Filter Gegenverkehr = Versatz 0,5 m  
Anmerkung:  $R^2_{\text{Nagelkerke}} = .43$

AV: Binäre Fahrleistungsbewertung			
UV	B	Odds Ratio	p
M Dev	-4.33	.01	≤ .001
Konstante	1.60	4.93	≤ .001

Tab. 24: Ergebnisse der binären logistischen Regressionsanalyse unter dem Filter Gegenverkehr = Versatz 1,0 m  
Anmerkung:  $R^2_{\text{Nagelkerke}} = .19$

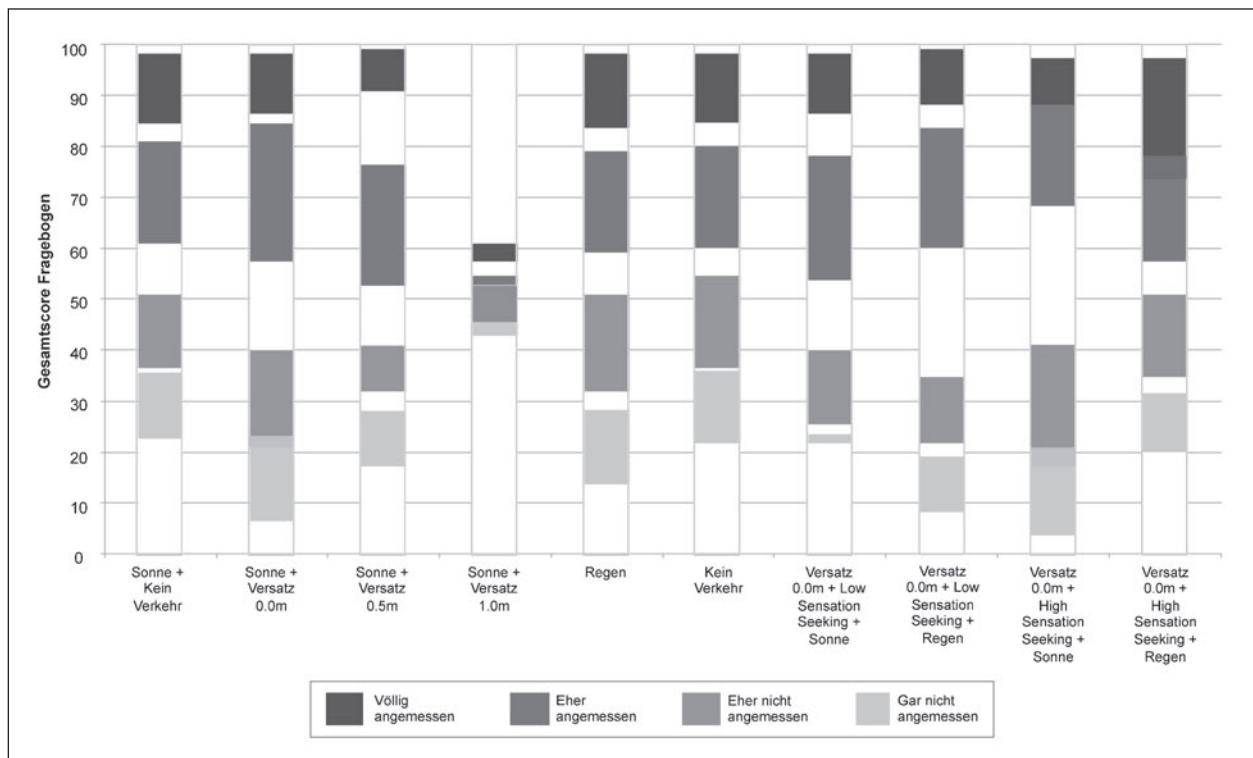
Im Folgenden wurde diese Prozedur mit dem Filter Gegenverkehr = Versatz 1,0 m wiederholt. Auch hier wurde in der anfänglichen Regressionsanalyse nur der Faktor mittlere Spurabweichung signifikant (siehe Tabelle 24). Aus diesem Grund bedurfte es keiner weiteren regressionsanalytischen Berechnungen mit adaptierten Filtern, sondern die Parameter der Funktionsgleichung konnten aus der ersten Berechnung entnommen werden. Dieses Ergebnis ist gleich zu den Ergebnissen des Filters Sonne + Versatz 1,0 m (Tabelle 15). Aufgrund der Gleichheit der Ergebnisse entspricht der resultierende Graph samt Schwellenwert (0,34 m) der in schwarz dargestellten Funktion in Bild 26.

### Vergleich der Bewertung der allgemeinen Angemessenheit mit den Gesamtscores des Fragebogens

Ein weiterer Schritt der Datenauswertung beinhaltet die Einbindung der Gesamtscores des Fragebogens zur „subjektiv angemessen empfundenen Fahrleistung“. Hierzu wurde in einem ersten Schritt jeweils der Gesamtscore für die Schwellenwerte der zehn relevanten Faktorenkombinationen berechnet (Tabelle 25). Mittels einer einfaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA) wurde anschließend überprüft, inwiefern sich diese zehn Gesamtscores unterscheiden. Hintergrund der Varianzanalyse war die Überprüfung, inwiefern der Fragebogen zur „subjektiv angemessen empfundenen Fahrleistung“ einen Wertebereich besitzt, der verlässlich den Grenzwert einer „subjektiv angemessen empfundenen Fahrleistung“ indizieren kann. Die Analyse zeigte, dass sich die zehn Grenzwerte, die zwi-

Faktorenkombination	Schwellenwert [m]	Gesamtscore des Fragebogens [Bereich 0 – 100]
Sonne + Kein Verkehr	0,7	56.28
Sonne + Versatz 0,0 m	0,7	54.69
Sonne + Versatz 0,5 m	0,5	57.79
Sonne + Versatz 1,0 m	0,4	50.68
Regen	0,8	53.49
Kein Verkehr	0,8	56.54
Sonne + Versatz 0,0 m + Low Sensation Seeking	0.6	53.23
Sonne + Versatz 0,0 m + High Sensation Seeking	0.8 (0.9)	56.36
Regen + Versatz 0,0 m + Low Sensation Seeking	0.6	59.09
Regen + Versatz 0,0 m + High Sensation Seeking	0.8	51.68

Tab. 25: Gesamtscores des Fragebogens für die zuvor berechneten relevanten Schwellenwerte  
Anmerkung: Zusätzlicher Grenzwert in Klammern entspricht rechnerisch dem korrekten Schwellenwert der Kombination, der jedoch (gemäß dem Experimentaldesign) nicht operationalisiert wurde



**Bild 34:** Grafische Darstellung des Zusammenhangs zwischen dem Rating zur Angemessenheit und dem Gesamtfragebogenscore. Anmerkung: Die Balken repräsentieren jeweils alle Werte zwischen dem ersten und dritten Quartil

schen 50.68 und 59.09 ( $M = 54.78$ ,  $SD = 26.14$ ) liegen, nicht signifikant voneinander unterscheiden. Darüber hinaus bietet Bild 34 einen grafischen Überblick über den Zusammenhang zwischen dem Rating der Angemessenheit und dem Gesamtfragebogenscore.

### 2.3.4 Diskussion der Ergebnisse

Die Hypothese der Studie war, dass sich der Bereich einer „subjektiv angemessen empfundenen Fahrleistung“ durch einen oberen Schwellenwert (hinsichtlich des Querversatzes) eingrenzen lässt und dieser Schwellenwert in Abhängigkeit von verschiedenen Variablen (Fahrerfahrung, Sensation Seeking, Gegenverkehr, Regen) variiert.

Nach Durchführung und Auswertung der Studie lässt sich konstatieren, dass es tatsächlich Schwellenwerte einer „subjektiv angemessen empfundenen Fahrleistung“ zu geben scheint. Dies stellt einen Beleg für die Existenz einer Komfortzone dar, welche sich dynamisch mit dem Fahrzeug bewegt. Jedoch werden diese Schwellenwerte nicht schlicht durch Fahrerfahrung und ausgeprägtes Sensation Seeking hinauf- beziehungsweise durch Gegenverkehr und Regen hinabgesetzt. Vielmehr bedarf es an dieser Stelle differenzierterer Betrachtungen

unter Berücksichtigung von Interaktionen zwischen den einzelnen Variablen.

Zunächst lässt sich konstatieren, dass der Versatz des eigenen Fahrzeugs nach links, das heißt zur Fahrbahnmitte hin, in allen in dieser Studie getesteten Szenarien einen signifikanten Einfluss auf die Fahrleistungsbewertung zu haben scheint (siehe Bilder 26-33; Tabellen 11-24). Bei sonnigem Wetter scheint es dabei keinen Unterschied zu machen, ob Gegenverkehr vorhanden ist oder nicht. Erst wenn der vorhandene Gegenverkehr einen Versatz aufweist, wird dessen Einfluss auf die Fahrleistungsbewertung in der Weise bemerkbar, dass sich die Komfortzone verkleinert, je stärker das entgegenkommende Fahrzeug in Richtung des eigenen Fahrzeugs versetzt ist (siehe Bilder 26 und 27; Tabelle 11). Weiterhin scheint es unter der Bedingung, dass kein Gegenverkehr vorhanden ist, bezüglich der Fahrleistungsbewertung keinen Unterschied zu machen, ob die Sonne scheint oder es regnet (siehe Bilder 30 und 31; Tabelle 17). Dies scheint sich jedoch zu ändern, wenn Gegenverkehr auftritt (siehe Bilder 32 und 33; Tabelle 18).

Im Falle des Auftretens von Gegenverkehr ohne Versatz scheint auch das Sensation Seeking eine wichtige Rolle hinsichtlich der Fahrleistungsbewer-

tung zu spielen: Bei sonnigem Wetter ist die Komfortzone von Fahrern mit hohem Sensation Seeking deutlich größer als die von Fahrern mit niedrigem Sensation Seeking. Bei regnerischem Wetter nähern sich diese Werte einander wieder an (siehe Bilder 32 und 33; Tabelle 18). Dies gilt ebenso bei einem Versatz des Gegenverkehrs. In diesem Fall existieren keine signifikanten Unterschiede in der Fahrleistungsbewertung von Fahrern mit niedrigem und hohem Sensation Seeking (siehe Tabelle 23 und 24). Die Bedeutung dieser Studienergebnisse für die Gestaltung von automatisierten Systemen soll im dritten Arbeitspaket diskutiert werden.

Die aktuelle Studie ermöglichte neben der Bestimmung konkreter Akzeptanzschwellen in der Fahrleistung auch die Möglichkeit, den Fragebogen zum Konstrukt „subjektiv angemessen empfundene Fahrleistung“ einer weiteren empirischen Prüfung zu unterziehen. Als solches konnte gezeigt werden, dass die Bewertungsschwelle zwischen einer „subjektiv angemessen“ und „nicht angemessen empfundenen“ Fahrleistung zwischen 50 und 60 Punkten des Gesamtscores des Fragebogens liegt. Dieses Wissen kann in zukünftigen empirischen Studien genutzt werden, in denen der Fragebogen zur „subjektiv angemessen empfundenen Fahrleistung“ als Entscheidungsgrundlage für die Bewertung von Trajektorien verwendet werden soll.

### 3 Arbeitspaket 2 – Fokus hochautomatisierte Fahrsituationen

Während im ersten Arbeitspaket der Themenschwerpunkt der subjektiven Fahrleistungsbearbeitung thematisiert wurde, fokussierte sich das zweite Arbeitspaket – wie in der Einleitung bereits angesprochen – auf die kompensativen Fahrerstrategien im Rahmen des automatisierten Fahrens. Bisherige Studien konnten zeigen, dass im Zuge des fahrgesteuerten Fahrens kompensative Fahrerstrategien im Sinne von Regulationen nicht fahrbezogener Aufgaben in kritischen oder anspruchsvollen Fahrsituationen gezeigt werden (PLATTEN et al., 2011; PLATTEN et al., 2013; RAUCH et al., 2009; SCHWALM et al., 2008). Zu klären ist, ob und in welchem Maße diese Strategien auch im Rahmen des automatisierten Fahrens zur Verfügung stehen. Ausgehend vom Arbeitsmodell von SCHWALM et al. (2015)

und anderen Arbeiten lassen sich einige Annahmen hinsichtlich dieser zweiten Fragestellung des aktuellen Forschungsprojekts formulieren.

Wie im Kapitel 1.1 bereits diskutiert, ist zu vermuten, dass automatisierte Fahrfunktionen einen kognitiven Underload bei Fahrern hervorrufen (RADLYMAYR & BENGLER, 2015). Gemäß SCHWALM et al. (2015) wäre zu vermuten, dass Fahrer versuchen diesen aversiven Zustand durch eine Erhöhung der Ziele und Aktivität von nicht fahrbezogenen Aufgaben zu vermeiden. In einer ersten Hypothese formuliert, würde dies bedeuten:

1. Im Normalverkehr des automatisierten Fahrens ruft eine automatisierte Fahrfunktion Verhaltensadaptation in der Fahr- und weiteren nicht fahrbezogenen Aufgaben hervor. Im Vergleich zum nicht-automatisierten Fahren ist im automatisierten Fahren
  - die Fahrleistung besser und
  - die Bearbeitung nicht fahrbezogener Aufgaben höher.

Ebenfalls wurde im Literaturkapitel bereits die Problematik des Out-of-the-loop-Problems (ENDSLEY & KIRIS, 1995; KABER & ENDSLEY, 1997) diskutiert. Insbesondere in SAE Level 3 ist fraglich, inwiefern Fahrer in der Lage sind, ad hoc die Fahraufgabe vollständig zu übernehmen. Mit anderen Worten ist aktuell weitestgehend noch nicht untersucht, inwiefern Fahrer ihre kompensativen Fahrerstrategien, das heißt insbesondere die Reduktion nicht fahrbezogener Aufgaben, zeigen können. Im Sinne des Frameworks von SCHWALM et al. (2015) wäre das folgende Verhalten realistisch: Sobald Fahrer eine Übernahmeaufforderung erhalten und diese adäquat verarbeitet haben, werden sie – in Umkehrung zum Verhalten bei Aktivierung der Automation – ihre Zielwerte und Aktivität nicht fahrbezogener Aufgaben reduzieren bis sie an das Level des nicht-automatisierten Fahrens angeglichen sind. Sollte dieses Verhalten tatsächlich auftreten, ist damit zu rechnen, dass Fahrer eine sichere Fahrleistung garantieren können. Als Hypothesen formuliert bedeutet dies:

2. Als Vorbereitung auf eine Übernahme werden Fahrer im Anschluss an eine Übernahmeaufforderung die Aktivität nicht fahrbezogener Aufgaben an das Aktivitätslevel des nicht-automatisierten Fahrens angleichen.

3. Es existiert ein Zusammenhang zwischen der Reduktion der Aktivität nicht fahrbezogener Aufgaben nach der Übernahmeaufforderung und der Fahrleistung nach der Übernahme.

In bestehender Literatur zur Automationsforschung existieren bereits diverse empirische Studien, die die Rolle und das Design von Übernahmeaufforderungen diskutieren (zum Beispiel GOLD et al., 2013; NAUJOKS et al., 2014). In diesen wird insbesondere die Salienz der Übernahmeaufforderung thematisiert. Hiervon ausgehend lässt sich die folgende Hypothese formulieren:

4. Die kompensativen Fahrerstrategien können über eine Variation der Salienz der Übernahmeaufforderung beeinflusst werden: Je höher die Salienz der Übernahmeaufforderung desto
  - stärker ist die Reduktion der Aktivität in nicht fahrbezogenen Aufgaben nach der Übernahmeaufforderung und desto
  - besser ist die Fahrleistung nach der Übernahme.

Im Rahmen der kompensativen Fahrerstrategien erscheint es sinnvoll, zusätzlich zur Diskussion objektiver Parameter auch Subjektivparameter zu beleuchten. Zum einen erscheint es schlüssig, dass Fahrer ihre kompensativen Fahrerstrategien gut einschätzen können. Funktionierende Strategien sind, wie bereits diskutiert, vermutlich eine Grundvoraussetzung für unfallfreies Fahren und somit ein subjektives Sicherheitsgefühl. Eine Hypothese hierzu lautet:

5. Es existiert ein Zusammenhang zwischen den kompensativen Fahrerstrategien und der subjektiven Wahrnehmung einer Fahrsituation:
  - a. Je stärker die Reduktion einer nicht fahrbezogenen Aufgabe nach einer Übernahmeaufforderung ist, desto besser ist die subjektive Situationswahrnehmung im Rahmen der Übernahme.
  - b. Je besser die Fahrleistung nach der Übernahme ist, desto besser ist die subjektive Situationswahrnehmung im Rahmen der Übernahme.

Zum anderen scheinen Persönlichkeitseigenschaften wie das Sensation Seeking Einfluss auf das Fahrerverhalten zu haben. Daraus ist die folgende Hypothese denkbar.

6. Je stärker die Ausprägung des Sensation Seekings desto

- riskanter ist die Fahrweise und desto
- schwächer ist die Ausprägung kompensativer Fahrerstrategien.

Zur Beantwortung dieser sechs Hypothesen wurde eine empirische Fahrsimulationsstudie durchgeführt, in der Übernahme-situationen des automatisierten Fahrens simuliert wurden. Die Methodik, Ergebnisanalysen und -interpretationen sollen nun detailliert dargestellt werden.

