

# **Abweichungen von der akzeptierten Fahrleistungsschwelle in automatisierten Fahrsituationen**

**Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

**Fahrzeugtechnik Heft F 135**

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

# **Abweichungen von der akzeptierten Fahrleistungsschwelle in automatisierten Fahrsituationen**

von

Gudrun Voß  
Maximilian Schwalm

Institut für Kraftfahrzeuge (ika)  
RWTH Aachen University

**Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

**Fahrzeugtechnik Heft F 135**

**bast**



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

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

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

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

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

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

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

## Impressum

**Bericht zum Forschungsprojekt: FE 82.0685/2016**  
Handlungsrelevanz bei Abweichungen von der akzeptierten Fahrleistungsschwelle in automatisierten Fahrsituationen (reAlise)

### Fachbetreuung

Heike Hoffmann

### Referat

Automatisiertes Fahren

### Herausgeber

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

### Redaktion

Stabsstelle Presse und Kommunikation

### Druck und Verlag

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

ISSN 0943-9307  
ISBN 978-3-95606-520-0

Bergisch Gladbach, August 2020



## Kurzfassung – Abstract

### **Abweichungen von der akzeptierten Fahrleistungsschwelle in automatisierten Fahrsituationen**

Seit vielen Jahren wird unter dem Begriff der Fahrerablenkung (driver distraction) diskutiert, welche Einschränkungen und Probleme durch die Bearbeitung zusätzlicher fahrfremder Tätigkeiten während des Fahrens in der Leistungsfähigkeit von Fahrern entstehen. Parallel zu dieser Debatte erwuchs in den vergangenen Jahren allerdings auch das Wissen, dass Fahrer trotz oftmals hoher Mehrfachbelastungen beim Fahren in der Lage sind, Unfälle zu vermeiden. Arbeiten im nicht-automatisierten Fahren zeigten, dass Fahrer bestimmte Fähigkeiten oder Eigenschaften besitzen, die es ihnen erlauben, die hohen Belastungen der Fahraufgabe und zusätzlicher fahrfremder Tätigkeiten zu regulieren und somit eine sichere Fahrleistung zu garantieren. Aufbauend hierauf konnte das abgeschlossene Projekt FE 82.0614/2014 zeigen, dass Fahrer vergleichbare Strategien zur Ressourcenregulierung in Übernahmesituationen des automatisierten Fahrens besitzen sowie dass sich Trajektorienbereiche auf der Straße definieren lassen, die Fahrer subjektiv als angemessen bewerten. Das aktuelle Projekt ist bestrebt, diese zwei Forschungsstränge zu kombinieren. Es wurde im automatisierten Fahren die Handlungsrelevanz der subjektiven Fahrleistungsschwellen im Sinne der Aktivierung von Fahrerstrategien untersucht. Dazu wurden die bereits bekannten Schwellenwerte im Rahmen einer Online-Studie um zusätzliche Situationsfaktoren erweitert und anschließend im Fahrsimulator überprüft. Des Weiteren wurde die Handlungsrelevanz dieser Schwellen sowohl im Fahrsimulator als auch im Realversuch untersucht. Ausgehend von den Ergebnissen wurden Empfehlungen für automatisierte Fahrfunktionen im Sinne adaptiver Mechanismen in der Trajektorienplanung abgeleitet.

### **Deviations from the accepted driving performance threshold in automated driving situations**

For many years, researchers use the term driver distraction to discuss the limitations and problems that arise from processing non-driving related tasks while driving on drivers' performance. Simultaneously to this debate, the knowledge arose that drivers are able to avoid accidents while driving despite the increased workload in multi-tasking situations. Research in non-automated driving shows that drivers own certain abilities or characteristics, which allow them to regulate the workload of driving and additional non-driving related tasks and, therefore, to guarantee a safe driving performance. Building on these findings the completed project FE 82.0614/2014 showed that drivers have similar strategies of regulating their resources in takeover situations of automated driving and that there are trajectory ranges on the road, which drivers estimate as comfortable. The current project aims to combine these research strands. The action relevance of subjectively accepted driving thresholds in terms of the activation of driver strategies was investigated in automated driving. For this purpose, the known thresholds were extended by additional situation factors within an online study. Subsequently, they were verified in the driving simulator. In addition, the action relevance of these thresholds was investigated in a driving simulator and a test track study. Based on the results, recommendations for automated driving functions in sense of adaptive mechanisms in the planning of trajectories were derived.

## Summary

### Deviations from the accepted driving performance threshold in automated driving situations

## 1 Problem definition

According to current traffic statistics, the vehicle fleet has doubled over the last 30 years (Statistisches Bundesamt 2016). With 55 million registered vehicles in Germany (Statistisches Bundesamt 2016), the automobile is the primary means of transport (HÜTTER 2013). Hence, it is not surprising that science and research are intensively dealing with questions regarding this mobility branch. A central topic in this context is the driver behaviour and especially the examination of non-driving related activities whilst driving (fahrferme Tätigkeiten, FFT). For instance, HUEMER and VOLLRATH (2012) found that two to three FFT are executed per drive. The negative consequences of the execution of such FFT on the driving performance are discussed under the concept of driver distraction.

Despite the undisputed existence of the phenomenon of driver distraction, there seems to exist another phenomenon. Namely, drivers are involved in severe accidents only approx. every four million kilometres (ADAC 2012). In conclusion, this means that drivers are able to satisfy the elevated task load in a multi-task driving context in addition to guaranteeing a safe driving performance. These abilities have already been examined in many studies of non-automated driving (e.g., PLATTEN, SCHWALM & KREMS 2011; SCHWALM, KEINATH & ZIMMER 2008; SCHWALM, VOß & LADWIG 2015). The results showed that drivers anticipate the development of a situation and proactively regulate the execution level in a FFT depending on the criticality of a driving situation. SCHWALM et al. (2015; VOß & SCHWALM 2015) took up existing model approaches (e.g., FULLER 2005; HORREY, LESCH, MITSOPOULOS-RUBENS & LEE 2015; WILDE 1982) in their working model and combined these regulation processes into the term functional behaviour adaptations.

In addition to the increasing number of registered automobiles in Germany, a strong development towards automated driving is currently taking place

globally. These innovations lead to changes in the present understanding of the driving task. Depending on the degree of automation, the driver does no longer need to be continuously involved in the driving task during the use of an automated driving function (SAE International 2014). Out of this, the question inevitably arises, to what extent the regulative mechanisms conceptualised by SCHWALM et al. (2015; VOß & SCHWALM 2015) are also available in the context of automated driving. The already concluded research project FE 82.0614/2014 took up this research question and was able to draw various important conclusions, which support the existence of regulative mechanisms in the context of automated driving. On the one hand, drivers seem to proactively regulate the execution of FFT in takeover situations of automated driving to ensure a safe takeover. On the other hand, drivers seem to subjectively evaluate their driving performance (or the driving performance of the vehicle). In this way, trajectory ranges for the lateral control, which drivers subjectively assess as appropriate, can be defined.

The working model by SCHWALM et al. (2015); (VOß & SCHWALM 2015) provides the opportunity to combine these two central results of the already concluded project. According to the model, the subjective assessment of the driving performance is a central element of the functional behavioural adaptations. According to the model, discrepancies between the current and the subjectively desired or accepted driving performance lead to regulative interventions by the driver. Therefore, it seems conclusive that drivers act regulatory, if the trajectory of an automated driving function does not correspond to a subjectively appropriate driving performance. It can be assumed that drivers reduce the activity in additional FFT to be able to subsequently intervene into the vehicle guidance.

To the authors' best knowledge, this relation has not yet been sufficiently examined. However, findings in this field are essential to develop automated driving functions in the future, which support safe road traffic. In the event that the exceedance of a subjectively appropriate driving performance entails a comfort relevance alongside a safety relevance (safety-critical takeovers), these threshold values should be taken into account in the development of systems. It should be discussed, whether systems should contain adaptive trajectory planners, which ensure a flexible adaptations of driving lines depending on relevant environmental factors. In

that way, a chosen trajectory could constantly remain in the area of a subjectively appropriate driving performance.

The current research project FE 82.0685/2016 “Action relevance in case of deviations from the accepted driving threshold in automated driving situations (reAlise)” primarily dealt with this topic. For this purpose, (a) a literature overview of the relevant topics should be generated (work package 1); (b) the subjective driving performance thresholds should be scrutinized in consideration of further situational factors and should be confirmed in the driving simulator (work package 2 and 3); (c) the action relevance of the subjective driving performance thresholds with respect to the occurrence of regulative driver behaviour should be examined in the context of automated driving in the driving simulator and on the test track (work package 3 und 4); (d) the results obtained in the studies should be used to derive recommendations for the design of automated systems in the sense of adaptive mechanisms in the trajectory planning (work package 5). In the following chapter, the methods and the results of work package 1 to 4 are shown. The conclusions of the work package 5 are reported in the final chapter.

## 2 Research methods

In the following, the methods of the literature research (work package 1) and the empirical studies (work packages 2 to 4) are described briefly.

### 2.1 Work package 1

To generate a broad overview of the existing research on the topic of subjectively appropriate driving performances as well as their action relevance, a literature research and a look at already existing groundwork were the aim of work package 1. For this purpose, the literature sources of the concluded research project FE 82.0614/2014 were summarised and further literature research was carried out.

### 2.2 Work package 2

Work package 2 served as a further examination of the thresholds of a subjectively appropriate driving

performance within an online study. First, it was investigated in a preliminary study, whether the vehicle cockpit as a reference point influences the subjective driving performance evaluation in the testing material. For this purpose,  $N = 10$  participants evaluated various video sequences of automated drives from the ego-perspective in an online study regarding the adequacy of the trajectory of the ego-vehicle. Besides the ego-vehicle lateral offset, the visibility of the cockpit as reference point was manipulated between the videos. During the following main study,  $N = 203$  participants likewise subjectively evaluated various video sequences of automated drives on different items (adequacy, wish for an intervention, comfort/safety) within an online study. In the video sequences, which simulated a country road scenario, three factors (distance of the oncoming traffic from the road centre, vehicle category of the oncoming traffic, ego-vehicle speed) were manipulated and combined to nine selected driving scenarios. Each participant completed one of the composed scenarios. Within each scenario, eight video sequences were generated, in which the lateral offset of the ego-vehicle from the lane centre was manipulated between 0.2 and 0.9 m to the left.

### 2.3 Work package 3

Work package 3 served as a confirmatory examination of the thresholds identified in the online study in the driving simulator as well as an examination of the action relevance of those driving performance thresholds. For this purpose, a preliminary as well as a main study were conducted in the static driving simulator at the Institute of Highway Engineering (isac) at the RWTH Aachen University. In the preliminary study,  $N = 10$  participants experienced automated drives, in which the automated driving function executed both the lateral and the longitudinal guidance. Two scenarios from the online study were displayed (oncoming traffic: passenger car; ego-speed: 50 km/h; distance of the oncoming traffic: 0.85 m and 0.35 m). Furthermore, a third scenario was implemented, in which the oncoming traffic exceeded the road centre and partly drove on the ego-lane (distance -0.15 m). In all three driving scenarios, the lateral offset of the ego vehicle was varied in two levels (0.3 m and 0.4 m). In the main study, the action relevance of the subjective driving performance thresholds was examined. The same automated system as in the preliminary study was

used. It was extended by the detail that it cannot automatically avoid obstacles. As soon as an obstacle appeared, the system gave an upstream signal tone, which was no obligatory takeover request. The participants could intervene into the automated vehicle guidance depending on their subjective evaluation. Besides the three driving scenarios of the preliminary study, an additional fourth scenario was implemented, in which the oncoming traffic drove 0.15 m on the ego-lane and beacons were positioned at the right roadside of the ego-lane (distance -0.15 m + beacons). The lateral offset of the ego vehicle was 0.3 m. In addition to the driving task, the participants executed a FFT (Surrogate Reference Task, MATTES & HALLÉN 2009) at certain points in time.

## 2.4 Work package 4

Work package 4 included the verification of the results gained in the previous work packages within a two-part study on the test track at the Institute for Automotive Engineering (ika) at the RWTH Aachen University. The driving scenarios corresponded to those of the driving simulator study. Yet, only one scenario, in which the oncoming traffic remained on its own lane, was implemented (distance 0.85 m). During the first part of the study,  $N = 29$  participants subjectively assessed four automated trajectories of the ego-vehicle with different lateral offsets within the scenario, in which the oncoming traffic remained on its own lane (distance 0.85 m) using the questionnaire items of work package 2. Two of each of the implemented lateral offsets of the ego-vehicle were below or above the threshold of a subjectively accepted lateral offset identified in work package 2. Part two of the study took place analogically to the main study of work package 3. The participants used the same automated system and experienced two of the driving scenarios (distance 0.85 m and either distance -0.15 m or distance -0.15 m + pylons). The lateral offset of the ego-vehicle corresponded to the lateral offset of work package 3. As before, the participants executed the Surrogate Reference Task during the automated drive.

## 3 Research results

Below a short description of the research results for each of the work packages is presented.

### 3.1 Work package 1

The literature research of work package 1 yielded a broad basis of approaches, models, and empirical research, which could be relevant for the current topics of subjective driving performance evaluation and driver strategies. The literature sources especially dealt with the idea of a comfort zone, the influence of the oncoming traffic, as well as the choice of a specific trajectory. Furthermore, the majority of the empirical research regarding the regulative driver behaviour still originates from the non-automated driving domain. It is difficult to find specific research about the topic of automated driving in combination with regulative driver behaviour. Similarly, the action relevance of subjective driving performance thresholds or their exceedance regarding the adaptation of an FFT seems to be barely researched.

### 3.2 Work package 2

The results of the preliminary study showed that the driver cockpit as a reference point does not influence the subjective assessment of the adequacy of a trajectory. Based on this, it was concluded that no biased results should be expected in the main study by the presentation of testing material without a driver cockpit. In that main study, the results showed that the probability to assess a trajectory as adequate decreased in each scenario with an increasing lateral offset of the ego-vehicle. An automated drive was classified as not adequate as soon as the drivers perceived it as unpleasant (and not just when it turned critical). It became clear that the subjective adequacy of a trajectory, the wish for an intervention, as well as the subjective comfort and safety perception were strongly interdependent. As a central analysis of the main study, a threshold value of a subjectively accepted lateral offset was calculated for every scenario. They varied between 0.37 m and 0.54 m. No statistical significant differences could be found. The average threshold value over all scenarios was 0.47 m.

### 3.3 Work package 3

Within the preliminary study, the threshold values of a subjectively accepted lateral offset of the ego-vehicle generated in the online study were confirmed in the driving simulator. Both lateral offsets of the



ego-vehicle (0.3 m and 0.4 m), which were in the area of the lowest threshold value of the work package 2, were assessed as adequate and pleasant before the appearance of the oncoming traffic. There was no desire of an intervention into the vehicle guidance. At/after the appearance of the oncoming traffic, a similar result showed for the two scenarios of the online study, in which the oncoming traffic remained on its own lane (distance 0.85 m and 0.35 m). In the scenario, in which the oncoming traffic exceeded the road centre (distance -0.15 m), the ego trajectory was assessed as inadequate as well as unpleasant or critical at/after the appearance of the oncoming traffic. Similarly, there was an increased desire to intervene into the vehicle guidance. In the main study, the action relevance of the driving performance thresholds was examined in the driving simulator. In the two scenarios, in which the oncoming traffic remained on its own lane (distance 0.85 m and 0.35 m), no or only occasional driver-sided interventions into the vehicle guidance were detectable. In the two scenarios, in which the oncoming traffic exceeded the road centre (distance -0.15 m and -0.15 m + beacons) a different image appeared. In line with a regulative mechanism, drivers reduced the activity of the FFT and approx. 50% of the drivers took over the automated vehicle guidance. Here, the takeover behaviour differed between the scenarios. While drivers rather braked in the narrow passage, they swerved stronger to the right in the situation without beacons. In both scenarios, approx. 10% of the takeovers could be classified as non-optimal or as safety-critical.

### 3.4 Work package 4

The first part of the study of work package 4 showed that within the tested scenario the threshold values of a subjectively accepted lateral offset for the overall adequacy and the wish for an intervention seem to be higher in the test track study than in the online study. Regarding the assessment of comfort and safety, the threshold values of the online study seem to be transferable into a real driving environment. According to the results of the second part of the study, the assessment of comfort and safety turned out to be more critical during a real drive with additional FFT compared to the simulator study. There also seem to exist regulative mechanisms during the real drive compared to the driving simulator, because the FFT was again reduced before the appearance of the oncoming traffic.

Equally, the subjective driving performance thresholds have an action relevance in this case as well. The driving data patterns match those of work package 3. While drivers did not take over the vehicle guidance in the scenario distance 0.85 m, interventions into the driving task occurred in a great number of cases in the scenarios, in which the oncoming traffic exceeded the road centre (distance -0.15 m and -0.15 m + pylons). Again, drivers braked stronger in the narrow passage, while they swerved stronger to the right in the situation without a narrow passage. In contrast to work package 3, except of one near-accident no non-optimal or safety-critical behaviour regarding the takeovers could be identified in the test track study.

## 4 Implications for practice

The empirical study results of the current research project permit conclusions regarding the design of automated systems in the sense of adaptive mechanisms in the trajectory planning. The partly non-optimal or safety-critical interventions into the automated vehicle guidance show that the threshold values of a subjectively accepted lateral offset have an action relevance. As such, adaptive mechanisms in the trajectory planning generally seem to be reasonable in order to increase the drivers' comfort and safety level. In this context, the system should act proactively and adjust the automated trajectory, in case it is expected that an automated trajectory is going to be assessed as unpleasant or not acceptable in a specific situation. The system-sided adaptation should thereby occur at least two seconds before a critical situation (because drivers intervene afterwards) and should correspond to the driver's preferred action (steering or braking) in the same situation. In addition to this discussion, the research methodology of the project can be reflected based on the test track study, which can be seen as a validation option for the other studies of the project. Thus, it was concluded that the comfort-safety assessment is best suited for the subjective trajectory rating regarding a subjectively accepted lateral offset, while the adequacy rating appears less selective in a test track study. Furthermore, a static driving simulation study as the only research tool for the action relevance of subjective driving thresholds does not seem to be recommended. It can provide first insights, e.g. in terms of the previously discussed optimisation possibilities of automated system, which, however, should be checked in a test track study.

## 5 Literature

- ADAC (2012): Unfallrisiko. Available on [https://www.adac.de/\\_mmm/pdf/statistik\\_7\\_1\\_unfallrisiko\\_42782.pdf](https://www.adac.de/_mmm/pdf/statistik_7_1_unfallrisiko_42782.pdf), retrieved on 10.10.2018
- FULLER, R. (2005): Towards a general theory of driver behaviour. Accident analysis and prevention, 37(3), 461 – 472
- HORREY, W. J.; LESCH, M. F.; MITSOPOULOS-RUBENS, E. & LEE, J. D. (2015): 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
- HUEMER, A. K. & VOLLRATH, M. (2012): Ablenkung durch fahrfremde Tätigkeiten-Machbarkeitsstudie. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen. Unterreihe Mensch und Sicherheit, M 225. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW. Available on: <http://bast.opus.hbz-nrw.de/volltexte/2012/382/pdf/M225b.pdf>; retrieved on 28.03.2016
- HÜTTER, A. (2013): Verkehr auf einen Blick. In: Verkehr auf einen Blick. Statistisches Bundesamt (Hrsg.), Wiesbaden. Available on: [https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/TransportVerkehr/Querschnitt/BroschuereVerkehrBlick008000613\\_9004.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/TransportVerkehr/Querschnitt/BroschuereVerkehrBlick008000613_9004.pdf?__blob=publicationFile); retrieved on 07.04.2016
- PLATTEN, F.; SCHWALM, M. & KREMS, J. F. (2011): The effect of anticipation on mental workload while driving. In: D. de WAARD; N. GÉRARD; L. ONNASCH; R. WICZOREK & D. MANZEY (Eds.), Human centred automation. HFES Europe Chapter (pp. 329 – 337). Maastricht: Shaker Publishing
- SAE International (2014): Automated Driving – Summary of SAE International's Levels of Driving Automation for On-Road Vehicles. Available on [http://www.sae.org/misc/pdfs/automated\\_driving.pdf](http://www.sae.org/misc/pdfs/automated_driving.pdf). Warrendale, Pennsylvania, Vereinigte Staaten; retrieved on 28.03.2016
- SCHWALM, M.; KEINATH, A. & ZIMMER, H. D. (2008): 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 (Eds.), Human factors for assistance and automation (pp. 75 – 87). Maastricht: Shaker Publishing
- SCHWALM, M.; VOß, G. M. I. & LADWIG, S. (2015): 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
- Statistisches Bundesamt (2016): Verkehr. Verkehrsunfälle 2014. Fachserie 8, Reihe 7. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt. Available on: [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); retrieved on 16.10.2018
- VOß, G. M. I. & SCHWALM, M. (2015): Functional Behavioral Adaptations as an Indicator of Drivers' State. In: K. GRAMANN; T. O. ZANDER & C. WIENRICH (Eds.), Tagungsband der 11. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme (pp. 261 – 265). Berlin
- WILDE, G. J. S. (1982): The Theory of Risk Homeostasis: Implications for Safety and Health. Risk Analysis, 2(4), 209 – 225

## Inhalt

<b>Abkürzungen</b> .....	10	<b>5</b>	<b>Arbeitspaket 3</b> .....	41	
<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	11	5.1	Vorstudie .....	41
<b>2</b>	<b>Forschungsvorhaben</b> .....	12	5.1.1	Methode .....	41
<b>3</b>	<b>Arbeitspaket 1</b> .....	13	5.1.2	Hypothesen .....	43
3.1	Bestehende Literatur .....	13	5.1.3	Stichprobe .....	43
3.1.1	Kognition im fahrbezogenen Mehrfachaufgabenkontext. ....	13	5.1.4	Ergebnisse .....	43
3.1.2	Fahrerablenkung .....	14	5.1.5	Diskussion und Schlussfolgerungen für die Hauptstudie .....	45
3.1.3	Regulatives Fahrerverhalten .....	14	5.2	Hauptstudie .....	45
3.1.4	Subjektive Fahrleistungsbewertung ..	19	5.2.1	Methode .....	45
3.1.5	Subjektive Fahrleistungsschwellen ...	19	5.2.2	Hypothesen .....	49
3.1.6	Automatisiertes Fahren .....	25	5.2.3	Stichprobe .....	49
3.2	Ergebnisse des Projekts FE 82.0614/2014. ....	27	5.2.4	Ergebnisse .....	49
3.2.1	Subjektive Fahrleistungsbewertung. ...	28	5.2.5	Beantwortung der Hypothesen .....	61
3.2.2	Subjektive Fahrleistungsschwellen ...	28	5.2.6	Erste Schlussfolgerungen zur Not- wendigkeit adaptiver Mechanismen in automatisierten Fahrfunktionen. ....	62
3.2.3	Fahrerstrategien in Übernahme- situationen des automatisierten Fahrens .....	30	<b>6</b>	<b>Arbeitspaket 4</b> .....	63
3.3	Fazit. ....	31	6.1	Methode .....	63
<b>4</b>	<b>Arbeitspaket 2</b> .....	31	6.1.1	Allgemeines Fahrscenario. ....	63
4.1	Vorstudie .....	31	6.1.2	Aufbau Studienteil 1 .....	66
4.1.1	Methode .....	31	6.1.3	Aufbau Studienteil 2 .....	67
4.1.2	Stichprobe .....	32	6.1.4	Ablauf .....	67
4.1.3	Ergebnisse .....	32	6.2	Hypothesen .....	68
4.2	Hauptstudie .....	33	6.2.1	Studienteil 1. ....	69
4.2.1	Methode .....	33	6.2.2	Studienteil 2. ....	69
4.2.2	Stichprobe .....	35	6.3	Stichprobe .....	69
4.2.3	Ergebnisse .....	36	6.4	Ergebnisse .....	69
4.2.4	Diskussion .....	40	6.4.1	Studienteil 1. ....	69
			6.4.2	Studienteil 2. ....	71
			6.5	Beantwortung der Hypothesen .....	82



6.5.1	Studienteil 1. . . . .	82
6.5.2	Studienteil 2. . . . .	82
6.6	Vergleich der Ergebnisse mit den anderen Arbeitspaketen . . . . .	83
<b>7</b>	<b>Arbeitspaket 5</b> . . . . .	<b>85</b>
7.1	Optimierungsmöglichkeiten auto- matisierter Systeme. . . . .	85
7.2	Diskussion der Forschungs- methodik . . . . .	86
7.3	Ausblick. . . . .	87
	<b>Literatur</b> . . . . .	<b>88</b>
	<b>Bilder</b> . . . . .	<b>95</b>
	<b>Tabellen</b> . . . . .	<b>97</b>

## Abkürzungen

ACC	Adaptive Cruise Control
ANOVA	analysis of variance (Varianzanalyse)
CZB	comfort zone boundary
F	F-Wert der ANOVA
FFT	fahrfremde Tätigkeit
ika	Institut für Kraftfahrzeuge der RWTH Aachen University
ISAC	Institut für Straßenwesen der RWTH Aachen University
LCD	liquid crystal display
M	Mittelwert
ms	Millisekunde
N	Anzahl (Gesamt)
n	Anzahl (Teil von N)
NDS	naturalistic driving study
p	Signifikanzwert eines statistischen Tests
r	Kennwert der Korrelation
RWTH	Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen
s	Sekunde
SAE	Society of Automotive Engineers
SD	standard deviation (Standard- abweichung)
SuRT	Surrogate Reference Task
t	zeitliches Intervall der Objektiv- datenauswertung
THW	time-head-way
TOR	takeover request
VDA	Verband der Automobilindustrie
VP	Versuchsperson
$\eta^2$	Eta-Quadrat (Maß der Effektgröße)

## 1 Einleitung

Wirft man heutzutage einen Blick auf die Straßen und vergleicht die gewonnenen Eindrücke mit denen der vergangenen Jahre, so scheint es, dass immer mehr Fahrzeuge auf deutschen Straßen unterwegs sind. Dass diese Wahrnehmung nicht rein subjektiv ist, zeigen aktuelle Verkehrsstatistiken. In den vergangenen 30 Jahren hat sich der Fahrzeugbestand verdoppelt und die Tendenz ist noch immer steigend. Derzeit sind ca. 55 Millionen Fahrzeuge in Deutschland registriert (Statistisches Bundesamt 2016). Dabei ist der Pkw das primäre Verkehrsmittel und wird in mehr als 50 % aller zurückgelegten Wege genutzt (HÜTTER 2013). Aus diesem Grund kann man durchaus vom „Megatrend Individualverkehr“ sprechen (KÜHN & HANNAWALD 2015: 58).

Von daher ist es auch nicht verwunderlich, dass sich Wissenschaft und Forschung mit diesem Mobilitätszweig intensiv beschäftigen. Ein zentrales Themenfeld ist in diesem Zusammenhang das Fahrerverhalten und hierbei insbesondere die Untersuchung fahrfremder Tätigkeiten (FFT) während der Fahrt. In einer Machbarkeitsstudie konnten HUEMER und VOLLRATH (2012) beispielsweise nachweisen, dass Fahrer im Durchschnitt zwei bis drei FFT pro Fahrt bearbeiten. Häufige FFT sind dabei unter anderem Rauchen, Essen, Trinken oder auch Interaktionen mit dem Beifahrer (DINGUS et al. 2006; HUEMER & VOLLRATH 2012).

Ausgehend hiervon wird seit vielen Jahren unter dem Begriff der Fahrerablenkung (driver distraction) die Diskussion geführt, welche negativen Auswirkungen die Ausführung solcher FFT auf die Leistungsfähigkeit von Fahrern hat. Im Fokus stehen dabei die Leistungseinschränkungen in der Fahraufgabe selber. Ein Beispiel für solche Untersuchungen ist die Arbeit von YOUNG, REGAN und HAMMER (2007), die zeigen konnten, dass Mehrfachbelastungen vor allem zu höheren Spurabweichungen, Geschwindigkeitsreduktionen und weniger Kontrollblicken im Spiegel führen.