### 3.1 Methode

Zur Untersuchung der Fahrerstrategien im automatisierten Fahren wurde eine Simulatorstudie durchgeführt. Die verwendeten Materialien, der Aufbau sowie der genaue Ablauf werden in den folgenden Kapiteln dargestellt.

#### 3.1.1 Aufbau und Material

Im Folgenden wird der technische Versuchsaufbau detailliert beschrieben. Zusätzlich werden die verwendeten Fragebogen vorgestellt.

#### Simulator

Die Studie fand im Fahrsimulator des ika der RWTH Aachen University statt. Der Simulator (Daimler Chrysler Aerospace, Krauss-Maffei Wegmann GmbH & Co. KG) besitzt einen horizontalen Sichtbereich von 210° und einen vertikalen Sichtbereich von 40°. Für die Rundumsicht projizieren insgesamt sechs Beamer (Epson EB-1920W) das Bild der Fahrbahn und der Umgebung auf eine gewölbte Leinwand. Vier der sechs Beamer ergeben dabei beim Blick durch die Front- und Seitenscheiben ein gemeinsames Bild. Die weiteren zwei Projektoren sind so positioniert, dass der hintere Verkehr in den Seitenspiegeln dargestellt wird. Im Rückspiegel wird die Simulation in einem 22 Zoll LED Monitor (Samsung S22C450BW) abgebildet. Als Mockup wurde der vordere Teil eines BMW 5er (BMW 550i, Baujahr 2012) genutzt, der über ein Automatikgetriebe verfügt. Als Simulationssoftware wurde „Silab 5“ (WIVW GmbH, Veitshöchheim, Deutschland) verwendet. Neben der Routengenerierung diente die Software der Datenerfassung. Sie zeichnete alle notwendigen Koordinaten des Fahrzeugs und der generierten Umwelt auf und berechnete

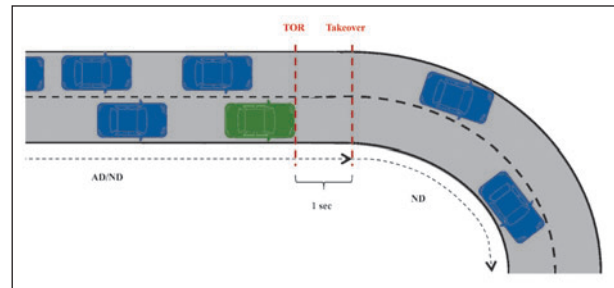


hierauf basierend die verschiedenen Fahrleistungsparameter.

### Fahrscenarien

Die Fahrscenarien der aktuellen Studie wurden basierend auf bestehenden Arbeiten des ika entwickelt (JOSTEN & ECKSTEIN, in prep.). Im Verlauf der Studie gab es pro Proband eine Übungsfahrt sowie acht weitere Fahrten, welche sich in vier Fahrtypen unterteilen ließen. Bei allen Fahrten handelte es sich um Autobahnfahrten, die jeweils auf einem Autobahnrastplatz starteten und endeten. Die Autobahnstrecke bestand aus zwei Fahrbahnen mit jeweils zwei Fahrstreifen, die über eine Leitplanke getrennt wurden. Damit die Strecke einen möglichst realistischen Verlauf besaß, war sie leicht kurvig. Dabei hatten alle Kurven einen Radius von mindestens 1.300 m (einzig eine Ausnahme, siehe unten). Bei allen Fahrten, das heißt auch bei der Übungsfahrt, gab es entgegenkommenden Verkehr auf der anderen Fahrbahn.

Zur Gewöhnung an den Simulator gab es eine ca. 2,5 Minuten lange Übungsfahrt, die ohne mitfließenden Verkehr simuliert wurde. Alle acht weiteren Fahrten hatten eine Dauer von ca. 5,5 Minuten und waren von der Straßenführung und der Verkehrsdichte identisch. Lediglich die Vegetation und die Bebauung der Umwelt variierten. Wie bereits erwähnt, begannen die Fahrten auf einem Parkplatz. Direkt nach Verlassen des Rastplatzes befand sich am Ende des Beschleunigungsstreifens ein Schild, welches die Geschwindigkeit auf 130 km/h begrenzte. Der an dieser Stelle beginnende erste Autobahnabschnitt, auch „Freie Fahrt“ genannt, dauerte ca. 1,5 Minuten und beinhaltete noch keinen mitfließenden Verkehr. Kurz vor Ende dieses Abschnitts wurde ein Stauende ersichtlich. Damit die Versuchspersonen mit gedrosselter Geschwindigkeit auf den Stau auffuhren, wurde an dieser Stelle ein Schild mit der Geschwindigkeitsbeschränkung von 100 km/h positioniert. Die folgende ca. dreiminütige Staufahrt wurde so programmiert, dass die Geschwindigkeit der Fahrzeuge während des Staus zwischen 15 und 50 km/h variierte. Die letzten 200 m des Staus führten kontinuierlich geradeaus. Die Geschwindigkeit der Staufahrzeuge betrug hierbei konstant ca. 50 km/h. Die Simulation sah vor, dass am Ende der Geraden eine kritische Fahrsituation auftrat. Diese entstand dadurch, dass die Gerade in eine nach rechts verlaufende Kurve mit einem Kurvenradius von 300 m überging (siehe Bild 35).



**Bild 35:** Schematische Darstellung der Übernahmesituation beziehungsweise der kritischen Fahrsituation (JOSTEN & ECKSTEIN, in prep.)

Anmerkung: Das Ego-Fahrzeug ist in grün dargestellt

Der Kurvenradius wurde so gewählt, dass die time to lane crossing (TLC) bei der Übernahme möglichst gering ( $TLC = 2.26 \pm 0.1$  s) ausfiel, die Situation aber trotzdem realistisch gestaltet war. Es sollte somit sichergestellt werden, dass bei Nicht-Eingreifen des Fahrers das Fahrzeug nach einem relativ kurzen Zeitraum auf den linken Fahrbahnstreifen gelangen würde. Dies würde die potenzielle Gefahr einer Kollision mit anderen Verkehrsteilnehmern bergen. Ab dieser Kurve löste sich der Stau langsam auf. Es folgte ein weiterer, einminütiger Streckenabschnitt „Freie Fahrt“ mit mitfließendem Verkehr. Die Fahrt wurde auf einem Rastplatz beendet, der frühzeitig über eine Beschilderung kenntlich gemacht wurde.

### Automatisierte Fahrfunktion – Staupilot

Zur Untersuchung der Fahrerstrategien im Rahmen des automatisierten Fahrens wurde für die Studie eine automatisierte Fahrfunktion – ein Staupilot – programmiert, die in 50 % der Fahrten verfügbar war. Der Automatisierungsgrad des Staupiloten entsprach nach SAE (SAE International, 2014) einer Level 3 Automatisierung mit der Einschränkung, dass eine Hand des Fahrers immer das Lenkrad umfassen musste (hands-on). Bei der automatisierten Fahrt wurde die Regelung der Längs- und Querdynamik durch die Funktion übernommen.

Eine Aktivierung des Staupiloten war dabei beim Annähern an ein Stauende möglich. Hierbei mussten die Voraussetzungen erfüllt sein, dass der Abstand zum Vorderfahrzeug den Schwellenwert von vier Sekunden unterschritt und die Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeugs nicht höher als 60 km/h war. Die Verfügbarkeit des Systems wurde über ein weißes Symbol im Cluster Display kenntlich gemacht (Bild 36). Die Aktivierung des Systems fand manuell durch das Drücken einer Taste am Lenkrad statt.

Nach der Aktivierung übernahm das System umgehend sowohl die Längs- als auch die Querführung des Fahrzeugs. Das Symbol für die Anzeige des Systemzustandes wechselte dabei zu grün (Bild 36). Bei aktiver Automatisierung fuhr das Fahrzeug konstant in der Mitte des rechten Fahrstreifens. Die Entfernung zum vorausfahrenden Verkehrsteilnehmer wurde an die aktuelle Staugeschwindigkeit angepasst und betrug 1,5 Sekunden zum Vorderfahrzeug mit einem zusätzlichen Sicherheitsabstand von 2,5 m.

Im Falle einer systeminitiierten Deaktivierung gab es drei Varianten eines Takeover requests (TOR). In einer Bedingung (TOR high) wurden die Teilnehmer durch einen Hinweiston auf die bevorstehende Übernahme aufmerksam gemacht. Das akustische Signal hatte in diesem Fall eine hohe Salienz und war ein dreifacher Sinuston mit einem Intervall von 0,2 Sekunden und einer Frequenz von 750 Hz bei 0 dB FS. Die Messung mit einem portablen Schallpegelmessgerät (Precision Sound Level Meter Type 2232; BRUEL BRUEL & KJAER) ergab über fünf Messungen einen Durchschnittswert der Lautstärke (Ton und Umwelt) von  $67,3 \pm 1,0$  dB(A). In der zweiten Bedingung hatte der Hinweiston eine niedrigere Salienz (TOR low). Das Signal war ein einfacher Sinuston mit einer Frequenz von 750 Hz und -21 dB FS. Die gemittelte Lautstärke betrug  $61,4 \pm 0,4$  dB(A). In einer dritten Bedingung (TOR no) erhielten die Probanden kein akustisches Signal. Hier lag der Geräuschpegel der Umgebung und des eigenen Fahrzeuges vor der Übernahme bei  $57,3 \pm 0,6$  dB(A). In allen Bedingungen wurde der Hinweiston, sofern vorgesehen, eine Sekunde vor der Übernahme dargeboten. Die Deaktivierung des Staupiloten, das heißt die Übernahme selber, wurde in allen drei TOR-Bedingungen über ein rotes Symbol im Instrumentenkombi angezeigt (Bild 36). Sie erfolgte beim Übergang von der Geraden in die Kurve, das heißt im Rahmen der oben beschriebenen kritischen Fahrsituation. Als solches ist der TOR no als rein visuelle Übernahmeaufforderung zu verstehen; der TOR low und high hingegen jeweils als visuell-akustische Übernahmeaufforderung.



**Bild 36:** Symbole für die Anzeige des Systemzustands (links) und die Darstellung im Cluster Display (rechts)

Um die Vergleichbarkeit zwischen automatisierten und nicht-automatisierten Fahrten garantieren zu können, wurden je nach TOR-Bedingung auch in den nicht-automatisierten Fahrten bei der kritischen Fahrsituation der Hinweiston sowie das rote Symbol dargeboten.

### Nicht fahrbezogene Aufgabe – Surrogate Reference Task

Zusätzlich zum Fahren mussten die Probanden eine standardisierte visuell-manuelle Suchaufgabe ausüben: Die Surrogate Reference Task (SuRT) (MATTES, 2006) stellt eine nicht fahrbezogene Aufgabe dar, in der die Testpersonen einen großen weißen Kreis (Zielreiz) unter 50 kleineren weißen Kreisen (Distraktoren) identifizieren müssen. Das Größenverhältnis von Zielreiz zu Distraktoren betrug 150/110. Über einen grauen Balken, der über die Pfeiltasten „links“ und „rechts“ eines externen Nummernblocks (Keypad ID0120, LogiLink) gesteuert wurde, musste der Zielreiz lokalisiert werden. Sobald der Balken die korrekte Position über dem großen Kreis erreicht hatte, musste über die Pfeiltaste „oben“ die Eingabe bestätigt werden. Daraufhin erschien umgehend ein neues Trial. Damit für jeden Probanden die Eingaben ohne Einschränkungen möglich waren, wurde der Nummernblock freibeweglich im Bereich der Mittelkonsole platziert. Die SuRT lief auf einem im Beifahrer-Fußraum positionierten Laptop (Dell M6300 Notebook; Intel Core2Duo T8300 2 × 2.4 GHz) und wurde auf einem externen 10-Zoll Display (TFT-1026, Lenco) angezeigt, der auf Höhe des Infotainmentbildschirms im Fahrzeug angebracht war. Die Auflösung betrug  $1.440 \times 900$  Pixel (Bild 37).

### Fragebogen

Neben den Objektivdaten der Fahr- und nicht fahrbezogenen Aufgabe wurden zusätzlich verschiedene Subjektivdaten im Rahmen des Versuchs erhoben. Zur Erfassung der Tendenz zur Erlebnisuche und Risikomotivation wurde, wie bereits im



**Bild 37:** Bildschirmausschnitt der SuRT (links); Nummernblock (mitte); Gesamtaufbau (rechts)

ersten Arbeitspaket, das „Arnett Inventory of Sensation Seeking“ (AISS, ROTH & MAYERHOFER, 2003) verwendet (vollständiger Fragebogen siehe Anhang 13). Des Weiteren wurde der im Arbeitspaket 1 entwickelte Fragebogen zur Erfassung der „subjektiv angemessen empfundenen Fahrleistung“ verwendet. Die Instruktion des Fragebogens wurde so angepasst, dass ausschließlich der Zeitraum kurz vor der Stauauflösung bewertet werden sollte. Zusätzlich gab es eine Sammlung weiterer Fragen (Anhang 14-16). Diese umfasste zum einen die Frage, wie schnell die Probanden nach einer Übernahme vom automatisierten zum nicht-automatisierten Fahren die Kontrolle über das Fahrzeug wiedererlangt hatten. Die Antwortskala dieser Frage reichte von (1) „sehr langsam“ über (2) „langsam“ und (3) „schnell“ bis zu (4) „sehr schnell“. Die anderen Fragen der Sammlung bezogen sich auf die Wahrnehmung einer Fahrsituation. Es wurde abgefragt, ob eine kritische Fahrsituation wahrgenommen, das rote Symbol bemerkt sowie der Hinweiston gehört wurde und, wenn ja, wie dieser beschrieben werden könnte.

**3.1.2 Randomisierung, Design und Ablauf**

Jeder Proband durchlief nach einer kurzen Übungsfahrt acht Sequenzen. Die erste dieser acht Fahrten diente als Baseline (Baseline 1). Hier war der Staupilot nicht verfügbar und die Probanden mussten

keine zusätzliche, nicht fahrbezogene Aufgabe ausüben. Die achte und letzte Fahrt diente als weitere Baseline-Fahrt (Baseline 2). In dieser musste die nicht fahrbezogene Aufgabe ebenfalls nicht bearbeitet werden, der Staupilot war aber verfügbar. Die übrigen sechs Fahrten stellten die Experimentalfahrten dar, in denen die zusätzliche, nicht fahrbezogene Aufgabe bearbeitet werden musste. In drei der Fahrten war der Staupilot verfügbar (Fahrtyp: automatisierte Fahrt, AF), in den drei anderen Fahrten wurde die automatisierte Funktion nicht angeboten (Fahrtyp: nicht-automatisierte Fahrt, NF). Jeweils eine AF- und eine NF-Fahrt stellten zusammen einen Block dar. Insgesamt gab es also drei Blöcke, innerhalb welcher die Reihenfolge der Fahrtypen pro Proband blockweise randomisiert wurde. Die drei TOR-Bedingungen (no, low und high) wurden zwischen den Probanden randomisiert. Jeder Proband durchfuhr alle drei Experimentaltblöcke aber nur unter einer der TOR-Bedingungen. Den schematischen Aufbau des Studiendesigns zeigt Bild 38.

Zusammenfassend handelte es sich bei der Studie somit um ein 2x3 faktorielles Design mit den Faktoren Fahrtyp (AF/NF) und TOR (no/low/high). Dabei handelte sich bei dem Faktor Fahrtyp um einen Innersubjekt-Faktor; der Faktor TOR war ein Zwischensubjekt-Faktor. Abhängige Variablen waren in der Fahraufgabe diverse Parameter (mittlere Spur-

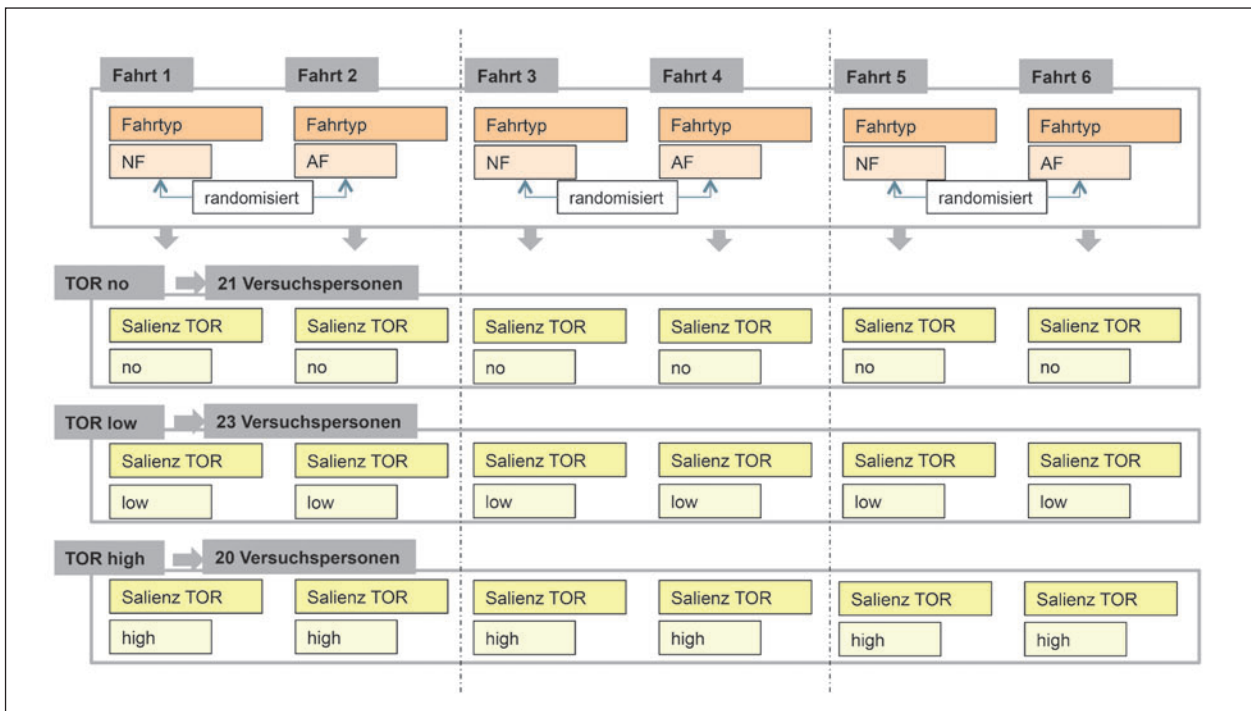


Bild 38: Schematischer Aufbau des Studiendesigns

abweichung, Gierwinkelfehler, TLC). In der SuRT wurden die Inputs auf den Pfeiltasten ausgewertet. Zusätzliche abhängige Variablen waren die Beantwortungen des Subjektivfragebogens zur „subjektiv angemessen empfundenen Fahrleistung“ sowie die der zusätzlichen Fragensammlung.