Obwohl dieser negative Einfluss von FFT auf die Leistung in der Fahraufgabe im Sinne der Fahrerablenkung zweifelsohne unbestritten ist, scheint parallel allerdings ein weiteres Phänomen zu existieren. Es ist nämlich so, dass Fahrer relativ selten (ca. alle vier Millionen Kilometer) in schwerwiegende Unfälle verwickelt sind (ADAC 2012). Im Rückschluss bedeutet dies, dass Fahrer auch im Mehrfachaufgabenkontext trotz der erhöhten Belastung

in der Lage sind, diesen Anforderungen gerecht zu werden und eine sichere Fahrleistung zu garantieren (d. h., Unfälle zu vermeiden). Diese Fähigkeit oder Eigenschaft wurde bereits in verschiedenen Studien im nicht-automatisierten Fahren untersucht (z. B. PLATTEN, SCHWALM & KREMS 2011; PLATTEN, MILICIC, SCHWALM & KREMS 2013; RAUCH, GRADENEGGER & KRÜGER 2009; SCHWALM, KEINATH & ZIMMER 2008; SCHWALM, VOß & LADWIG 2015). Im Sinne eines ressourcenorientierten Ansatzes konnten sie nachweisen, dass Fahrer den Situationsverlauf antizipieren und proaktiv vor dem Eintreten einer kritischen Fahrsituation ihr Belastungs- bzw. Beanspruchungslevel regulieren. Fahrer scheinen im Falle einer kritischen Situation die Aktivität bzw. das Bearbeitungslevel in einer FFT zu reduzieren, um so mehr Kapazitäten für die Fahraufgabe zu haben und in Konsequenz die Gesamtbelastung auf einem angemessenen Niveau zu halten. Als solches ist es ihnen möglich, Überbelastungen, die in Unfällen resultieren könnten, zu verhindern. Unter Bezugnahme auf diverse bestehende theoretische Modelle (ENDSLEY 1995; FULLER 2005; HILBURN & JORNA 2001; HOCKEY 1997; HORREY, LESCH, MITSOPOULOS-RUBENS & LEE 2015; SUMMALA 1988; WILDE 1982) entwickelten SCHWALM et al. (2015; VOß & SCHWALM 2015; VOß, HOFFMANN, FREY & SCHWALM 2017) ein Arbeitsmodell, welches diese Regulationsprozesse unter dem Begriff der funktionalen Verhaltensanpassungen skizziert.

Zusätzlich zu den oben erwähnten steigenden Zahlen registrierter Pkw in Deutschland findet derzeit weltweit eine starke Entwicklung hin zum automatisierten Fahren statt. Sowohl Industrie als auch Forschung arbeiten intensiv an der Entwicklung und Einbindung automatisierter Fahrfunktionen. Diese Entwicklungen führen zu Veränderungen in der Fahraufgabe, wie sie bisher bekannt war. Der Fahrer muss je nach Automationsgrad nicht mehr kontinuierlich in die Fahraufgabe und in die Verarbeitung relevanter Kontextinformationen involviert sein (HERZBERGER, ECKSTEIN & SCHWALM 2018; SAE International 2014). Aus dieser Neuerung ergibt sich zwangsläufig die Frage, inwiefern die von SCHWALM et al. (2015; VOß & SCHWALM 2015; VOß et al. 2017) konzeptualisierten regulativen Mechanismen zur Unfallvermeidung auch im Kontext des automatisierten Fahrens verfügbar sind.

Das abgeschlossene Forschungsprojekt FE 82.0614/2014 „Bedeutung kompensativer Fahrerstrategien

im Kontext automatisierter Fahrfunktionen“ untersuchte diese Fragestellung. Die durchgeführten empirischen Studien konnten nachweisen, dass die von SCHWALM et al. (2015; VOß & SCHWALM 2015; VOß et al. 2017) diskutierten regulativen Mechanismen nicht nur im nicht-automatisierten, sondern auch im automatisierten Fahren von Relevanz sind. Zum einen konnte gezeigt werden, dass Fahrer in Übernahme-situationen vom automatisierten zum nicht-automatisierten Fahren proaktiv die Bearbeitung einer FFT regulieren und somit in der Lage sind, eine sichere Übernahme, d. h. eine sichere Fahrleistung, zu gewährleisten. Zum anderen zeigte das Projekt, dass Fahrer ihre Fahrleistung (bzw. die des Fahrzeugs) subjektiv evaluieren. Hinsichtlich der Querführung des Fahrzeugs scheinen Trajektorienbereiche zu existieren, die von Fahrern als subjektiv angemessen bewertet werden. Andere Bereiche dahingegen werden als nicht angemessen bewertet. Die genaue Lokalisation dieser Schwelle einer subjektiv angemessen empfundenen Fahrleistung variierte in der Studie des Projekts in Abhängigkeit von Situations- und Personenfaktoren. Als besonders starker Einflussfaktor, der die Position der Schwelle entscheidend beeinflussen konnte, zeigte sich der Gegenverkehr (bzw. insbesondere dessen Verhalten). Je weiter der Gegenverkehr zur Straßenmitte versetzt fuhr, desto geringere Querversätze nach links des eigenen Fahrzeugs wurden akzeptiert.

Das Arbeitsmodell von SCHWALM et al. (2015; VOß & SCHWALM 2015; VOß et al. 2017) bietet die Möglichkeit, diese beiden zentralen Ergebnisse des abgeschlossenen Projekts miteinander zu kombinieren. Gemäß dem Modell ist die Fahrleistungskomponente (Wahrnehmung, Bewertung und Antizipation) nämlich ein zentrales Element der funktionalen Verhaltensanpassungen. Diskrepanzen zwischen der aktuellen und der gewünschten Fahrleistung führen im Sinne des Modells zu kompensativen Eingriffen durch den Fahrer. Von daher erscheint es schlüssig, dass Fahrer auf ihre kompensativen Fahrerstrategien zurückgreifen, sofern die Trajektorie einer automatisierten Fahrfunktion nicht im Bereich einer subjektiv angemessen empfundenen Fahrleistung liegt. Es ist zu vermuten, dass sie die Aktivität in zusätzlichen FFT reduzieren bzw. unterbrechen werden, damit sie in die Fahrzeugführung eingreifen und eine akzeptierte Fahrleistung wiederherstellen können. Da Fahrer – wie oben bereits erwähnt – im automatisierten Fahren nicht zwingend alle relevanten Kontextinformationen

wahrnehmen, ist es wahrscheinlich, dass bei einem solchen regulativen Eingriff die Fahrkorrekturen in Längs- und Querführung der Situation nicht immer angemessen sind und somit ein Sicherheitsrisiko darstellen können.

Dieser Zusammenhang ist nach bestem Wissen der Autoren bisher allerdings nicht bzw. nur unzureichend untersucht worden. Aufgrund des hohen Stellenwerts der Thematik ist dies allerdings zwingend erforderlich. Nur so können in Zukunft automatisierte Fahrfunktionen entwickelt werden, die einen sicheren Straßenverkehr unterstützen. Sollte sich herauskristalisieren, dass das Überschreiten der Schwelle einer subjektiv angemessen empfundenen Fahrleistung neben einer Komfort- auch eine Sicherheitsrelevanz besitzt, sollten diese Schwellen in der Systementwicklung berücksichtigt werden. Es gilt zu diskutieren, ob automatisierte Systeme über adaptive Trajektorienplaner verfügen sollten, die eine flexible Anpassung der Fahrlinie in Abhängigkeit relevanter Umgebungsfaktoren gewährleisten können, sodass die gewählte Trajektorie konstant im Bereich einer subjektiv angemessen empfundenen Fahrleistung verbleibt.

## 2 Forschungsvorhaben

Das aktuelle Projekt FE 82.0685/2016 „Handlungsrelevanz bei Abweichungen von der akzeptierten Fahrleistungsschwelle in automatisierten Fahrsituationen (reAlise)“ beschäftigte sich schwerpunktmäßig mit der oben diskutierten Thematik. Es sollte die Frage untersucht werden, inwiefern die subjektiven Fahrleistungsschwellen neben der Komfort-tatsächlich auch eine Sicherheitsrelevanz besitzen.

Hierzu sollten (a) die subjektiven Fahrleistungsschwellen unter Berücksichtigung weiterer Situationsfaktoren näher untersucht, (b) diese Ergebnisse im Fahrsimulator konfirmatorisch überprüft und (c) die Handlungsrelevanz der subjektiven Fahrleistungsschwellen mit Blick auf das Auftreten kompensativer Fahrerstrategien im automatisierten Fahren beim Überschreiten dieser Schwellen durch das Auftreten von Gegenverkehr untersucht werden. Zu diesem Zweck sollten sowohl Studien im Fahrsimulator als auch auf der Teststrecke durchgeführt werden. Die aus den verschiedenen empirischen Studien gewonnenen Ergebnisse sollten im Anschluss dazu genutzt werden, Empfehlungen für die Ausle-

gung automatisierter Systeme abzuleiten. An dieser Stelle sollte die Frage diskutiert werden, ob und in welcher Art automatisierte Fahrfunktionen tatsächlich – wie oben erwähnt – über adaptive Mechanismen in der Trajektorienplanung verfügen sollten.

Zur Bearbeitung dieser Themenstellung wurden fünf inhaltliche Arbeitspakete abgeleitet:

- Arbeitspaket 1:  
Literaturrecherche und Sichtung von Vorarbeiten,
- Arbeitspaket 2:  
Empirische Online-Studie,
- Arbeitspaket 3:  
Empirische Untersuchungen im Fahrsimulator,
- Arbeitspaket 4:  
Verifikation der Ergebnisse auf der Teststrecke,
- Arbeitspaket 5:  
Erarbeitung von Empfehlungen für adaptive Mechanismen automatisierter Systeme.

Deren konkrete Inhalte und Ergebnisse werden im Folgenden chronologisch beschrieben.

### 3 Arbeitspaket 1

Mit dem Ziel, einen umfassenden Überblick über die bestehende Forschung zum Thema subjektiv akzeptierter Fahrleistungen sowie deren Handlungsrelevanz zu erlangen, wurde im Arbeitspaket 1 eine Literaturrecherche und die Sichtung von bereits bestehenden Vorarbeiten angestrebt. Ziel war die Zusammenstellung des bestehenden Wissens bezüglich a) der subjektiven Fahrleistungsbewertung und -schwellen, b) die Handlungsrelevanz dieser Schwellen im automatisierten Fahren sowie c) die Fahrerstrategien bei Mehrfachbelastung im automatisierten Fahren.

Hierzu wurde in einem ersten Schritt die bestehende Literatur gesichtet. Einerseits wurden die im abgeschlossenen Projekt bereits diskutierten Quellen zusammengefasst, andererseits wurde eine weiterführende Literaturrecherche durchgeführt. Ein zweiter Schritt umfasste das Zusammentragen der wichtigsten empirischen Forschungsergebnisse des abgeschlossenen Forschungsprojekts FE 82.0614/2014. Die Ergebnisse beider Schritte werden in den folgenden Kapiteln berichtet.

## 3.1 Bestehende Literatur

Zur Generierung eines Überblicks über die bestehende Forschung zu den obengenannten Themen wurden die Literaturquellen des abgeschlossenen Forschungsprojekts zusammengefasst sowie eine weitere Literaturrecherche durchgeführt. Hieraus ergab sich eine breite Basis an Ansätzen, Modellen und empirischer Forschung, die im vorliegenden Kontext von Relevanz sein können. Sie werden im Folgenden näher beschrieben.

### 3.1.1 Kognition im fahrbezogenen Mehrfachaufgabenkontext

Wie in Kapitel 1 bereits erwähnt, ist es eher die Regel als die Ausnahme, dass Fahrer sich während der Fahrt mit zusätzlichen Aufgaben (FFT) beschäftigen. Da diese FFT in der Vergangenheit schon oft Gegenstand von Studien (DINGUS et al. 2006; HUEMER & VOLLRATH 2012) waren und sie scheinbar von hoher Relevanz sind, wird an dieser Stelle näher auf sie und ihre Effekte auf die menschliche Kognition eingegangen.

PASHLER stellte bereits 1994 fest, dass die gleichzeitige Bearbeitung mehrerer Aufgaben zu Interferenz und Leistungseinbußen führen kann. Darüber hinaus konstatierte MONSELL (2003), dass der Wechsel zwischen verschiedenen Aufgaben (task switching) bestimmte zugrundeliegende Prozesse benötigt, die den Wechsel detailliert vornehmen. LEVY und PASHLER (2008) untersuchten diese Prozesse für den Fahrkontext. Gemäß ihrem Ansatz ist die Regulierung von Fahraufgabe und FFT ebenfalls als dual-task Prozess zu verstehen, der im Rahmen kognitiver Verarbeitungsmodelle diskutiert werden muss. LEVY und PASHLER (2008) führten eine Fahrsimulatorstudie durch, in der der Ablauf dieser Prozesse untersucht wurde. Probanden führten zeitgleich eine Fahraufgabe (Bremsreaktion) und eine FFT aus. Die Ergebnisse der Studie zeigten, dass Fahrer Probleme haben, die Priorisierung zweier Aufgaben zu verschieben. Im Versuch fiel es den Probanden schwer, die Ausführung der FFT zu unterdrücken, obwohl die Fahraufgabe eine Bremsung erforderte. Dies hatte lange Bremsreaktionszeiten zur Folge. Im Mehrfachaufgabenkontext scheint es also so zu sein, dass die Reaktionszeit für eine Aufgabe dann schneller ist, wenn man sie, im Vergleich zu den anderen konkurrierenden Aufgaben, zuerst verarbeitet. Die Ergebnisse können somit nachweisen, dass bestehende



Kognitionstheorien (z. B. central bottleneck) auch im Fahrkontext eine gewisse Gültigkeit zu besitzen scheinen. Für eine sichere und unfallfreie Fahrleistung ist es daher wichtig, sicherzustellen, dass Fahrer erst die Bremsung initialisieren, bevor sie sich mit der FFT beschäftigen. Die Autoren diskutieren, dass hierbei möglicherweise auch ein Hinweis hilfreich wäre. Im Sinne eines „race to the bottleneck“ arbeiteten LEVY und PASHLER (2008:522) heraus, dass die Fahraufgabe dieses Rennen gewinnen muss, damit man rechtzeitig bremst und somit eine sichere Fahrleistung zeigen kann.

### 3.1.2 Fahrerablenkung

Die Realität zeigt, dass dieser Prozess der Aufgabenpriorisierung nicht immer erfolgreich abläuft und die Fahraufgabe nicht immer das „race to the bottleneck“ (LEVY & PASHLER 2008:522) gewinnt. Unter dem Begriff der Fahrerablenkung (driver distraction) konnte in einer Vielzahl von Studien bereits nachgewiesen werden, dass im nicht-automatisierten Fahren die Bearbeitung von FFT einen negativen Einfluss auf die Leistung in der Fahraufgabe hat (z. B. HOSKING, YOUNG & REGAN (2009); MATTES & HALLÉN (2009); OWENS, McLAUGHLIN & SUDWEEKS (2011); YOUNG, MAHFOUD, WALKER, JENKINS & STANTON (2008)). Viele dieser Studien weisen dabei nach, dass die Bearbeitung von FFT Einfluss auf die mittlere Spurabweichung des Fahrers hat (z. B. BURNS, TRBOVICH, McCURDIE & HARBLUK (2005); HARBLUK, BURNS, LOCHNER & TRBOVICH (2007); HARBLUK, MITROI & BURNS (2009); PETZOLDT, BÄR, IHLE & KREMS (2011); PETZOLDT, BÄR & KREMS (2009); RICHTER, ECKER, DEISLER & BUTZ (2010); ROGNIN, ALIDRA, VAL, LESCAUT & CHALANDON (2007); WILSCHUT, RINKENAUER, BROOKHUIS & FALKENSTEIN (2005)). PENG, BOYLE und HALLMARK (2013) analysierten beispielsweise bestehende Naturalistic Driving Study (NDS)-Daten (Fahr- und Videodaten). Sie untersuchten den Zusammenhang zwischen fahrerseitiger Unaufmerksamkeit (mit und ohne Blickabwendung) und dem Spurhaltevermögen. Gemäß ihren Ergebnissen scheinen nur Ablenkungen mit Blickabwendung einen negativen Einfluss auf die Fahrleistung zu haben. Zusätzlich fanden die Autoren, dass der Straßentyp, das Alter des Fahrers, die Geschwindigkeit und die Fahrstreifenbreite Einfluss auf die Fahrleistung hatten.

### 3.1.3 Regulatives Fahrerverhalten

Die Bearbeitung von zusätzlichen FFT während des Fahrens führt allerdings nicht immer zu kritischen Fahrsituationen oder Unfällen. STRAYER und FISHER entwickelten 2016 das sogenannte SPIDER Framework der relevanten kognitiven Fahrerprozesse. Zu diesen Prozessen gehören Abtasten (scanning), Vorhersagen (predicting), Identifizieren (identifying), Entscheiden (decision making), Ausführen (executing) und Reagieren (response). Laut den Autoren werden im Mehrfachaufgabenkontext die SPIDER Prozesse reduziert, was zu einer Abnahme des Situationsbewusstseins führt. Folgt man dem Ansatz der Fahrerablenkung, würde diese Kette zu einer erhöhten Unfallzahl führen. Allerdings scheint der Zusammenhang zwischen der Bearbeitung von FFT und Unfällen nicht proportional zu sein. Als Grund hierfür wird von STRAYER und FISHER (2016) die fahrerseitige Selbstregulation angeführt, die sowohl proaktiv als auch reaktiv ablaufen kann. Im Rahmen dieses Prozesses beantworten Fahrer für sich die Frage: „Wann bearbeite ich eine FFT?“

Verkehrsstatistiken können diese Hypothese unterstützen. Während Fahrer in ca. 50 % der Fahrzeit zusätzliche FFT wie Rauchen, Essen oder Interaktionen mit dem Beifahrer bearbeiten (DINGUS et al. 2006; HUEMER & VOLLRATH 2012), kommt es zu verhältnismäßig wenig drastischen Unfällen. Obwohl die menschlichen Verarbeitungskapazitäten begrenzt sind (KAHNEMAN 1973) und die Bearbeitung mehrerer Aufgaben demnach zu Leistungseinbußen führen kann, sind Fahrer nämlich statistisch gesehen nur ca. alle vier Millionen Kilometer in einen schwerwiegenden Unfall verwickelt. Im Rückschluss bedeutet dies, dass Fahrer gewisse Fähigkeiten oder Fertigkeiten besitzen müssen, die sie nutzen können, um selbst in anspruchsvollen Mehrfachaufgaben-situationen eine sichere und unfallfreie Fahrleistung zu erreichen.

Zur Konzeptualisierung des regulativen Fahrerverhaltens wurden in der Vergangenheit verschiedene Modelle entwickelt. WILDE (1982), beispielsweise, entwickelte ein Modell zur Risikohomöostase. In diesem wird postuliert, dass Fahrer das wahrgenommene Risiko einer Situation einschätzen, es mit dem Risiko, welches sie bereit sind einzugehen, abgleichen und basierend hierauf ihr Verhalten anpassen. Autofahren wird in diesem Sinne als homöostatischer Regulationsprozess verstanden, in dem Situations- und Nutzerfaktoren sowie die Antizipation der Situationsentwicklung eine wichtige Rolle spielen. In seinem task-capability interface verfolgt

FULLER (2005) einen leicht abweichenden Ansatz. Die Kontrolle des Fahrers über die Fahrsituation wird von ihm als der Zusammenhang zwischen Leistungsfähigkeit und situativen Anforderungen beschrieben. Dabei versteht er die Leistungsfähigkeit als die Reaktions- und Verarbeitungsfähigkeit, Erfahrung etc. Die situativen Faktoren setzen sich aus der Umwelt, anderen Verkehrsteilnehmern, Fahrzeugeigenschaften sowie durch den Fahrer beeinflussbare Faktoren (z. B. Geschwindigkeit und Routenplanung) zusammen. Die vom Fahrer angestrebte Zielgröße ist die Aufgabenschwierigkeit. Dabei erscheint eine Aufgabe als leicht, solange die Leistungsfähigkeit größer ist als die Anforderungen. Im umgekehrten Fall gilt eine Aufgabe als zu schwierig. Eine schwierige Aufgabe entsteht, wenn die Leistungsfähigkeit und die Anforderungen einander entsprechen. Genauso wie die beiden Modelle zuvor, gehen auch HORREY et al. (2015) von selbstregulatorischen Verhaltensanpassungen in einer sich verändernden Fahrsituation aus. Auch hier haben Situations- und Nutzerfaktoren Einfluss auf das Fahrverhalten. Fahrer führen beim Fahren einen Abgleich zwischen Anforderungen und der Leistungsfähigkeit durch, der von den Autoren als Kalibrierung bezeichnet wird. Gut kalibrierte Fahrer können dabei die der Situation angemessenen Handlungen auswählen und ausführen. Ein viertes Modell stammt von SUMMALA (2005). Das multiple-comfort-Modell verbindet zwei zentrale Herangehensweisen in der Verkehrspsychologie. Die erste Prämisse ist, dass Fahren durch Emotionen (z. B. Angst) gelenkt wird. Fahrer versuchen, Emotionen im individuell angestrebten Bereich zu halten und passen daraufhin ihr Fahrverhalten an (siehe z. B. die zuvor genannten Modelle). Die zweite Prämisse betrifft die Idee der Sicherheits- bzw. Komfortzone. Fahrer halten beim Fahren Abstände/Zonen ein, um so eine sichere Fahrleistung zu garantieren. Diese Zonen können in Zeit und in Distanz angegeben werden. Ziele und Motive können diese Zonen verändern. Gemäß dem multiple-comfort-Modell werden diese Sicherheitszonen auf die Emotionen und Motive abgestimmt, damit Fahrer sich beim Fahren komfortabel fühlen. Fahrer versuchen dabei, die folgenden Parameter innerhalb des Komfortbereichs zu halten: räumliche und zeitliche Sicherheitsbereiche, der veranschlagte Fahrtverlauf unter Anbetracht der Umgebungsfaktoren, Regelbeachtung, Fahrgefühl und Fahrspaß. Lediglich beim letzten Punkt scheint es für Fahrer angemessen, die Komfortzone bewusst zu überschreiten (z. B. Fahrer mit hohem Sensation Seeking).

Diese Modelle bieten alleine und vor allem auch in Kombination eine wichtige Grundlage zum Verständnis des regulativen Fahrerhaltens. Allerdings fokussieren sie sich zumeist auf die Fahraufgabe, die Rolle bzw. die Konsequenzen von FFT werden nicht betrachtet. Darüber hinaus ist das Workload Konstrukt oft nicht berücksichtigt. Außerdem fokussieren sich die Modelle zumeist nur auf einen Regulationsmechanismus. SCHWALM et al. (2015; VOß & SCHWALM 2015) nahmen diese Nachteile als Grund, bestehend auf den aktuellen Ansätzen ein ganzheitlicheres Arbeitsmodell zum regulativen Fahrerhalten zu entwickeln, das von VOß et al. (2017) überarbeitet wurde. Da es versucht, die diversen anderen Modelle und Ansätze miteinander zu verknüpfen, dient es in der aktuellen Arbeit als zentrale Referenz für die Diskussion des regulativen Fahrerhaltens. Bild 1 enthält eine Darstellung des Modells. Gemäß diesem Modell lässt sich eine Fahrsituation durch Situationsfaktoren beschreiben. Die Gesamtheit aller Situationsfaktoren von Fahraufgabe und FFT bildet den Task load, der moderiert durch Nutzerfaktoren (Zustand, Erfahrung, Motivation etc.) im subjektiv erlebten Workload resultiert. Eine zentrale Komponente des Modells ist der sogenannte Supervisory controller. Über die Evaluation der aktuellen Situation und Antizipation der Situationsentwicklung wird ein Vergleich von Ist- und Soll-Werten in der Fahraufgabe, der FFT und dem Workload vorgenommen. Für die Fahraufgabe entspräche der Soll-Wert beispielsweise den in der Einleitung bereits angesprochenen subjektiv akzeptierten Fahrleistungs- bzw. Trajektorienbereichen, deren Schwelle zu überschreiten vermieden wird. Falls Diskrepanzen zwischen einem Ist- und dem Soll-Wert in einer der drei Größen detektiert oder erwartet werden, wird die Wiederherstellung des Gleichgewichts durch die Einleitung kompensativer Mechanismen angestrebt. Hierzu stehen dem Fahrer drei proaktive Handlungsmöglichkeiten (Pfade) zur Verfügung. Pfad 1 beinhaltet funktionale Anpassungen in der Situation (z. B. Reduktion der Geschwindigkeit oder Bearbeitung der FFT). Pfad 2 betrifft die Beeinflussung der Nutzerfaktoren (z. B. Erhöhung der aufgewendeten Anstrengungen). Pfad 3 bezieht sich schließlich auf die Anpassungen in den Zielwerten (z. B. Herabsetzen des Zielwerts in der FFT). Aufgrund der Sicherheitsrelevanz der Fahraufgabe sind solche Anpassungen bzw. Reduktionen vor allem in der FFT zu erwarten.

In der Literatur wird eine rege Diskussion zur Existenz des regulativen Fahrerhaltens geführt. Da

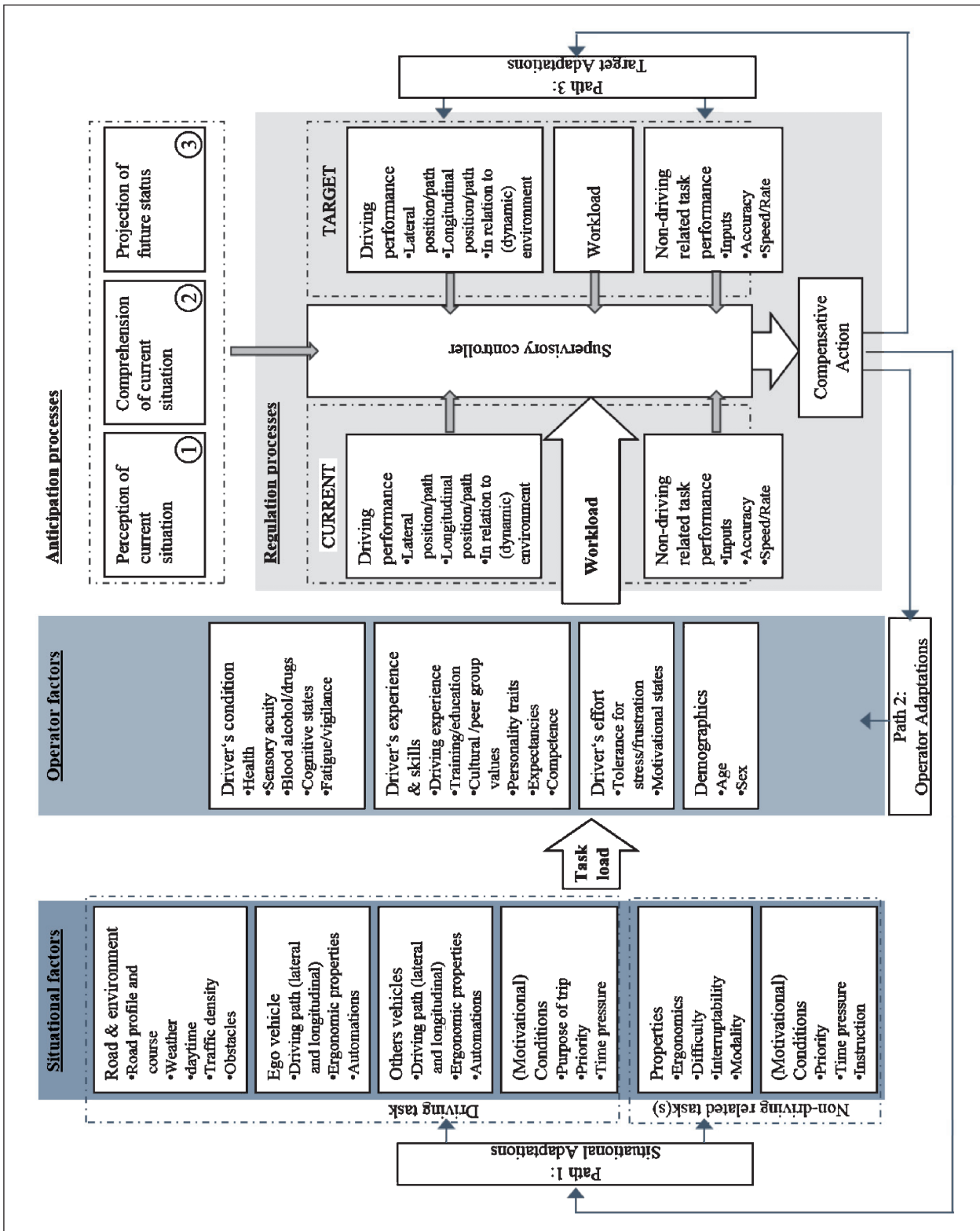


Bild 1: Arbeitsmodell zum regulativen Fahrerverhalten nach SCHWALM et al. (2015; VOß & SCHWALM 2015; VOß et al. 2017)

es ihrer Meinung nach bisher wenige empirische Forschung in dem Themenfeld gibt, fordern STRAYER und FISHER (2016) darum Studien in diesem Bereich. Einige Arbeiten kamen dieser Forderung bereits nach. So konnten Nachweise dafür gewon-

nen werden, dass es zu Anpassungen in der Fahraufgabe (gemäß Pfad 1) kommt. HAIGNEY, TAYLOR und WESTERMANN (2000), LANSDOWN, BROOK-CARTER und KERSLOOT (2004) sowie LIU und LEE (2006) fanden, dass es bei simultaner

Fahrt und FFT zu Verringerungen in der Geschwindigkeit kommt. Gemäß BEEDE & KASS (2006) kommt es in solchen Situationen zu weniger Fahrstreifenwechseln. Eine weitere Studie stammt von FITCH, TOOLE, GROVE, SOCCOLICH und HANOWSKI (2017). Sie untersuchten die Effekte von Handynutzung beim Fahren. Auch sie fanden, dass Fahrer im Mehrfachaufgabenkontext weniger Fahrstreifenwechsel durchführen. Eine Vergrößerung des Abstands zum Vorderfahrzeug konnte nicht nachgewiesen werden. Darüber hinaus kamen die Autoren zu der Schlussfolgerung, dass Fahrer beim Telefonieren verstärkt nach draußen schauen. Somit kommt es zu weniger sicherheitskritischen Vorfällen, als z. B. beim SMS schreiben, bei dem der Blick abgewendet werden muss.