Die Datenerhebung der Studie fand im August/September 2015 im Fahrsimulator des ika der RWTH Aachen University statt. Pro Proband hatte die Studie eine ungefähre Dauer von 1,5 Stunden. Zu Beginn des Versuchs erhielten die Teilnehmer nach der Begrüßung eine kurze allgemeine Einführung, in der sie über die Anonymität der Datenerhebung und den groben Ablauf der Testung informiert wurden. Danach füllten die Probanden die Datenschutzerklärung aus. Im nächsten Schritt wurde ein Sehtest mit Landolt-Ringen nach DIN 58220 zur Überprüfung und Sicherstellung einer ausreichenden Sehschärfe durchgeführt. Die Prüferentfernung betrug vier Meter. Zuerst wurde ein Vortest mit einem Visuswert von 0.4 durchgeführt. Für die Teilnahme an der Studie mussten anschließend bei einem Visuswert von 1.0 die Öffnung bei zehn von sechzehn Ringen richtig erkannt werden. Nach erfolgreichem Abschluss des Sehtests folgte eine Befragung durch den Versuchsleiter, die die demografischen Daten sowie die Erlebnissuche mittels des AISS (ROTH & MAYERHOFER, 2003) erfasste. Die Vorbefragung wurde mit einer Cover-Story beendet, in der den Probanden erklärt wurde, dass es im Versuch um die Untersuchung des Einflusses eines Assistenzsystems auf das Fahrerverhalten geht. Zusätzlich wurden kurz der Ablauf im Simulator und die Dauer der Testung erläutert. Daran schloss sich die Testung im Fahrsimulator an. Zuerst wurden die Probanden gebeten, Sitz und Spiegel einzustellen. Dann folgte die Instruktion der zusätzlichen, nicht fahrbezogenen Aufgabe (SuRT). Die Versuchspersonen hatten anschließend die Möglichkeit, diese zu testen. Sobald sich die Probanden sicher fühlten, wurde die Aufgabe neu gestartet und es folgte eine halbminütige Datenaufzeichnung, in der die Aufgabe konzentriert und bestmöglich durchgeführt werden sollte.

Im Anschluss bestand die Möglichkeit, sich in einer ca. 2,5-minütigen Übungsfahrt mit dem Fahrzeug und dem Simulator vertraut zu machen. Bevor die Teilnehmer vom Rastplatz auf die Autobahn auffuhren, erhielten sie die Information, dass es sich bei dem Fahrzeug um ein Modell mit Automatikgetriebe handelt, bei jeder Fahrt die Straßenverkehrsordnung (StVO) einzuhalten sei und stets der rechte

Fahrstreifen genutzt werden solle. Wenn die Verkehrssituation es zuließe, galt außerdem die Richtgeschwindigkeit von 130 km/h. Es folgte die Durchführung der Fahrt. Nach Abschluss der Fahrt wurden mögliche Fragen und Unklarheiten besprochen.

Anschließend fuhren die Versuchsteilnehmer erneut auf die Autobahn und erhielten die Anweisung, sich auf die Fahraufgabe zu konzentrieren, da von nun an die Fahrdaten aufgezeichnet würden. Das Stellen von Fragen während der Fahrt sollte vermieden werden. In der ersten Fahrt, die als Referenzfahrt diente, war der Staupilot noch deaktiviert. Ebenfalls musste die SuRT nicht ausgeübt werden. Trotzdem wurden die Probanden gebeten, die rechte Hand während der Fahrt auf den Nummernblock zu legen. Damit sollte die Vergleichbarkeit zu den Experimentalszenarien gewährleistet werden, in denen die zusätzliche, nicht fahrbezogene Aufgabe ausgeübt wurde. Beim Auffahren auf einen Stau wurden die Teilnehmer dazu angehalten, bis an das Stauende heranzufahren und den Abstand zum Vorderfahrzeug möglichst konstant zu halten. Am Ende der Fahrt wurden auf dem Parkplatz die zusätzliche Frage zur Wahrnehmung einer kritischen Fahrsituation sowie der Fragebogen zur „subjektiv angemessen empfundenen Fahrleistung“ gestellt. Die Antworten der Probanden wurden jeweils vom Versuchsleiter in die Fragebogen eingetragen.

Im nächsten Schritt folgte der sechs Fahrten umfassende Experimentalblock gemäß der probanden-spezifischen Randomisierung. Der Versuchsleiter wies erneut auf das Ziel der Testung hin, den Einfluss eines Assistenzsystems – den automatisierten Staupilot – auf das Verhalten des Fahrers zu untersuchen. Der Versuchsleiter instruierte, dass dieser Staupilot in den kommenden Fahrten in einigen Stausituationen verfügbar sein würde. Danach wurde die Funktionsweise des Staupiloten erklärt. Dabei wurden die drei Systemstatus erläutert und das jeweils zugehörige Symbol im Instrumentenkombi demonstriert. Die Teilnehmer bekamen in diesem Zusammenhang die Unterweisung, aus rechtlichen und sicherheitstechnischen Gründen bei aktivem Staupiloten immer eine Hand am Lenkrad zu lassen. Außerdem wurde darauf hingewiesen, dass es während der pilotierten Fahrt durch eine nicht vorhersehbare Situation oder durch eine Stauauflösung zu einer systeminitiierten Deaktivierung des Staupiloten kommen könnte. In Abhängigkeit der Bedingung wurde der jeweilige TOR

demonstriert. Des Weiteren wurde den Teilnehmern – erneut in Abhängigkeit der Bedingung – erklärt, dass das System ebenfalls während einer nicht-automatisierten Fahrt im Falle einer kritischen Fahrsituation und bei Auflösung eines Staus einen Hinweis geben sowie das rote Symbol aufleuchten lassen würde. Es folgte der Hinweis, dass ab sofort während der Fahrt die zusätzliche, nicht fahrbezogene Aufgabe zu bearbeiten sei. Sobald der Proband auf die Autobahn auffahren würde, solle er umgehend mit dieser beginnen und versuchen, während der gesamten Fahrzeit alle Aufgaben bestmöglich auszuüben. Es folgte die Durchführung der Fahrt. Analog zur ersten Testfahrt wurden nach Abschluss der Fahrt die Fragen zur Wahrnehmung hinsichtlich einer kritischen Fahrsituation, des Übernahmesymbols sowie des Hinweistons (bei TOR low und high) gestellt und der Subjektivfragebogen zur „subjektiv angemessenen empfundenen Fahrleistung“ ausgefüllt. Bei Fahrten, in denen der Staupilot aktiviert worden war, wurde zusätzlich eine Frage zur Reaktion bei der Übernahme gestellt. Probleme oder Fragen während der Fahrt wurden im anschließenden Gespräch geklärt. Danach wurde die nächste Experimentalfahrt gestartet. Der Versuchsleiter kontrollierte während jeder Fahrt, ob die Richtgeschwindigkeit eingehalten wurde. Bei den automatisierten Fahrten überprüfte er zudem, ob die eine Hand das Lenkrad umfasste. Bei nicht-automatisierten Fahrten wurde kontrolliert, ob der Abstand im Stau konstant und ausreichend eingehalten wurde.

Die letzte Fahrt der Testung wurde mit aktivem Staupiloten durchgeführt. Genau wie bei der ersten Testfahrt musste der Versuchsteilnehmer keine zusätzliche, nicht fahrbezogene Aufgabe ausüben, sollte jedoch die Hand auf den Nummernblock legen. Danach war der Versuch abgeschlossen. Der Versuchsleiter bedankte sich für die Teilnahme an der Studie und entließ den Probanden.

### 3.2 Stichprobe

An der Studie nahmen insgesamt  $N = 67$  Probanden teil, die als Einschlusskriterien neben einer gültigen Fahrerlaubnis auch eine ausreichende Sehstärke (normalsichtig oder korrigiert durch Sehhilfe) vorweisen mussten. Die Akquise der Teilnehmer fand über soziale Netzwerke, E-Mail sowie persönlichen Kontakt statt. Aufgrund von technischen Problemen konnten die Daten von zwei Teilnehmern nicht ausgewertet werden. Der Datensatz eines

weiteren Probanden konnte ebenfalls nicht bei der Analyse berücksichtigt werden, da die Testung aus gesundheitlichen Gründen nach einem Viertel der Gesamtdauer (nach zwei von acht Fahrten) abgebrochen werden musste.

Von der finalen Stichprobe ( $N = 64$ ) waren  $n = 42$  Teilnehmer männlich (65,6 %). Die Probanden waren zwischen 18 und 62 Jahre alt ( $M = 28.6$ ,  $SD = 9.1$ ) und hatten eine durchschnittliche Fahrerfahrung von 10,1 Jahren ( $SD = 8.3$ ). 59.4 % ( $n = 38$ ) der Probanden hatten bereits Erfahrung mit Fahrerassistenzsystemen. Die Probanden verteilten sich wie folgt auf die drei Zwischensubjekt-Bedingungen: In der Gruppe TOR no waren  $n = 21$  Probanden, in der Gruppe TOR low  $n = 23$  und in der Gruppe TOR high  $n = 20$  Teilnehmer.

## 3.3 Ergebnisse

Die im Versuch erhaltenen Daten wurden zur Prüfung der Hypothesen einer statistischen Analyse unterzogen. Die Ergebnisse dieser Analyse werden nachfolgend beschrieben. Der Fokus der Auswertung lag dabei auf dem für die Forschungsfragen relevanten Zeitpunkt der Übernahme beziehungsweise der kritischen Fahrsituation. Hier wurde unter anderem untersucht, ob und welchen Zusammenhang es zwischen der Aktivität in der nicht fahrbezogenen Aufgabe, den objektiven Fahrleistungsparametern sowie der subjektiven Bewertung der eigenen Fahrleistung gibt.

### 3.3.1 Datenaufbereitung

Um eine Datenanalyse zum Zweck der Hypothesenprüfung zu ermöglichen, wurden in einem ersten Schritt die ermittelten Fahr- und SuRT-Daten aufbereitet und zu einem gemeinsamen Datenblatt zusammengefügt. Die kontinuierlich gemessenen Objektivdaten wurden dazu zunächst pro Person und pro Trial in 250 ms Intervallen gemittelt. Da in der weiteren Analyse der Fokus auf der Übernahmesituation lag, wurden die gemittelten Parameterwerte für die Intervalle jeweils 20 s vor und nach jeder Übernahmesituation ermittelt. Insgesamt wurden somit pro Person und Trials jeweils 160 Intervalle über 250 ms gebildet. Die gemittelten Parameterwerte wurden zur eindeutigen Identifikation und zur Verdeutlichung ihres Auftretens in Bezug auf den Übernahmezeitpunkt nach folgendem Schema benannt: Für den Zeitraum zwischen 0 bis 250 ms nach der Übernahme erhielt das Messinter-

vall die Bezeichnung  $t_{+1}$ . Das darauffolgende Intervall für den Zeitraum zwischen 250 bis 500 ms erhielt die Benennung  $t_{+2}$  etc. Dieser Benennung entsprechend wurden auch die Messintervalle vor der Übernahme nummeriert. Dabei erhielt das Intervall -250 bis 0 ms vor der Übernahme die Bezeichnung  $t_{-1}$  etc.

Das finale Datenblatt enthielt pro Trial, das vom Proband beendet wurde, die gemittelten Fahrleistungs- und SuRT-Daten aus 160 Intervallen. Im Rahmen einiger Analysen wurden die Daten der einzelnen Trials pro Versuchsperson aggregiert, sodass eine Versuchsperson lediglich einen aggregierten (d. h. gemittelten) Wert pro Fahrtyp (Baseline 1 und 2, NF und AF) erhielt. In der Beschreibung aller weiteren Analysen der objektiven Daten wird jeweils daraufhin gewiesen, welche Intervalle und welches Datenformat (aggregiert oder nicht aggregiert) in der Berechnung verwendet wurden. Des Weiteren konzentrieren sich die nachfolgenden Analysen auf die mittlere Spurabweichung (M Dev) als relevanter Fahrleistungsparameter. Dies ist damit zu begründen, dass dieses Maß zumeist in empirischen Fahrleistungsstudien diskutiert wird.

### 3.3.2 Wahrnehmung der Takeover Requests (TOR) und des Übernahmeymbols

Zuerst wurde ausgewertet, inwiefern die Probanden den Hinweiston (falls vorhanden) wahrgenommen haben. Da in der Baseline 1 das automatisierte System noch nicht verwendet wurde, beziehen sich die Auswertungen lediglich auf die AF-, NF- und Baseline-2-Fahrten. Die Auswertung des Subjektivfragebogens zur Wahrnehmung des TOR zeigen, dass alle Versuchspersonen der Gruppe TOR no, in der kein Ton die Übernahme indizierte, angaben, keinen Ton gehört zu haben (in allen drei relevanten Fahrtypen). In der TOR-low-Gruppe hörten die Personen in den drei relevanten Fahrtypen jeweils in über 95 % der Fälle den Signalton. Dabei wurde der Ton in zweierlei Weise wahrgenommen: Für die eine Gruppe der Versuchspersonen war der Ton überwiegend angemessen, ausreichend, wahrnehmbar und nicht störend. Für die andere Gruppe war er eher zu leise, kurz, kaum hörbar, schwer wahrnehmbar etc. In der Versuchsgruppe TOR high wurde der Ton in jedem der drei relevanten Fahrtypen immer wahrgenommen (100 %). Auch hier gab es zwei Cluster, in die die Tonwahrnehmung untergliedert werden kann: Das Signal wurde entweder als angemessen, auffallend, eindringlich, erweckend, durchdringend oder alternativ als auf-

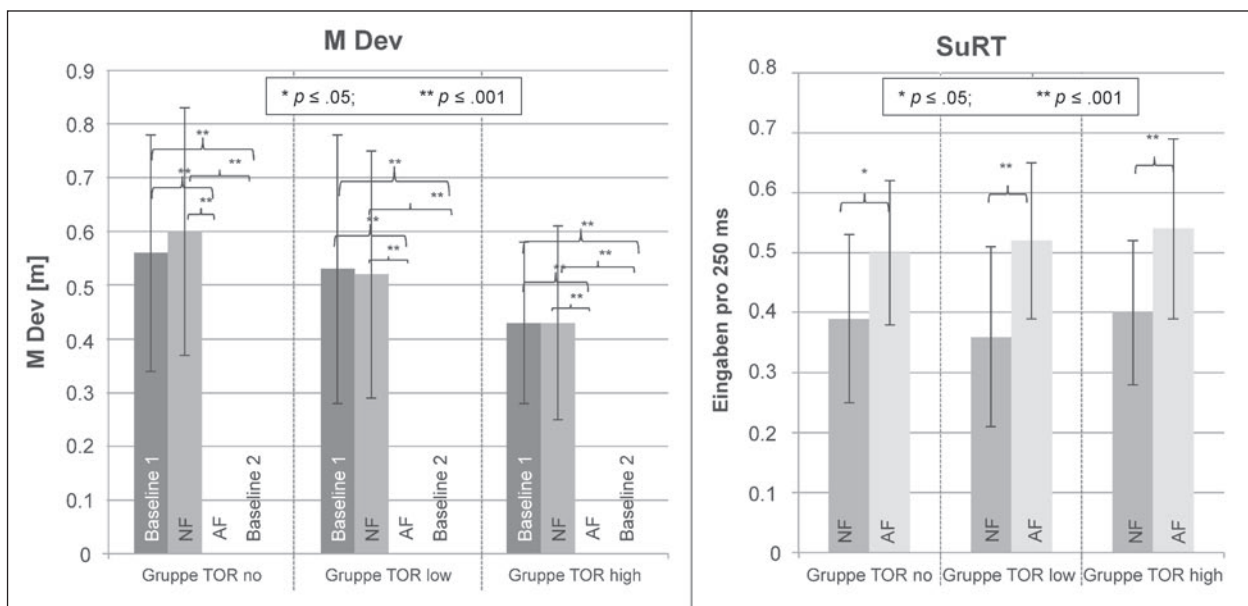
dringlich, unangenehm, störend, erschreckend oder irritierend etc. wahrgenommen. Selten wurde er als leise beschrieben. Diese Ergebnisse sichern ab, dass potenzielle Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen nicht alleine auf die unzureichende Wahrnehmung des akustischen Hinweistons zurückzuführen waren. Sie stellen sicher, dass in allen Experimentaltrials das akustische TOR-Signal von den Versuchspersonen, wie durch die Manipulation induziert, wahrgenommen wurde.

Die Probanden wurden außerdem gefragt, ob sie das visuelle Übernahmeymbol zum Zeitpunkt des Abwurfes bemerkt haben. Wie zuvor begrenzten sich die Auswertungen auf die AF-, NF- und Baseline-2-Fahrten. In der Gruppe TOR high wurde in der NF-Bedingung das Übernahmeymbol in 98,3 % der Fahrten bemerkt; in der AF-Bedingung waren es 83,1 % der Fälle, in der Baseline 2 90,0 %. In der Gruppe TOR low wurde das Symbol in den NF-Fahrten in 90,9 % der Fälle gesehen, in den AF-Fahrten in 95,5 % der Fälle und in den Baseline-2-Fahrten in 95,2 % der Fälle. In der TOR-no-Gruppe wurde das Symbol in den NF-Fahrten in 89,1 % der Fälle gesehen, in den AF-Fahrten in 93,7 % und in den Baseline-2-Fahrten jedes Mal.

### 3.3.3 Analyse der Effekte automatisierten Fahrens auf das Fahrerverhalten im Normalverkehr

Hypothese 1a und b beschäftigten sich mit der Frage, ob im Normalverkehr ein Unterschied zwischen dem Fahrverhalten bezogen auf die Fahraufgabe und Aktivität in der nicht fahrbezogenen Tätigkeit (SuRT-Aktivität) zwischen automatisierten und nicht-automatisierten Fahrten besteht. Dazu wurden die aggregierten Daten von 60 Intervallen der Staufahrt ( $\pm 15$  Sekunden) zwischen  $t_{-80}$  und  $t_{-20}$  analysiert. Um einen Einfluss der TORs auf die Fahrdaten zu vermeiden, wurde ein Intervall mit fünf Sekunden Abstand zur Übernahme-situation ausgewählt.

Zur Analyse der M Dev wurde für jede TOR-Gruppe eine einfaktorielle ANOVA mit dem Faktor Fahrtyp (Baseline 1 vs. AF vs. NF vs. Baseline 2) berechnet (Bild 39). Hierbei sei zu beachten, dass es in der Baseline 1 – im Gegensatz zu den drei weiteren Fahrtypen – keine Übernahmeaufforderung (Ton und/oder Symbol) in allen drei TOR-Gruppen gab. Es zeigten sich signifikante Effekte in allen drei Gruppen (TOR no:  $F(3,79) = 86.19$ ,  $p \leq .001$ ,  $\eta^2 = .77$ ; TOR low:  $F(3,85) = 70.11$ ,  $p \leq .001$ ,



**Bild 39:** Mittelwerte der Fahrspurabweichung und der nicht fahrbezogenen Tätigkeit während 15 Sekunden des Staus  
Anmerkung: In der Baseline 1 gab es keine Übernahmeaufforderung in allen drei TOR-Gruppen

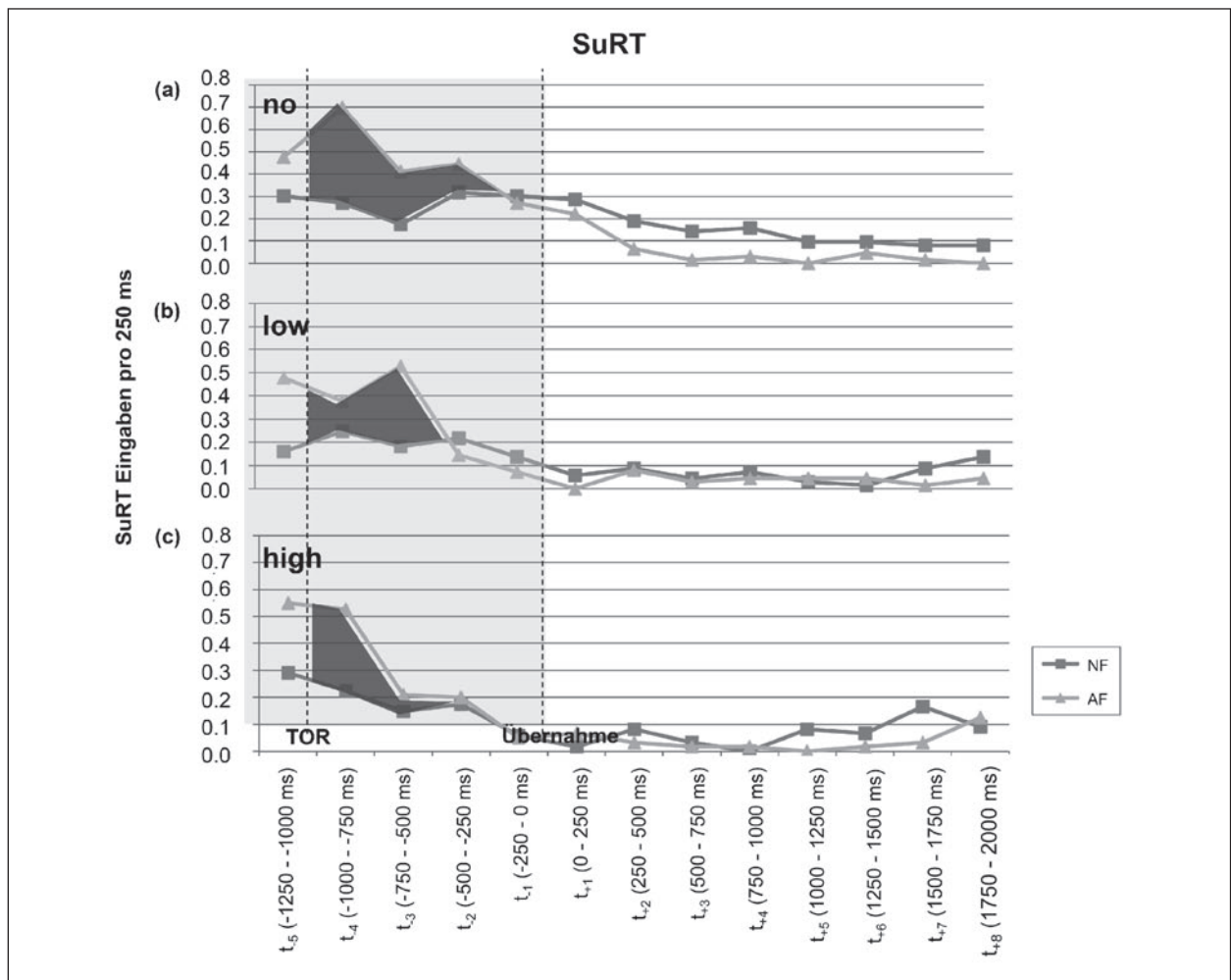
$\eta^2 = .71$ ; TOR high:  $F(3,75) = 92.53$ ,  $p \leq .001$ ,  $\eta^2 = .79$ ). Außerdem wurden weitere einfaktorielle ANOVAs der SuRT-Daten mit dem Faktor Fahrtyp (AF vs. NF) für jede TOR-Gruppe berechnet (siehe Bild 39). Baseline 1 und 2 wurden in den Analysen nicht beachtet, da es hier keine SuRT-Bearbeitung gab. Auch hier ergaben sich signifikante Effekte zwischen den Fahrtypen in jeder TOR-Gruppe (TOR no:  $F(1,40) = 6.97$ ,  $p \leq .05$ ,  $\eta^2 = .15$ ; TOR low:  $F(1,44) = 15.37$ ,  $p \leq .001$ ,  $\eta^2 = .26$ ; TOR high:  $F(1,38) = 12.19$ ,  $p \leq .001$ ,  $\eta^2 = .24$ ).

Zur Absicherung der Studienergebnisse gegenüber möglichen Konfundierungen der Ergebnisse durch den Zwischensubjektfaktor TOR, wurden weitere einfaktorielle ANOVAs berechnet. Erstens wurde eine einfaktorielle ANOVA mit dem Faktor TOR (no vs. low vs. high) für die M Dev in jedem Fahrtyp berechnet (Baseline 1, AF, NF und Baseline 2). Eine weitere einfaktorielle ANOVA mit dem Faktor TOR-Gruppe (no vs. low vs. high) wurde für die SuRT-Aktivität für die zwei Fahrtypen AF und NF berechnet. Auch hier sei nochmals darauf hingewiesen, dass es in der Baseline 1 in keiner der TOR-Gruppen eine Übernahmeaufforderung gab und dass in der Baseline 1 und 2 die SuRT nicht bearbeitet wurde. Es zeigten sich keine signifikanten Unterschiede im Fahrverhalten und der Bearbeitung der zusätzlichen, nicht fahrbezogenen Aufgabe zwischen den TOR-Gruppen.

### 3.3.4 Reduktion der Aktivität in der nicht fahrbezogenen Tätigkeit nach dem TOR

Hypothese 2 und Hypothese 4a befassten sich mit dem Level der Aktivität in der nicht fahrbezogenen Tätigkeit nach einem TOR, das heißt mit den kompensativen Fahrerstrategien hinsichtlich der proaktiven Reduktion nicht fahrbezogener Aufgaben. Im Rahmen der Prüfung dieser zwei Hypothesen wurden die aggregierten SuRT-Daten der Intervalle zwischen  $t_5$  und  $t_1$  (dem letzten Intervall vor dem TOR und den vier Intervallen zwischen TOR und der Übernahme) verschiedenen Analysen unterzogen (siehe Bild 40). Da diese und alle weitere Hypothesen den Fokus auf den Vergleich von AF- und NF-Trials legten, konzentrieren sich die folgenden Analysen hauptsächlich auf diese beiden Fahrtypen.

Um Effekte hinsichtlich des Zeitverlaufs zu untersuchen, wurde für jeden Fahrtyp (AF/NF) eine ANOVA mit Messwiederholung mit dem Innersubjektfaktor Zeitpunkt (Stufen:  $t_5$  bis  $t_1$ ) und dem Zwischensubjektfaktor TOR (TOR no, TOR low, TOR high) berechnet. Abhängige Variable war dabei die SuRT-Aktivität. In der NF-Bedingung ergab die Analyse weder signifikante Haupteffekte noch Interaktionen. In der AF-Bedingung existierte ein signifikanter Haupteffekt für den Faktor Zeitpunkt ( $F(4,244) = 22.04$ ,  $p \leq .001$ ,  $\eta_p^2 = .26$ ), ebenso eine signifikante Interaktion zwischen Zeitpunkt\*TOR ( $F(8,244) = 3.68$ ,  $p \leq .001$ ,  $\eta_p^2 = .11$ ).



**Bild 40:** Aktivität in der nicht fahrbezogenen Aufgabe während der Übernahmesituation für (a) TOR no, (b) TOR low und (c) TOR high  
Anmerkung: Die hellgrau hinterlegten Intervalle wurden in den Analysen berücksichtigt. Die dunkelgrauen Flächen stellen das „Sicherheitsrisiko“ dar

TOR	Effekt	F-Wert
TOR no	Zeitpunkt	$F(4,160) = 3.70, p \leq .01, \eta_p^2 = .085$
	Zeitpunkt*Fahrtyp	$F(4,160) = 3.95, p \leq .01, \eta_p^2 = .090$
TOR low	Zeitpunkt	$F(4,176) = 6.61, p \leq .001, \eta_p^2 = .131$
	Zeitpunkt*Fahrtyp	$F(4,176) = 5.92, p \leq .001, \eta_p^2 = .119$
TOR high	Zeitpunkt	$F(4,152) = 16.41, p \leq .001, \eta_p^2 = .302$
	Zeitpunkt*Fahrtyp	$F(4,152) = 3.60, p \leq .01, \eta_p^2 = .087$

**Tab. 26:** Ergebnisse der ANOVA mit Messwiederholung mit dem Innersubjektfaktor Zeitpunkt und dem Zwischensubjektfaktor Fahrtyp

Zur Überprüfung, ob es Unterschiede zwischen den Fahrtypen im zeitlichen Verlauf gab, wurde eine ANOVA mit Messwiederholung mit dem Innersubjektfaktor Zeitpunkt (Stufen:  $t_5$  bis  $t_1$ ) und dem Zwischensubjektfaktor Fahrtyp (AF vs. NF) für jede TOR-Gruppe (TOR no, TOR low, TOR high) berechnet. Die Ergebnisse zeigten einen signifikanten Haupteffekt für den Faktor Zeitpunkt und eine signi-

fikante Interaktion Zeitpunkt\*Fahrtyp für jede TOR-Gruppe (siehe Tabelle 26). Um den Grund dieser Effekte zu prüfen, wurde ein zusätzlicher t-Test für verbundene Stichproben zwischen AF und NF an jedem untersuchten Zeitpunkt in jeder TOR-Gruppe berechnet. Zuerst wurde untersucht, inwiefern es überhaupt Unterschiede zwischen AF und NF vor dem TOR gab. Hierzu wurde der Zeitpunkt  $t_5$  unter-



	TOR no	TOR low	TOR high
$t_4$ (-1.000 – 750 ms)	$t(20) = -4.26, p \leq .001$	$t(22) = -1.12, n. s.$	$t(19) = -3.21, p \leq .01$
$t_3$ (-750 – 500 ms)	$t(20) = -2.86, p \leq .01$	$t(22) = -3.52, p \leq .01$	$t(19) = -.77, n. s.$
$t_2$ (-500 – 250 ms)	$t(20) = -1.45, n. s.$	$t(22) = 1.00, n. s.$	$t(19) = -.40, n. s.$
$t_1$ (-250 – 0 ms)	$t(20) = 0.34, n. s.$	$t(22) = 1.25, n. s.$	$t(19) = .18, n. s.$

**Tab. 27:** Ergebnisse der gepaarten t-Tests zum Vergleich der SuRT Aktivität zwischen AF und NF  
Anmerkung: n. s. = nicht signifikant

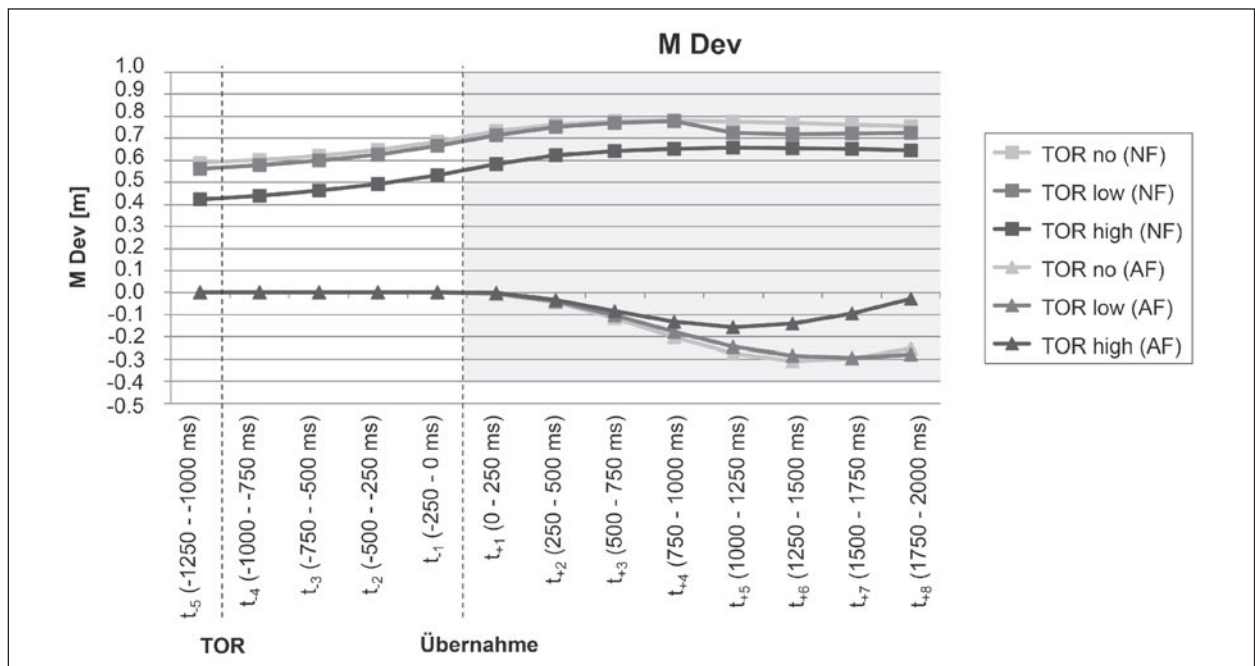
sucht. In der Bedingung TOR low ( $t(22) = -2.97, p \leq .01$ ) und der Bedingung TOR high ( $t(19) = -2.62, p \leq .01$ ) wurden signifikante Unterschiede gefunden. Die SuRT-Aktivität war in der AF-Bedingung demnach vor einem TOR signifikant höher als in der NF-Bedingung. In der TOR-no-Gruppe war dieser Vergleich nicht signifikant. In einem zweiten Schritt wurde überprüft, wie sich die SuRT-Bearbeitungsaktivität zwischen den Fahrtypen nach dem TOR unterschied. Tabelle 27 bietet eine Übersicht über alle hierzu durchgeführten t-Tests für verbundene Stichproben zwischen den Zeitpunkten  $t_4$  und  $t_1$ . In der TOR-no-Bedingung gab es signifikante Unterschiede in der SuRT-Aktivität zwischen AF und NF zu den Zeitpunkten  $t_4$  und  $t_3$ . Ab dem Intervall  $t_2$  unterschied sich die Aktivität zwischen den Fahrtypen nicht mehr. In der TOR-low-Bedingung gab es keine signifikanten Unterschiede in der SuRT-Aktivität zwischen den beiden Fahrtypen in  $t_4$ . Allerdings unterschieden diese sich wieder bei  $t_3$ . Ab  $t_2$  ergaben die Vergleiche keine signifikanten Unterschiede. In der TOR-high-Gruppe gab es signifikant mehr Aktivität in AF in  $t_4$ . Ab  $t_3$  unterschieden sich die beiden Aktivitätskurven nicht signifikant.