Viele andere Studien beschäftigten sich mit Anpassungen in der FFT. Ausgehend von der Idee, dass Fahrer ein regulatives Verhaltensmanagement besitzen und demnach steuern können, wann und ob sie ein mobiles Endgerät (z. B. Handy) während der Autofahrt nutzen, führten HUTH, SANCHEZ und BRUSQUE (2015) eine NDS-Studie durch. In dieser untersuchten sie die Telefonnutzung an Ampelkreuzungen. Die Autoren konnten fahrerseitiges strategisches Verhalten nachweisen. Dabei gab es Unterschiede in den von Fahrern angewendeten Strategien, je nachdem welche FFT ausgeübt wurde (Telefonieren oder Tippen). Tippen bzw. SMS schreiben wurde tendenziell eher an roten Ampeln durchgeführt. Auch TIVESTEN und DOZZA (2014) beschäftigten sich mit der Handynutzung beim Autofahren. Sie untersuchten den Einfluss von der FFT (Handynutzung) auf die Fahraufgabe und insbesondere das fahrbezogene Blickverhalten. Hierzu führten sie videobasierte Analysen von Realfahrten durch. Es zeigte sich, dass es in komplexen Verkehrssituationen (z. B. Kurven, vorausfahrendes Fahrzeug, Gegenverkehr, Regen) im Vergleich zu weniger komplexen Situationen mehr Blicke auf die Straße gibt. Diese Ergebnisse untermauern, dass die Konzentration auf die Fahraufgabe abhängig vom Fahrkontext ist. Auch FITCH, HANOWSKI und GUO (2014) bewegten sich in diesem Themenfeld. Sie untersuchten ebenfalls das Autofahren mit paralleler Handybenutzung in verschiedenen Kontexten. Ihre Hypothese war, dass Fahrer ihr Verhalten (insbesondere die Handynutzung) an die verschiedenen Fahrkontexte anpassen. Dazu analysierten FITCH et al. (2014) Videodaten aus zwei NDS-Studien. Sie kodierten alle Zeitpunkte, in denen das Handy während der Fahrt benutzt wurde. Die Er-

gebnisse konnten die Hypothese der Studie bestärken. Die Handynutzung – und hier insbesondere Telefonate – verändern sich in Abhängigkeit des Fahrkontexts. Es gab weniger Gespräche bei höherem Verkehrsaufkommen an bzw. in Kreuzungen und an Auffahrten. Diese Studie ist, wie die anderen beiden auch, ein weiteres Indiz dafür, dass Fahrer versuchen, ihren Workload zu regulieren. Fahrer scheinen die Initiierung von FFT von der subjektiv erfahrenen Kritikalität einer Situation abhängig zu machen (RAUCH et al. 2009). Je gefährlicher eine Situation wahrgenommen wird, desto unwahrscheinlicher ist es, dass Fahrer sich mit FFT beschäftigen (PLATTEN et al. 2011; PLATTEN et al. 2013; SCHWALM et al. 2008). Gleichermaßen ist RAUCH (2009) der Auffassung, dass Fahrer eine gewisse Metakognition besitzen und wissen, dass eine FFT zusätzliche Belastung hervorruft und sie dementsprechend darauf achten, die Fahrleistung nicht zu verschlechtern. RAUCH (2009) basiert ihre Schlussfolgerung auf ihrem Befund, dass Fahrer FFT vor allem in solchen Situationen ausführen, in denen sie eine kleine Spurabweichung haben. In Situationen mit hoher Spurabweichung lehnen Fahrer FFT eher ab, was darauf hindeuten kann, dass die aktuelle und erwartete Fahrleistung eine Handlungsrelevanz für Fahrer besitzt. Einen ähnlichen Befund lieferten SCHWALM et al. (2015), indem sie fanden, dass es eine verringerte Bearbeitung von FFT gibt, wenn Fahrer erwarten, dass ihre Fahrleistung einen subjektiv kritischen Wert erreicht.

Ein von der Bundesanstalt für Straßenwesen getragenes Projekt untersuchte ebenfalls das regulative Fahrerverhalten im nicht-automatisierten Fahren mit paralleler Bearbeitung einer FFT, deren Bearbeitungstakt von den Probanden selbst bestimmt werden konnte (SCHÖMIG, SCHOCH, NEUKUM, SCHUMACHER & WANDTNER 2015; WANDTNER, SCHUMACHER & SCHMIDT 2016). Zur Untersuchung des regulativen Fahrerverhaltens wurde die FFT-Aktivität über die gesamte Fahrzeit überwacht und in der Datenanalyse auf deskriptiver Basis über den Zeitverlauf hinweg ausgewertet (siehe Bild 2). Die Ergebnisse zeigten, dass die FFT-Bearbeitung in Abhängigkeit der antizipierten Komplexität bzw. Kritikalität der Fahrsituation angepasst wurde. Die Selbstregulation führte in Konsequenz dazu, dass Probanden durch die Antizipation der kritischen Situation in Verbindung mit einer FFT-Reduktion im Endeffekt besser fahren (bezogen auf die Quer-, Längsdynamik und Bremsen). Ein solches Ergebnis konnte in einer Vergleichsbedingung, in



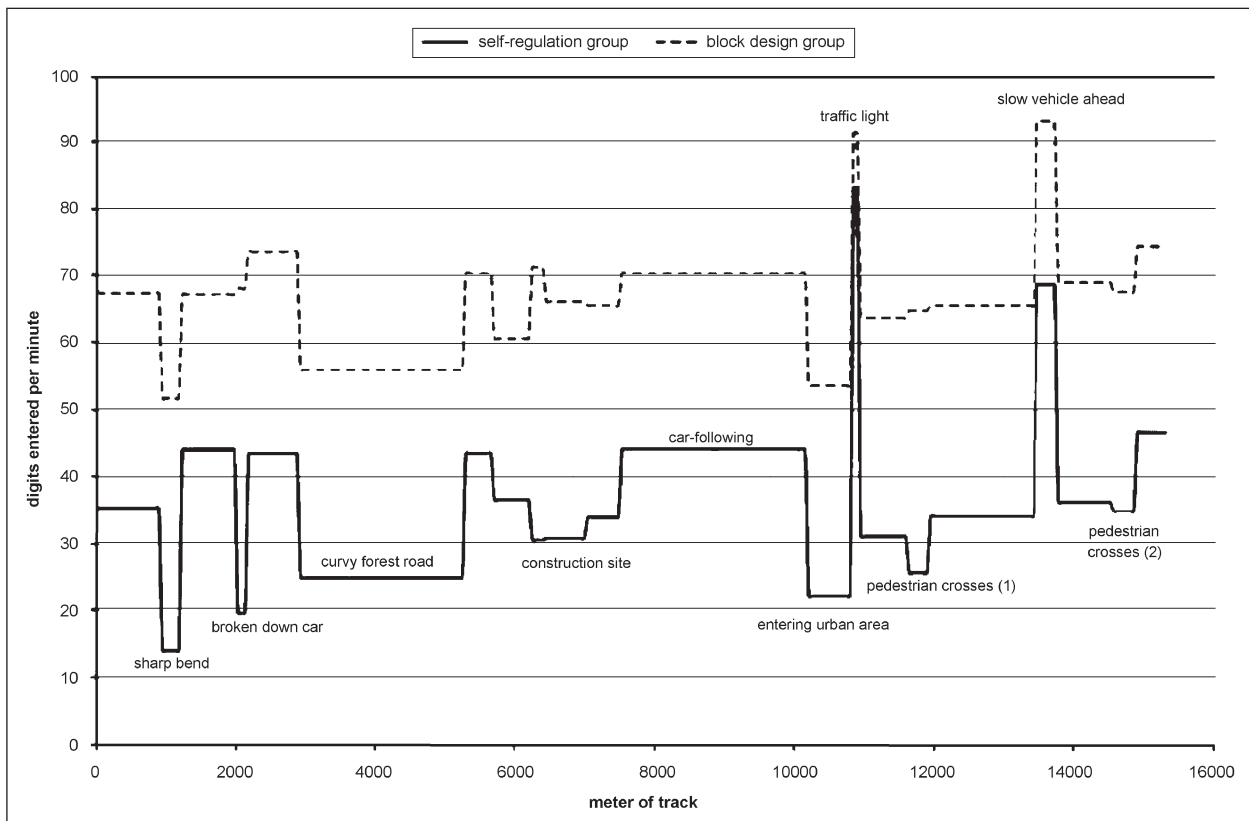


Bild 2: Verlauf der FFT Bearbeitung in der Studie von WANDTNER et al. (2016:475)

der Probanden den Bearbeitungstakt der FFT nicht selber steuern durften, sondern die FFT unter Zeitdruck bearbeiten mussten, nicht gefunden werden.

Ein letztes Studienbeispiel, das an dieser Stelle angeführt werden soll, stammt von LIANG, HORREY und HOFFMANN (2015). Wie die anderen Autoren, gehen sie davon aus, dass Fahrer keine passiven Rezipienten der FFT sind, sondern aktiv in das Geschehen eingreifen können. Anders ausgedrückt stellen sie sich die Frage: „Wann beschäftige ich mich wie stark mit welcher FFT?“ Zur Untersuchung dieser Annahme wurde ein Realversuch auf einer Teststrecke durchgeführt. Die implementierte Fahrsequenz enthielt sowohl anspruchsvolle als auch weniger anspruchsvolle Fahrpassagen. Zusätzlich wurden die Probanden instruiert, eine FFT (Lesen eines Textes) zu bearbeiten. Die Ergebnisse zeigten, dass Fahrer nicht explizit versuchen, wenig anspruchsvolle Streckenabschnitte zu finden, um die FFT zu initialisieren. Wohlgleich gibt es kurzfristige Anpassungen bei einer plötzlich ansteigenden Aufgabenschwierigkeit (z. B. Einfahrt in eine Situation mit verengter Fahrstreifenbreite). Als möglichen Grund für diesen Befund diskutierten LIANG et al. (2015), dass Fahrer versuchen, sich an eine sich

verändernde Fahrsituation anzupassen, bevor sie sich wieder mit einer FFT beschäftigen.

Während die oben genannten Studien Beweis für das regulative Fahrerverhalten liefern können, gibt es viele andere Experimente, in denen dieser Nachweis nicht geliefert werden konnte (STRAYER & COOPER 2015). Stattdessen werden gefundene Effekte als Artefakte oder Nebenprodukte des zusätzlichen Workloads in Mehrfachaufgabensituationen gesehen. Um in dieser Frage eine finale Antwort zu finden, fordern STRAYER und COOPER (2015) Kausalitätsuntersuchungen. Solche Studien könnten Licht auf die Frage werfen, ob es wirklich Selbstregulation gibt oder ob mögliche Anpassungen in der FFT tatsächlich nur die Konsequenz der Fahrerablenkung sind.

Wie die Quellen dieses Kapitels dennoch zeigen, scheint das regulative Fahrerverhalten essentiell für eine sichere Fahrzeugführung zu sein. Aus diesem Grund werden in der Literatur bereits einige HMI-Maßnahmen diskutiert, die Fahrer in der Aktivierung bzw. Ausführung der Regulationsmechanismen unterstützen sollen. PIECHULLA, MAYSER, GEHRKE und KÖNIG (2003) brachten die Idee des Workload-Dimmings auf. Hierzu wäre ein kontinu-

ierliches Workload-Monitoring von Nöten. Im Falle kritischer Situationen bzw. Workload-Spitzen, könnte die FFT zur Reduktion des Workloads gedimmt werden, sodass Kapazitäten für die Lösung der Fahraufgabe freigegeben würden. Ein Beispiel wäre die Rufumleitung in kritischen Situationen. In einer Studie lieferte diese Maßnahme positive Rückmeldung von den Probanden, die dieses System testeten. LEVY und PASHLER (2008) verfolgen einen ähnlichen Ansatz. Sie basieren ihre Idee auf den kognitiven Verarbeitungstheorien (siehe Kapitel 3.1.1). Im Falle sicherheitskritischer Ereignisse (z. B. Notbremsung) müssten andere Interaktionsquellen (z. B. FFT) unterdrückt bzw. verzögert werden, damit die Verarbeitung der Fahraufgabe zuerst ablaufen kann.

### 3.1.4 Subjektive Fahrleistungsbewertung

Wie aus dem Arbeitsmodell von SCHWALM et al. (2015); VOß & SCHWALM (2015); VOß et al. (2017) erkennbar ist, scheint die Komponente der subjektiven Fahrleistungsbewertung ein zentrales Element des fahrerseitigen regulativen Verhaltens zu sein. Aus diesem Grund soll in diesem Kapitel näher auf die Thematik eingegangen werden.

Es gibt diverse Erklärungsansätze bzw. Modelle in der Literatur, die sich mit der Idee der subjektiven Fahrleistungsbewertung beschäftigen. Ein eher allgemeines Modell zur fahrerseitigen Informationsverarbeitung stammt von ABENDROTH (2001), in ABENDROTH & BRUDER (2012). Es unterscheidet drei fahrerseitige Verarbeitungsstufen: Informationsaufnahme, -verarbeitung und -abgabe. Es ist anzunehmen, dass die subjektive Bewertung von Fahrtrajektorien vor allem während der ersten beiden Stufen abläuft. Eine Vielzahl weiterer Autoren beschäftigte sich spezifischer mit dem Konstrukt der Fahrleistungsbewertung und versuchte, es zu konzeptualisieren. ZIMMER (1997) versteht die Risikowahrnehmung beim Fahren beispielsweise als zweidimensionales Konstrukt bestehend aus der Kontrollierbarkeit (Unbekanntheit/Unkontrollierbarkeit vs. Bekanntheit/Kontrollierbarkeit) und der Angstausslösung (niedrig vs. hoch). TODA und KAGEYAMA (2007) versuchen, das psychologische Konstrukt Fahrspaß mit dem technischen Parameter der Kontrollierbarkeit zu verbinden. In einer Teststreckenstudie konnten sie zeigen, dass diese zwei Größen positiv miteinander korrelieren. HAIDERS (1997) Ansatz, der sich auf die Längsführung beschränkt, verbindet ebenfalls Subjektiv- und Objektiv-

tivgrößen. Es wird angenommen, dass das subjektive Fahrerleben an das Gefühl, eine Situation kontrollieren zu können, gekoppelt ist. Die relevanten Konstrukte, die dieses Gefühl bestimmen, sind die Durchschaubarkeit, Vorhersehbarkeit und Beeinflussbarkeit der Situation. DICK (2001; 2002) verfolgt einen psychologischen Ansatz, der das Fahrerleben in den zwei Hauptdimensionen Raum (Begrenzung vs. Freiraum) und Zeit (Wechsel vs. Kontinuität) kategorisiert. Ein weiterer psychologischer Ansatz ist der von ENGELBRECHT, ENGELN und ARNDT (2009). Hier wird das Fahrerleben durch vier Konstrukte (Fahrspaß durch Aktivierung, Fahrspaßmangel durch Langeweile, Komfort durch Entspannung und Diskomfort durch Stress) beschrieben. Ein positives Fahrempfinden entsteht gemäß diesem Ansatz bei hoher Erlebnisqualität und geringer Handlungsintensität. Ein interdisziplinärer Ansatz, der versucht, eine allgemeine Definition und Modellvorstellung zur Fahrleistungsbewertung zu liefern, stammt von EBERL (2014). Er schlägt vier Erlebnisdimensionen vor: Komfort (Gefallen und Entspannung), Diskomfort (psychische und physische Beanspruchung), Sicherheit (Vorhersehbarkeit und Beeinflussbarkeit) sowie Energiegefühl (Energiezurückgewinnung und -effizienz). Darüber hinaus bietet EBERL (2014) in seiner Arbeit eine Übersicht über weitere Ansätze. Diese sind in Tabelle 1 dargestellt.

### 3.1.5 Subjektive Fahrleistungsschwellen

Während die zuvor dargestellten Quellen sich mit dem grundlegenden Prozess und den Dimensionen der subjektiven Fahrleistungsbewertung befassen, gibt es diverse weitere Arbeiten, die sich konkreter mit den von SCHWALM et al. (2015; VOß & SCHWALM 2015; VOß et al. 2017) postulierten Zielwerten in der Fahrleistung befassen. Sie versuchen, solche subjektiven Akzeptanzschwellen in der Fahrleistung bzw. subjektiv akzeptierten Fahrleistungsbereiche näher zu bestimmen.

Aus technischer Sicht wird oftmals die Mitte des eigenen Fahrstreifens als die technisch ideale Trajektorie für ein Fahrzeug diskutiert (WERLING 2011). Dies deckt sich jedoch nicht immer zwingend mit der subjektiven Präferenz eines Fahrers. Denn wie MICHON schon 1985 feststellte, gibt es objektive und subjektive Sicherheitsschwellen. Gemäß BELLEM et al. (2017) tendieren Fahrer im nicht-automatisierten Fahren beispielsweise dazu, Kurven zu schneiden, um so die Lateralbeschleunigungen zu

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 positivem 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 (VIILIMEK, 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: Weitere Modelle und Erklärungsansätze zur subjektiven Fahrleistungsbewertung nach EBERL (2014:32)

minimieren und den Fahrkomfort zu erhöhen. FISCHER, KÜPPER und SCHÖGGL (2014) wiederum zeigten, dass sich Fahrer während einer automatisierten Kurvenfahrt mit Gegenverkehr unwohl fühlen, sobald zu wenig Abstand zwischen den Fahrzeugen vorhanden ist (siehe Bild 3). Die Subjektivwahrnehmung bzw. die Akzeptanz einer Trajektorie kann dabei interindividuell stark variieren (SIEBENPFEIFFER 2014).

Allgemeiner gesprochen scheint es, als ob Fahrer beim Fahren nicht ausschließlich versuchen, das Risiko gering zu halten, sondern auch Entspannung, Sicherheit, Spaß, ausreichend Vigilanz und Spannung hervorzurufen. Die reine Fahrleistung ist in bestimmten Situationen nicht von höchster Priorität (VAA 2014). Dieser Ansicht folgen auch HANCOCK und SAWYER (2015), die feststellten, dass sich Fahrer mit einer zur Situationsbewältigung ausreichenden Fahrleistung zufriedengeben. Sie versu-

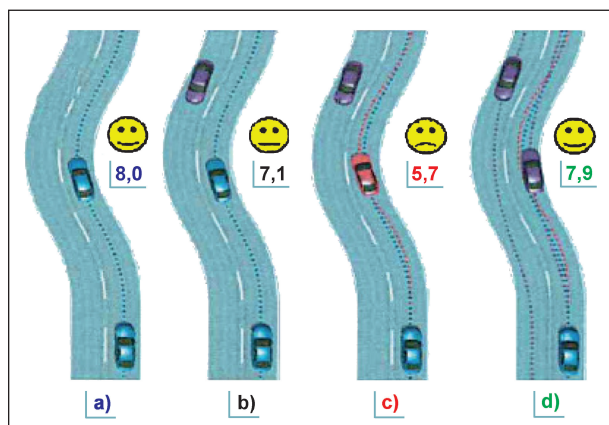


Bild 3: Subjektivempfinden von Fahrern in automatisierten Kurvenfahrten mit Gegenverkehr (FISCHER et al 2014:35)

chen, nicht in jeder Situation, immer das technische Optimum (d. h. die Fahrstreifenmitte) zu erreichen. Es ist sogar möglich, dass in spezifischen Szenarien die Spurhaltung gar nicht von Relevanz ist.

Dieser Unterschied zwischen objektiver Trajektorie und subjektiver Akzeptanz ist insofern von Relevanz, falls die objektive Trajektorie nicht zur subjektiven Präferenz des Fahrers passt. In einer solchen Situation ist zu erwarten, dass er sich unwohl fühlt und im Zweifel in die Fahrzeugführung eingreift (FISCHER et al. 2014). FISCHER et al. (2014) fordern deshalb die Objektivierung der subjektiven Fahrleistungswahrnehmung bzw. -bewertung, damit (automatisierte) Systeme zukünftig daraufhin abgestimmt werden können. Diesbezüglich wurden bereits verschiedene Maße der Fahrleistungsbewertung diskutiert. ENGELS (1994, in ZOMOTOR, BRAESS & RÖNITZ 1998) schlägt ein kombiniertes

Maß aus der Zeit mit dem Lateralversatz vor. Die relevante Größe wäre die Zeit, die es dauert, bis das Fahrzeug den subjektiv akzeptierten Fahrleistungsbereich verlässt und der Fahrer die Notwendigkeit verspürt, Korrekturen vorzunehmen.

Andere Autoren widmeten sich der Aufgabe, Modelle und Konkretisierungen für diese akzeptierten Fahrleistungsbereiche zu finden. Die ersten Arbeiten in diesem Bereich stammten von GIBSON und CROOKS (1938), die über die fields of safe travel sämtliche möglichen und sicheren Pfade eines Fahrzeugs zu beschreiben versuchten. KONTARATOS (1974) und OHTA (1993, in: TEH, JAMSON, CARSTEN & JAMSON 2014) trieben basierend hierauf die Forschung in diesem Feld weiter voran. Ein relativ neuer Ansatz, der ebenfalls auf GIBSON und CROOKS (1938) aufbaut, stammt von PAPAKOSTOPOULOS, MARMARAS & NATHANAEL (2017). Ziel dieser Autoren war es, basierend auf den Vorarbeiten, ein holistisches Modell zu entwickeln, das ermöglicht, die verschiedenen Teile der Fahraufgabe (d. h. lateral und longitudinal) kombiniert zu erklären. Der Arbeit liegt die Annahme zugrunde, dass die fields of safe travel dynamisch sind und in Abhängigkeit der Situation und der subjektiven Fahrereinschätzung variieren können (siehe Bild 4).

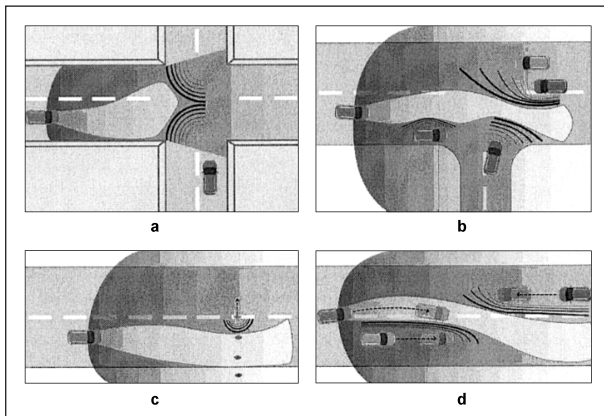


Bild 4: Fields of safe travel nach PAPAKOSTOPOULOS et al. (2017:5)

Das eigentliche Modell zu den fields of safe travel ist in Bild 5 dargestellt. Laut diesem setzen sich die

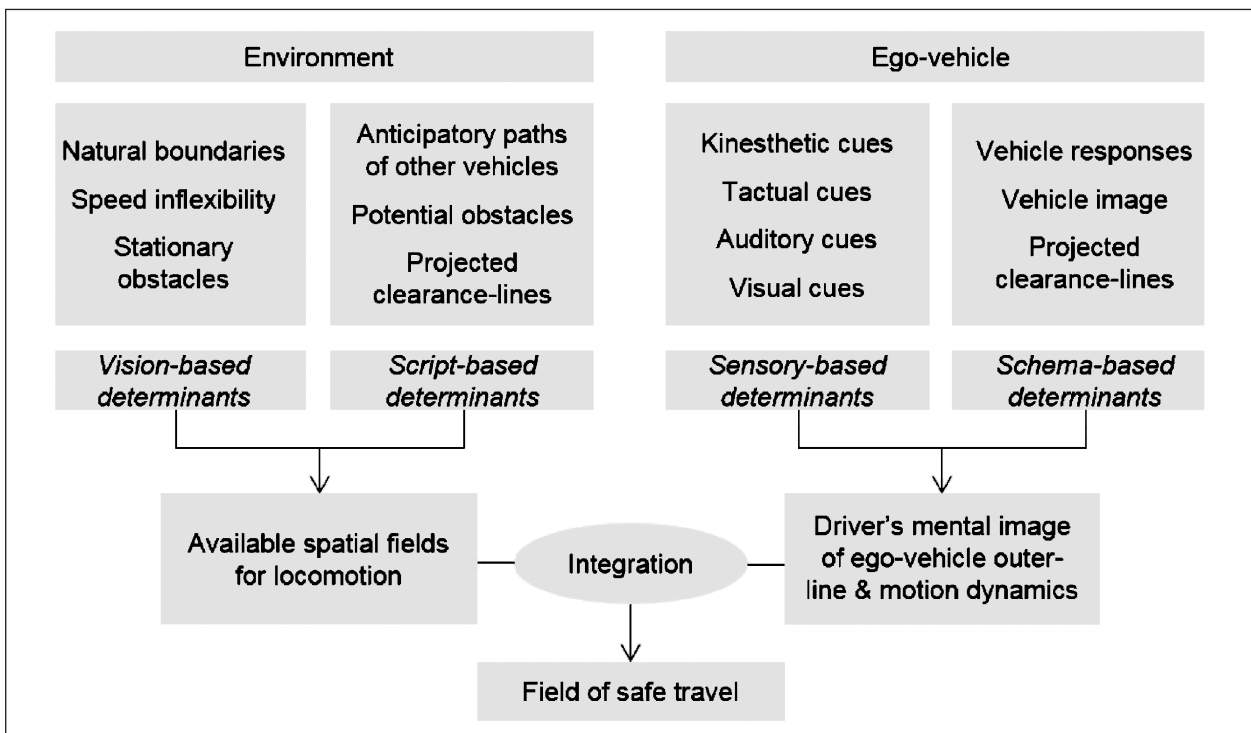


Bild 5: Modell zu den fields of safe travel (PAPAKOSTOPOULOS et al. 2017:7)



fields of safe travel einerseits aus der Umgebung zusammen. Hier fließen sowohl visuell-basierte (vision-based determinants, d. h. die Wahrnehmung in Abhängigkeit perzeptueller Randbedingungen) als auch skript-basierte Faktoren (script-based determinants, d. h. die Situationsantizipation des Fahrers) ein. Diese ergeben die möglichen räumlichen Bewegungsfelder. Andererseits spielt das Ego-Fahrzeug eine wichtige Rolle. Hier gibt es sensorisch-basierte (sensory-based determinants, d. h. die fahrerseitige Wahrnehmung zur Einschätzung des eigenen Fahrzeugs) und schema-basierte Faktoren (schema-based determinants, d. h. fahrerseitiges Wissen über Fahrzeugeigenschaften und nicht sichtbare Fahrzeugteile). Diese ergeben wiederum das mentale Bild des Fahrers von den Abmessungen und der Dynamik seines Fahrzeugs. Aus der Integration dieses Outputs mit den räumlichen Bewegungsfeldern resultiert dann schlussendlich das field of safe travel.

Ein weiteres, aktuelles Modell, das auf den bestehenden Arbeiten beruht, wurde von BÄRGMAN, SMITH und WERNEKE (2015) entwickelt. Es differenziert verschiedene Zonen, die sich vor dem Fahrzeug erstrecken (siehe Bild 6). Zuerst ist hier die Komfortzone (comfort zone) zu nennen. Ziel des Fahrers ist es, sich beim Fahren innerhalb dieser zu

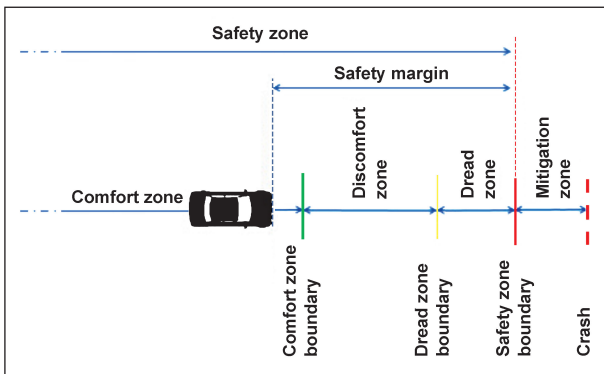


Bild 6: Zonen der Fahrzeugführung nach BÄRGMAN et al. (2015:171)

finden. Die Diskomfortzone (discomfort zone) wird manchmal aufgrund der Situationsbeschaffenheit betreten. Es wird dennoch versucht, sie möglichst schnell wieder zu verlassen. Die sogenannte Furchtzone (dread zone) dahingegen versucht der Fahrer niemals bewusst zu betreten. Ab der Grenze der Sicherheitszone (safety zone boundary) entstehen Unfälle. Dabei ist es so, dass in der Abmilderungszone (mitigation zone) der Unfall zwar auf jeden Fall passiert, die Unfallschwere jedoch noch reduziert werden kann. Als Sicherheitsabstand (safety margin) wird in diesem Modell alles zwischen der Front des Fahrzeugs und der Grenze der Sicherheitszone bezeichnet. Zur genaueren Definition der Komfort- und Furchtzone führten die Autoren einen Teststreckenversuch durch. In diesem hatten die Probanden zur Aufgabe, an einer Kreuzung mit Gegenverkehr links abzubiegen. Der Proband musste dabei entscheiden, ob er vor oder nach dem Ballon-Car, welches den Gegenverkehr darstellte, abbiegt. Es wurden zwei Testbedingungen unterschieden (Komfort und Eile). In der Komfortbedingung ergaben sich in der Datenauswertung geringe Lateralbeschleunigungen. Die Zeit zwischen dem Verlassen der sich kreuzenden, kritischen Zone des ersten und dem Befahren der Zone durch das zweite Fahrzeug war größer. Unter Zeitdruck waren die Probanden dazu bereit, diese zeitliche Lücke um knapp ein Drittel zu reduzieren. Der Druck führte dazu, dass sie die Probanden in die Diskomfortzone begaben. Die Furchtzone wurde, wie das Modell prädiziert, allerdings selbst in der Bedingung unter Zeitdruck nicht betreten.

In der Literatur lassen sich fortführend diverse empirische Studien identifizieren, die sich mit der Bewegung auf dem Fahrstreifen bzw. einer bevorzugten Trajektorie auf dem Fahrstreifen beschäftigen. Tabelle 2 stellt dies für die Querführung, Tabelle 3 für die Längsführung dar.

Wie sich aus den Tabellen 2 und 3 erkennen lässt, scheinen diverse Faktoren Einfluss auf die Ausprä-

Autoren	Hintergrund (Theorie, Ablauf etc.)	Ergebnisse/Schlussfolgerungen
BLANA & GOLIAS (2002)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vergleich der lateralen Position im Simulator und in realer Umgebung</li> <li>Simulator und Realstudie mit jeweils 100 VP</li> <li>Inspurige Landstraße, Rechts- und Linkskurve und eine Gerade</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Laterale Position ist durch Geschwindigkeit beeinflusst</li> <li>Effekt unterscheidet sich zwischen den Testbedingungen: Im Realfahrzeug sind die lateralen Distanzen höher (Interaktion mit Geschwindigkeit → Effekt wird bei höheren Geschwindigkeiten in Kurven geringer; auf geraden Strecken wird Effekt bei höheren Geschwindigkeiten größer) und die Standardabweichung der lateralen Position geringer</li> </ul>

Tab. 2: Empirische Studien zur lateralen Bewegung auf dem Fahrstreifen bzw. zur bevorzugten Trajektorie auf dem Fahrstreifen

Autoren	Hintergrund (Theorie, Ablauf etc.)	Ergebnisse/Schlussfolgerungen
DIJKSTER-HUIS, BROOKHUIS & de WAARD (2011)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Viele Unfälle passieren aufgrund von Fehlern beim Spurhalten</li> <li>• Ziel: Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Performanz und subjektiven/physiologischen Maßen bei verschiedenen Lenkanforderungen</li> <li>• Simulatorstudie: Variation der Fahrstreifenbreite mit unterschiedlich hohem Aufkommen von Gegenverkehr</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gegenverkehr führt zu lateraler Verschiebung von der Mitte nach außen</li> <li>• Engere Fahrstreifen führen nicht zu einer Position näher an der Mittellinie</li> <li>• Wenn die Spurposition das Zentrum der Sicherheitszone reflektiert, dann zeigt die Standardabweichung der Position die Breite dieser Zone</li> </ul>
DOZZA, SCHINDLER, BIANCHI-PICCINI & KARLSSON (2016)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Beim Überholen eines Radfahrers durchlaufen Autofahrer einen Prozess, in dem sie Geschwindigkeit und ihre laterale Spurposition in Abhängigkeit von entgegenkommendem Verkehr regulieren</li> <li>• Sie versuchen dabei, innerhalb ihrer eigenen Komfortzone bezogen auf die Fahrleistung zu bleiben → Ziel: Bestimmung der Komfortzone/ihrer Schwellen</li> <li>• E-Bike fuhr mit 22 km/h auf Landstraße; Aufzeichnung (Videos, Distanz, Dauer, comfort zone boundaries (CZBs))</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CZBs sind signifikant höher ohne als mit Gegenverkehr</li> <li>• Gegenverkehr hält nicht vom Überholen ab, sondern die Fahrer haben kleinere CZBs (&lt; 1,5 m)</li> <li>• Lateraler Abstand wird nicht durch Geschwindigkeit und Fahrstreifenbreite beeinflusst</li> </ul>
LENZ & BURGER (1975)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Das Lateralverhalten von Fahrzeugen ist von mehreren Parametern abhängig: 1) unterschiedliche Geschwindigkeiten; 2) Fahren im Pulk; 3) Beeinträchtigungen durch Gegenverkehr; 4) unterschiedliche Breite des Fahrzeugs</li> <li>• Realfahrten auf Versuchsstrecke; Messung von 870 Fahrzeugen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Unter 100 km/h fahren Fahrzeuge etwa in der Mitte des Fahrstreifens mit leichter Tendenz nach rechts</li> <li>• Deutlicher Unterschied zwischen freifahrenden und durch Gegenverkehr beeinflussten Fahrzeugen: mit Gegenverkehr ca. 15 cm weiter rechts (109 cm vs. 124 cm entfernt von der Mittellinie)</li> <li>• Kaum Unterschied bei Autos, die im Pulk fahren</li> <li>• Unabhängig von der Fahrstreifenbreite richten sich alle Fahrzeuge nach dem Abstand zwischen Achse und Mittellinie aus</li> </ul>
PARKIN & MEYERS (2010)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• NDS: verschiedene Streckenabschnitte (Variation km/h und Existenz Radspur)</li> <li>• Messung von Distanzen beim Überholvorgang eines Radfahrers</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fahrräder werden auf Straßen mit Radspur und hoher Geschwindigkeit mit kleinerem Abstand überholt als auf Straßen ohne Fahrradspur</li> <li>• Bei geringerer Geschwindigkeit keine signifikanten Unterschiede im Abstand</li> </ul>
ROSEY, AUBERLET, MOISAN, DUPRÉ (2009)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Simulatorstudie: Landstraße; Gegenverkehr (Lkw und Pkw), Variation der Fahrstreifenbreite</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geringere Fahrstreifenbreite: Fahrzeuge befinden sich näher an der Mittellinie</li> <li>• Kein Zusammenhang mit Geschwindigkeit</li> <li>• Bei beiden Fahrstreifenbreiten fuhren Probanden weiter außen nach Treffen auf Gegenverkehr</li> <li>• nach Reduktion der Fahrstreifenbreite fuhren die Probanden zentrierter als auf realen Straßen</li> </ul>
SUMMALA, LEINO & VIERIMAA (1981)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Messung realer Fahrzeuge auf verschiedenen Straßen mit Gegenverkehr (laterale Position)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Auf breiteren Straßen nicht so starke Ausweichbewegungen wie auf schmalen</li> <li>• Bei frei fahrenden Fahrzeugen (im Vergleich zu Folgefahrten) gibt es über die Straßenbreite gemittelt ausweichendes Verhalten</li> </ul>
TRIGGS (1980)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Versuch auf realer Straße/NDS; Beobachtung von Fahrzeugen mit Gegenverkehr; Datenmessung durch Kameras</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bei Gegenverkehr zeigen Fahrzeuge eine laterale Bewegung weg von der Mittellinie</li> </ul>
TRIGGS (1997)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Versuch auf realer Landstraße; einzeln fahrende Autos wurden mit Experimentalfahrzeug verfolgt und deren Position gemessen, wenn sie auf Gegenverkehr trafen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bei Gegenverkehr zeigen Fahrzeuge eine systematische laterale Bewegung weg von der Mittellinie</li> <li>• Bewegung startet meist schon mehr als 5 s vor Aufeinandertreffen der Fahrzeuge</li> <li>• Direkt nach Treffen Bewegung zurück Richtung Mittellinie in Ausgangsposition</li> <li>• Autos, die zunächst am weitesten entfernt von der Mittellinie fahren, beginnen die Bewegung weg vom Gegenverkehr später als Autos, die bereits nahe an der Mittellinie fahren</li> </ul>

Tab. 2: Fortsetzung

Autoren	Hintergrund (Theorie, Ablauf etc.)	Ergebnisse/Schlussfolgerungen
LEWIS-EVANS, de WAARD & BROOK-HUIS (2010)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Untersuchung des Zusammenhangs zwischen THW (time-headway) und Risiko/Aufgabenschwierigkeit/Anstrengung/Komfort</li> <li>• Simulatorstudie: Variation des THW zwischen 0,5 und 4,0 s in 0,5 s Abständen + 1 freie Fahrt (eigenständige Wahl der THW)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schwelle der präferierten THW scheint bei ungefähr 2 Sekunden Abstand zu liegen</li> <li>• Die Parameter Risiko, Aufgabenschwierigkeit und Anstrengung korrelieren miteinander</li> </ul>
SIEBERT, OEHL & PFISTER (2014)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ziel: Replikation der Ergebnisse von LEWIS-EVANS et al. (2010)</li> <li>• Simulatorstudie: 3 Geschwindigkeiten; 8 THWs (Variation in 0,5 s Schritten) + je eine freie Fahrt pro Geschwindigkeit</li> <li>• Nach jeder Situation Fragebögen zum Fahrerleben (Kritikalität/Kontrollierbarkeit)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Für alle 3 Geschwindigkeiten konnte die erwartete Schwelle gefunden werden</li> <li>• THWs von 4,0 – 2,5 s beeinflussen die Subjektivratings kaum</li> <li>• Kritischer Abstand scheint zwischen 2,0 und 1,5 s zu liegen</li> <li>• THW hat Einfluss auf die Risikowahrnehmung, Aufgabenschwierigkeit, Anstrengung, Komfort</li> <li>• Alle subjektiven Parameter korrelieren miteinander</li> </ul>
SIEBERT, OEHL, BERSCH & PFISTER (2017)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Replikation und Fortführung der bisherigen Studien (s. o.)</li> <li>• Simulatorstudie: SAE L0 vs. SAE L1 (ACC); 3 Geschwindigkeiten; Variation der THWs (in 0,5 bzw. 0,1 s Schritten)</li> <li>• Probanden sollten angeben, ab welchem THW sie Risiko wahrnehmen/Komfort verschwindet + 6 freie Fahrten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Interindividuelle Unterschiede in den Schwellenwerten</li> <li>• Weitere Evidenz für Lokation der Schwelle zwischen 1,5 und 2,0 s</li> <li>• Geschwindigkeit hat keinen Einfluss</li> <li>• Individuelle Schwellen können außerhalb des identifizierten Bereichs liegen</li> <li>• Kein Effekt des Automatisierungslevels</li> </ul>

Tab. 3: Empirische Studien zur longitudinalen Bewegung auf dem Fahrstreifen bzw. zur bevorzugten Trajektorie auf dem Fahrstreifen

gung einer subjektiv akzeptierten Trajektorie zu haben. Dabei wird die laterale Wahrnehmung vornehmlich von Aspekten bezüglich der Fahrbahn, die longitudinale Wahrnehmung vor allem von Aspekten wie Bewegungsfluss sowie Position und Abstand zu potenziellen Hindernissen beeinflusst (PAPAKOSTOPOULOS et al. 2017).

Zum Einfluss spezifischer Situations- und Personenfaktoren auf die subjektive Fahrleistungsbewertung gibt es bisher wenige konkrete Studien. Es ist allerdings anzunehmen, dass solche Faktoren, die die Fahrleistung beeinflussen (d. h. das Unfallrisiko erhöhen), auch die subjektive Fahrleistungsbewertung beeinflussen können. Auf der Seite der Personenfaktoren ist hier zum einen das Sensation Seeking zu nennen. Diverse Studien konnten nämlich nachweisen, dass ein hohes Sensation Seeking zu einem eher riskanten Fahrstil führt (ARTHUR & GRAZIANO 1996; HEINO 1996; HORVATH & ZUCKERMAN 1993; IVERSEN & RUNDMO 2002; JONAH 1997; JONAH, THIESSEN & AU-YEUNG 2001; OLTEDAL & RUNDMO 2006; YAGIL 2001). Des Weiteren scheint die Fahrerfahrung eine Rolle zu spielen. Einerseits sind junge Erwachsene in Bezug auf die Involvierung in tödlich endende Unfälle die gefährdetste Gruppe (Statistisches Bundesamt

2016), andererseits führt eine geringe Fahrerfahrung zu einem hohen Unfallrisiko (KONSTANTOPOULOS, CHAPMAN & CRUNDALL 2010; MUELLER & TRICK 2012; YOUNG et al. 2007). Auf Seiten der Situationsfaktoren scheinen die Wetterverhältnisse eine, wenn auch im Vergleich zu anderen Faktoren eine geringere (DINGUS et al. 2006; Statistisches Bundesamt 2016), Rolle zu spielen. Dabei hat Regen von allen Wetterbedingungen den stärksten Einfluss auf die Fahrleistung (ASHLEY, STRADER, DZIUBLA & HABERLIE 2015; HAUTIÈRE, DUMONT, BRÉMOND & LEDOUX 2009). Weit aus gewichtiger scheinen das Verkehrsaufkommen bzw. der Gegenverkehr zu sein. Laut SCHIEßL (2008) steigt die Belastung des Fahrers bei erhöhtem Verkehrsaufkommen, da er weniger Handlungsmöglichkeiten bzw. Bewegungsspielraum besitzt. TEH et al. (2014) bezeichnen dies als „boxed-in-effect“. TIVESTEN und DOZZA (2014) stellten fest, dass Gegenverkehr für den Fahrer scheinbar relevanter ist als mitfließender Verkehr. Zur Unterstützung zogen sie diverse empirische Studien heran, die diesen Zusammenhang belegen können. BJÖRNSTIG, BJÖRNSTIG und ERIKSSON (2008) fanden, dass schwere Unfälle zumeist mit Gegenverkehr passieren. ENGSTRÖM, VICTOR und MARKKULA (2013) erkannten, dass Fahrer ihre

Blicke und somit ihren Aufmerksamkeitsfokus auf den Gegenverkehr richten, sobald dieser vorhanden ist. SERAFIN (1994), schließlich, stellte fest, dass die Einschätzung des Fahrverhaltens des Gegenverkehrs (lateral und longitudinal) oft schwierig ist und deshalb die Aufmerksamkeit des Fahrers fordert.

Zwei zusätzliche empirische Studien geben weiteren Aufschluss über die Charakteristika subjektiver Fahrleistungsschwellen. Beide beziehen sich auf das Überholverhalten von Fahrern. SUMMALAS (1980) Ausgangspunkt war die Tatsache, dass nur ein kleiner Anteil der Gesamtunfälle auf Überholvorgänge zurückgeführt wird. Allerdings werden in dieser Statistik viele Unfälle nicht dazu gerechnet, die ggf. durch zu nahes Auffahren oder zu nahes Fahren an der Mittellinie in Vorbereitung auf das Überholen verursacht werden. Studienziel war deshalb die Untersuchung, ob das Warten auf eine Überholmöglichkeit, die Sicherheitsabstände (safety margins) kleiner werden lässt. Die Realstudie fand auf einer Landstraße statt, an der ein Schild positioniert wurde, das Überholvorgänge für 1,5 km verbot. Als abhängige Variablen wurden der Zeitabstand zum Vorderfahrzeug sowie die laterale Position vor und nach dem Schild gemessen. Die Ergebnisse zeigten, dass beide Parameter beim Überholverbot größer wurden. Dies lässt den Rückschluss zu, dass wenn man auf ein Überholmanöver wartet bzw. dieses erlaubt ist, die safety margins kleiner sind. Sie scheinen also variabel zu sein. Dies würde bedeuten, dass die subjektiven Fahrleistungsschwellen an die Fahranforderungen bzw. an die aktuelle Fahrsituation flexibel angepasst werden. Die andere Studie stammt von CRAWFORD (1963). Hintergrund war hier, dass Fahrer die Situation beurteilen müssen, um sicher überholen zu können. Es wurde angenommen, dass in mehrdeutigen Situationen die Entscheidung für bzw. gegen einen Überholvorgang von Fahrer zu Fahrer variiert. Hierzu wurde eine Realfahrtstudie auf der Teststrecke durchgeführt. Das Szenario der Studie sah drei Fahrzeuge vor. Fahrzeug A und B starteten von einem Ende der Teststrecke, während Fahrzeug C zur gleichen Zeit am anderen Ende startete. B und C bewegten sich mit der gleichen Geschwindigkeit. Der Proband der Studie fuhr Fahrzeug A und sollte auf Kommando, wenn möglich, B überholen. Variiert wurden die Breite der Lücke und die Geschwindigkeit. Die Ergebnisse zeigten, dass wenn die Schwelle, ab der die Lücke zum Überholen zu klein eingeschätzt wird, erreicht wird, Fahrer länger für ihre Reaktion

brauchen. Dies wiederum reduzierte die eigentliche Zeit für das Überholmanöver. Zusätzlich zeigte sich, dass bei langsameren Geschwindigkeiten die besseren Urteile getroffen wurden. Hohe Geschwindigkeiten führten zu längeren Überholzeiten (Reaktions- und Überholzeit). Insgesamt lieferte die Studie also Nachweis dafür, dass Fahrer ihre Fahrleistung anhand ihrer individuellen Schwellen bewerten und daraufhin ihr Fahrverhalten abstimmen. Die Ergebnisse können also als Indikator für die Handlungsrelevanz solcher Fahrleistungsschwellen dienen.

### 3.1.6 Automatisiertes Fahren

Die bisher diskutierten Ergebnisse und Befunde beziehen sich vornehmlich auf Studien des nicht-automatisierten Fahrens. Allerdings fand in den vergangenen Jahren ein starker Fortschritt in Richtung des automatisierten Fahrens statt. So fuhr Mercedes Benz im Jahr 2013 beispielsweise automatisiert mit einem Forschungsfahrzeug von Mannheim nach Pforzheim (GOLD 2014). Dieser Fortschritt und die sich hieraus ergebenden Möglichkeiten schlagen sich insbesondere darin nieder, dass es inzwischen eine große Bandbreite an automatisierten Systemen und Funktionen gibt, die in Fahrzeugen schon implementiert sind oder als Prototypen zur Verfügung stehen. Zur Konzeptualisierung all solcher Systeme entwickelten diverse Organisationen (z. B. SAE, SAE International 2014) Nomenklaturen, in denen sich die Systeme in verschiedene Automatisierungslevel einordnen lassen (siehe Tabelle 4).

Nach SAE (SAE International 2014) gibt es fünf Automatisierungslevel sowie ein zusätzliches Level 0, welches das nicht-automatisierte Fahren darstellt. Die Automatisierungslevel lassen sich anhand der folgenden drei Kriterien differenzieren: Ausführung der Fahraufgabe, Überwachung der Umgebung, Rückfallebene in kritischen Fahrsituationen (d. h., wer übernimmt die Fahraufgabe in kritischen Situationen). Mit höherem Automatisierungslevel steigen dabei die Fähigkeiten des Systems und sinken gleichzeitig die Zuständigkeiten des Fahrers. Ein kritischer Übergang – und somit auch Gegenstand vieler Diskussionen – ist das SAE Level 3. Hier ist das System zwar sowohl für die Fahrzeugführung als auch für die Überwachung der Umgebung zuständig, der Fahrer ist jedoch als Rückfallebene erforderlich. Der Fahrer wird also als Überwacher verstanden, der sich jederzeit ein Situationsbewusst-



	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	Stau-assistent	Stau-Chauffeur	Parkhaus Pilot	Roboter-Taxi

Tab. 4: Übersicht der Automatisierungslevel nach ECKSTEIN (2014: 306)

sein schaffen und die Fahraufgabe übernehmen können muss (GOLD 2014). An dieser Stelle entsteht die Frage, inwiefern Fahrer tatsächlich in der Lage sind, dieser Anforderung gerecht zu werden. Durch die fehlende Überwachung der Umgebung entgehen ihnen nämlich wichtige Kontextinformationen, die für eine sichere Übernahme der Fahraufgabe erforderlich wären. WARM, DEMBER und HANCOCK (1996) konnten beispielsweise zeigen, dass es nach 20 bis 30 Minuten automatisierter Fahrt zu Abnahmen der Vigilanz kommt. Darüber hinaus scheinen Fahrer im automatisierten Fahren schneller zu ermüden (JAMSON, MERAT, CARSTEN & LAI 2013) und das Arousallevel sinkt ab (siehe Bild 7, RADLMAYR & BENGLER 2015). ENDSLEY & KIRIS (1995) sowie KABER und ENDSLEY (1997) bezeichnen dieses Phänomen als das „out-of-the-loop performance“ Problem. Es beinhaltet, dass die Verwendung eines automatisierten Systems zu einem verringerten Situationsbewusstsein und infolgedessen zur einer geringeren Leistungsfähigkeit des Fahrers bezogen auf die Fahraufgabe führen kann.

Neben negativen Automationseffekten wie diesem postuliert GOLD (2014) darüber hinaus weitere Vor- und Nachteile, die sich aus veränderter Mobilität im automatisierten Fahren ergeben. Eine zusätzliche negative Konsequenz scheint zu sein, dass der Mensch nicht mehr wie bisher zur Unfallvermeidung zur Verfügung steht. Als positiv hingegen sieht GOLD (2014) die Zuverlässigkeit der Systeme, die Parallelisierung von Abläufen sowie die für den Fahrer anderweitig nutzbare Zeit.

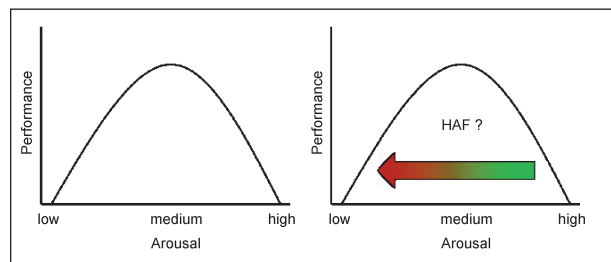


Bild 7: Veränderung des Arousallevels im automatisierten Fahren (RADLMAYR & BENGLER 2015:14)

In diesem Kontext konnte bereits eine Vielzahl von Studien zeigen, dass Fahrer während aktiver Automation die Bearbeitungsaktivität einer zusätzlichen FFT erhöhen (z. B. GRIFFITHS & GILLESPIE 2005; JAMSON et al. 2013; LLANERAS, SALINGER & GREEN 2013; MERAT, JAMSON, LAI & CARSTEN 2012). CARSTEN, LAI, BARNARD, JAMSON und MERAT (2012) untersuchten die Bearbeitung von FFT in drei verschiedenen Fahrmodi (nicht-automatisiert, SAE Level 1 und SAE Level 2, wobei sich Probanden von der Fahraufgabe abwenden durften). Die Ergebnisse zeigten eine verstärkte Beschäftigung mit FFT, wenn das Automationslevel anstieg. Zusätzlich war es im SAE Level 1 so, dass es dann eine stärkere Bearbeitung der FFT gab, wenn das Fahrzeug die Längsdynamik übernahm (im Vergleich zu Fahrten, in denen die Querdynamik übernommen wurde). In einer weiteren Studie nutzen STANTON, YOUNG und McCAULDER (1997) die Bearbeitung der FFT als Maß für den Workload in einer automatisierten Fahrt mit einem SAE Level 1 System (ACC). Diese Studie ergab, dass das System zu einer erhöhten Bearbeitung

der FFT und somit im Rückschluss zu einem reduzierten Workload führte. Gleichzeitig reduzierte das System jedoch auch die Fahrerfähigkeiten in dem Sinne, dass Fahrer schlechter mit kritischen Fahrsituationen umgehen konnten.

Zu einem vergleichbaren Ergebnis wie diese letzte Studie kamen im Jahr 2013 auch DAMBÖCK, WEIßGERBER, KIENLE und BENGLER. In einer Fahrsimulatorstudie untersuchten sie die Fahrleistung von Fahrern in Übernahme-situationen des automatisierten Fahrens, d. h. in Situationen, in denen Fahrer die Fahrzeugführung wieder vom System übernehmen müssen. Dazu ließen sie die Probanden diverse Fahrten in unterschiedlichen Automationslevel mit simultaner Bearbeitung einer FFT durchführen. Die Ergebnisse zeigten, dass ein höheres Automationslevel zwar zu einem geringeren Workload, aber in Übernahme-situationen auch zu schlechteren fahrseitigen Reaktionszeiten führte. Weitere, beispielhaft zu nennende Studien, die sich mit der Fahrleistung von Fahrern in Übernahme-situationen beschäftigen, sind die folgenden. MERAT, JAMSON, LAI, DALY und CARSTEN (2014) führten eine Fahrsimulationsstudie durch, in der sie fanden, dass die Übernahmeleistung von Fahrern dann besser ist, wenn sie die Übernahme vorhersehen können. Für die Auslegung von Systemen (insbesondere SAE Level 3) bedeutet dieses Ergebnis, dass Überlegungen angestrengt werden müssen, wie und wann Fahrer am besten auf eine Übernahme vorbereitet werden können. Mit anderen Worten heißt dies, wie kann das unter Kapitel 3.1.3 diskutierte regulative Fahrerverhalten am besten aktiviert werden. SHEN und NEYENS (2014) fanden, dass Fahrer bei einem höheren Automationslevel zum einen länger brauchen, um auf einen Systemausfall zu reagieren, und zum anderen die gezeigte Reaktion (gemessen an den Spurabweichungen) schlechter war. STRAND, NILSSON, KARLSSON und NILSSON (2014) konnten ebenfalls eine schlechtere Fahrleistung bei höherem Automationslevel nachweisen, und begründeten dies mit dem reduzierten Situationsbewusstsein der Fahrer. Allgemein konstatiert GOLD (2014), dass die Komplexität der Situation, die ausgeübte FFT, die Modalität der Übernahmeaufforderung sowie die Vertrautheit mit dem System einen Einfluss auf das Fahrerverhalten in Übernahme-situationen haben kann.