In der Bedingung TOR no erhielten die Probanden kein akustisches Warnsignal. Aus diesem Grund erscheinen die Effekte in dieser Gruppe etwas überraschend. Da es in diesem Sinne keine Warnung beziehungsweise Vorbereitung auf die Übernahme selber gab, wäre ein unverändertes Aktivitätsniveau zu erwarten gewesen. Es ist zu vermuten, dass die gefundenen Effekte auf einen Lernprozess zurückzuführen sind. Aus diesem Grund wurde pro Fahrtyp (AF/NF) je eine weitere ANOVA mit Messwiederholung für die Gruppe TOR no durchgeführt. Der Innersubjektfaktor war erneut der Zeitpunkt (Stufen:  $t_5$  bis  $t_1$ ). Es wurde allerdings nur der erste Block (s. Experimentaldesign Bild 38) analysiert. Sowohl für AF als auch NF konnten keine signifikanten Effekte gefunden werden.

### 3.3.5 Analyse des Fahrverhaltens nach der Übernahme

Hypothese 4b betraf den Einfluss der Salienz des TOR auf die Fahrleistung nach der Übernahme, das heißt die kompensativen Fahrerstrategien hinsichtlich der Fahrleistung. Zur Prüfung dieser Annahme wurden zwei ANOVAs mit Messwiederholung mit dem Innersubjektfaktor Zeitpunkt (Stufen:  $t_{+1}$  bis  $t_{+8}$ ) und dem Zwischensubjektfaktor TOR (TOR no vs. TOR low vs. TOR high) für jeden Fahrtyp (AF und NF) berechnet. Die Entscheidung, die acht Intervalle ( $t_{+1}$  bis  $t_{+8}$ ) in den Analysen zu betrachten, ist mit der folgenden Überlegung zu begründen: Es sollte für die AF-Fahrten pro TOR-Gruppe jeweils der Moment der maximalen Spurabweichung in unmittelbarer Nähe zur Übernahme in die Analysen mit eingeschlossen werden. In der Bedingung TOR low war dieser Moment bei  $t_{+7}$  (M Dev =  $-.29$ ) erreicht. In den beiden anderen TOR-Gruppen wurde der Punkt der maximalen Spurabweichung früher erreicht (TOR no:  $t_{+6}$ , M Dev =  $-.31$ ; TOR high:  $t_{+6}$ , M Dev =  $-.16$ ). In diesem Zusammenhang sei darauf hinzuweisen, dass positive Fahrspurabweichungen eine Abweichung nach rechts, also in Richtung des Standstreifens, und negative Abweichungen eine Abweichung auf die linke Seite, also in Richtung der linken Fahrspur bedeuten (siehe Bild 41).

Für die NF-Bedingung zeigte die ANOVA keinen signifikanten Haupteffekt und keine signifikante Interaktion. Mit Blick auf die AF-Bedingung gab es einen signifikanten Haupteffekt für den Faktor Zeitpunkt,  $F(7,427) = 80.30, p \leq .001, \eta_p^2 = .57$  und eine signifikante Interaktion für Zeitpunkt\*TOR,  $F(7,427) = 8.66, p \leq .001, \eta_p^2 = .22$ . Dieses Analyseergebnis deutet darauf hin, dass es in den AF-Fahrten einen Einfluss des TOR auf die Fahrleistung nach der Übernahme, d. h. auf die kompensativen Fahrerstrategien, gab. Um dies näher zu untersuchen, wurde in einem nächsten Schritt pro Zeitpunkt ( $t_{+1}$  bis  $t_{+8}$ ) eine einfaktorielle ANOVA mit dem Faktor TOR (TOR no vs. TOR low vs. TOR



**Bild 41:** Fahrleistung in der Übernahme-situation pro Fahrttyp und TOR-Gruppe  
Anmerkung: Die hellgrau hinterlegten Intervalle wurden in den Analysen berücksichtigt

high) gerechnet. Abhängige Variable war erneut die M Dev. Alle acht Vergleiche lieferten signifikante Ergebnisse (alle  $p \leq .001$ ). Nachfolgende post-hoc Bonferroni-Vergleiche machten deutlich, dass sich die Kurven von TOR no und TOR low an keinem Moment signifikant unterschieden. Dahingegen war die Fahrleistung in der Gruppe TOR high an jedem Zeitpunkt signifikant besser als in TOR no (alle  $p \leq .01$ ) und TOR low (alle  $p \leq .05$ ).

### 3.3.6 Zusammenhang zwischen der Aktivität in der nicht fahrbezogenen Tätigkeit und Fahrleistung

Hypothese 3 thematisierte das Verhältnis zwischen der Reduzierung der Aktivität in der zusätzlichen, nicht fahrbezogenen Aufgabe nach dem Übernahmeaufforderung und der Fahrleistung nach der anschließenden Übernahme. Um dies zu überprüfen, wurde der Durchschnittswert der SuRT-Aktivität der letzten fünf Intervalle vor der Übernahme ( $t_5$  bis  $t_1$ ) mit einem Mittelwert der Fahrleistung nach der Übernahme ( $t_{+1}$  bis  $t_{+8}$ ) korreliert. Im Gegensatz zu allen vorherigen Analysen wurden in diesem Fall nicht aggregierte Daten verwendet. Dabei wurde pro jedem Trial, das ein Proband komplettierte, ein separater Durchschnittswert sowohl für die Fahraufgabe als auch für die SuRT berechnet. Über diese Prozedur konnte garantiert werden, dass Fahrdaten und Aktivität in der nicht fahrbezogenen Aufgabe pro Trial in den Berechnungen miteinander

TOR	Fahrttyp	Pearson-Korrelation	Sig.
TOR no	NF	$r = .055$	<i>n. s.</i>
	AF	$r = -.101$	<i>n. s.</i>
TOR low	NF	$r = -.115$	<i>n. s.</i>
	AF	$r = -.166$	<i>n. s.</i>
TOR high	NF	$r = -.340$	$p \leq .01$
	AF	$r = -.277$	$p \leq .05$

**Tab. 28:** Korrelationen zwischen der Aktivität in der nicht fahrbezogenen Tätigkeit nach dem TOR und Fahrleistung nach der Übernahme  
Anmerkung: *n. s.* = nicht signifikant

verglichen werden konnten. Wäre auf die aggregierten Daten zurückgegriffen worden, hätte die Möglichkeit bestanden, dass signifikante Effekte aufgrund der Nutzung der Mittelwerte über viele Trials verschleiert worden wären. Die Analyse erfolgte pro TOR-Gruppe und pro Fahrttyp. Die Ergebnisse sind in Tabelle 28 dargestellt. Allein in der TOR-high-Gruppe gab es signifikante Ergebnisse ( $p \leq .05$ ).

### 3.3.7 Zusammenhang zwischen Objektiv- und Subjektivdaten

Hypothese 5 ging davon aus, dass ein Zusammenhang zwischen objektiven Parametern (Fahrleistung und SuRT-Aktivität) und der subjektiven Situationswahrnehmung besteht. Um dies zu prüfen,

wurden Korrelationsanalysen zwischen diesen Messgrößen durchgeführt. Auch hier wurde wieder, vergleichbar mit der vorhergehenden Analyse, auf nicht aggregierte Daten zurückgegriffen. Wie zuvor wurden bei den Objektivdaten die Intervalle  $t_{-5}$  bis  $t_{-1}$  für die SuRT-Aktivität und  $t_{+1}$  bis  $t_{+8}$  für die Fahraufgabe verwendet. Für beide Messgrößen wurden erneut jeweils Durchschnittswerte über die relevanten Intervalle berechnet. Die Ergebnisse hinsichtlich der verschiedenen Subjektivinstrumente sollen nun berichtet werden.

### Zusammenhang der Objektivdaten mit dem Fragebogen zum Konstrukt „subjektiv angemessene empfundene Fahrleistung“

In einem ersten Schritt wurde untersucht, inwiefern die Objektivdaten mit der skalierten Gesamtscore des Fragebogens zur „subjektiv angemessene empfundene Fahrleistung“, mit dem die Fahrleistung im Anschluss an die Übernahme bewertet wurde, zusammenhängen. Hierzu wurden Korrelationen zwischen der Gesamtscore des Fragebogens (deskriptive Übersicht siehe Tabelle 29) und jedem Durchschnittswert der objektiven Parameter (M Dev; SuRT) pro TOR-Gruppe (TOR no, TOR low, TOR high) und Fahrtyp (AF, NF) berechnet.

Mit Blick auf die Fahraufgabe gab es signifikante Ergebnisse in der TOR-no-Gruppe in der NF-Bedingung ( $r = -.272, p \leq .05$ ) und in der AF-Bedingung ( $r = .305, p \leq .05$ ). Eine weitere signifikante Beziehung wurde in der TOR-low-Gruppe in der NF-Bedingung gefunden ( $r = -.248, p \leq .05$ ). Die Korrelation zwischen den SuRT-Daten und den Subjektivdaten ergab keinerlei signifikante Ergebnisse.

### Zusammenhang der Objektivdaten mit der Subjektivfrage zum Wiedererlangen der Fahrzeugkontrolle nach einer Übernahme

Eine weitere Fragestellung war die subjektive Bewertung, wie schnell der Fahrer nach der Übernahme wieder die Kontrolle über das Fahrzeug erlangte. Diese Frage wurde nur für die AF- und Baseline-2-Fahrten beantwortet, da nur dort Übernahmesituationen auftraten. Das Antwortformat der Frage war vierstufig („sehr langsam“, „langsam“, „schnell“, „sehr schnell“). Bild 42 gibt eine Übersicht über die gegebenen Antworten.

Wie im vorherigen Unterkapitel wurden auch hier Korrelationen zwischen den objektiven Daten und

TOR	Fahrtyp	M	SD
TOR no	NF	70.33	20.87
	AF	69.40	20.54
TOR low	NF	66.97	23.36
	AF	70.07	22.23
TOR high	NF	66.92	21.29
	AF	73.37	18.36

Tab. 29: Deskriptive Statistiken der Beantwortungen im Fragebogen zur „subjektiv angemessene empfundene Fahrleistung“

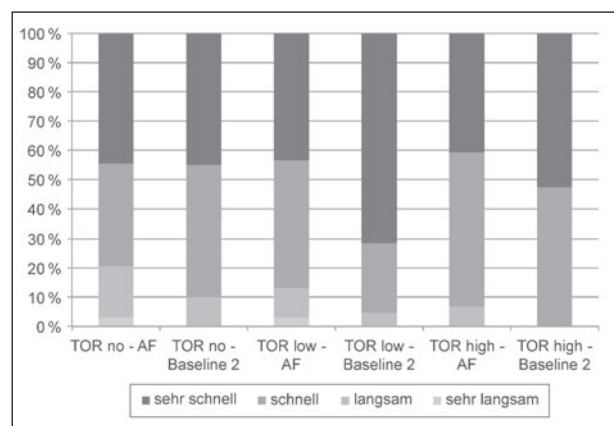


Bild 42: Grafische Übersicht der Subjektivangaben zur Wiedererlangung der Kontrolle

der subjektiven Bewertung der Wiedererlangung der Kontrolle berechnet. Die Ergebnisse zeigten eine signifikante Korrelation zwischen der M Dev nach der Übernahme und der subjektiven Bewertung im Fahrtyp AF in der Gruppe TOR no ( $r = .294, p \leq .05$ ) und in der Gruppe TOR high ( $r = .297, p \leq .05$ ). Die Auswertung der SuRT-Daten ergab keine signifikanten Effekte.

### 3.3.8 Zusammenhang der Objektivdaten mit dem Sensation Seeking

Hypothese 6 thematisierte den Einfluss des Sensation Seekings auf das Fahrerverhalten bzw. die kompensativen Fahrerstrategien. Im vorliegenden Versuch wurde das Sensation Seeking über das AISS (ROTH & MAYERHOFER, 2003) erfasst. Pro Proband wurde über die gesamte Skala hinweg ein mittlerer Sensation-Seeking-Wert berechnet (Wertebereich 1-4). In der Gruppe TOR no hatten die Probanden im Mittel einen Sensation-Seeking-Wert von 2.62; in der Gruppe TOR low von 2.71 und in der Gruppe TOR high von 2.65. Im Rahmen der Untersuchung des Zusammenhangs wurden Korrelationsanalysen zwischen den Objektivdaten und

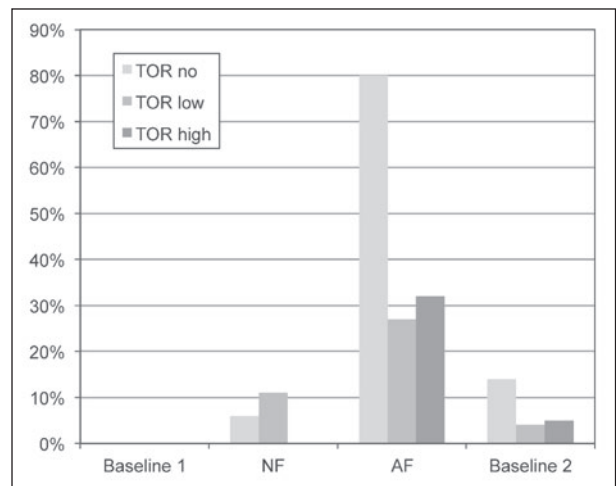
dem mittleren Sensation Seeking-Wert der Probanden berechnet. Wie bei allen vorangegangenen Korrelationsanalysen wurden auch hier wieder nicht aggregierte Daten verwendet. Bei den Objektivdaten wurden einerseits die Daten des Normalverkehrs ( $t_{-80}$  bis  $t_{-20}$  für die M Dev und die SuRT) und andererseits die Daten im Rahmen der Übernahme ( $t_{+1}$  bis  $t_{+8}$  für die Fahraufgabe;  $t_{-5}$  bis  $t_{-1}$  für die SuRT) untersucht.

Hinsichtlich der Fahraufgabe fand sich ausschließlich im Fahrtyp AF der TOR-low-Gruppe im Rahmen des Normalverkehrs ( $t_{-80}$  bis  $t_{-20}$ ) eine signifikante Korrelation ( $r = .58, p \leq .01$ ) zwischen der Fahrleistung (M Dev) und dem Sensation Seeking. Bei der SuRT-Aktivität gab es in Hinblick auf die Situation des Normalverkehrs ( $t_{-80}$  bis  $t_{-20}$ ) eine Signifikanz im Fahrtyp AF der Gruppe TOR low ( $r = .413, p \leq .05$ ). Bezogen auf die Übernahme gab es im Zeitraum  $t_{-5}$  bis  $t_{-1}$  eine signifikante Korrelation zwischen der SuRT-Aktivität und dem Sensation Seeking im Fahrtyp NF der TOR-high-Gruppe ( $r = .505, p \leq .05$ ) und AF ( $r = .435, p \leq .10$ ).

### 3.3.9 Wahrnehmung kritischer Fahrsituationen

Eine weitere Subjektivfrage, die bisher noch nicht diskutiert wurde, bezog sich darauf, inwiefern die Probanden im Verlauf eines gesamten Trials subjektiv eine kritische Fahrsituation wahrgenommen hatten. Bei der Auswertung dieser Frage lag der Fokus nicht darauf, ob grundsätzlich kritische Fahrsituationen auftraten, sondern inwiefern die Versuchspersonen eine kritische Situation im Rahmen der Übernahme (d. h. im Rahmen der Kurvenfahrt) wahrnahmen. Insgesamt, also über alle Fahrtypen und TOR-Gruppen hinweg, berichteten Probanden kritische Fahrsituationen zu 69,7 % der Fälle im Rahmen der Übernahme. Bild 43 fasst zusammen, in wie viel Prozent der Fälle pro Fahrtyp und TOR-Bedingung eine Übernahme als kritisch wahrgenommen wurde.

Diese Ergebnisse zeigen die Unterschiedlichkeit der Fahrerwahrnehmung in derselben Verkehrssituation. Im nicht-automatisierten Fahren wurde die Kurve tendenziell als nicht kritisch wahrgenommen. Die Kritikalität im Rahmen der Kurvenfahrt scheint einerseits durch die Automatisierung und andererseits durch die Bearbeitung nicht fahrbezogener Aufgaben zu entstehen. Auch die Salienz des TOR scheint eine Rolle zu spielen (insbesondere TOR no vs. TOR low beziehungsweise high).