Ein weiterer Punkt von GOLD (2014), die Gestaltung der Übernahmeaufforderungen, war bereits Bestandteil vieler Studien. NAUJOKS, MAI und NEUKUM (2014) führten eine Studie im dynami-

schon Fahrsimulator durch, in der die Probanden neben der Fahraufgabe eine zusätzliche FFT bearbeiten mussten. Ziel war es, die Unterschiede zwischen einer rein visuellen und einer akustisch-visuellen Übernahmeaufforderung zu untersuchen. Als abhängige Variable wurden sowohl die Hands-on Zeit sowie die laterale Fahrzeugkontrolle genutzt. Die Resultate zeigten, dass eine kombinierte Übernahmeaufforderung, die eine höhere Saliens im Vergleich zu einem rein visuellen Signal besitzt, positive Effekte auf die objektiven Parameter hatte. PETERMANN-STOCK, HACKENBERG, MUHR und MERGL (2013) untersuchten die benötigten Übernahmezeiten für unterschiedliche Arten von FFT. Es zeigte sich, dass sich die fahrerseitigen Reaktionszeiten bei der Bearbeitung einer hoch beanspruchenden FFT verlängern. Die Autoren schlussfolgerten, dass ein zehnhundertstel Übernameintervall auch bei starker Ablenkung ausreichend sein sollte, um eine sichere Übernahme zu gewährleisten. Auch GOLD, DAMBÖCK, LORENZ und BENGLER (2013) beschäftigten sich mit den benötigten Übernahmezeiten im automatisierten Fahren. Gemäß ihren Studienergebnissen führt ein kürzeres (fünf Sekunden) Übernameintervall im Vergleich zu einem längeren (sieben Sekunden) zwar zu einer schnelleren Entscheidungsfindung und Reaktion, die Qualität der Übernahme ist jedoch schlechter.

Obwohl diese Übersicht über Arbeiten des automatisierten Fahrens zeigt, dass es bereits eine breite Literaturlage zum automatisierten Fahren gibt, müssen zur Verwirklichung des autonomen Fahrens gemäß GOLD (2014) allerdings einige Punkte tiefergehend thematisiert werden. Hierbei sollten neben technischen und sensorischen Entwicklungen vor allem auch weiche Faktoren (z. B. Ergonomie, Ethik, Recht und Gesellschaft) im Vordergrund stehen. Relevante Fragestellungen betreffen beispielsweise die Rollenverteilung und Interaktion zwischen Fahrer und System sowie die erlaubten Abwendungen von der Fahraufgabe.

### 3.2 Ergebnisse des Projekts FE 82.0614/2014

Basierend auf der bestehenden Literatur beschäftigte sich das abgeschlossene Projekt FE 82.0614/2014 initial mit der Untersuchung der kompensativen Fahrerstrategien im automatisierten Fahren. In diesem Kontext entwickelten sich drei

Forschungsschwerpunkte: a) die subjektive Fahrleistungsbewertung, b) die subjektiven Fahrleistungsschwellen und c) die Fahrerstrategien in Übernahmesituationen des automatisierten Fahrens. Die Ergebnisse dieser drei Säulen des abgeschlossenen Projekts werden nun näher dargestellt.

### 3.2.1 Subjektive Fahrleistungsbewertung

Wie das Arbeitsmodell von SCHWALM et al. (2015; VOß & SCHWALM 2015; VOß et al. 2017) zeigt, scheint die subjektive Fahrleistungsbewertung ein zentrales Element des regulativen Verhaltens von Fahrern zu sein. Aus diesem Grund wurde im abgeschlossenen Projekt in einem ersten Schritt diese Komponente näher untersucht. Es galt, das Konstrukt der subjektiven Fahrleistungsbewertung empirisch und faktorenanalytisch zu prüfen sowie einen Fragebogen zu entwickeln, der für die Erfassung der subjektiven Fahrleistungsbewertung genutzt werden kann.

Neben einer Literaturrecherche wurden zu diesem Zweck eine Online-Studie sowie Expertenbefragungen durchgeführt. Es wurde eine initiale Sammlung von  $N = 115$  Attributen (Adjektiven) erstellt, die für die subjektive Bewertung von Fahrleistungen infrage kämen (z. B. sicher, komfortabel, angemessen, gefährlich, kontrolliert). Mittels einer weiteren Expertenbefragung und Online-Studie wurden anschließend diejenigen Attribute ausgewählt, die im Rahmen der subjektiven Fahrleistungsbewertung als trennscharf bezeichnet werden können. D. h., es wurden solche Begriffe selektiert, die in der Lage sind, eindeutig zwischen zwei Fahrleistungen (Trajektorien) zu differenzieren. Dieses Kriterium traf auf  $n = 22$  Begriffe zu. Eine angeschlossene explorative Faktorenanalyse dieser 22 Attribute ergab, dass das Konstrukt der subjektiven Fahrleistungsbewertung über eine einfaktorielles Lösung beschrieben werden kann, die eine 81-prozentige Varianzaufklärung bietet. In Tabelle 5 sind die 22 trennscharfen Attribute dargestellt.

Basierend auf diesem Ergebnis wurde als abschließender Arbeitsschritt ein Fragebogen zur Erfassung der subjektiven Fahrleistungsbewertung abgeleitet. In diesem Fragebogen wird der Befragte gebeten, eine gezeigte Trajektorie über die 22 Begriffe auf einer sechs-stufigen Likert Skala von „trifft nicht zu“ (1) bis „trifft zu“ (6) zu bewerten. Neben dem Fragebogen selber wurde im abgeschlossenen Projekt zusätzlich eine Auswertungslogik erarbeitet. Ge-

ruhig	diszipliniert
gleichmäßig	kontrolliert
konstant	präzise
gut aufgehoben	rücksichtsvoll
gefährlich*	katastrophal*
sicher	aufregend*
kritisch*	irritierend*
riskant*	zufriedenstellend
grenzwertig*	akzeptabel
vorbildlich	überzeugend
fahrlässig*	stressig*
Anmerkung: Die mit * markierten Begriffe besitzen eine negative Faktorladung	

Tab. 5: Die 22 trennscharfen Attribute des Konstrukts der subjektiven Fahrleistungsbewertung

mäß dieser Logik ist es möglich, einen Gesamtskalenwert mit einem Wertebereich von 0 bis 100 zu berechnen. Hohe Werte auf dieser Skala bedeuten, dass eine Trajektorie subjektiv als positiv bewertet wird. Zur Errechnung dieses Gesamtskalenwerts ist dabei das folgende Vorgehen von Nöten. In einem ersten Schritt müssen all solche Attribute mit einer negativen Faktorladung (siehe Tabelle 5) umkodiert werden. D. h., einem Wert von 1 wird nach der Umkodierung ein Wert von 6, einem Wert von 2 eine 5 etc. zugeordnet. In einem zweiten Schritt lässt sich über die Formel (1) der Gesamtskalenwert berechnen.

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

### 3.2.2 Subjektive Fahrleistungsschwellen

Aufbauend auf diesen Ergebnissen lag der zweite Projektschwerpunkt auf der Untersuchung der Schwellen einer subjektiv angemessen empfundenen Fahrleistung. Wie nämlich bereits in der Einleitung und auch in der Zusammenstellung der bestehenden Literatur diskutiert wurde, scheint es Trajektorienbereiche zu geben, die von Fahrern als angemessen oder akzeptabel bewertet werden. Ziel des Arbeitspunktes im abgeschlossenen Projekt war es, einerseits die Schwellen solcher Trajektorienbereiche für die Querführung in ausgewählten Situationen zu bestimmen und andererseits den Einfluss möglicher Personen- und Situationsfaktoren auf diese Schwellenwerte einer subjektiv angemessen empfundenen Fahrleistung zu untersuchen. Zu die-

sem Zweck wurde eine videobasierte empirische Online-Studie mit  $N = 161$  Probanden durchgeführt.

In dieser Studie war es die Aufgabe der Probanden diverse Videosequenzen, in denen eine automatisierte Fahrtrajektorie dargestellt wurde, hinsichtlich der subjektiven Angemessenheit zu bewerten. Es gab insgesamt sechs Fragebogenversionen, in denen jeweils eine andere Umgebungssituation dargestellt wurde. Diese Situationen setzten sich aus ausgewählten Kombinationen der Ausprägungen der folgenden zwei situativen unabhängigen Variablen zusammen:

- Wetter
  - Sonne,
  - Regen.
- Gegenverkehr (Anwesenheit und Verhalten)
  - kein Gegenverkehr,
  - Gegenverkehr mit einem Lateralversatz von 0,0 m von der Fahrstreifenmitte nach links,
  - Gegenverkehr mit einem Lateralversatz von 0,5 m von der Fahrstreifenmitte nach links,
  - Gegenverkehr mit einem Lateralversatz von 1.0 m von der Fahrstreifenmitte nach links.

Jeder Proband bearbeitete eine Fragebogenversion. Somit waren die beiden situativen unabhängigen Variablen (Wetter und Gegenverkehr) Zwischensubjekt-Faktoren. Eine zusätzliche unabhängige Variable war der Lateralversatz des

Ego-Fahrzeugs von der Fahrstreifenmitte nach links:

- Lateralversatz Ego-Fahrzeug von der Fahrstreifenmitte nach links
  - 0,2 m,
  - 0,3 m,
  - 0,4 m,
  - 0,5 m,
  - 0,6 m,
  - 0,7 m,
  - 0,8 m.

Da diese Variable in jeder der Fragebogenversionen vollständig manipuliert wurde, handelte es sich um einen Innersubjekt-Faktor. Zusammengefasst bedeutete dieser Aufbau, dass es pro Fragebogenversion sieben Trajektorien des Ego-Fahrzeugs gab, die in jeweils einer Videosequenz dargestellt wurden und von den Probanden bewertet werden mussten. Bild 8 stellt das Versuchsdesign grafisch dar.

Zwei zusätzliche unabhängige Variablen waren die Zwischensubjekt-Personenfaktoren Fahrerfahrung und Sensation Seeking. Als abhängige Variable diente zum einen eine allgemeine Bewertung der Angemessenheit der jeweiligen Trajektorie (vierstufig) sowie zum anderen der unter Kapitel 3.2.1 entwickelte Fragebogen. Beide abhängigen Variablen wurden für jede der Videosequenzen erhoben.

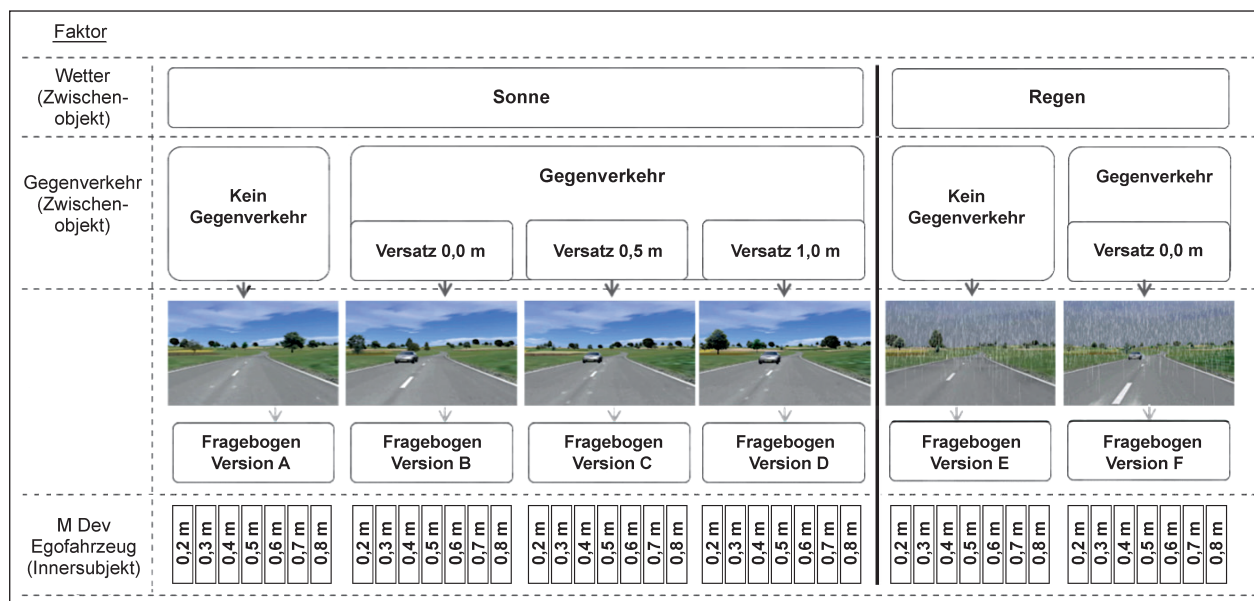


Bild 8: Versuchsdesign der Online-Studie zur Bestimmung akzeptierter Trajektorien im abgeschlossenen Projekt



Die Auswertung der Ergebnisse zeigte, dass sich tatsächlich Schwellenwerte einer subjektiv empfundenen Fahrleistung bestimmen lassen und dass diese Werte in Abhängigkeit der unabhängigen Personen- und Situationsvariablen stark variieren. So akzeptierten die Probanden je nach Szenario zwischen 0,4 m und 0,9 m Lateralversatz. Dabei schien insbesondere der Gegenverkehr (und hier dessen Querversatz) die subjektive Fahrleistungsbewertung entscheidend zu beeinflussen. Personenfaktoren (und hier nur das Sensation Seeking) scheinen ausschließlich in ausgewählten Situationen, in denen es mehr um Komfort als um Sicherheit geht, eine Rolle zu spielen.

### 3.2.3 Fahrerstrategien in Übernahmesituationen des automatisierten Fahrens

Neben diesen zwei Schwerpunkten der subjektiven Fahrleistungsbewertung und -schwellen wurde im abgeschlossenen Projekt als drittes Hauptthema die Existenz und Ausprägung von kompensativen Fahrerstrategien in Übernahmesituationen des automatisierten Fahrens untersucht. Diese Forschung basierte auf der Fragestellung, ob die im nicht-automatisierten nachgewiesenen regulativen Verhaltensweisen von Fahrern zur Sicherstellung einer unfallfreien Fahrt auch im automatisierten Fahren (in Übernahmesituationen) nachgewiesen werden können.

Zu diesem Zweck wurde eine statische Fahrsimulationsstudie mit  $N = 64$  Probanden durchgeführt. Das Szenario der Studie stellte eine automatisierte Staufahrt mit einem SAE Level 3 System dar, bei dem die Probanden dauerhaft mit mindestens einer Hand das Lenkrad umfassen mussten. Darüber hinaus hatten die Probanden zur Aufgabe, über die gesamte Fahrtzeit eine zusätzliche FFT zu bearbeiten. Hierfür wurde die Surrogate Reference Task (SuRT) genutzt. Diese ist eine visuell-manuelle Suchaufgabe, bei der ein Zielreiz unter diversen Distraktoren erkannt und markiert werden muss. Hierzu muss über Eingaben auf den Pfeiltasten einer Tastatur ein Balken auf die gewünschte Zielposition bewegt werden (MATTÉS & HALLÉN 2009). Eine enge Rechtskurve zum Ende der Staufahrt erforderte die Übernahme der Fahraufgabe durch den Probanden. Es wurden drei Takeover Request (TOR)-Bedingungen realisiert, wobei der TOR jeweils eine Sekunde vor der Übernahme dargeboten wurde:

- TOR no (kein Hinweiston, visuelles Übernahmesymbol),
- TOR low (niedrig salienter Hinweiston, visuelles Übernahmesymbol),
- TOR high (hoch salienter Hinweiston, visuelles Übernahmesymbol).

Zusätzlich zu drei automatisierten Staufahrten durchlief jeder Proband drei weitere nicht-automatisierte Staufahrten. In diesen war zwar das System nicht verfügbar und die Probanden waren für die Fahrzeugführung zuständig, allerdings wurden aus Gründen der Vergleichbarkeit trotzdem die TOR-Signale dargeboten. Als abhängige Variablen dienten einerseits die mittlere Spurabweichung und andererseits die Eingaben in der SuRT.

Zur Auswertung der Daten wurden vor allem kontinuierliche Datenanalysen herangezogen, in denen der zeitliche Verlauf der Variablenausprägung untersucht wurde. Hierzu wurden für beide abhängigen Variablen Zeitintervalle von 250 ms gebildet, anhand derer sich die zeitgebundenen Veränderungen der Messdaten analysieren ließen. Als zeitlicher Referenzpunkt wurde hierbei die Übernahme (die Kurve) gewählt. Die Studienergebnisse zeigten, dass in allen drei TOR-Bedingungen im Vergleich zum nicht-automatisierten Fahren im automatisierten Fahren sowohl die Leistung in der Fahraufgabe signifikant besser als auch die Aktivität in der SuRT höher war. Darüber hinaus zeigte sich, dass als Konsequenz auf einen TOR die Aktivität in der FFT im Sinne der kompensativen Fahrerstrategien reduziert wird. Dabei war es so, dass umso höher die Salienz des TOR war, die Adaptation des Verhaltens in der FFT früher stattfand. Bezogen auf die Fahrleistung ließ sich feststellen, dass in der TOR high-Bedingung die besten Fahrleistungen nach einer Übernahmesituation zu finden waren. In dieser Bedingung gab es in diesem Zusammenhang auch eine signifikante Korrelation zwischen der Reduktion in der FFT und der Fahrleistung nach der Übernahme. Hieraus ließ sich schließen, dass nur der TOR high die kompensativen Fahrerstrategien hinlänglich begünstigt, sodass Fahrer die Fahraufgabe nach einer automatisierten Fahrt wieder sicher übernehmen können.

### 3.3 Fazit

Zusammenfassend lässt sich aus den Recherchen des Arbeitspakets 1 schließen, dass bereits eine Vielzahl wissenschaftlicher Quellen im Themenkomplex der subjektiven Fahrleistungsbewertung und der Fahrerstrategien existiert. Diese beschäftigen sich vor allem mit der Idee einer Komfortzone, dem Einfluss des Gegenverkehrs sowie der Wahl einer konkreten Trajektorie. Darüber hinaus scheint der Großteil der empirischen Forschung zum regulativen Fahrerverhalten immer noch im Bereich des nicht-automatisierten Fahrens zu liegen. Spezifische Forschung zum Thema des automatisierten Fahrens in Kombination mit regulativem Fahrerverhalten ist schwierig zu finden. Gleichmaßen ist die Handlungsrelevanz der subjektiv akzeptierten Fahrleistungsschwellen in Hinblick auf Anpassungen in einer FFT bisher scheinbar wenig untersucht. Aus diesem Grund können die empirische Forschung und die daraus zu gewinnenden Erkenntnisse des aktuellen Projekts wichtige Beiträge in diesem Themenbereich leisten. Es können wichtige Schlussfolgerungen bezüglich der Entwicklung und Auslegung automatisierter Systeme gezogen werden.

## 4 Arbeitspaket 2

In Nachfolge zum abgeschlossenen Forschungsprojekt FE 82.0614/2014 diente Arbeitspaket 2 der erweiterten Untersuchung der Schwellenwerte einer subjektiv angemessenen Fahrleistung. Zum einen wurde der Einfluss weiterer Situationsfaktoren auf die subjektive Bewertung von Trajektorien untersucht, zum anderen wurden konkrete Schwellenwerte einer subjektiv angemessen empfundenen Fahrleistung bestimmt.

Zu diesem Zweck wurden in vergleichbarer Herangehensweise zum abgeschlossenen Projekt eine Vor- sowie eine Hauptstudie jeweils im Rahmen einer Online-Befragung durchgeführt. Im Folgenden werden deren Methodik sowie Ergebnisse beschrieben.

### 4.1 Vorstudie

Im Vorlauf zur eigentlichen Hauptstudie, die der Untersuchung und Bestimmung der Schwellenwerte diente, wurde eine kleine Vorstudie durchgeführt.

Ziel dieser Vorstudie war es, herauszufinden, ob das Fahrzeugcockpit als Referenzpunkt einen Einfluss auf die subjektive Fahrleistungsbewertung von Fahrern hat. Die Ergebnisse dieses Versuchs sollten als Indikator dafür dienen, inwiefern eine Verzerrung von Studienergebnissen zur subjektiven Fahrleistungsbewertung zu erwarten ist, wenn Experimente Testmaterial ohne Referenzpunkt verwenden (wie z. B. im abgeschlossenen Forschungsprojekt).

#### 4.1.1 Methode

Zur Durchführung der Vorstudie wurde eine Online-Umfrage mit dem Online-Umfragetool SurveyMonkey® (FINLEY & FINLEY 2017) erstellt. In dieser Befragung bewerteten die Teilnehmer diverse Videosequenzen automatisierter Fahrten aus der Ego-Perspektive hinsichtlich der Angemessenheit der Trajektorie des eigenen Fahrzeugs.

Die Videos wurden mit der Silab Software Version 4.0 (WIVW GmbH, Veitshöchheim, Deutschland) erstellt. Das grundlegende Szenario war eine geradeausführende Landstraße ohne mitfließenden und entgegenkommenden Verkehr. Die Fahrstreifenbreite betrug 3,50 m. Das eigene Fahrzeug hatte in allen Videos eine Breite von 1,67 m und bewegte sich mit einer konstanten Geschwindigkeit von 50 km/h. In den Videos wurde zum einen die Sichtbarkeit des Cockpits als Referenzpunkt (Innersubjekt-Faktor „Referenz“: Referenz vs. keine Referenz) und zum anderen der Lateralversatz des Ego-Fahrzeugs von der Fahrstreifenmitte nach links (Innersubjekt-Faktor „Lateralversatz Ego-Fahrzeug“: 0,2 m vs. 0,7 m) variiert (siehe Bild 9 und Bild 10).

Aus diesem 2×2-Innersubjekt-Design ergaben sich insgesamt vier Videosequenzen, die jeweils eine Dauer von 30 Sekunden hatten. Jedem Probanden wurden alle vier Videosequenzen in randomisierter Reihenfolge dargeboten. Im Anschluss an jedes Video bewerteten die Probanden die Angemessenheit der in den Videos gezeigten automatisierten Fahrt mithilfe einer zehnstufigen Likert-Skala von „gar nicht angemessen“ bis „völlig angemessen“. Dabei wurden die Probanden instruiert, die automatisierte Fahrt aus Sicht der Person auf dem Fahrersitz im Hinblick auf die Position des Fahrzeugs auf der Straße zu bewerten. Des Weiteren wurden die Probanden darauf hingewiesen, dass es keine richtigen oder falschen Antworten gibt, sondern ihr sub-

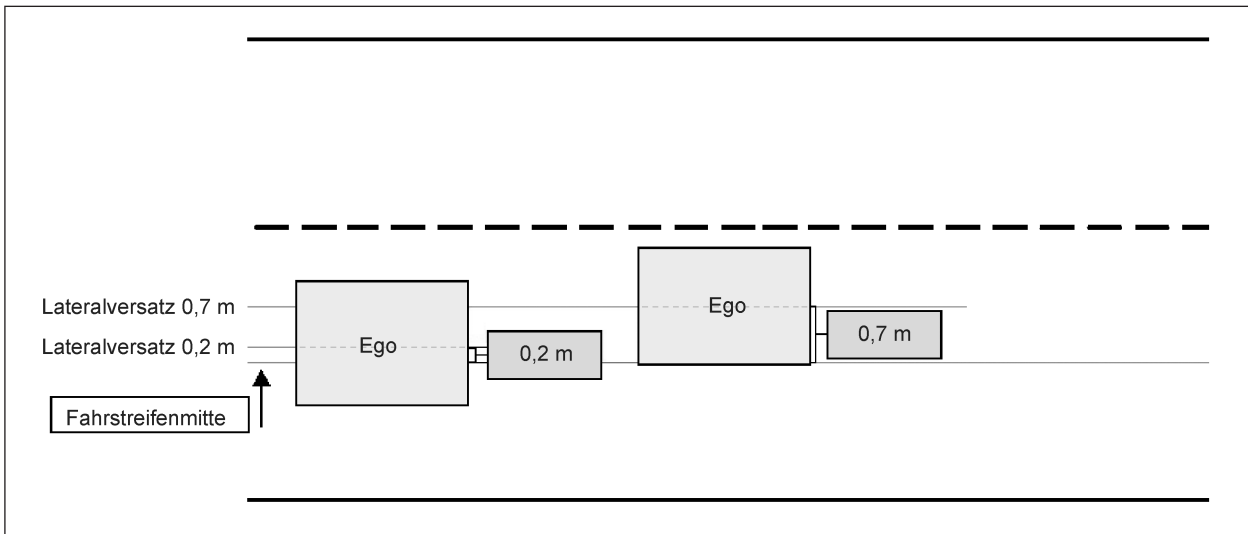


Bild 9: Darstellung der Variation des Innersubjekt-Faktors „Lateralversatz Ego-Fahrzeug“ in der Vorstudie des Arbeitspakets 2

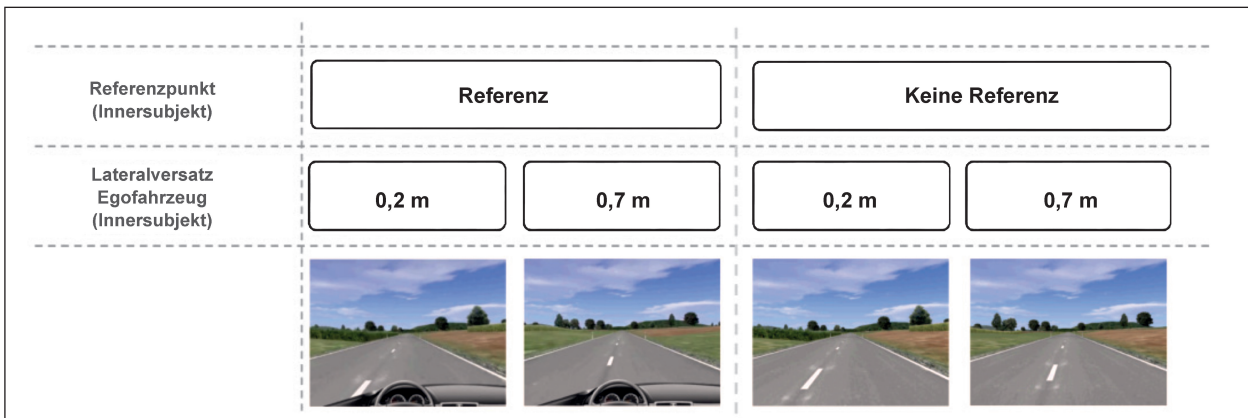


Bild 10: Die vier Versuchsbedingungen im 2x2 Innersubjekt-Design in der Vorstudie des Arbeitspakets 2

jektiver Eindruck der Situation berichtet werden soll. Außerdem wurde auf die Möglichkeit hingewiesen, die Videos beliebig oft abzuspielen.

#### 4.1.2 Stichprobe

Die Befragung wurde durch  $N = 10$  interne Probanden beantwortet. Da diese Befragung ausschließlich einen Vorstudiencharakter hatte, wurden keine weiteren demografischen Werte der Probanden erhoben.

#### 4.1.3 Ergebnisse

Die deskriptiven Statistiken der Angemessenheitsbewertung für alle vier Videosequenzen sind in Bild 11 dargestellt.

Inferenzstatistisch ergab eine univariate ANOVA einen signifikanten Haupteffekt für den Faktor „La-

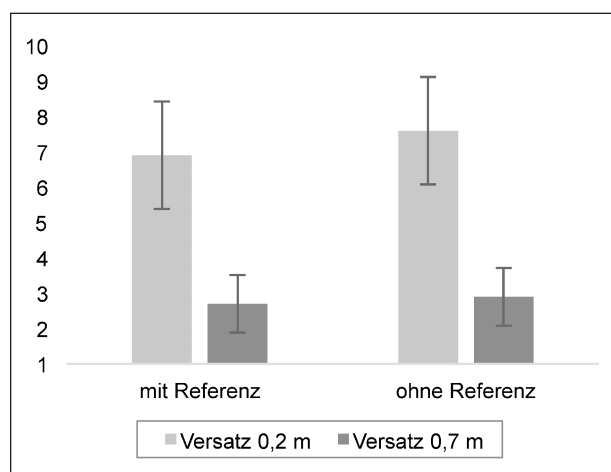


Bild 11: Angemessenheitsbewertung für die vier verschiedenen Videosequenzen in der Vorstudie des Arbeitspakets 2

teralversatz Ego-Fahrzeug“ mit  $F(1,36) = 32.656$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .476$ . Der Faktor „Referenz“ zeigte dagegen keinen signifikanten Effekt, ebenso wenig

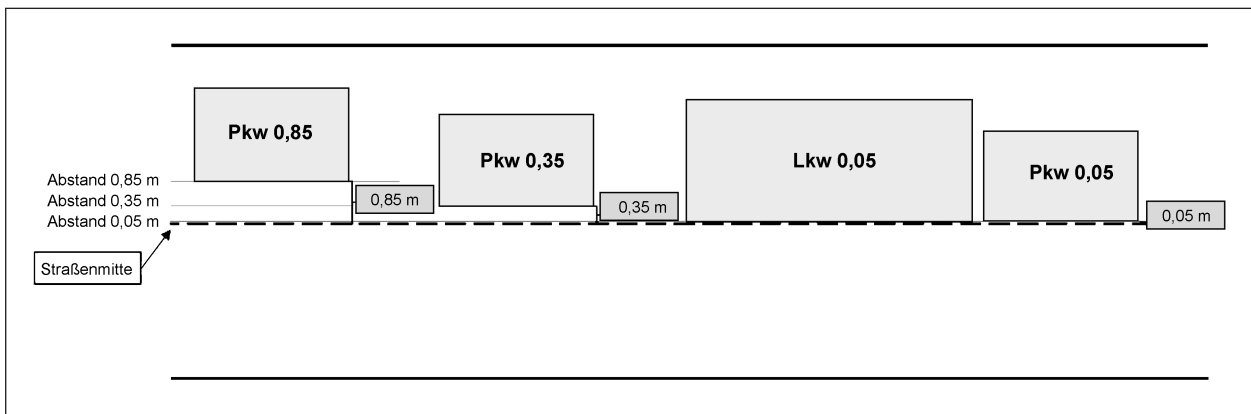


Bild 12: Darstellung der Variation der unabhängigen Variablen „Abstand des Gegenverkehrs von der Straßenmitte“ in der Hauptstudie des Arbeitspakets 2

wie die Interaktion der beiden Faktoren. Dieses Ergebnis weist darauf hin, dass das Fahrercockpit als Referenzpunkt keinen Einfluss auf die subjektive Bewertung der Angemessenheit einer Trajektorie hat. Hieraus lässt sich schlussfolgern, dass im abgeschlossenen Projekt keine Verzerrungen durch das Testmaterial ohne Referenzpunkt entstanden sind und auch die Hauptstudie des aktuellen Projekts ohne Verwendung eines Referenzpunktes durchgeführt werden kann.