**Bild 43:** Wahrnehmung einer kritischen Fahrsituation im Rahmen der Übernahme (das heißt Kurvenfahrt) pro Fahrtyp und TOR Bedingung

## 3.4 Diskussion der Ergebnisse

Vor dem Hintergrund des rasanten Fortschritts in der Automobilindustrie, speziell hinsichtlich der Entwicklung automatisierter Fahrsysteme, haben sich neue Möglichkeiten und Herausforderungen bezüglich der Fahrsicherheit ergeben. In diesem Rahmen wird unter anderem kontrovers darüber diskutiert, inwiefern Fahrer im automatisierten Fahren unmittelbar nach einer Übernahme hin zum fahrer-gesteuerten Fahren (SAE Level 3) eine sichere Fahrleistung garantieren können. Es existieren bereits einige empirische Studien, welche sich mit dieser Problematik befassen, beispielsweise in Bezug auf die vom Fahrer benötigten Übernahmezeiten (ZEEB, BUCHNER & SCHRAUF, 2015). Im aktuellen Forschungsprojekt wurde in diesem Zusammenhang die Untersuchung kompensativer Fahrerstrategien angestrebt. Hierzu wurden sechs falsifizierbare Hypothesen formuliert, die in einer empirischen Fahrsimulatorstudie überprüft wurden.

Hypothese 1 behandelte dabei den grundsätzlichen Einfluss automatisierter Fahrsysteme auf das Verhalten des Fahrers im Normalverkehr. Hier entsprechen die Studienergebnisse den Erwartungen: Im Vergleich zum fahrer-gesteuerten Fahren war im automatisierten Fahren sowohl die Leistung in der Fahraufgabe signifikant besser als auch die Aktivität in der nicht fahrbezogenen Aufgabe signifikant höher (vgl. Bild 39). Ähnliche Ergebnisse wiesen bereits vorherige Studien auf (GRIFFITHS & GILLESPIE, 2005; MERAT et al., 2012). Anhand des Modells von SCHWALM et al. (2015) kann dies so erklärt werden, dass automatisiertes Fahren,

das heißt die systemseitige Ausführung der Fahraufgabe, zu einer reduzierten objektiven Belastung sowie subjektiv vom Fahrer erlebten Beanspruchung führt. Um den drohenden Zustand kognitiver Unterbelastung zu vermeiden, ist zu vermuten, dass Fahrer zu kompensativen Verhaltensanpassungen greifen. Dabei scheinen diese Verhaltensanpassungen über den ersten und dritten Pfad stattzufinden, indem Zielwerte nicht fahrbezogener Aufgaben angehoben und die Aktivität in diesen aufgrund der frei gewordenen kognitiven Ressourcen erhöht werden.

Hypothese 2 bezog sich auf die kompensativen Fahrerstrategien im Anschluss an einen TOR. Diesbezüglich wurde erwartet, dass als Konsequenz auf einen TOR die Aktivität in nicht fahrbezogenen Aufgaben reduziert werden würde. Statistische Analysen konnten belegen, dass sich diese tatsächlich in allen drei TOR-Gruppen dem Aktivitätslevel annäherte, welches in Durchgängen des fahrgesteuerten Fahrens gezeigt worden war (vgl. Bild 40 und Tabellen 26, 27). Zu ähnlichen Ergebnissen kamen zuvor schon NAUJOKS et al. (2014). Bezogen auf das Modell von SCHWALM et al. (2015) kann dies so interpretiert werden, dass Fahrer nach einem TOR bestrebt sind, die Aktivität in nicht fahrbezogenen Aufgaben so weit zu senken, dass ausreichend kognitive Ressourcen frei werden, um eine sichere Fahrleistung nach der Übernahme garantieren zu können. Laut des Modells geschehen die Verhaltensanpassungen des Fahrers dabei über den ersten und dritten Pfad: Über diese werden Zielwerte und Aktivität in der Fahraufgabe gegenüber der nicht fahrbezogenen Aufgabe priorisiert. Überraschenderweise wiesen die Ergebnisse darauf hin, dass dies auch in der TOR-no-Gruppe geschah, obwohl hier kein akustisches Signal im Rahmen des TOR dargeboten wurde (vgl. Bild 40 und Tabellen 26, 27). Die empirischen Ergebnisse deuten allerdings darauf hin, dass dieses Verhalten durch einen Lerneffekt zustande kam. Durch die Absolvierung von insgesamt acht Fahrten kann vermutet werden, dass sich die Probanden nach und nach an die Strecke sowie die Übernahmesituation gewöhnt hatten. Im Umkehrschluss bedeutet dies jedoch auch, dass die Effekte, welche für die TOR-high- und TOR-low-Gruppen gefunden wurden, aus demselben Grund wahrscheinlich tatsächlich weniger stark ausgeprägt waren als zunächst angenommen.

Hypothese 3 konstatierte einen Zusammenhang zwischen der Aktivitätsreduktion in der nicht fahrbe-

zogenen Aufgabe nach einem TOR und der gezeigten Fahrleistung nach der Übernahme: Sofern die kompensativen Fahrerstrategien verfügbar waren, war anzunehmen, dass eine stärkere Aktivitätsreduktion der nicht fahrbezogenen Aufgabe zu mehr freigesetzten kognitiven Ressourcen und somit zu einer besseren Fahrleistung führen sollte. In Anbetracht der empirischen Daten trafen diese Erwartungen jedoch nur auf die TOR-high-Gruppe zu (vgl. Tabelle 28).

Hypothese 4 befasste sich mit zwei Aspekten. Hypothese 4a stellte zunächst die Annahme auf, dass die Aktivitätsreduktion in der nicht fahrbezogenen Aufgabe von der Salienz des TOR beeinflusst wird. Dies konnte durch die Studienergebnisse belegt werden: Je höher die Salienz des TOR, desto eher fand eine Verhaltensadaption in der nicht fahrbezogenen Aufgabe statt (vgl. Bild 40 und Tabelle 27). In ähnlicher Weise thematisierte Hypothese 4b die Auswirkung der Salienz des TOR auf die Fahrleistung nach der Übernahme. Auch hier waren in der TOR-high-Gruppe mit den durchschnittlich besten Fahrleistungen nach einer Übernahmesituation die stärksten Effekte auszumachen. Die Ergebnisse in den Gruppen TOR no und TOR low unterschieden sich nicht signifikant voneinander. Dies lässt vermuten, dass ein niedrig salienter TOR keinen positiven Effekt auf die Fahrleistung hat (vgl. Bild 41).

Die Ergebnisse der Hypothesen 3 und 4 lassen hinsichtlich der Salienz des TOR folgenden Rückschluss zu: Nur der TOR high begünstigt kompensative Fahrerstrategien hinlänglich, sodass der Fahrer die Fahraufgabe sicher wieder übernehmen kann. Dies wird anhand einer adäquaten Aktivitätsreduktion in der nicht fahrbezogenen Aufgabe ermöglicht. Hierdurch werden ausreichend kognitive Ressourcen verfügbar gemacht, welche für die Gewährung einer sicheren Fahrleistung notwendig sind. An dieser Stelle sei noch hinzugefügt, dass die gefundenen Unterschiede zwischen den Gruppen nicht auf unzureichende Wahrnehmung des TOR zurückgeführt werden können, denn auch in der TOR-low-Gruppe wurde das Signal fast immer gehört. Überdies kann davon ausgegangen werden, dass die Ergebnisse ebenfalls nicht auf unterschiedliche Fähigkeiten in den Gruppen zurückzuführen sind, da es im Normalverkehr keine Unterschiede hinsichtlich der Leistungen in der Fahr- und der nicht fahrbezogenen Aufgabe zwischen den Gruppen gab (vgl. Bild 39).

Hinsichtlich der Subjektivdaten war die Hypothese 5 aufgestellt worden, welche von einem Zusammenhang zwischen dem Fahrerverhalten und der fahrerseitigen subjektiven Situationswahrnehmung ausging. Zur Untersuchung dieser Hypothese wurden zwei Korrelationsanalysen durchgeführt. Hinsichtlich der Subjektivwahrnehmung der Fahrleistung nach der Übernahme – erfasst mittels des Fragebogens zur „subjektiv angemessen empfundenen Fahrleistung“ – zeigten sich keine signifikanten Ergebnisse hinsichtlich der Reduktion der nicht fahrbezogenen Aufgabe. Es wurden variierende Ergebnisse mit Blick auf die objektive Fahrleistung gefunden. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass die kompensativen Fahrerstrategien nur bedingt mit der subjektiven Fahrleistungsbewertung zusammenhängen. Allerdings sei hier angemerkt, dass Teile der Probandenstichprobe Schwierigkeiten bei der Beantwortung des Fragebogens hatten. Die Instruktion lautete, die Fahrleistung im Zeitraum kurz vor der Stauauflösung zu bewerten. Vielen Probanden fiel die genaue Identifikation des relevanten Zeitraums schwer. Hierdurch ist es möglich, dass potenzielle Zusammenhänge möglicherweise überdeckt wurden. Eine zweite Analyse bezog sich auf die Frage zur Wiedererlangung der Kontrolle nach der Übernahme. Hier konnte in AF-Fahrten für die Gruppen TOR no und TOR high tatsächlich ein Zusammenhang zwischen der objektiven Fahrleistung und der Subjektivbewertung bestätigt werden. Dies spricht für eine gute Wahrnehmung der eigenen Fähigkeiten seitens der Probanden (siehe Bild 42).

Die letzte Hypothese 6 beschäftigte sich mit der Rolle des Sensation Seekings auf die kompensativen Fahrerstrategien. Es fanden sich lediglich vereinzelte signifikante Zusammenhänge zwischen den Objektivmaßen der kompensativen Fahrerstrategien und der individuellen Ausprägung des Sensation Seekings. Aus diesem Grund ist davon auszugehen, dass das Persönlichkeitsmerkmal des Sensation Seekings keinen bedeutsamen beziehungsweise nur eingeschränkten Einfluss auf die kompensativen Fahrerstrategien zu haben scheint.

Wie auch für das erste Arbeitspaket, soll die Diskussion zur Relevanz der Ergebnisse für die Gestaltung automatisierter Fahrfunktionen im Arbeitspaket 3 geführt werden.

## 4 Arbeitspaket 3 – Diskussion und Ableitung von Handlungsempfehlungen

Arbeitspaket 3 schließt inhaltlich an die Arbeitspakete 1 und 2 an. Es sollen die zuvor erlangten Ergebnisse diskutiert und konkrete Handlungsempfehlungen bezüglich der Gestaltung und Bewertung von automatisierten Assistenzsystemen abgeleitet werden.

Zur Konkretisierung dieses Vorhabens lassen sich hierzu zwei Forschungsfragen ableiten, die auf die Ergebnisse des Arbeitspaket 1 Bezug nehmen:

1. Welche Fahrleistung sollte einem automatisierten System hinterlegt werden? Was ist der minimale Grenzwert?
2. Inwiefern sollten Trajektorien auf Personen- und Situationsfaktoren angepasst werden?

Hinsichtlich des zweiten Arbeitspakets lassen sich ebenfalls zwei Forschungsfragen ableiten:

3. Welche Konfigurationsempfehlungen lassen sich bezüglich des TOR in Abhängigkeit der zuvor erlangten Studienergebnisse ableiten?
4. Könnte durch eine weiterführende Manipulation des TOR der Strategieeffekt weiter verstärkt werden?

Diese vier Forschungsfragen sollen in den zwei nun folgenden Kapiteln ausführlich beantwortet und diskutiert werden.

### 4.1 Handlungsempfehlungen ausgehend von Arbeitspaket 1

Zur Bestimmung subjektiv akzeptierter Fahrtrajektorien und zur Untersuchung deren Abhängigkeit von Situations- und Personenfaktoren wurde im Rahmen des ersten Arbeitspakets die Definition und Operationalisierung des Konstrukts „subjektiv angemessen empfundene Fahrleistung“ verfolgt sowie eine finale empirische Online-Studie zur Trajektorienuntersuchung durchgeführt.

Die Ergebnisse dieser letzten Online-Studie zeigten, dass Fahrer Abweichungen des Ego-Fahrzeugs zwischen 0,4 und 0,9 m hin zur Fahrbahnmitte akzeptieren. Diese Werte sollten in jedem Fall bei der Trajektorienprogrammierung automatisierter Systeme

beachtet werden. Die breite Streuung von 0,5 m der Akzeptanzschwellen zeigt aber auch, dass eine subjektiv akzeptierte Fahrleistung stark von bestimmten Situations- und Personenfaktoren abhängt.

Der Faktor mit dem stärksten Einfluss war hierbei der Gegenverkehr – und hier speziell dessen Fahrverhalten beziehungsweise Trajektorie. Demnach sollte dieser Aspekt in jedem Fall bei der Auslegung automatisierter Fahrfunktionen beachtet werden. Wie auch RUDACK, MEINCKE, JOBMANN und LOTT (2003) bemerken, scheint der kooperative Charakter automatisierter Fahrzeuge mehr denn je unerlässlich zu sein. Aufgrund der hohen Relevanz sowohl des eigenen Querversatzes als auch des Querversatzes des Gegenverkehrs, sollten automatisierte Fahrsysteme über adaptive Mechanismen der Fahrzeugführung verfügen, sodass eine Kooperation mit anderen Verkehrsteilnehmern ermöglicht werden würde. Diese adaptiven Mechanismen sollten vorsehen, dass in Abhängigkeit der gegebenen äußeren Umstände Trajektorien implementiert werden, die für alle beteiligten Verkehrsteilnehmer als akzeptabel und sicher empfunden werden. Dies kann anhand der folgenden Situation beispielhaft dargestellt werden: Sollte ein Fahrzeug auf einer zweispurigen Landstraße aufgrund eines Hindernisses (zum Beispiel ein Radfahrer) in Richtung der Straßenmitte ausweichen müssen, sollte das andere, entgegenkommende Fahrzeug diese Information rechtzeitig erhalten und die eigene Fahrlinie dementsprechend anpassen (das heißt in der Querregelung nach rechts verschieben). Als solches könnte eine mögliche Kollision der beiden Fahrzeuge vermieden und die Sicherung der subjektiven Akzeptanz gewährleistet werden.

Neben diesem Faktor scheint auch das Sensation Seeking in bestimmten Situationen einen moderierenden Einfluss auf die subjektive Fahrleistungsbeurteilung zu besitzen. Niedrige Sensation Seeker scheinen in bestimmten Situationen geringere Spurbabweichungen zu akzeptieren als hohe Sensation Seeker. Solange eine individuelle Konfiguration automatisierter Systeme nicht vollständig möglich ist (zum Beispiel im Sinne eines Smart Keys), sollte man sich aus diesem Grund bei der Systemkonfiguration stets an den Schwellenwerten der niedrigen Sensation Seeker orientieren. Als solches könnte sichergestellt werden, dass sich eine größtmögliche Anzahl von Fahrern mit der vom System implementierten Fahrleistung sicher und wohl fühlt. Würde man diesen Aspekt vernachlässigen, lässt sich vermuten, dass niedrige Sensation Seeker das

System nicht beziehungsweise nicht lange nutzen. Somit wäre eine große Gruppe potenzieller Nutzer nicht abgedeckt.

In zukünftigen Studien sollten zur weiteren Optimierung technischer Fahrleistungen hinsichtlich der subjektiven Wahrnehmung und Bewertung weitere mögliche Einflussfaktoren untersucht werden (zum Beispiel Straßentyp, Geschwindigkeit etc.). Die aktuelle Studie konnte zeigen, dass sich Schwellenwerte einer akzeptierten Fahrleistung empirisch bestimmen lassen und diese in Abhängigkeit von Situations- und Personenfaktoren divergieren können. Sie bietet allerdings noch keinen erschöpfenden Überblick über alle relevanten Einflussfaktoren.

Zusätzlich zu diesen Untersuchungen sollte zusätzlich die Handlungsrelevanz der Fahrleistungsschwellen beziehungsweise deren Überschreiten untersucht werden. Im aktuellen Forschungsprojekt wird über das Konstrukt der „subjektiv angemessenen empfundenen Fahrleistung“ insbesondere die subjektive Komfort- und Sicherheitsbewertung verschiedener Fahrtrajektorien thematisiert. Es bleibt offen, inwiefern das Überschreiten der Akzeptanzschwelle durch eine automatisierte Fahrfunktion zusätzlich auch eine Handlungsrelevanz besäße. SCHWALM et al. (2015) postulieren, dass Fahrer ihre kompensativen Strategien bei der Wahrnehmung oder in Antizipation einer kritischen Fahrsituation zeigen. Es wäre durchaus denkbar, dass das Überschreiten einer subjektiven Akzeptanzschwelle in der Fahrleistung eine solche kritische Fahrsituation darstellen könnte. Gemäß dem Framework und den Befunden des aktuellen Forschungsprojekts würde dies bedeuten, dass Fahrer die Bearbeitung nicht fahrbezogener Aufgaben unterbrechen und vor allem auch in die Fahraufgabe eingreifen. Sollte dies in einer Situation geschehen, in der ein Fahrer aufgrund einer längeren automatisierten Fahrt nicht mehr im Loop der Fahraufgabe ist, könnten klare Sicherheitsrisiken auftreten. In einer solchen hypothetischen Situation, in der dem Fahrer wichtige Kontextinformationen fehlen, wäre er nur in begrenztem Maße in der Lage im Vergleich zum automatisierten System die Fahraufgabe sicher zu lösen. Während beispielsweise ein automatisiertes System – trotz fehlender Konformität zu nutzerseitigen Komfortansprüchen – den Fahrer ohne Unfallverursachung durch eine Engstelle manövrieren könnte, könnte das plötzliche Eingreifen des Fahrers (zum Beispiel starkes Gegenlenken) in der gleichen Situation eine Kollision hervorrufen.