## 4.2 Hauptstudie

Das Ziel der vorliegenden Hauptstudie bestand darin, aufbauend auf dem bereits abgeschlossenen Projekt, die Untersuchung der Schwellenwerte einer subjektiv angemessenen Fahrleistung zu erweitern. Dabei sollen zum einen der Einfluss weiterer Situationsfaktoren erforscht und zum anderen konkrete Schwellenwerte bestimmt werden.

### 4.2.1 Methode

Die Durchführung der Hauptstudie wurde durch eine Online-Umfrage mit dem Online-Umfragetool SurveyMonkey® (FINLEY & FINLEY 2017) realisiert. Wie auch in der Vorstudie, war es die Aufgabe der Probanden diverse Videosequenzen automatisierter Fahrten subjektiv zu evaluieren.

Analog zur durchgeführten Vorstudie wurden die Videos mit der Silab Software Version 4.0 (WIVW GmbH, Veitshöchheim, Deutschland) erstellt. Das grundlegende Szenario stellte dabei erneut eine gerade, pro Fahrtrichtung einspurige Landstraße dar. Parallel zur Vorstudie betrug die Fahrstreifenbreite 3,50 m und die Breite des Ego-Fahrzeugs 1,67 m.

In allen Videos war kein mitfließender Verkehr vorhanden.

Es gab insgesamt drei Zwischensubjekt-Faktoren:

- Abstand des Gegenverkehrs von der Straßenmitte (bezogen auf die Außenkante des Gegenverkehrs) (siehe auch Bild 12)
  - kein Gegenverkehr,
  - Abstand 0,85 m,
  - Abstand 0,35 m,
  - Abstand 0,05 m.
- Fahrzeugklasse Gegenverkehr
  - kein Gegenverkehr,
  - Pkw (Breite 1,79 m),
  - Lkw (Breite 2,40 m).
- Geschwindigkeit Ego-Fahrzeug
  - Langsam (50 km/h),
  - Schnell (70 km/h).

Die Ausprägungen dieser unabhängigen Variablen wurden zu neun verschiedenen Fahrscenarien kombiniert (z. B. Abstand Gegenverkehr = 0,85 m, Gegenverkehr = Pkw, Geschwindigkeit = 50 km/h). Es wurden nicht alle möglichen Kombinationen realisiert, sondern ausschließlich besonders interessierende Szenarien ausgewählt. Diese neun Fahrscenarien stellten im weiteren Verlauf die verschiedenen Fragebogenversionen dar (siehe Bild 13). Jeder Proband durchlief nur eins der zusammengestellten Szenarien der Zwischensubjekt-Faktoren. Die Zuteilung der Probanden zu den Fragebogenversionen verlief zufallsverteilt über die Fragebogen-Software.



In jedem dieser Fahrscenarien, d. h. in jeder der Fragebogenversionen, wurde darüber hinaus der folgende Innersubjekt-Faktor mit den entsprechenden Ausprägungen manipuliert (siehe auch Bild 13 und Bild 14):

- Lateralversatz des Ego-Fahrzeugs von der Fahrstreifenmitte (bezogen auf die Mitte des Ego-Fahrzeugs)
  - 0,2 m,
  - 0,3 m,
  - 0,4 m,
  - 0,5 m,
  - 0,6 m,
  - 0,7 m,
  - 0,8 m,
  - 0,9 m.

Für jede Ausprägung des Lateralversatzes des Ego-Fahrzeugs wurde eine Videosequenz erstellt.

Insgesamt wurden also 72 Videos generiert (neun Szenarien à acht Lateralversätze). Jede der Videosequenzen hatte eine Dauer von 30 Sekunden und stellte die Fahrt aus der Perspektive der Person auf dem Fahrersitz dar.

Die Aufgabe der Probanden war die subjektive Evaluation der automatisierten Fahrt im Hinblick auf die Position des eigenen Fahrzeugs auf der Straße. Dabei wurden die Probanden instruiert, möglichst spontan ihre subjektive Einschätzung der Situation abzugeben, dass es weder richtige noch falsche Antworten gebe und dass die Videos beliebig oft wiederholt werden könnten.

Die Bewertung der automatisierten Fahrt im Hinblick auf die Position des Ego-Fahrzeugs auf der Straße wurde anhand von vier Items operationalisiert. Erstens erfolgte die Einordnung der Angemessenheit über ein dichotomes Item (nicht angemessen vs. angemessen). Zweitens wurden die Probanden befragt, ob sie in die automatisierte Fahrt eingreifen würden (ja. vs. nein). Drittens wurde ba-

Abstand Gegenverkehr (Zwischensubjekt)	Kein Gegenverkehr		Abstand 0.85 m		Abstand 0.35 m		Abstand 0.05 m																									
Fahrzeugklasse Gegenverkehr (Zwischensubjekt)	Kein Gegenverkehr		Pkw		Pkw		Lkw	Pkw																								
Geschwindigkeit Ego-Fahrzeug (Zwischensubjekt)	50 km/h	70 km/h	50 km/h	70 km/h	50 km/h	70 km/h	50 km/h	70 km/h	50 km/h																							
	↓		↓		↓		↓		↓																							
	Fragebogen Version A		Fragebogen Version B		Fragebogen Version C		Fragebogen Version D		Fragebogen Version E																							
	Fragebogen Version F		Fragebogen Version G		Fragebogen Version H		Fragebogen Version I																									
Lateralversatz Ego-Fahrzeug (Innersubjekt)	0.2 m	0.3 m	0.4 m	0.5 m	0.6 m	0.7 m	0.8 m	0.9 m	0.2 m	0.3 m	0.4 m	0.5 m	0.6 m	0.7 m	0.8 m	0.9 m	0.2 m	0.3 m	0.4 m	0.5 m	0.6 m	0.7 m	0.8 m	0.9 m	0.2 m	0.3 m	0.4 m	0.5 m	0.6 m	0.7 m	0.8 m	0.9 m

Bild 13: Übersicht über die neun entwickelten Fahrscenarien der Hauptstudie des Arbeitspakets 2

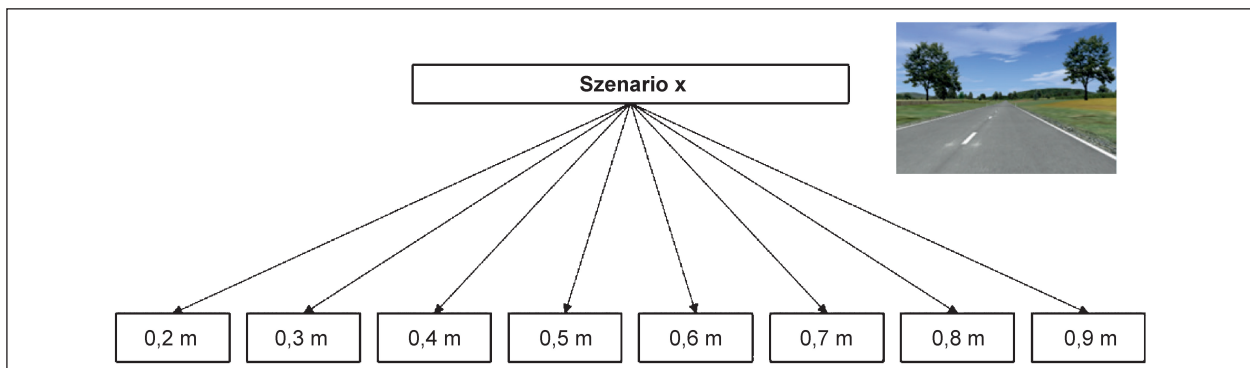


Bild 14: Variation des Innersubjekt-Faktors „Lateralversatz des Ego-Fahrzeugs“ für jedes Fahrscenario in der Hauptstudie des Arbeitspakets 2

sierend auf der Neukum-Skala (NEUKUM, LÜBBE-KE, KRÜGER, MAYSER & STEINLE 2008) eine elf-stufige Komfort-Sicherheits-Skala abgeleitet (siehe Bild 15).

Zusätzlich wurde die als letztes gesehene automatisierte Fahrt durch den im abgeschlossenen Projekt entwickelten Fragebogen zur Erfassung der subjektiven Fahrleistungsbewertung bewertet. Dieses Instrument besteht aus einer Zusammenstellung von 22 Adjektiven (siehe Kapitel 3.2.1). Im Ver-

höchst kritisch	10
kritisch	9
	8
	7
unangenehm	6
	5
	4
angenehm	3
	2
	1
nichts bemerkt	0

Bild 15: Komfort-Sicherheits-Skala

gleich zum abgeschlossenen Projekt wurde die Beantwortungsskala angepasst. Jedes der Items wurde in der aktuellen Studie auf einer sechs-stufigen Likert-Skala von „Trifft überhaupt nicht zu“ bis „Trifft völlig zu“ bewertet. Zusätzlich gab es die Antwortoption „keine Angabe“.

Welches das zuletzt gesehene Video war, ergab sich durch die Fragebogenlogik und das Antwortverhalten der Versuchspersonen. Jeder Proband sah in seiner Fragebogen-Version zuerst das Video mit dem geringsten lateralen Versatz von 0,2 m. In der Folge wurde der Lateralversatz mit jedem Video inkrementell um 0,1 m größer. Sobald ein Proband eine Fahrt als „nicht angemessen“ bewertete, galt dies als Abbruch-Kriterium. Die nachfolgenden Videos wurden nicht mehr präsentiert, da davon ausgegangen wurde, dass ein noch höherer Lateralversatz des Ego-Fahrzeugs ebenfalls als nicht mehr angemessen klassifiziert würde.

#### 4.2.2 Stichprobe

Insgesamt wurde der Online-Fragebogen von 229 Probanden begonnen. Davon wurden  $N = 203$  erfolgreich abgeschlossen (d. h. Abschlussquote von 88,6 %). Die insgesamt 203 Probanden wurden randomisiert auf die neun verschiedenen Fragebogenversionen verteilt (siehe Tabelle 6). Über alle

Fragebogenversion	N	Geschlecht	Alter	Jahre Führerscheinbesitz	Fahrerfahrung (jährlich gefahrene Kilometer)
A – Kein Gegenverkehr, 50 km/h Ego	20	25,0 % weiblich	$M = 36$ ( $SD = 16$ )	$M = 18$ ( $SD = 15$ )	$M = 15.938$ ( $SD = 12.967$ )
B – Kein Gegenverkehr, 70 km/h Ego	20	10,0 % weiblich	$M = 31$ ( $SD = 11$ )	$M = 13$ ( $SD = 11$ )	$M = 12.425$ ( $SD = 7.594$ )
C – Pkw mit Abstand 0,85 m, 50 km/h Ego	26	19,2 % weiblich	$M = 40$ ( $SD = 20$ )	$M = 22$ ( $SD = 20$ )	$M = 13.142$ ( $SD = 8.752$ )
D – Pkw mit Abstand 0,85 m, 70 km/h Ego	20	40,0 % weiblich	$M = 35$ ( $SD = 14$ )	$M = 17$ ( $SD = 14$ )	$M = 14.201$ ( $SD = 13.846$ )
E – Pkw mit Abstand 0,35 m, 50 km/h Ego	20	25,0 % weiblich	$M = 32$ ( $SD = 14$ )	$M = 13$ ( $SD = 13$ )	$M = 22.650$ ( $SD = 31.666$ )
F – Pkw mit Abstand 0,35 m, 70 km/h Ego	26	23,1 % weiblich	$M = 34$ ( $SD = 16$ )	$M = 16$ ( $SD = 15$ )	$M = 22.020$ ( $SD = 34.480$ )
G – Lkw mit Abstand 0,05 m, 50 km/h Ego	23	26,1 % weiblich	$M = 37$ ( $SD = 16$ )	$M = 19$ ( $SD = 16$ )	$M = 14.386$ ( $SD = 11.056$ )
H – Lkw mit Abstand 0,05 m, 70 km/h Ego	28	10,7 % weiblich	$M = 33$ ( $SD = 14$ )	$M = 15$ ( $SD = 13$ )	$M = 15.482$ ( $SD = 8.110$ )
I – Pkw mit Abstand 0,05 m, 50 km/h Ego	20	35,0 % weiblich	$M = 34$ ( $SD = 13$ )	$M = 16$ ( $SD = 13$ )	$M = 11.608$ ( $SD = 10.406$ )

Tab. 6: Verteilung der Probanden auf die neun Fragebogenversionen mit zugehörigen demografischen Eigenschaften in der Hauptstudie des Arbeitspakets 2

neun Fragebogenversionen hinweg waren 23,2 % der Probanden weiblich. Das Durchschnittsalter betrug  $M = 35$  Jahre ( $SD = 15$ ), während die Probanden durchschnittlich 17 Jahre ( $SD = 15$ ) im Besitz einer gültigen Fahrerlaubnis waren. Im Mittel fuhren die Teilnehmer jährlich 15.827 km ( $SD = 18.282$  km). Tabelle 6 beinhaltet die Verteilung der  $N = 203$  Teilnehmer über die diversen Fragebogenversionen sowie die spezifischen demografischen Werte jeder Gruppe.

#### 4.2.3 Ergebnisse

Zur Auswertung der in der Online-Umfrage erhobenen Ergebnisse wurden sowohl deskriptive als auch inferenzstatistische Verfahren angewandt. Neben der deskriptiven Bewertung der Angemessenheit wurde für jedes Szenario ein Schwellenwert einer subjektiv angemessen empfundenen Fahrleistung bestimmt sowie der Zusammenhang zwischen den verschiedenen abhängigen Variablen analysiert.

#### Deskriptive Bewertung der Angemessenheit

Bei der Auswertung der Ergebnisse wurde zunächst die Wahrscheinlichkeit für ein angemessenes Rating für jedes Szenario in Abhängigkeit des Lateralversatzes des Ego-Fahrzeugs auf deskriptiver Basis analysiert. Bild 16 zeigt, dass die Wahrscheinlichkeit eines angemessenen Ratings einer Trajektorie für jedes Szenario mit steigendem Lateralversatz abnimmt.

#### Schwellenwertbestimmung

Hauptziele der aktuellen Online-Studie waren die Bestimmung konkreter Schwellenwerte einer subjektiv angemessen empfundenen Fahrleistung sowie die Untersuchung des Einflusses weiterer Situationsfaktoren auf diese Schwellenwerte. Zur Schwellenwertbestimmung wurde zunächst für jeden Probanden der Ego-Lateralversatz ermittelt, der als „nicht angemessen“ bewertet wurde. Diejenigen Probanden, die auch das letzte Video (Lateralversatz des Ego-Fahrzeugs von 0,9 m) als „angemessen“ ansahen, wurden für die weitere Analyse ausgeschlossen. Nach Ausschluss von somit  $n = 8$  Probanden wurden  $n = 195$  Fälle in die Analyse aufgenommen. Tabelle 7 zeigt die sich hieraus ergebenden Schwellenwerte für die neun getesteten Szenarien. Diese Schwellenwerte sind als der Lateralversatz zu verstehen, ab dem die Trajektorie des Ego-Fahrzeugs als nicht mehr angemessen bewertet wird.

Um zu bestimmen, ob die manipulierten Situationsfaktoren Einfluss auf die subjektive Fahrleistungsbewertung bzw. den subjektiven Schwellenwert haben, wurde eine einfaktorielle ANOVA über die Variablen Fragebogenversion (unabhängige Variable) und Schwellenwert (abhängige Variable) gerechnet. Diese ergab keinen signifikanten Effekt der Variation der Fahrscenarien auf den angegebenen Schwellenwert. D. h., es scheint für die subjektive Fahrleistungsbewertung in den getesteten Szenarien keinen Einfluss zu machen, welche Ausprägung die Situationsfaktoren haben. Daher wurde

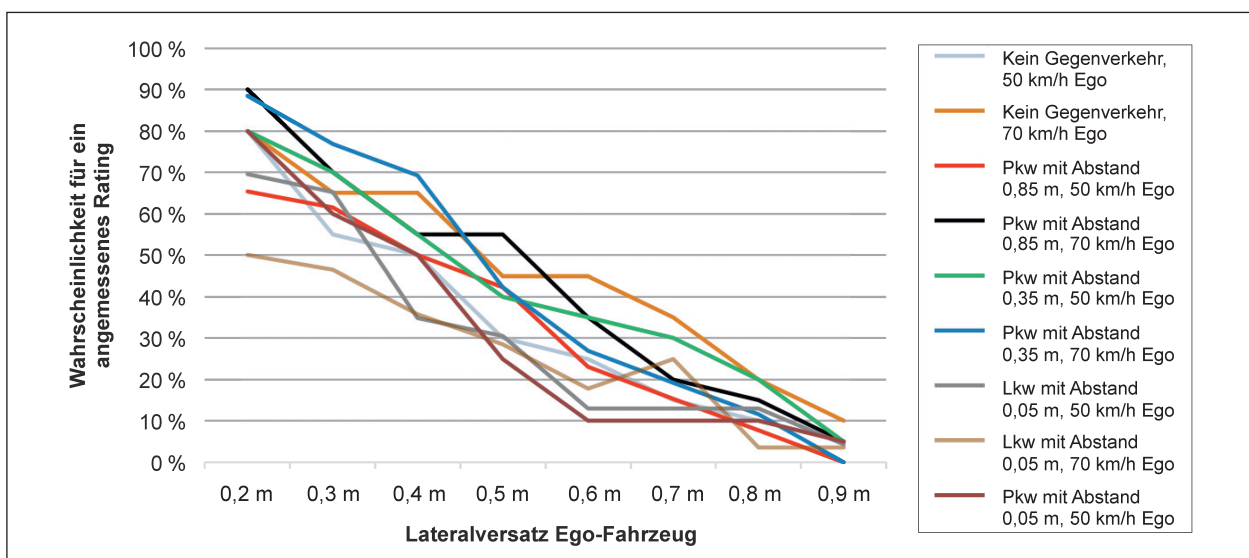


Bild 16: Darstellung der Wahrscheinlichkeit für ein angemessenes Rating in Abhängigkeit des Szenarios in der Hauptstudie des Arbeitspakets 2

Fragebogenversion	Mittelwert (Schwellenwert Lateralversatz Ego-Fahrzeug)	SD
A – Kein Gegenverkehr, 50 km/h Ego	0,44 m	0,22
B – Kein Gegenverkehr, 70 km/h Ego	0,52 m	0,26
C – Pkw mit Abstand 0,85 m, 50 km/h Ego	0,47 m	0,24
D – Pkw mit Abstand 0,85 m, 70 km/h Ego	0,53 m	0,22
E – Pkw mit Abstand 0,35 m, 50 km/h Ego	0,51 m	0,26
F – Pkw mit Abstand 0,35 m, 70 km/h Ego	0,54 m	0,22
G – Lkw mit Abstand 0,05 m, 50 km/h Ego	0,42 m	0,21
H – Lkw mit Abstand 0,05 m, 70 km/h Ego	0,37 m	0,21
I – Pkw mit Abstand 0,05 m, 50 km/h Ego	0,42 m	0,18
Gesamt	0,47 m	0,23

Tab. 7: Schwellenwerte des Lateralversatzes für die neun getesteten Szenarien der Hauptstudie des Arbeitspakets 2

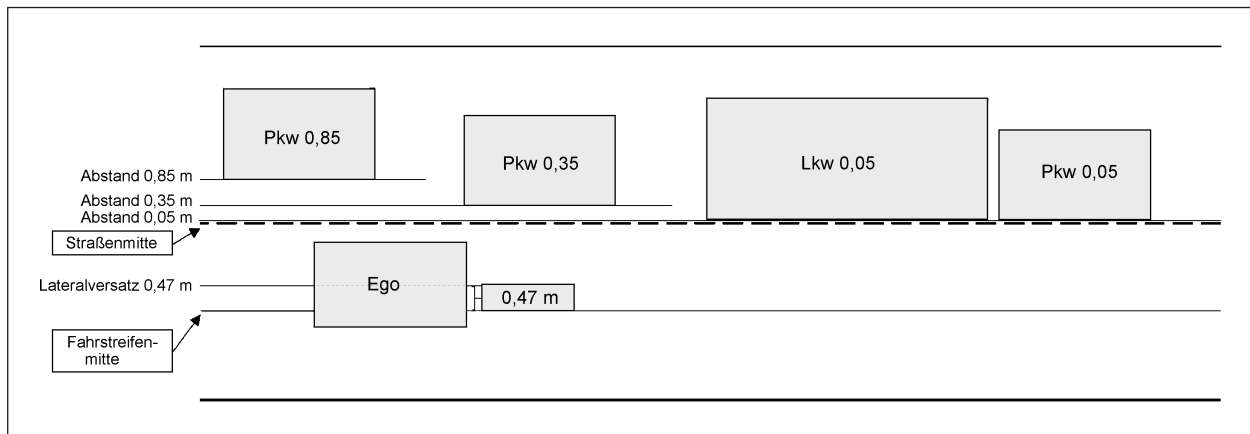


Bild 17: Darstellung des Schwellenwerts im Lateralversatz des Ego-Fahrzeugs in der Hauptstudie des Arbeitspakets 2

über die verschiedenen Szenarien ein gesamter Schwellenwert gebildet, sodass für eine automatisierte Fahrt ein Lateralversatz des Ego-Fahrzeugs von  $M = 0,47$  m ( $SD = 0,23$ ) als kritischer Schwellenwert ermittelt werden konnte (siehe Tabelle 7 und Bild 17).

### Komfort-Sicherheits-Bewertung am Schwellenwert

Eine weitere Analyse beschäftigte sich mit der Frage, inwiefern die Schwellenwerte einer subjektiv angemessen empfundenen Fahrleistung komfort- bzw. sicherheitsrelevant sind. Zu diesem Zweck, wurden die Ratings der Komfort-Sicherheits-Skala beim Schwellenwert jedes Probanden (d. h. der Lateralversatz des Ego-Fahrzeugs, der als „nicht angemessen“ bewertet wurde) betrachtet. Wie bei der vorangegangenen Analyse wurden die  $n = 8$  Probanden aus der Analyse ausgeschlossen, die

keines der Videos als „nicht angemessen“ klassifizierten und für die somit kein Schwellenwert bestimmt werden konnte. Tabelle 8 beinhaltet die deskriptiven Statistiken der Komfort-Sicherheits-Skala am Schwellenwert pro Fragebogenversion.

Die Mittelwerte der Komfort-Sicherheits-Skala pro Szenario wurden mithilfe einer einfaktoriellen ANOVA analysiert. Die Analyse ergab keinen signifikanten Effekt der Fahrsituation. Hieraus lässt sich schlussfolgern, dass sich die Bewertung des Komforts und der Sicherheit nicht zwischen den verschiedenen Fahrszenarien unterscheidet. Insgesamt ergab sich daher ein Mittelwert von  $M = 5,77$  ( $SD = 1,42$ ) über alle Fahrsituationen hinweg, was einer Bewertung von „unangenehm“ entspricht. D. h., sobald eine automatisierte Fahrt als „unangenehm“ bewertet wird (und nicht erst, wenn sie kritisch ist), ist diese für Fahrer nicht mehr angemessen.

Fragebogenversion	Mittelwert (Komfort-Sicherheits-Bewertung am Schwellenwert)	SD
A – Kein Gegenverkehr, 50 km/h Ego	5,42	1,02
B – Kein Gegenverkehr, 70 km/h Ego	5,44	1,50
C – Pkw mit Abstand 0,85 m, 50 km/h Ego	5,38	1,44
D – Pkw mit Abstand 0,85 m, 70 km/h Ego	5,95	1,22
E – Pkw mit Abstand 0,35 m, 50 km/h Ego	5,79	1,36
F – Pkw mit Abstand 0,35 m, 70 km/h Ego	5,96	1,25
G – Lkw mit Abstand 0,05 m, 50 km/h Ego	5,73	1,45
H – Lkw mit Abstand 0,05 m, 70 km/h Ego	6,44	1,53
I – Pkw mit Abstand 0,05 m, 50 km/h Ego	5,63	1,74
Gesamt	5,77	1,42

Tab. 8: Deskriptive Statistiken der Komfort-Sicherheits-Skala am Schwellenwert für jede Fragebogenversion der Hauptstudie des Arbeitspakets 2

**Zusammenhang zwischen den abhängigen Variablen**

Zur Überprüfung des Zusammenhangs zwischen den diversen abhängigen Variablen der Studie (binäres Angemessenheits-Rating, binäres Rating zum Eingriffswunsch, Komfort-Sicherheits-Skala) wurde die Korrelation zwischen ihnen für alle von den Probanden gesehenen Videos untersucht. Dazu wurde die Spearman-Korrelation als inferenzstatistisches Mittel zur Berechnung von Korrelationen non-parametrischer Daten herangezogen. Es ergaben sich signifikante Korrelationen von  $r = .726$  (Angemessenheit\*Eingriffswunsch),  $r = -.663$  (Angemessenheit\*Komfort-Sicherheits-Skala) und  $r = .721$  (Eingriffswunsch\*Komfort-Sicherheits-Skala).

Alle Korrelationen wurden signifikant mit  $p < .001$ . Dieses Ergebnis zeigt, dass die Angemessenheit einer Trajektorie, der Wunsch nach einem Eingriff sowie das subjektive Komfort- und Sicherheitsempfinden stark voneinander abhängig sind. Bild 18 und Bild 19 zeigen darüber hinaus, wie sich die binären Ratings zur Angemessenheit einer Trajektorie und zum Eingriffswunsch in die automatisierte Fahrt zur Komfort-Sicherheits-Skala verhalten. Es sind die Häufigkeiten der verschiedenen Subjektivratings in Relation zueinander abgetragen. Dabei sind prozentuale Häufigkeiten größer als 10 % markiert. Diese beiden Grafiken verdeutlichen, dass die Bewertung der Angemessenheit einer automatisierten Trajektorie nicht ausschließlich für den Komfort, sondern auch für die wahrgenommene Sicherheit

	Nicht angemessen	Angemessen				
10	1,0 % (n = 2)	0 % (n = 0)	„Sicherheitsbereich“	höchst kritisch	10	
9	2,6 % (n = 5)	0 % (n = 0)			kritisch	9
8	5,1 % (n = 10)	0 % (n = 0)				8
7	21,9 % (n = 43)	1,6 % (n = 9)	„Übergangsbereich“	unangenehm	7	
6	26,0 % (n = 51)	1,4 % (n = 8)				6
5	25,0 % (n = 49)	7,3 % (n = 42)				5
4	15,8 % (n = 31)	15,0 % (n = 87)	„Komfortbereich“	angenehm	4	
3	1,5 % (n = 3)	19,9 % (n = 115)				3
2	0,5 % (n = 1)	17,8 % (n = 103)				2
1	0,5 % (n = 1)	19,0 % (n = 110)			1	
0	0 % (n = 0)	18,1 % (n = 105)		nichts bemerkt	0	

Markiert wurden Werte > 10 %

Bild 18: Zusammenhang zwischen dem binären Angemessenheitsrating und der Komfort-Sicherheits-Skala in der Hauptstudie des Arbeitspakets 2



relevant ist. Nicht angemessene Trajektorien werden als unangenehm oder sogar sicherheitskritisch bewertet (siehe Bild 18). Darüber hinaus würden Fahrer vor allem dann in die automatisierte Fahrzeugführung eingreifen, wenn sie ihren Komfortbereich verlassen und die Fahrt als unangenehm bzw. kritisch einstufen (siehe Bild 19).

**Fragebogen zur subjektiven Fahrleistungsbewertung**

Ein letzter Analyseschritt umfasste die Auswertung des im abgeschlossenen Projekt entwickelten Fragebogens zur subjektiven Fahrleistungsbewertung. Gemäß der Fragebogenlogik (siehe Kapitel 4.2.1) wurde dieses 22 Items umfassende Instrument nur für den Schwellenwert einer subjektiv angemessenen empfundenen Fahrleistung (d. h., der Lateralversatz des Ego-Fahrzeugs, der als „nicht angemessen“ bewertet wurde) abgefragt.

Zur Analyse der Daten mussten, wie in Kapitel 3.2.1 beschrieben, zunächst die neun Items umkodiert werden, die negativ auf das Konstrukt laden (bspw. gefährlich, katastrophal, aufregend). Im Vergleich zum abgeschlossenen Projekt beinhaltete der Fragebogen diesmal die zusätzliche Antwortoption „k. A.“ Zur Berechnung eines, wie im abgeschlossenen Projekt vorgeschlagenen, Gesamtskalenwerts musste diese Neuerung beachtet werden. Die Formel zur Berechnung des Gesamtskalenwerts musste insofern angepasst werden, dass nur die tatsächlich beantworteten Items eingeschlossen werden.

Alle Items, bei denen die Antwortoption „k. A.“ gewählt wurde, wurden aus der Berechnung ausgeschlossen. Hieraus ergab sich die neue Formel (2) zur Berechnung des Gesamtskalenwerts:

$$\left( \left( \sum_{i=1}^{N_{bewertet}} Item_i \right) - N_{bewertet} \right) / 0.05 \times N_{bewertet} \quad (2)$$

Analog zur vorangegangenen Auswertung wurden die n = 8 Probanden von der Analyse ausgeschlossen, für die kein Schwellenwert ermittelt werden konnte. Bild 20 enthält die deskriptiven Statistiken aller 22 umkodierten Items des Fragebogens.

Diese deskriptive Übersicht der einzelnen Items zeigt, dass kein Adjektiv verhältnismäßig oft ausgelassen wurde oder auffallend von dem Bewertungsmuster abweicht, sodass alle Adjektive in die Analyse der Daten aufgenommen werden konnten. Dazu wurden die Gesamtskalenwerte für jede Fragebogenversion berechnet (siehe Tabelle 9) und inferenzstatistisch eine einfaktorielle ANOVA über die ermittelten Werte in Abhängigkeit der jeweiligen Bedingung berechnet. Die Ergebnisse zeigten keinen signifikanten Effekt der Fragebogenversion auf den Gesamtskalenwert des Fragebogens, sodass geschlossen werden konnte, dass sich die Ratings nicht zwischen den verschiedenen Fahrscenarien unterschieden. Insgesamt scheint daher der Schwellenwert einer subjektiv akzeptierten Trajektorie auf dem Fragebogen zur Erfassung subjektiver Fahrleistungsbewertung in einem Wertebereich zwischen 37 und 53 zu liegen.

	Eingriff beabsichtigt		Kein Eingriff beabsichtigt				
10	0,8%	(n = 2)	0 %	(n = 0)	„Sicherheitsbereich“	höchst kritisch	10
9	2,0%	(n = 5)	0 %	(n = 0)		kritisch	9
8	3,9 %	(n = 10)	0 %	(n = 0)			8
7	20,5 %	(n = 52)	0 %	(n = 0)			7
6	20,1 %	(n = 51)	1,5 %	(n = 8)	„Übergangsbereich“	unangenehm	6
5	25,2 %	(n = 64)	5,2 %	(n = 27)			5
4	22,4 %	(n = 57)	11,7 %	(n = 61)			4
3	2,8 %	(n = 7)	21,3 %	(n = 111)	„Komfortbereich“	angenehm	3
2	2,0 %	(n = 5)	19,0 %	(n = 99)			2
1	0,4 %	(n = 1)	21,1 %	(n = 110)			1
0	0 %	(n = 0)	20,2 %	(n = 105)			nichts bemerkt
Markiert wurden Werte > 10 %							

Bild 19: Zusammenhang zwischen dem binären Rating zum Eingriffswunsch in die automatisierte Fahrt und der Komfort-Sicherheits-Skala in der Hauptstudie des Arbeitspakets 2

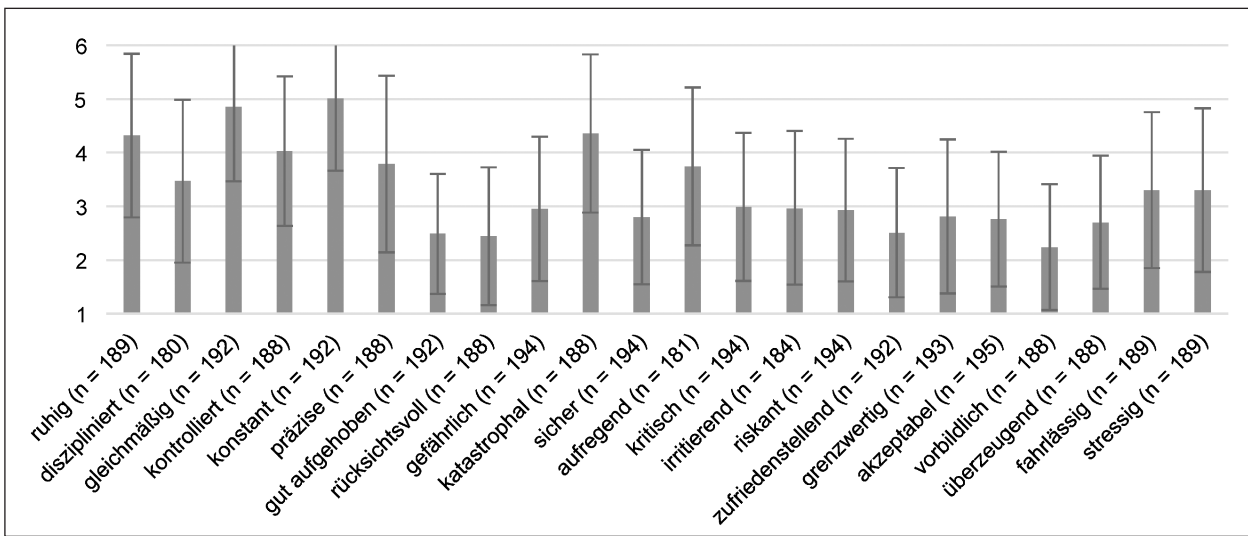


Bild 20: Deskriptive Statistik der 22 umkodierte Items des Fragebogens zur subjektiven Fahrleistungsbewertung in der Hauptstudie des Arbeitspakets

Fragebogenversion	Score der subjektiven Fahrleistungsbewertung
A – Kein Gegenverkehr, 50 km/h Ego	44,61
B – Kein Gegenverkehr, 70 km/h Ego	51,42
C – Pkw mit Versatz 0 m, 50 km/h Ego	52,54
D – Pkw mit Versatz 0 m, 70 km/h Ego	36,90
E – Pkw mit Versatz 0,5 m, 50 km/h Ego	45,36
F – Pkw mit Versatz 0,5 m, 70 km/h Ego	47,71
G – Lkw mit Versatz 0,5 m, 50 km/h Ego	45,66
H – Lkw mit Versatz 0,5 m, 70 km/h Ego	46,19
I – Pkw mit Abstand 0,05 m, 50 km/h Ego	40,61

Tab. 9: Gesamtskalenwert des Fragebogens zur subjektiven Fahrleistungsbewertung für jede Fragebogenversion der Hauptstudie des Arbeitspakets 2

#### 4.2.4 Diskussion

Hauptziel der durchgeführten Online-Studie war die Untersuchung des Einflusses weiterer Situationsfaktoren auf die subjektive Fahrleistungsbewertung sowie die Feststellung konkreter Schwellenwerte einer subjektiv angemessen empfundenen Fahrleistung. Unabhängig vom Fahrscenario bewerteten die Fahrer in der aktuellen Studie Trajektorien ab einem Lateralversatz des Ego-Fahrzeugs von im Mittel 0,47 m als nicht mehr angemessen. Über alle

Szenarien hinweg war der geringste akzeptierte Lateralversatz 0,37 m (im Szenario Lkw mit Abstand 0,05 m, 70 km/h Ego-Fahrzeug). Dieses Ergebnis unterscheidet sich von den Ergebnissen des vorangegangenen Projektes, bei dem die äußeren Faktoren einen Einfluss auf die Ausprägung des subjektiven Schwellenwerts zeigten. Dort akzeptierten Probanden in unkritischen Szenarien (kein Gegenverkehr oder Gegenverkehr ohne Versatz) größere Lateralversätze des eigenen Fahrzeugs, als in kritischen Situationen (Gegenverkehr mit Versatz). Als Erklärung dafür besteht die Möglichkeit, dass die unterschiedliche Instruktion („selber am Steuer“ im abgeschlossenen Projekt oder „automatisierte Fahrt“ im aktuellen Projekt) die Bewertung der Situation beeinflusste, was bisher allerdings nicht empirisch überprüft worden ist. Es ist zu vermuten, dass Fahrer bei einer automatisierten Fahrt ein konservativeres Kriterium für nicht kritische Situationen (kein Gegenverkehr oder Gegenverkehr ohne Versatz) heranziehen, welches dem Kriterium einer kritischen Situation (Gegenverkehr mit Versatz) entspricht.

Auf Grundlage der Befunde der aktuellen Studie stellt sich die fortführende Frage, ob sich die subjektiven Akzeptanzratings verändern, wenn der Gegenverkehr die Mitte der Fahrbahn überschreitet und teilweise auf dem Ego-Fahrstreifen fährt. Dabei wäre es interessant zu klären, ob es einen subjektiven Mindestabstand gibt, der zwischen dem Gegenverkehr und dem eigenen Fahrzeug beibehalten werden muss, damit der Fahrer die Situation als angemessen bewertet. Außerdem wurden bisher nur Fahrscenario auf geraden Strecken betrach-

tet. Es ist nicht bekannt, wie sich andere Situationen, wie beispielsweise Kurvenfahrten, auf das Akzeptanzrating des Fahrers auswirken.

## 5 Arbeitspaket 3

Gemäß dem Projektplan wurden im Arbeitspaket 3 drei zentrale, inhaltliche Ziele verfolgt. Erstens wurde die Gültigkeit der in Arbeitspaket 2 gefundenen subjektiven Fahrleistungsschwellen im Fahrsimulator überprüft. Zweitens wurde die Handlungsrelevanz dieser Fahrleistungsschwellen untersucht. Drittens und letztens wurden erste Schlussfolgerungen zur Notwendigkeit adaptiver Mechanismen in automatisierten Fahrfunktionen diskutiert und abgeleitet.

Für den ersten Punkt wurde eine simulatorbasierte Vorstudie realisiert. Die anderen beiden Punkte wurden im Rahmen einer großangelegten Hauptstudie im Fahrsimulator bearbeitet. Im Folgenden sind für Vor- und Hauptstudie jeweils die Methodik, die Ergebnisse sowie mögliche Schlussfolgerungen dargelegt.

### 5.1 Vorstudie

Wie zuvor bereits erwähnt, verfolgte die Vorstudie das Ziel, die Gültigkeit der in Arbeitspaket 2 gefundenen subjektiven Fahrleistungsschwellen im Fahrsimulator zu überprüfen. Zusätzlich wurde darauf abgezielt, den möglichen Aufbau für die Hauptstudie bereits zu überprüfen, um in Anschluss ggf. Anpassungen am Studiendesign vornehmen zu können.

#### 5.1.1 Methode

Im Folgenden werden sowohl der Aufbau (Fahrsimulator, Szenario, Trajektorien und Fragebogen) als auch der Ablauf der Vorstudie beschrieben.

#### Aufbau

Die Studie fand im statischen Fahrsimulator des Instituts für Straßenwesen (ISAC) der RWTH Aachen University statt. Der Simulator besaß eine Projektionsfläche von 3,40 m × 1,80 m. Die Software war eine Kombination eines ISAC-eigenen Programms und Unity. Als Mock-up wurde ein Fiat Panda (Baujahr 1995) genutzt (siehe auch Bild 21). Das Ego-Fahrzeug hatte eine Breite von 1,67 m.



Bild 21: Statischer Fahrsimulator des ISAC



Bild 22: Fahrszenario des Versuchs im Fahrsimulator des ISAC im Rahmen des Arbeitspakets 3

Die Ergebnisse des Arbeitspakets 2 zeigten, dass sich die subjektive Fahrleistungsbewertung nicht signifikant zwischen den verschiedenen Verkehrsszenarien unterschied. Deshalb wurde für die Fahrsimulationsstudie ein repräsentatives Szenario, welches sich im Nachgang auch gut im Arbeitspaket 4 auf der Teststrecke umsetzen lässt, ausgewählt. Die Probanden fuhren automatisiert auf einer zweispurigen Landstraße mit einer jeweiligen Fahrstreifenbreite von 3,50 m (siehe Bild 22). Die automatisierte Fahrfunktion war in der Lage, Brems-, Beschleunigungs- und Lenkmanöver eigenständig durchzuführen. Die Aktivierung der Funktion erfolgte über das Betätigen der Lichthupe. Über den Streckenverlauf wechselten sich leicht kurvige und geradeausführende Streckenpassagen ab. Die Geschwindigkeit wurde über Verkehrsschilder auf 50 km/h begrenzt. Diese Geschwindigkeit wurde vom System während der Fahrt kontinuierlich gehalten. In Anlehnung an die Ergebnisse des Arbeitspakets 2 wurde für die Trajektorie des Ego-Fahrzeugs als unabhängige Variable der Lateralversatz von Fahrstreifenmitte nach links (bezogen auf die Mitte des Ego-Fahrzeugs) manipuliert (siehe auch Bild 23). Es wurden zwei Faktorausprägungen realisiert:

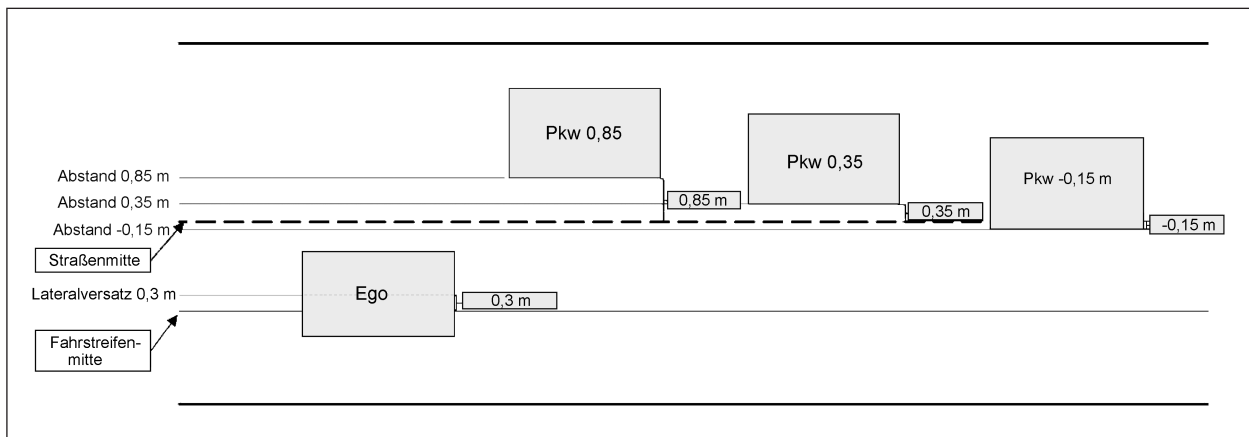


Bild 23: Position des Ego-Fahrzeugs und des Gegenverkehrs in der Studie des Arbeitspakets 3

- 0,3 m (kleiner als der niedrigste Grenzwert aller erhobenen Fragebogenversionen im Arbeitspaket 2),
- 0,4 m (zusätzlicher Vergleichswert).

Es gab keinen mittfließenden Verkehr, aber ein entgegenkommendes Fahrzeug (Pkw mit einer Breite von 1,79 m). Dieses entgegenkommende Fahrzeug wurde als weitere unabhängige Variable folgendermaßen manipuliert: Je nach Faktorausprägung hatte der entgegenkommende Pkw einen Abstand zur Straßenmitte von entweder

- 0,85 m (Szenario aus Arbeitspaket 2),
- 0,35 m (Szenario aus Arbeitspaket 2),
- -0,15 m (zusätzliches Szenario).

Die Ausprägung -0,15 m wurde als dritte Faktorausprägung in das Studiendesign aufgenommen, da sie als kritischer im Vergleich zu den anderen beiden Situationen angenommen wurde. Ausgehend von der Dateninterpretation im Arbeitspaket 2, wurde erwartet, dass diese Situation, in der sich der Gegenverkehr teilweise auf dem Ego-Fahrstreifen bewegte, eine andere subjektive Bewertung hinsichtlich der Fahrleistungsschwelle und somit in Folge eine andere Handlungsrelevanz auslösen würde (d. h., die Probanden würden eingreifen wollen).

Bei beiden unabhängigen Variablen handelte es sich um Innersubjekt-Faktoren, sodass sich ein 2×3 Innersubjekt-Design mit sechs Kombinationen pro Proband ergab. Jede dieser Kombinationen wurde auf einer ca. fünf Kilometer langen Strecke realisiert. Es wurde blockweise der Faktor des Versatzes des Ego-Fahrzeugs zwischen den Probanden ausbalanciert. Innerhalb der beiden Blöcke erfolgte eine standardisierte Abfolge des Gegenverkehrs, in

der sich der Abstand des Gegenverkehrs schrittweise verringerte.

Die automatisierten Fahrten wurden über vier Subjektivfragen bewertet. Erstens wurde die Angemessenheit der automatisierten Fahrt insgesamt im Hinblick auf die Position des Ego-Fahrzeugs auf der Straße bewertet (angemessen vs. nicht angemessen). Zweitens wurde erfragt, ob der Proband in die automatisierte Fahrzeugführung eingegriffen hätte (ja vs. nein). Drittens wurde überprüft, inwiefern ein Eingriff auch in einer realen Fahrsituation erfolgt wäre (ja vs. nein). Viertens wurde erneut die Komfort-Sicherheits-Skala aus dem Arbeitspaket 2 angewendet.

### Ablauf

Insgesamt nahm die Vorstudie pro Proband ca. 30 Minuten in Anspruch. Die Durchführung erfolgte Anfang Januar 2018. Nach der Begrüßung unterzeichnete jeder Proband die Datenschutz- sowie Geheimhaltungserklärung und füllte eine (sozio-)demografische Vorbefragung aus. Anschließend instruierte der Versuchsleiter, dass der Proband verschiedene automatisierte Fahrten erleben und anschließend bewerten würde.

Für den Versuch selber nahm der Proband auf dem Fahrersitz, der Versuchsleiter auf dem Beifahrersitz Platz. Der Versuchsleiter instruierte die Fahrzeugbedienung sowie die Funktionsweise und Fähigkeiten des automatisierten Systems. Der Proband wurde gebeten, das System direkt nach Start der Simulation zu aktivieren, sodass das System bereits die Beschleunigung des Fahrzeugs übernahm.

Insgesamt erlebte jeder Proband gemäß dem Studiendesign sechs Fahrten, in denen jeweils eine

Kombination der beiden unabhängigen Variablen (Lateralversatz Ego-Fahrzeug und Abstand Gegenverkehr) realisiert wurde. Zu drei bestimmten Zeitpunkten stellte der Versuchsleiter dem Probanden die Fragen zur subjektiven Wahrnehmung der automatisierten Fahrt. Diese Zeitpunkte waren:

- Vor Erscheinen des Gegenverkehrs (d. h. ohne Gegenverkehr),
- bei Erscheinen des Gegenverkehrs (4,4 Sekunden vor Passieren des Gegenverkehrs),
- nach Passieren des Gegenverkehrs.

Zu diesen Zeitpunkten wurde die Simulation bei jeder der sechs Fahrten pausiert und der Versuchsleiter führte die Subjektivbefragung durch. Nach Abschluss dieser lief die Simulation bis zum nächsten Befragungszeitpunkt weiter. Da sich die Situationen vor Erscheinen des Gegenverkehrs zwischen den verschiedenen Faktorstufen des Abstands des Gegenverkehrs nicht unterschieden (bis zu diesem Zeitpunkt gab es jeweils noch keinen Gegenverkehr), wurde diese Situation für beide Ego-Fahrzeug-Trajektorien (0,3 m und 0,4 m Lateralversatz) jeweils nur beim Abstand 0,85 m abgefragt.

### 5.1.2 Hypothesen

Wie zuvor erwähnt, diente die Vorstudie dem inhaltlichen Ziel, die Gültigkeit der in Arbeitspaket 2 gefundenen subjektiven Fahrleistungsschwellen zu überprüfen. Zusätzlich hatte die Vorstudie das Ziel, die Parameter der Hauptstudie zu überprüfen und final auszuwählen.

Ausgehend von den Ergebnissen des Arbeitspakets 2 wurden deshalb die in Tabelle 10 aufgelisteten Annahmen generiert und anschließend empirisch überprüft. Die Erfassung, inwiefern eine Fahrt als

(nicht) akzeptabel eingestuft wurde, erfolgte über die in Kapitel 5.1.1 berichteten Subjektivfragen.

### 5.1.3 Stichprobe

Insgesamt nahmen  $N = 10$  interne Probanden ( $n = 3$  weiblich) an der Vorstudie teil. Bei keinem der Probanden lagen unkorrigierte Seh- oder Hörbeeinträchtigungen vor. 90 % der Teilnehmer hatten die deutsche Nationalität, ein Teilnehmer war deutsch-amerikanisch. Im Mittel waren die Teilnehmer 24 Jahre alt ( $SD = 2$ ) und besaßen seit 8 Jahren den Führerschein ( $SD = 2$ ). Die jährliche Kilometerleistung lag bei  $M = 5.900$  km ( $SD = 3.688$ ). Diese Kilometer verteilten sich zu 48 % auf Autobahn, zu 32 % auf die Stadt und zu 20 % auf die Landstraße. 70 % der Teilnehmer gaben an, bereits Erfahrung mit Assistenzsystemen (Parkassistenz, ACC und Spurhalteassistenz) zu haben.

### 5.1.4 Ergebnisse

Zur Überprüfung der unter Kapitel 5.1.2 gemachten Annahmen wurden die Subjektivfragen auf deskriptiver Basis über alle Versuchspersonen ausgewertet. Tabelle 11 beinhaltet die prozentuale Verteilung der Angemessenheitsbewertung. In der Tabelle sind die Bewertungen separat für alle Ego-Lateralversätze, Abstände des Gegenverkehrs und Befragungszeitpunkte aufgelistet. Tabelle 12 stellt in gleicher Weise dar, wie viele Probanden prozentual einen Eingriff in die automatisierte Fahrzeugführung beabsichtigen würden. In Tabelle 13 sind die Wahrscheinlichkeiten für einen gewünschten bzw. beabsichtigten Eingriff in die Fahrzeugführung im Rahmen einer Realfahrt abgetragen. Tabelle 14 schließlich, stellt die Mittelwerte der Komfort-Sicherheits-Skala dar.

Lateralversatz des Ego-Fahrzeugs von der Fahrstreifenmitte nach links	Abstand Gegenverkehr	Vor Erscheinen des Gegenverkehrs (d. h. ohne Gegenverkehr)	Bei Erscheinen des Gegenverkehrs (4,4 s vor Passieren)	Nach Passieren des Gegenverkehrs
0,3 m	0,85 m	ok	ok	ok
	0,35 m		ok	ok
	-0,15 m		nicht ok	nicht ok
0,4 m	0,85 m	ok	ok	ok
	0,35 m		ok	ok
	-0,15 m		nicht ok	nicht ok

Tab. 10: Zu überprüfende Annahmen in der Vorstudie des Arbeitspakets 3



Lateralversatz des Ego-Fahrzeugs von der Fahrstreifenmitte nach links	Abstand Gegenverkehr	Vor Erscheinen des Gegenverkehrs (d. h. ohne Gegenverkehr)	Bei Erscheinen des Gegenverkehrs (4,4 s vor Passieren)	Nach Passieren des Gegenverkehrs
0,3 m	0,85 m	90 % angemessen	90 % angemessen	90 % angemessen
	0,35 m		90 % angemessen	90 % angemessen
	-0,15 m		60 % angemessen	20 % angemessen
0,4 m	0,85 m	70 % angemessen	70 % angemessen	70 % angemessen
	0,35 m		70 % angemessen	70 % angemessen
	-0,15 m		60 % angemessen	20 % angemessen

Tab. 11: Bewertung der Angemessenheit in der Vorstudie des Arbeitspakets 3

Lateralversatz des Ego-Fahrzeugs von der Fahrstreifenmitte nach links	Abstand Gegenverkehr	Vor Erscheinen des Gegenverkehrs (d. h. ohne Gegenverkehr)	Bei Erscheinen des Gegenverkehrs (4,4 s vor Passieren)	Nach Passieren des Gegenverkehrs
0,3 m	0,85 m	0 % Eingriff beabsichtigt	0 % Eingriff beabsichtigt	0 % Eingriff beabsichtigt
	0,35 m		20 % Eingriff beabsichtigt	30 % Eingriff beabsichtigt
	-0,15 m		50 % Eingriff beabsichtigt	90 % Eingriff beabsichtigt
0,4 m	0,85 m	0 % Eingriff beabsichtigt	20 % Eingriff beabsichtigt	20 % Eingriff beabsichtigt
	0,35 m		20 % Eingriff beabsichtigt	50 % Eingriff beabsichtigt
	-0,15 m		50 % Eingriff beabsichtigt	90 % Eingriff beabsichtigt

Tab. 12: Wahrscheinlichkeit eines beabsichtigten/gewünschten Eingriffs in die automatisierte Fahrzeugführung in der Vorstudie des Arbeitspakets 3

Lateralversatz des Ego-Fahrzeugs von der Fahrstreifenmitte nach links	Abstand Gegenverkehr	Vor Erscheinen des Gegenverkehrs (d. h. ohne Gegenverkehr)	Bei Erscheinen des Gegenverkehrs (4,4 s vor Passieren)	Nach Passieren des Gegenverkehrs
0,3 m	0,85 m	0 % Eingriff beabsichtigt	10 % Eingriff beabsichtigt	0 % Eingriff beabsichtigt
	0,35 m		30 % Eingriff beabsichtigt	50 % Eingriff beabsichtigt
	-0,15 m		60 % Eingriff beabsichtigt	90 % Eingriff beabsichtigt
0,4 m	0,85 m	0 % Eingriff beabsichtigt	30 % Eingriff beabsichtigt	20 % Eingriff beabsichtigt
	0,35 m		30 % Eingriff beabsichtigt	50 % Eingriff beabsichtigt
	-0,15 m		50 % Eingriff beabsichtigt	90 % Eingriff beabsichtigt

Tab. 13: Wahrscheinlichkeit eines beabsichtigten/gewünschten Eingriffs in die automatisierte Fahrzeugführung in einer realen Fahrsituation in der Vorstudie des Arbeitspakets 3

Lateralversatz des Ego-Fahrzeugs von der Fahrstreifenmitte nach links	Abstand Gegenverkehr	Vor Erscheinen des Gegenverkehrs (d. h. ohne Gegenverkehr)	Bei Erscheinen des Gegenverkehrs (4,4 s vor Passieren)	Nach Passieren des Gegenverkehrs
0,3 m	0,85 m	1,8	2,0	2,2
	0,35 m		3,1	3,6
	-0,15 m		4,6	7,0
0,4 m	0,85 m	2,9	3,4	3,3
	0,35 m		3,4	3,9
	-0,15 m		4,7	7,3

Tab. 14: Bewertung der Komfort-Sicherheits-Skala in der Vorstudie des Arbeitspakets 3

### 5.1.5 Diskussion und Schlussfolgerungen für die Hauptstudie

Die Vorstudie diente dem Zweck, die Gültigkeit der in Arbeitspaket 2 gefundenen subjektiven Fahrleistungsschwellen im Fahr Simulator zu überprüfen. Außerdem sollten Erkenntnisse hinsichtlich des Designs der Hauptstudie gewonnen werden.