## 4.2 Handlungsempfehlungen ausgehend von Arbeitspaket 2

Wie im ersten Arbeitspaket, lassen sich auch im zweiten Arbeitspaket ausgehend von den empirischen Ergebnissen Handlungs- und Gestaltungsempfehlungen für die Auslegung zukünftiger automatisierter Systeme machen. In der im Arbeitspaket 2 durchgeführten Studie wurden Übernahme-situationen des automatisierten Fahrens simuliert. Neben der Bearbeitung einer zusätzlichen, nicht fahrbezogenen Aufgabe, war es die Aufgabe der Teilnehmer, in Anschluss an einen TOR die Fahrzeugführung vollständig zu übernehmen. Hierbei wurden drei verschiedene Arten des TOR, welche jeweils eine Sekunde vor der Übernahme dargeboten wurden, umgesetzt: Dabei bestand TOR high aus einem hoch salienten, sehr lauten, drei Mal kurz hintereinander dargebotenen Ton. TOR low hingegen beinhaltete einen wesentlich leiseren, einmal dargebotenen Ton und TOR no kein akustisches Signal.

Eine erste offene Frage ist, welche dieser drei TORs am bestgeeignetsten ist, um die kompensativen Fahrerstrategien zu aktivieren und Fahrer auf eine sichere Übernahme der Fahraufgabe vorzubereiten (siehe Forschungsfrage 3).

Betrachtet man die Detektionsraten des Übernahmesymbols, scheint es keine Unterschiede zwischen einem visuell-akustischen und einem rein visuellen TOR zu geben. Entgegen möglicher Erwartungen gab es ebenfalls keine klaren Unterschiede zwischen dem hoch und niedrig salienten visuell-akustischen TOR. Diese Befunde ließen sich möglicherweise folgendermaßen erklären: Während der TOR low wenig salient war, war der TOR high so salient und laut beziehungsweise durch die Wiederholungen so eindringlich, dass sich die Fahrer direkt nach dem akustischen Hinweistone auf die Fahraufgabe konzentrierten und das rote Übernahmesymbol außer Acht ließen. In TOR-no-Fahrten war das Symbol der einzige Hinweis auf die Übernahme und die daraus folgende kritische Fahr-situation. Deshalb wurde möglicherweise verstärkt darauf geachtet. Diese Vermutung wird auch durch die Aussagen der Probanden gestützt: In der TOR-low-Bedingung wurde der Hinweistone oft als angemessen oder auch als schwer wahrnehmbar beschrieben. Der hoch saliente TOR wurde hingegen diverse Male als auffallend oder auch zu laut, das heißt unnötig laut, beschrieben. Bei dieser Interpretation muss jedoch in Betracht gezogen werden,

dass die Gruppenunterschiede rein deskriptiv untersucht wurden und jeweils sehr gering ausfielen.

Bezieht man weitere Ergebnisparameter in die Diskussion mit ein, so sprechen die Ergebnisse insgesamt für den hoch salienten, visuell-akustischen TOR. Es scheint, als ob eine solche Übernahmeaufforderung die kompensativen Fahrerstrategien am besten und effektivsten unterstützt. Sowohl die Reduktion der Aktivität in der nicht fahrbezogenen Aufgabe nach dem TOR als auch die Fahrleistung nach der Übernahme wurden durch einen hoch salienten, visuell-akustischen TOR am stärksten positiv beeinflusst. Das heißt im Detail, dass die Reduktion der Aktivität in der nicht fahrbezogenen Aufgabe dort am schnellsten vorstättenging und die Fahrleistung dort am besten war. Gleichermaßen wurde nur in der TOR-high-Bedingung eine signifikante Korrelation zwischen diesen beiden Objektivmaßen gefunden. Gemäß dem Arbeitsmodell von SCHWALM et al. (2015) ließe sich dieser Sachverhalt wie folgt erklären: Durch die hohe Salienz des TOR high kann der kognitive Fokus, im Vergleich zu einer Situation mit niedrig salientem TOR, schneller von der nicht fahrbezogenen Aufgabe zur Fahraufgabe verschoben werden. Die Anpassung der Pfade 1 und 3 kann unter dieser Bedingung effizienter geschehen. Der Vorteil eines hoch salienten, visuell-akustischen TOR kann auch mit Blick auf die Analyse der Subjektivdaten belegt werden: Übernahme-situationen in dieser Bedingung werden am seltensten als langsam bezeichnet. Darüber hinaus werden im Vergleich zum TOR no (rein visueller TOR) Übernahme-situationen weniger als halb so oft als kritisch bewertet. Aus der durchgeführten Studie geht also – bezogen auf die Aktivierung der kompensativen Fahrerstrategien – einerseits der Vorteil eines kombinierten visuell-akustischen gegenüber einem allein visuellen TOR sowie andererseits ein Vorteil eines hoch gegenüber einem niedrig salienten visuell-akustischen TOR hervor.

Obwohl diese Schlussfolgerungen in sich bereits eine Aussagekraft besitzen, bleibt offen, inwiefern die hervorgerufenen Strategieeffekte durch eine weiterführende Manipulation verstärkt beziehungsweise optimiert werden könnten (siehe Forschungsfrage 4). Hierfür scheint es sinnvoll, die folgenden Aspekte beziehungsweise Ansatzpunkte zu diskutieren.

Ein erster Aspekt bezieht sich auf die Frequenz und Amplitude des akustischen Warnsignals: Da im vor-



liegenden Versuch lediglich die diskreten Konfigurationen TOR no, TOR low und high manipuliert und keine weiteren Abstufungen gemacht wurden, stellt sich die Frage, inwiefern der TOR high, der unter den drei Konfigurationen als der bestgeeignetste TOR identifiziert wurde, bereits das Optimum hinsichtlich der Lautstärke und Wiederholungsrate darstellt. Zur Identifikation dieses Optimums würde sich eine Kosten-Nutzen-Abwägung anbieten: Es sollte eine TOR-Konfiguration angestrebt werden, die einerseits dem fahrerseitigen subjektiven Komfortempfinden zuträglich ist (zum Beispiel deutliche und klare Wahrnehmung, die jedoch nicht zu aufdringlich ist) und andererseits sicherheitskritische Aspekte erfüllt (das heißt Effizienz des TOR bezüglich der Aktivierung der kompensativen Fahrerstrategien). Auf Grundlage der gewonnenen Ergebnisse wäre vorstellbar, dass ein TOR mit gleicher Frequenz (dreimaliges Wiederholen), aber leicht geminderter Lautstärke, diese Anforderungen vereinen könnte.

Ein zweiter Aspekt bezieht sich auf den Zeitpunkt der TOR-Darbietung. Da diese in der vorliegenden Studie nicht variiert wurde und durchgehend eine Sekunde vor der Übernahme dargeboten wurde, ist es schwierig eine finale Aussage beziehungsweise Abschätzung bezüglich des optimalen Zeitpunkts der Darbietung zu treffen. In der bestehenden Literatur wird hier – in Abhängigkeit des spezifischen Settings – eine große Bandbreite an Übernahmezeiten diskutiert. Diese reichen beispielsweise von zwei (MERAT & JAMSON, 2009) bis zu zehn Sekunden (PETERMANN-STOCK et al., 2013). Hier ist zu beachten, dass man vermutlich nicht von einem linearen beziehungsweise proportionalen Zusammenhang zwischen der Länge des Übernahmeintervalls und der Aktivierung der Fahrerstrategien ausgehen darf. Der Vorteil eines längeren Intervalls, welcher eine längere Vorbereitungszeit auf die Übernahme und somit eine stärkere Aktivierung ermöglichen würde, könnte sich ab einem gewissen Punkt umkehren. Bei einem (zu) langen Übernahmeintervall könnte die Aktivität der nicht fahrbezogenen Aufgabe aufgrund einer (zu) stark verzögerten Übernahme im Sinne des fahrerseitigen Workload-Managements wieder erhöht werden (siehe SCHWALM et al., 2015; VOß & SCHWALM, 2015). Für die Definition eines optimalen Intervalls zwischen TOR und Übernahme könnte es deshalb sinnvoll sein, den Zeitpunkt zu identifizieren, an dem die Reduktion der Aktivität in der nicht fahrbezogenen Aufgabe maximal ist. Dies könnte durch

eine Art adaptives Testen geschehen, in welchem das Intervall zwischen TOR und Übernahme bei gleichzeitiger Untersuchung der Aktivität in der nicht fahrbezogenen Aufgabe schrittweise manipuliert wird. So könnte man dasjenige Intervall ausmachen, welches eine maximale Reduktion der Aktivität in der nicht fahrbezogenen Aufgabe zum Zeitpunkt der Übernahme gewährt. Als zusätzliches Kriterium könnte darüber hinaus die Güte der Fahrleistung nach der Übernahme herangezogen werden, welche erwartungsgemäß besser sein sollte, je niedriger die Aktivität in der nicht fahrbezogenen Aufgabe zum Zeitpunkt der Übernahme ist. Bei diesen Untersuchungen sei allerdings zu beachten, dass die regulativen Prozesse in Abhängigkeit der HMI-Gestaltung (zum Beispiel einfacher vs. kontinuierlicher TOR) variieren können.

Als dritter Ansatzpunkt stellt sich schließlich die Frage nach der Verwendung weiterer Modalitäten (z. B. Haptik) bzw. Kombinationen von Modalitäten im Design eines TOR. Ausgehend von den Ergebnissen des aktuellen Projekts ist es schwierig, hier Abschätzungen zu machen. Wie beim Aspekt der Lautstärke und Wiederholungsrate erscheint im Rahmen der HMI-Entwicklung eine Kosten-Nutzen-Abwägung zwischen Komfortempfinden des Nutzers und Effizienz der Strategieaktivierung als sinnvoll. Hierbei könnte, wie auch zuvor vorgeschlagen, die Ausprägung der Aktivitätsreduktion in der nicht fahrbezogenen Aufgabe dazu genutzt werden, einen optimalen TOR zu identifizieren. Es könnten verschiedene Modalitätskombinationen operationalisiert, miteinander verglichen und abschließend diejenige ausgewählt werden, in der zum einen die Reduktion der nicht fahrbezogenen Aufgabe am stärksten und zum anderen die Fahrleistung nach der Übernahme am besten ist.

Sämtliche diskutierten Annahmen hinsichtlich der Stellschrauben eines TOR sind rein hypothetisch und bedürfen empirischer Prüfung, um finale Aussagen hinsichtlich ihrer Wirksamkeit in Bezug auf die Aktivierung kompensativer Fahrerstrategien treffen zu können. Sie sollten in kommenden Studien implementiert und einer intensiven Prüfung unterzogen werden. Insgesamt sollte bei diesen Untersuchungen beachtet werden, dass das verwendete Testscenario sowie die zusätzliche nicht fahrbezogene Aufgabe das Fahrerverhalten stark beeinflussen können. Hinsichtlich der nicht fahrbezogenen Aufgabe betrifft dies beispielsweise die ökologische Validität: Die Verwendung standardi-

sierter Aufgaben (zum Beispiel SuRT) bietet zwar die Möglichkeit einer validen Testung, spiegelt im Zweifel aber nicht die in Realität auftretenden Beschäftigungen dar.

Neben dieser eher spezifischen Gestaltung von Übernahmeaufforderungen, lässt sich als weiterer Ansatz diskutieren, ob es für die Steigerung der Fahr- und Systemsicherheit hilfreich sein könnte, allgemeine Leitfäden oder Richtlinien zu entwickeln. Solche Manuale könnten all solche Kriterien und enthalten, die grundsätzlich bei der Systementwicklung und -gestaltung beachtet werden sollten. Wie an diversen Stellen des aktuellen Forschungsprojekts diskutiert, liefern bisherige Studien bereits wichtige Beiträge zum Systemdesign. Sie unterliegen allerdings – in Abhängigkeit des verwendeten Testszenarios – einer breiten Streuung. Eine allgemeine Vorgabe könnte hier zur Orientierung hilfreich sein. In dieser könnten beispielsweise, anstelle konkreter Werte, Bereiche definiert werden, in denen ein TOR sinnvollerweise angeboten werden sollte, damit die kompensativen Fahrerstrategien optimal unterstützt und eine sichere Fahrleistung garantiert werden können.

Im Rahmen der Ableitung von Handlungs- und Gestaltungsempfehlungen für automatisierte Systeme wäre es zusätzlich zu den bisher diskutierten Ansätzen möglich, die gewonnenen Erkenntnisse auf einem direkteren Weg in die Konzeption automatisierter Fahrsysteme einzubinden. Es wäre denkbar, das Fahrerverhalten in Übernahmesituationen des automatisierten Fahrens systembasiert dahingehend zu untersuchen, ob und in welchem Ausmaß Fahrer die nötigen Verhaltensadaptionen, die für die erfolgreiche Bewältigung der Übernahme erforderlich sind, zeigen. Ist dies nicht der Fall, könnte das System die Übernahme abbrechen und ein risikominimales Manöver einleiten.

## 5 Literatur

- ADAC: Unfallrisiko. Abgerufen von [https://www.adac.de/\\_mmm/pdf/statistik\\_7\\_1\\_unfallrisiko\\_42782.pdf](https://www.adac.de/_mmm/pdf/statistik_7_1_unfallrisiko_42782.pdf), 2012
- ABENDROTH, B. & BRUDER, R.: 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 (3. Auflage, S. 4-14). Wiesbaden: Springer, 2012
- AUFFRAY, B., AUDIN, R. M.; MONSERE, C. M. & BERTINI, R. L.: An empirical investigation of the impacts of sun-related glare on traffic flow. In: Proc., 87<sup>th</sup> Annual Meeting of Transportation Research Board. Washington, D.C.: Transportation Research Board, 2008
- ARTHUR, W. & GRAZIANO, W. G.: The five-factor model, conscientiousness, and driving accident involvement. *Journal of personality*, 64(3), pp. 593-618, 1996
- ASHLEY, W. S.; STRADER, S.; DZIUBLA, D. C. & HABERLIE, A.: Driving blind: weather-related vision hazards and fatal motor vehicle crashes. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 96(5), pp. 755-778, 2015
- BRAESS, H.-H. & SEIFFERT, U.: Fahrzeugsicherheit. In: H.-H. BRAESS & U. SEIFFERT (Hrsg.), ATZ/MTZ-Fachbuch. Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik (6. Auflage, S. 763-804). Wiesbaden: Springer, 2011
- DICK, M.: Die Situation des Fahrens: Phänomenologische und ökologische Perspektiven der Psychologie. (Harburger Beiträge zur Psychologie und Soziologie der Arbeit Sonderband 03). Hamburg, 2001
- DICK, M.: Auf den Spuren der Motive, Auto zu fahren – Die Perspektive der Fahrenden. *Verkehrswissenschaften* (4), 18, S. 9-16, 2002
- DINGUS, T. A.; KLAUER, S. G.; NEALE, V. L.; PETERSEN, A.; LEE, S. E.; SUDWEEKS, J. D.; KNIPLING, R. R.: The 100-Car Naturalistic Driving Study: Phase II – Results of the 100-Car Field Experiment. Washington, D.C., Vereinigte Staaten.

- DONGES, E.: Aspekte der aktiven Sicherheit bei der Führung von Personenkraftwagen. *AUTO-MOB-IND*, 27(2), 1982
- DONGES, E.: Fahrerhaltensmodelle. In: H. WINNER, S. HAKULI, F. LOTZ & C. SINGER (Hrsg.), *Handbuch Fahrerassistenzsysteme. Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort* (3. Auflage, S. 17-26). Wiesbaden: Springer, 2015
- EBERL, T. X.: Charakterisierung und Gestaltung des Fahr-Erlebens der Längsführung von Elektrofahrzeugen. Dissertation, Technische Universität München, München, 2014
- ECKSTEIN, L.: Aktive Fahrzeugsicherheit und Fahrerassistenz. Umdruck zur Vorlesung „Fahrzeugtechnik III – Systeme und Sicherheit“. fka Forschungsgesellschaft für Kraftfahrwesen mbH Aachen, Aachen, 2014
- ENGELBRECHT, A.; ENGELN, A. & ARNDT, S.: Wie entstehen Fahrkomfort und Fahrspaß? Beschreibung und Bewertung von Fahrkomfort und Fahrspaß aus Expertensicht. *VDI-Berichte*, (2085), 2009
- ENDSLEY, M. R. & KIRIS, E. O.: The out-of-the-loop performance problem and level of control in automation. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 37(2), pp. 381-394, 1995
- FINLEY C. & FINLEY, R.: SurveyMonkey®. Angerufen von <https://de.surveymonkey.com/>, 2015
- FULLER, R.: Towards a general theory of driver behaviour. *Accident analysis and prevention*, 37(3), pp. 461-472, 2005
- GASSER, T. M.: Rechtsfolgen zunehmender Fahrzeugautomatisierung – Gemeinsamer Schlussbericht der Projektgruppe. *Wirtschaftsverl. NW Verl. für neue Wissenschaft*, Bremerhaven, 2012
- GIBSON, J. J. & CROOKS, L. E.: A theoretical field-analysis of automobile-driving. *The American Journal of Psychology*, 51(3), pp. 453-471, 1938
- GREZIK, A.: Physiologiebasierte Simulation des Bremsverhaltens von Fahrzeugführern. Unveröffentlichte Dissertation, Technische Universität Ilmenau, Deutschland, 2009
- GOLD, C.; DAMBÖCK, D.; LORENZ, L. & BENGLER, K.: „Take over!“ How long does it take to get the driver back into the loop? In: *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* (Vol. 57, No. 1, pp. 1938-1942). SAGE Publications, 2013
- GRIFFITHS, P. G. & GILLESPIE, R. B.: Sharing control between humans and automation using haptic interface: primary and secondary task performance benefits. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 47(3), pp. 574-590, 2005
- HAUTIÈRE, N.; DUMONT, E.; BRÉMOND, R. & LEDOUX, V.: Review of the mechanisms of visibility reduction by rain and wet road. In: 8<sup>th</sup> International Symposium on Automotive Lighting. München: Herbert Utz Verlag, 2009
- HEINO, A.: Risk taking in car driving; perceptions, individual differences and effects of safety incentives. Dissertation, Reichsuniversität Groningen, Niederlande, 1996
- HORREY, W. J.; LESCH, M. F.; MITSOPOULOS-RUBENS, E. & LEE, J. D.: Calibration of skill and judgment in driving: Development of a conceptual framework and the implications for road safety. *Accident analysis and prevention*, 76, pp. 25-33, 2015
- HORVATH, P. & ZUCKERMANN, M.: Sensation seeking, risk appraisal, and risky behavior. *Personality and individual differences*, 14(1), pp. 41-52, 1993
- HUEMER, A. K. & VOLLRATH, M.: Ablenkung durch fahrfremde Tätigkeiten – Machbarkeitsstudie. *Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen. Unterreihe Mensch und Sicherheit*, (225), 2012
- IVERSEN, H. & RUNDMO, T.: Personality, risky driving and accident involvement among Norwegian drivers. *Personality and individual Differences*, 33(8), pp. 1251-1263, 2002
- JONAH, B. A.: Sensation seeking and risky driving. *Traffic and transport psychology. Theory and application*, 1997
- JONAH, B. A.; THIESSEN, R. & AU-YEUNG, E.: Sensation seeking, risky driving and behavioral adaptation. *Accident Analysis & Prevention*, 33(5), pp. 679-684, 2001

- JOSTEN, J. & ECKSTEIN, L.: Untersuchung der Bewältigungsleistung des Fahrers von kurzfristig auftretenden Wiederübernahmesituationen. FAT Schriftenreihe, in prep.
- KABER, D. B. & ENDSLEY, M. R.: Out-of-the-loop performance problems and the use of intermediate levels of automation for improved control system functioning and safety. *Process Safety Progress*, 16(3), pp. 126-131, 1997
- KAHNEMAN, D.: *Attention and effort*. Prentice-Hall series in experimental psychology. Englewood Cliffs, N. J.: Prentice-Hall, 1973
- KONSTANTOPOULOS, P.; CHAPMAN, P. & CRUNDALL, D.: Driver's visual attention as a function of driving experience and visibility. Using a driving simulator to explore drivers' eye movements in day, night and rain driving. *Accident Analysis & Prevention*, 42(3), pp. 827-834, 2010
- KONTARATOS, A. N.: A systems analysis of the problem of road casualties in the United States. *Accident Analysis & Prevention*, 6(3), pp. 223-241, 1974
- LLANERAS, R. E.; SALINGER, J. A. & GREEN, C. A.: Human factors issues associated with limited ability autonomous driving systems: Drivers' allocation of visual attention to the forward roadway. In: *Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design* (pp. 92-98), 2013
- MATTES, S.: Messung der Fahrerablenkung in der Fahrzeugentwicklung. In: *Vehicle Interaction Summit III. Der richtige Weg im turbulenten Umfeld*. Stuttgart: Fraunhofer IAO, 2006
- MERAT, N. & JAMSON, A. H.: How do drivers behave in a highly automated car. In: *Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design* (S. 514-521), 2009
- MERAT, N.; JAMSON, A. H.; LAI, F. C. & CARSTEN, O.: Highly automated driving, secondary task performance, and driver state. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 54(5), pp. 762-771, 2012
- MOOSBRUGGER, H. & KELAVA, A.: *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion*. Berlin Heidelberg: Springer, 2012
- MUELLER, A. S. & TRICK, L. M.: Driving in fog: The effects of driving experience and visibility on speed compensation and hazard avoidance. *Accident Analysis & Prevention*, 48, pp. 472-479, 2012
- NAUJOKS, F.; MAI, C. & NEUKUM, A.: The effect of urgency of take-over requests during highly automated driving under distraction conditions. In: *Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics AHFE 2014* (pp. 2099-2106). Krakau: AHFE Conference, 2014
- OLTEDAL, S. & RUNDMO, T.: The effects of personality and gender on risky driving behaviour and accident involvement. *Safety Science*, 44(7), pp. 621-628, 2006
- PETERMANN-STOCK, I.; HACKENBERG, L.; MUHR, T. & MERGL, C.: *Wie lange braucht der Fahrer? Eine Analyse zu Übernahmezeiten aus verschiedenen Nebentätigkeiten während einer hochautomatisierten Staufahrt*. 6. Tagung Fahrerassistenzsysteme. Der Weg zum automatischen Fahren, 2013
- PLATTEN, F.; MILICIC, N.; SCHWALM, M. & KREMS, J. F.: Using an infotainment system while driving – A continuous analysis of behavior adaptations. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 21, pp.103-111 doi:10.1016/j.trf.2013.09.012, 2013
- PLATTEN, F.; SCHWALM, M. & KREMS, J. F.: The effect of anticipation on mental workload while driving. In: D. de WAARD; N. GÉRARD; L. ONNASCH; R. WICZOREK & D. MANZEY (Hrsg.), *Human centred automation*. HFES Europe Chapter (pp. 329-337). Maastricht: Shaker Publishing, 2011
- POPIV, D.: *Enhancement of Driver Anticipation and Its Implications on Efficiency and Safety*. Dissertation, Technische Universität München. Abgerufen von <https://mediatum.ub.tum.de/doc/1079920/1079920.pdf>, 2012
- RADLMAYR, J. & BENGLER, K.: *Literaturanalyse und Methodenauswahl zur Gestaltung von Systemen zum hochautomatisierten Fahren*. Forschungsvereinigung Automobiltechnik e. V. (FAT), 2015

- RAUCH, N.; GRADENEGGER, B. & KRÜGER, H.-P.: Darf ich oder darf ich nicht? Situationsbewusstsein im Umgang mit Nebenaufgaben während der Fahrt. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 63(1), 2009
- RIEDEL, A.: Subjektive und objektive Beurteilung des Handlings von Pkw. In: K. BECKER (Hrsg.). *Subjektive Fahreindrücke sichtbar machen* (S. 27-53). Renningen-Malsheim: Expert Verlag, 2000
- ROTH, M. & MAYENHOFER, D.: Deutsche Version des Arnett Inventory of Sensation Seeking (AISS-d), 2003
- RUDACK, M.; MEINCKE, M.; JOBMANN, K. & LOTT, M.: On traffic dynamical aspects of inter vehicle communications (IVC). In: *Vehicular Technology Conference, 2003. VTC 2003-Fall. 2003 IEEE 58<sup>th</sup> (Vol. 5, pp. 3368-3372)*. IEEE, 2003
- SAE International: Automated Driving – Summary of SAE International's Levels of Driving Automation for On-Road Vehicles. Abgerufen von [http://www.sae.org/misc/pdfs/automated\\_driving.pdf](http://www.sae.org/misc/pdfs/automated_driving.pdf). Warrendale, Pennsylvania, Vereinigte Staaten, 2014
- SCHIEßL, C.: Subjective strain estimation depending on driving manoeuvres and traffic situation. *Intelligent Transport Systems*, 2(4), pp. 258-265, 2008
- SCHWALM, M.; KEINATH, A. & ZIMMER, H. D.: Pupillometry as a method for measuring mental workload within a simulated driving task. In: D. de WAARD; F. O. FLEMISCH; B. LORENZ; H. OBERHEID & K. BROOKHUIS (Hrsg.), *Human factors for assistance and automation* (pp. 75-87). Maastricht: Shaker Publishing, 2008
- SCHWALM, M.; VOß, G. M. I. & LADWIG, S.: Inverting Traditional Views on Human Task-Processing Behavior by Focusing on Abilities Instead of Disabilities – A Discussion on the Functional Situation Management of Drivers to Solve Demanding Situations. In: *International Conference on Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics* (pp. 286-296). Springer International Publishing, 2015
- SPENCER, D. & GARRETT, J. J.: *Card sorting. Designing usable categories*. Brooklyn, N.Y.: Rosenfeld Media, 2009
- Statistisches Bundesamt: *Verkehr. Verkehrsunfälle 2014*. Fachserie 8, Reihe 7. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt. Abgerufen von: [https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/TransportVerkehr/Verkehrsunfaelle/VerkehrsunfaelleJ2080700147004.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/TransportVerkehr/Verkehrsunfaelle/VerkehrsunfaelleJ2080700147004.pdf?__blob=publicationFile), 2016
- TEH, E.; JAMSON, S.; CARSTEN, O. & JAMSON, H.: Temporal fluctuations in driving demand: the effect of traffic complexity on subjective measures of workload and driving performance. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 22, pp. 207-217, 2014
- TEIGEN, K. H.: Yerkes-Dodson: A law for all seasons. *Theory & Psychology*, 4(4), pp. 525-547, 1994
- TISCHLER, M. A.; RENNER, G.: Ansatz zur Messung von positivem Fahrerleben. Die Messung von Fahrspaß und Ableitungen für die Fahrzeuggestaltung. *Der Fahrer im 21. Jahrhundert*. VDI-Berichte, 2015, 105-117. Düsseldorf, 2007
- TRUTSCHEL, R.: Analytische und experimentelle Untersuchung der Mensch-Maschine-Schnittstellen von Pkw-Bremsanlagen. *Kraftfahrzeug-technische Berichte: Bd. 1*. Ilmenau: Univ.-Verl. [u. a.], 2007
- VILIMEK, R.; KEINATH, A. & SCHWALM, M.: The MINI E field study: Similarities and differences in international everyday EV driving. In: N. A. STANTON (Hrsg.), *Advances in human factors and ergonomics series. Advances in human aspects of road and rail transportation* (pp. 363-372). Boca Raton, FL: CRC Press, 2012
- VOß, G. M. I. & SCHWALM, M.: Functional Behavioral Adaptations as an Indicator of Drivers' State. In: K. GRAMANN; T. O. ZANDER & C. WIENRICH (Hrsg.), *Tagungsband der 11. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme* (S. 261-265). Berlin, 2015
- WARM, J. S.; DEMBER, W. N. & HANCOCK, P. A.: *Vigilance and workload in automated systems*, 1996
- WICKENS, C. D. & CARSWELL, C. M.: Information Processing. In: G. SALVENDY (Hrsg.), *Handbook of Human Factors and Ergonomics* (pp. 111-149). Hoboken John Wiley, 2006

- 
- WILDE, G. J. S.: The Theory of Risk Homeostasis: Implications for Safety and Health. *Risk Analysis*, 2(4), pp. 209-225, 1982
- WINNER, H.: *Handbuch Fahrerassistenzsysteme*. 2. Auflage. Wiesbaden: Springer, 2012
- YAGIL, D.: Reasoned action and irrational motives: A prediction of drivers' intention to violate traffic Laws. *Journal of Applied Social Psychology*, 31(4), pp. 720-739, 2001
- YERKES, R. M. & DODSON, J. D.: The relation of strength of stimulus to rapidity of habit-formation. *Journal of Comparative Neurology and Psychology*, 18, pp. 459-482, 1908
- YOUNG, K.; REGAN, M. & HAMMER, M.: Driver distraction: A review of the literature. *Distracted driving*, pp. 379-405, 2007
- ZEEB, K.; BUCHNER, A. & SCHRAUF, M.: What determines the take-over time? An integrated model approach of driver take-over after automated driving. *Accident Analysis and Prevention*, 78, pp. 212-221, 2015
- ZULHAIDI, M. J.; HAFZI, M. M.; ROHAYU, S.; WONG, S. & FARHAN, M. A.: *Weather as a Road Safety Hazard in Malaysia – An Overview*. Malaysian Institute of Road Safety Research, Kuala Lumpur, Malaysia, 2010

## Schriftenreihe

### Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

#### Unterreihe „Fahrzeugtechnik“

## 2010

- F 74: Auswirkungen des Fahrens mit Tempomat und ACC auf das Fahrerverhalten  
Vollrath, Briest, Oeltze € 15,50
- F 75: Fehlgebrauch der Airbagabschaltung bei der Beförderung von Kindern in Kinderschutzsystemen  
Müller, Johannsen, Fastenmaier € 15,50

## 2011

- F 76: Schutz von Fußgängern beim Scheibenanprall II  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de) heruntergeladen werden.  
Bovenkerk, Gies, Urban € 19,50
- F 77: 4th International Conference on ESAR „Expert Symposium on Accident Research“  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de) heruntergeladen werden. € 29,50
- F 78: Elektronische Manipulation von Fahrzeug- und Infrastruktursystemen  
Dittmann, Hoppe, Kiltz, Tuchscheerer € 17,50
- F 79: Internationale und nationale Telematik-Leitbilder und IST-Architekturen im Straßenverkehr  
Boltze, Krüger, Reusswig, Hillebrand € 22,00
- F 80: Untersuchungskonzepte für die Evaluation von Systemen zur Erkennung des Fahrerzustands  
Eichinger € 15,00
- F 81: Potential aktiver Fahrwerke für die Fahrsicherheit von Motorrädern  
Wunram, Eckstein, Rettweiler € 15,50
- F 82: Qualität von on-trip Verkehrsinformationen im Straßenverkehr – Quality of on-trip road traffic information – BAST-Kolloquium 23. & 24.03.2011  
Lotz, Luks € 17,50  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de) heruntergeladen werden.

## 2012

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

## 2013

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

## 2014

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

## 2015

- F 100: Verhaltensbezogene Kennwerte zeitkritischer Fahrmanöver  
Powelleit, Muhrer, Vollrath, Henze, Liesner, Pawellek € 17,50
- F 101: Altersabhängige Anpassung von Menschmodellen für die passive Fahrzeugsicherheit  
Wagner, Segura, Mühlbauer, Fuchs, Peldschus, Freßmann € 19,00

F 102: 6<sup>th</sup> International Conference on ESAR „Expert Symposium on Accident Research“

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

F 103: Technische Möglichkeiten für die Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen von Nutzfahrzeugen

Süßmann, Lienkamp

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

F 104: Abbiege-Assistenzsystem für Lkw – Grundlagen eine Testverfahrens

Schreck, Seiniger

€ 14,50

F 105: Abgasverhalten von in Betrieb befindlichen Fahrzeugen und emissionsrelevanten Bauteilen – Feldüberwachung

Schmidt, Georges

€ 14,50

F 105b: Examination of pollutants emitted by vehicles in operation and of emission relevant components – In-service conformity

Schmidt, Johannsen

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

F 106: Untersuchung des Abgasverhaltens von in Betrieb befindlichen Fahrzeugen und emissionsrelevanten Bauteilen – Austauschkatalysatoren

Schmidt, Johannsen

€ 13,50

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

Schmidt, Johannsen

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

F 107: Sicherheitsaspekte beim Laden von Elektrofahrzeugen

Vogt, Link, Ritzinger, Ablingyte, Reindl

€ 16,50

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

von der Ruhren, Kirschfink, Ansorge, Reusswig, Riegelhuth,

Karina-Wedrich, Schopf, Sparmann, Wöbbeking,

Kannenberg

€ 17,50

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

Schröder, Steickert, Walther, Ranftl

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

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

Altinsoy, Landgraf, Rosenkranz, Lachmann, Hagen,

Schulze, Schlag

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

F 111: Geräuschminderung von Dünnschichtbelägen

Schulze, Kluth, Ruhnau, Hübelt

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

## 2016

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

Schmidt, Hoffmann, Krautscheid, Bierbach,

Frey, Gail, Lotz-Keens

€ 17,50

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

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

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

Bergk, Heidt, Knörr, Keller

€ 15,50

F 114: Barrierefreiheit bei Fernlinienbussen

Oehme, Berberich, Maier, Böhm

€ 17,50

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

Frey

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

## 2017

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

Süßmann, Förg, Wenzelis

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

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

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

F 118: Bedeutung kompensativer Fahrerstrategien im Kontext automatisierter Fahrfunktionen

Voß, Schwalm

€ 16,50

Fordern Sie auch unser kostenloses Gesamtverzeichnis aller lieferbaren Titel an! Dieses sowie alle Titel der Schriftenreihe können Sie unter der folgenden Adresse bestellen:

Fachverlag NW in der Carl Schünemann Verlag GmbH

Zweite Schlachtpforte 7 · 28195 Bremen

Tel. +(0)421/3 69 03-53 · Fax +(0)421/3 69 03-63

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

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