Hinsichtlich der unabhängigen Variable des Lateralversatzes des Ego-Fahrzeugs lassen sich aufbauend auf den Ergebnissen die folgenden Schlussfolgerungen ableiten. Vor Erscheinen des Gegenverkehrs wurde eine Trajektorie mit einem Ego-Lateralversatz von 0,3 m zu 90 % als angemessen bewertet. Bei einem Ego-Lateralversatz von 0,4 m lag die Quote bei 70 % (siehe Tabelle 11). Des Weiteren würden Fahrer bei beiden Ego-Trajektorien vor Erscheinen des Gegenverkehrs nicht in die Fahrzeugführung eingreifen (siehe Tabelle 12 und Tabelle 13). Mit Blick auf die Ergebnisse der Online-Studie des Arbeitspakets 2 lässt sich also insgesamt sagen, dass die Resultate sich decken. Da die Angemessenheitsbewertung für den Lateralversatz von 0,3 m besser ausfiel als für 0,4 m (siehe Tabelle 11), wird der erstere für die Hauptstudie genutzt, da in diesem Fall davon ausgegangen werden kann, keine Handlungsrelevanz bei Abwesenheit einer kritischen Fahrsituation zu erzeugen.

Auch hinsichtlich des Abstands des Gegenverkehrs von der Straßenmitte lassen sich einige Schlussfolgerungen ziehen. Bei den unkritischen Gegenverkehrsszenarien (Abstand 0,85 m und 0,35 m) wurde ein Lateralversatz des Ego-Fahrzeugs von 0,3 m bei Erscheinen und nach Passieren des Gegenverkehrs als angemessen bzw. angenehm bewertet (siehe Tabelle 11 und Tabelle 14). Die Probanden würden (eher) nicht in die Fahrzeugführung eingreifen (siehe Tabelle 12 und Tabelle 13). Für die getesteten, unkritischen Gegenverkehrsszenarien decken sich die Ergebnisse somit mit denen der Online-Studie aus Arbeitspaket 2. Beim kritischen Gegenverkehrsszenario (Abstand -0,15 m) wurde ein Lateralversatz des Ego-Fahrzeugs von 0,3 m nach Passieren des Gegenverkehrs zu 80 % als nicht angemessen bewertet (siehe Tabelle 11). 90 % der Probanden würden in die Fahrzeugführung eingreifen (siehe Tabelle 12 und Tabelle 13). Im gleichen Szenario zeigte sich bei Erscheinen des Gegenverkehrs bereits die Tendenz, dass dieses Szenario von den Probanden bei/nach Passieren als nicht angemessen und kritisch bewertet wurde (siehe Tabelle 11 bis Tabelle 14). Das Gegenverkehrs-

szenario -0,15 m scheint also ausreichend Kritikalität zu bieten, sodass es für die Untersuchung der Handlungsrelevanz der Fahrleistungsschwellen in der Hauptstudie genutzt werden kann. Des Weiteren scheint der gewählte Zeitpunkt für die Befragung bei Erscheinen des Gegenverkehrs (4,4 Sekunden vor Passieren des Gegenverkehrs) ein guter Zeitpunkt zu sein, um Probanden in der Hauptstudie auf eine mögliche kritische Fahrsituation aufmerksam zu machen.

## 5.2 Hauptstudie

Im Nachgang zur Vorstudie fand die eigentliche Hauptstudie statt. In dieser sollte die Handlungsrelevanz der subjektiven Fahrleistungsschwellen untersucht und erste Schlussfolgerungen zur Notwendigkeit adaptiver Mechanismen in automatisierten Fahrfunktionen gezogen werden. Im Folgenden werden die Methodik, die Hypothesen, die Stichprobe und die Ergebnisse beschrieben sowie anschließend mögliche Schlussfolgerungen diskutiert.

### 5.2.1 Methode

Wie bei der Vorstudie werden in den folgenden Kapiteln der Aufbau sowie der Ablauf der Hauptstudie beschrieben. Es wurden dabei die grundlegenden Aspekte aus der Vorstudie übernommen.

### Aufbau

Wie auch in der Vorstudie wurde für die Durchführung der Hauptstudie der statische Fahr Simulator des ISAC der RWTH Aachen University genutzt. Das grundlegende Fahrszenario entsprach dem der Vorstudie. Die automatisierte Fahrfunktion besaß dieselben Fähigkeiten (eigenständige Durchführung von Brems-, Beschleunigungs- und Lenkmanövern). Sie wurde insofern spezifiziert, als dass das System nicht in der Lage war, Hindernissen auf der Fahrbahn, wie z. B. entgegenkommenden Fahrzeugen oder Baustellen, auszuweichen. Fahrer mussten dementsprechend bei Bedarf übernahmebereit sein. Bei Erscheinen eines solchen Hindernisses wies ein 4,4 Sekunden vorgelagerter Hinweis den Fahrer auf das Objekt hin. Dieser Hinweis war keine zwingende Aufforderung zur Übernahme der Fahrzeugführung, sondern die Fahrer mussten entscheiden, inwiefern sie einen Eingriff als notwendig erachteten. Die automatisierte Fahrzeugführung konnte übersteuert werden, indem

entweder ein Pedal betätigt wurde oder ein Lenkradeinschlag erfolgte. Eine Reaktivierung des Systems war mittels Betätigung der Lichthupe möglich.

Ausgehend von den Ergebnissen der Vorstudie fuhr das Ego-Fahrzeug bei aktiver Automation mit einem konstanten Lateralversatz von 0,3 m von der Fahrstreifenmitte nach links (bezogen auf die Mitte des Ego-Fahrzeugs). Als unabhängige Variable wurden, wie in der Vorstudie, drei Gegenverkehrssituationen realisiert: 0,85 m / 0,35 m / -0,15 m Abstand des entgegenkommenden Pkw zur Straßenmitte (siehe Bild 23). Dabei wurden die Situationen Abstand 0,85 m und 0,35 m gemäß der Vorstudie als unkritische Situationen klassifiziert. Die Situation Abstand -0,15 m

wurde als kritisch eingestuft. Darüber hinaus wurde eine vierte Zusatzsituation realisiert. In dieser hatte der Gegenverkehr auch einen Abstand von -0,15 m zur Straßenmitte, am rechten Rand der Ego-Fahrspur befanden sich zusätzlich noch Warnbaken mit einem Abstand von 0,70 m vom rechten Fahrbahnrand (siehe Bild 24). Bild 25 zeigt alle vier Gegenverkehrssituationen. Jeder Proband erlebte alle vier Ausprägungen dieser unabhängigen Variablen (Innersubjekt-Faktor).

Der zeitliche Ablauf einer solchen Gegenverkehrssituation konnte in die zwei Zeiträume „Vor Erscheinen des Gegenverkehrs“ und „Ab Erscheinen des Gegenverkehrs“ unterteilt werden. Unter dem Zeit-

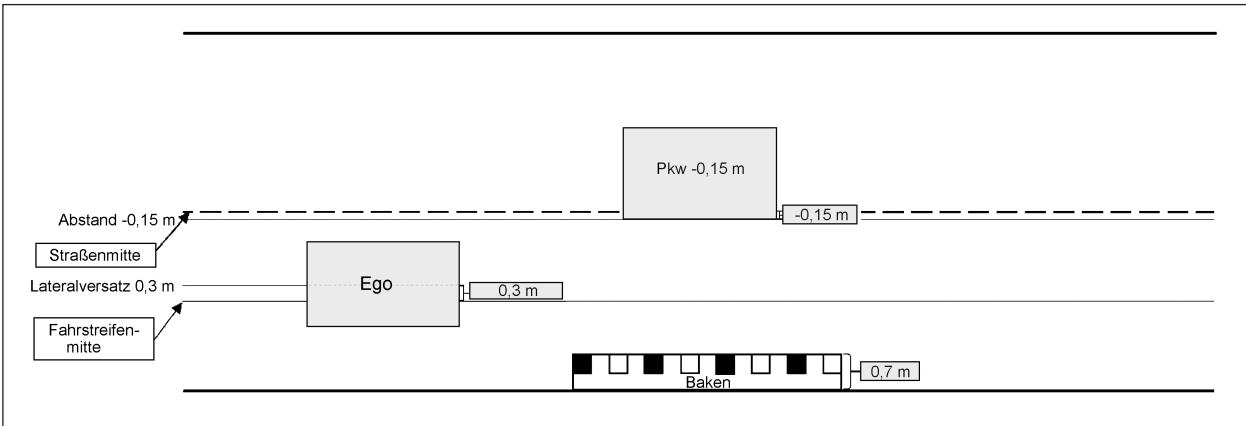


Bild 24: Zusätzliche Gegenverkehrssituation (Abstand -0,15 m + Bake) in der Hauptstudie des Arbeitspakets 3

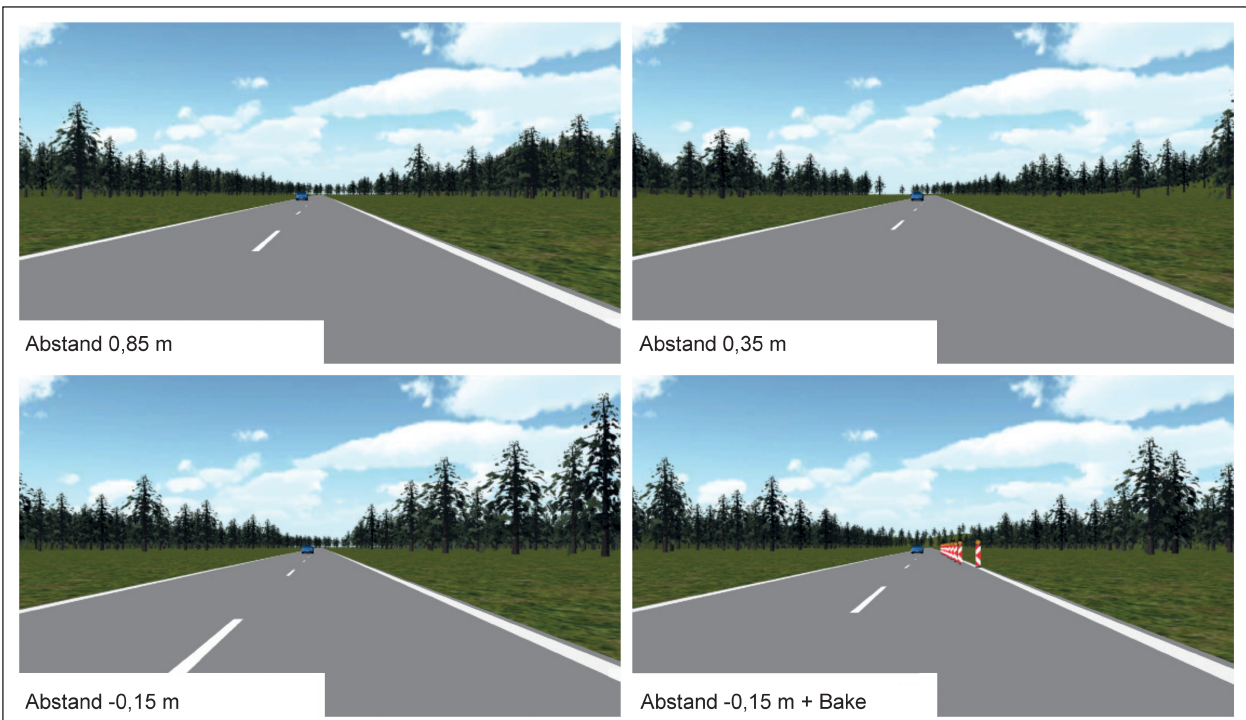


Bild 25: Vier Gegenverkehrssituationen in der Hauptstudie des Arbeitspakets 3 im Fahrsimulator des ISAC. Anmerkung: Die Bezeichnung „Abstand“ bezieht sich auf den Abstand des Gegenverkehrs zur Straßenmitte

raum „Vor Erscheinen des Gegenverkehrs“ wurde hierbei die Zeit vor dem Hinweiston verstanden, zu der noch kein Gegenverkehr ersichtlich war (siehe Bild 26). Somit unterschied sich die automatisierte Fahrt im Zeitraum „Vor Erscheinen des Gegenverkehrs“ nicht zwischen den vier Gegenverkehrssituationen. Insofern kann dieser Zeitraum als identisches Unterszenario der vier Gegenverkehrssituationen verstanden werden, das jeweils subjektiv gleich wahrgenommen werden sollte. Der Zeitraum „Ab Erscheinen des Gegenverkehrs“ begann, sobald der Gegenverkehr ersichtlich wurde, d. h. zum Zeitpunkt des Hinweistons.

Zusätzlich zur Fahraufgabe bearbeiten die Probanden zu bestimmten Zeitpunkten der Fahrt eine fahrfremde Tätigkeit (FFT). Für den aktuellen Versuch wurde, in Anlehnung an das abgeschlossene Forschungsprojekt FE 82.0614/2014, die Surrogate Reference Task (SuRT, MATTES & HALLÉN 2009) ausgewählt. Diese ist eine standardisierte visuell-manuelle Suchaufgabe, in der der Proband einen Zielreiz (großer weißer Kreis) unter 35 Distraktoren (kleinere weiße Kreise) identifizieren muss. Hierzu muss ein grauer Balken auf die Position des Zielreizes bewegt und anschließend bestätigt werden (siehe Bild 27). Nach einer Bestätigung folgt umgehend eine neue Anordnung der Kreise. Das Größenverhältnis von Zielreiz zu Distraktoren war



Bild 26: Unterszenario „Vor Erscheinen des Gegenverkehrs“ der vier Gegenverkehrssituationen in der Hauptstudie des Arbeitspakets 3 im Fahrsimulator des ISAC

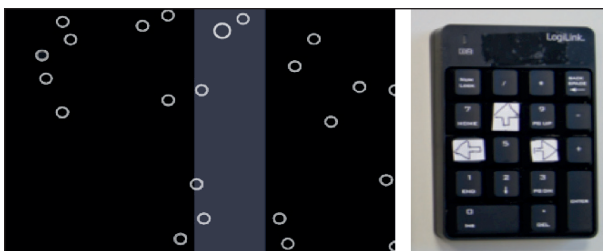


Bild 27: Bildschirmausschnitt der SuRT (links); Nummernblock (rechts) in der Hauptstudie des Arbeitspakets 3

150 zu 125. Die Aufgabe wurde im aktuellen Versuch auf einem sieben Zoll LCD-Display (Faytech), das oberhalb der Mittelkonsole auf Höhe des Lenkrads montiert war, dargestellt. Ein Nummernblock (Keypad ID0120, LogiLink) wurde zur Steuerung (Bewegung des grauen Balkens) genutzt. Der Nummernblock wurde auf der Mittelkonsole positioniert. Mit den Tasten „4 / links“ und „6 / rechts“ konnten die Probanden den grauen Balken seitlich auf dem Bildschirm verschieben. Zur Bestätigung der gewählten Position diente die Taste „8 / oben“.

Jede der Fahrsituationen wurde subjektiv mittels eines Fragebogens von den Probanden evaluiert. Dieser Fragebogen war für alle Situationen identisch. Als Kontrollfrage wurde zuerst erfasst, inwiefern das entgegenkommende Fahrzeug wahrgenommen wurde. War dies nicht der Fall, folgten zwei Fragen zur Bewertung der gesamten Fahrt, die an den Fragebogen der Online-Studie und der Vorstudie angelehnt waren. Zuerst bewerteten die Probanden die Angemessenheit der automatisierten Fahrt im Hinblick auf die Position ihres Fahrzeugs auf der Straße (nicht angemessen/angemessen). Dann sollte die automatisierte Fahrt auf der Komfort-Sicherheits-Skala (siehe auch Kapitel 4.2.1) eingeordnet werden. Hatten die Probanden das entgegenkommende Fahrzeug bemerkt, wurden diese zwei Fragen nicht auf die gesamte Fahrt bezogen, sondern für die zwei Zeiträume „Vor Erscheinen des Gegenverkehrs“ und „Ab Erscheinen des Gegenverkehrs“ bewertet. Hieran schloss sich eine Frage an, inwiefern und warum die Probanden beim Erscheinen des Gegenverkehrs in die automatisierte Fahrzeugführung (nicht) eingegriffen haben. Für den Fall eines Eingriffs folgten zwei weitere Fragen, in denen der Eingriff näher beschrieben und die Qualität des eigenen Eingriffs bewertet (fünf-stufige Likert-Skala von „sehr schlecht“ bis „sehr gut“) werden sollte.

Als abhängige Variablen dienen sowohl objektive als auch subjektive Daten. Seitens der Fahrsimulation wurden diverse objektive technische Parameter aufgezeichnet. Für die Fahraufgabe waren dabei die Lateralposition des Ego-Fahrzeugs (bezogen auf die Mitte des Fahrzeugs) sowie dessen Geschwindigkeit für die spätere Analyse entscheidend. Bei der SuRT wurden die Inputs, d. h. die Eingaben auf den Pfeiltasten, ausgewertet. Die subjektiven Daten bestehend aus den Antworten auf die Subjektivfragebogen wurden zusätzlich genutzt und analysiert.



## Ablauf

Der Fahrsimulationsversuch fand im Januar 2018 in den Räumlichkeiten des ISAC der RWTH Aachen University statt. Pro Proband dauerte die Testung ca. 45 Minuten. Nach einer kurzen Begrüßung unterzeichneten die Probanden die Datenschutz- und Geheimhaltungserklärung sowie einen Haftungsausschluss. Anschließend fand eine (sozio-)demografische Vorbefragung sowie eine erste kurze Instruktion zum Hintergrund der Studie statt. Die Probanden erhielten die Cover-Story, dass es bei der Studie darum ginge, inwiefern eine automatisierte Fahrt als entspannt wahrgenommen wird.

Die detaillierte Instruktion des Versuchs fand im Fahrzeug statt. Hierzu nahm der Proband auf dem Fahrersitz, der Versuchsleiter auf dem Beifahrersitz Platz. Der Proband nahm die notwendigen Fahrzeugeinstellungen (Sitz und Spiegel) vor und erhielt vom Versuchsleiter Erklärungen zur grundlegenden Fahrzeugbedienung (z. B. Automatikfahrzeug). Anschließend wurde die Funktionsweise des automatisierten Systems sowie dessen Limitationen vorgestellt.

Es folgte die Durchführung einer ca. dreiminütigen Übungsfahrt ohne Gegenverkehr. Der Proband startete im nicht-automatisierten Fahren und steuerte das Fahrzeug bei einer Richtgeschwindigkeit von 50 km/h solange, bis er sich in der Fahrzeugführung sicher fühlte. Dann hatte er die Möglichkeit, das automatisierte System einige Male zu aktivieren sowie zu deaktivieren. Im Anschluss erklärte der Versuchsleiter dem Probanden die FFT und der Proband konnte sich mit der Aufgabe vertraut machen.

Nach diesem Übungsteil begann die eigentliche Experimentalfahrt, die ca. 20 Minuten dauerte. Die Fahrt wurde im nicht-automatisierten Fahren gestartet. Bei Erreichen von 50 km/h sollten die Pro-

banden die automatisierte Fahrfunktion aktivieren. Nach jeweils ca. fünf Minuten erschien eine der vier Gegenverkehrssituationen. Dabei traten zuerst die drei Situationen der Vorstudie auf (0,85 m / 0,35 m / -0,15 m Abstand des entgegenkommenden Pkw zur Straßenmitte). Sie wurden zwischen den Probanden ausbalanciert. Die vierte Zusatzsituation (Abstand -0,15 m + Bake) trat zum Ende der Fahrt auf. Parallel zum Fahren führten die Probanden zu instruierten Zeitpunkten die SuRT aus. Diese Zeitpunkte waren jeweils eine Minute vor Erscheinen des Gegenverkehrs bis eine halbe Minute nach Passieren des Gegenverkehrs. Es waren diese Zeitpunkte, die für die Datenauswertung genutzt wurden. Zusätzlich wurde eine Dummy-Bearbeitung der SuRT instruiert, die jeweils zwei bis anderthalb Minuten vor Erscheinen des Gegenverkehrs stattfand. Diese diente dem Zweck, dass die Probanden nicht das Gefühl haben sollten, dass jede SuRT-Bearbeitung mit dem Passieren eines entgegenkommenden Fahrzeugs gekoppelt war. Sie wurden nicht in der Datenauswertung berücksichtigt. Diese zeitliche Abfolge ist zur besseren Verständlichkeit zusätzlich in Bild 28 dargestellt. Nach Abschluss jeder auswertungsrelevanten SuRT-Bearbeitung (d. h. nach SuRT-Blöcken mit einer Gegenverkehrssituation) folgte die Beantwortung der Subjektivfragen. Die Befragung fand also immer nach Passieren des Gegenverkehrs statt (auch für die Subjektivfragen, die sich auf den Zeitraum „Vor Erscheinen des Gegenverkehrs“ beziehen). Hierzu stellte der Versuchsleiter dem Probanden die Fragen und notierte die Antworten in den Fragebogen. Die Aufteilung in die Zeiträume „Vor Erscheinen des Gegenverkehrs“ und „Nach Erscheinen des Gegenverkehrs“ wurde, für den Fall, dass der Gegenverkehr jeweils wahrgenommen wurde, für alle vier Gegenverkehrssituationen beibehalten, obwohl sich der Zeitraum „Vor Erscheinen des Gegenverkehrs“ nicht zwischen den Situationen unterschied. Grund hierfür war, dass geprüft werden sollte, inwiefern

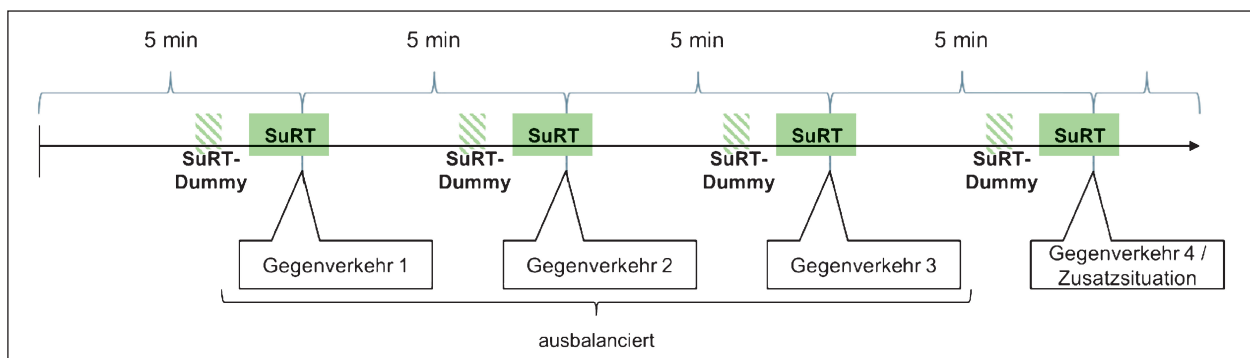


Bild 28: Zeitliche Abfolge der Experimentalfahrt in der Hauptstudie des Arbeitspakets 3



die Wahrnehmung der Ego-Trajektorie vor der potenziell kritischen Fahrsituation zwischen den Situationen gleich war. Nach der letzten Subjektivbefragung war der Versuch beendet und die Probanden wurden verabschiedet.

### 5.2.2 Hypothesen

Ausgehend von den Ergebnissen der vorangegangenen (Teil-)Arbeitspakete ergaben sich die folgenden Hypothesen, die im Rahmen der Hauptstudie untersucht werden sollten.

1. Für die unkritischen Gegenverkehrsszenarien (0,85 m/0,35 m) bewerten Fahrer die automatisierte Fahrt sowohl vor als auch ab Erscheinen des Gegenverkehrs als angemessen und angenehm.
2. Für das kritische Gegenverkehrsszenario (-0,15 m) bewerten Fahrer die automatisierte Fahrt
  - a. vor Erscheinen des Gegenverkehrs als angemessen und angenehm,
  - b. ab Erscheinen des Gegenverkehrs als nicht angemessen und unangenehm.
3. Beim Erscheinen des unkritischen Gegenverkehrs (0,85 m/0,35 m) werden Fahrer nicht in die automatisierte Fahrzeugführung eingreifen.
4. Beim Erscheinen des kritischen Gegenverkehrs (-0,15 m) werden Fahrer mit dem Ziel, der Verletzung der subjektiven Fahrleistungsschwelle entgegenzuwirken, ab Erscheinen des Gegenverkehrs
  - a. die Aktivität in der FFT verringern, um so ausreichend Ressourcen für die Regulierung der Fahraufgabe bereitzustellen,
  - b. nach rechts lenken und somit ihre Spurposition in Richtung der Mitte des Ego-Fahrstreifens verschieben,
  - c. zusätzlich einen Bremsvorgang einleiten, um den Zeitpunkt des Aufeinandertreffens beider Fahrzeuge zeitlich zu verzögern (lediglich für die Zusatzsituation, in der am rechten Fahrbahnrand Baken positioniert sind).

### 5.2.3 Stichprobe

Insgesamt nahmen  $N = 65$  Probanden an der Studie teil. Aufgrund technischer Probleme mussten  $n = 5$  Teilnehmer von der Auswertung ausgeschlossen werden. Somit bestand die finale Stichprobe aus  $N = 60$  ( $n = 15$  weiblich) Probanden. Bei keinem der Probanden lag eine unkorrigierte Hörbeeinträchtigung vor. Lediglich ein Teilnehmer besaß eine unkorrigierte Sehbeeinträchtigung (Rot-Grün-Schwäche). Da nicht zu erwarten war, dass diese Beeinträchtigung die Versuchsergebnisse beeinflussen würde, wurde der Proband in die Auswertung aufgenommen. Die Teilnehmer waren im Durchschnitt  $M = 36$  Jahre alt ( $SD = 16$ ) und besaßen seit  $M = 19$  Jahren ( $SD = 16$ ) ihren Führerschein. 97 % der Probanden hatten die deutsche Nationalität. Die restlichen 3 % waren deutsch-italienisch und italienisch. 80 % der Probanden gaben an, hauptsächlich mit einem Schaltfahrzeug zu fahren. Die jährliche Kilometerleistung betrug  $M = 14.755$  km ( $SD = 10.286$ ). Diese Kilometer verteilten sich zu 22,5 % auf Landstraße, zu 32,6 % auf die Stadt und zu 44,8 % auf die Autobahn. 61 % der Stichprobe hatten bereits Erfahrung mit Assistenzsystemen. Die meistgenannten Systeme waren dabei Tempomat ( $n = 23$ ), ACC ( $n = 17$ ), Spurhaltesysteme ( $n = 16$ ) sowie Einparkhilfen ( $n = 13$ ).

### 5.2.4 Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Hauptstudie berichtet. In den ersten Unterkapiteln werden die Ergebnisse der SubjektivFragebogen dargestellt. Es folgen die Analysen zur FFT und zur Fahraufgabe.

#### Wahrnehmung des Gegenverkehrs und Angemessenheit der Ego-Trajektorie

Alle Probanden nahmen in jeder Situation den Gegenverkehr wahr. Tabelle 15 beinhaltet die prozentuale Verteilung der Bewertung der Angemessenheit der Trajektorie des Ego-Fahrzeugs vor und ab Erscheinen des Gegenverkehrs für alle Abstände des Gegenverkehrs. Wie schon erläutert, wurde unter „Vor Erscheinen des Gegenverkehrs“ der Zeitraum vor dem Hinweiston verstanden, in dem noch kein Gegenverkehr ersichtlich war. „Ab Erscheinen des Gegenverkehrs“ war der Zeitraum ab dem Hinweiston. In allen vier Gegenverkehrssituationen wurde die Fahrt vor Erscheinen des Gegenverkehrs zu mehr als 90 % als angemessen bewertet (d. h.,

Abstand Gegenverkehr	Vor Erscheinen des Gegenverkehrs	Ab Erscheinen des Gegenverkehrs
0,85 m	100 % angemessen	100 % angemessen
0,35 m	98 % angemessen	95 % angemessen
-0,15 m	97 % angemessen	52 % angemessen
-0,15 m + Bake	95 % angemessen	48 % angemessen

Tab. 15: Bewertung der Angemessenheit in Abhängigkeit der Gegenverkehrssituation und des Zeitpunkts in der Hauptstudie des Arbeitspakets 3

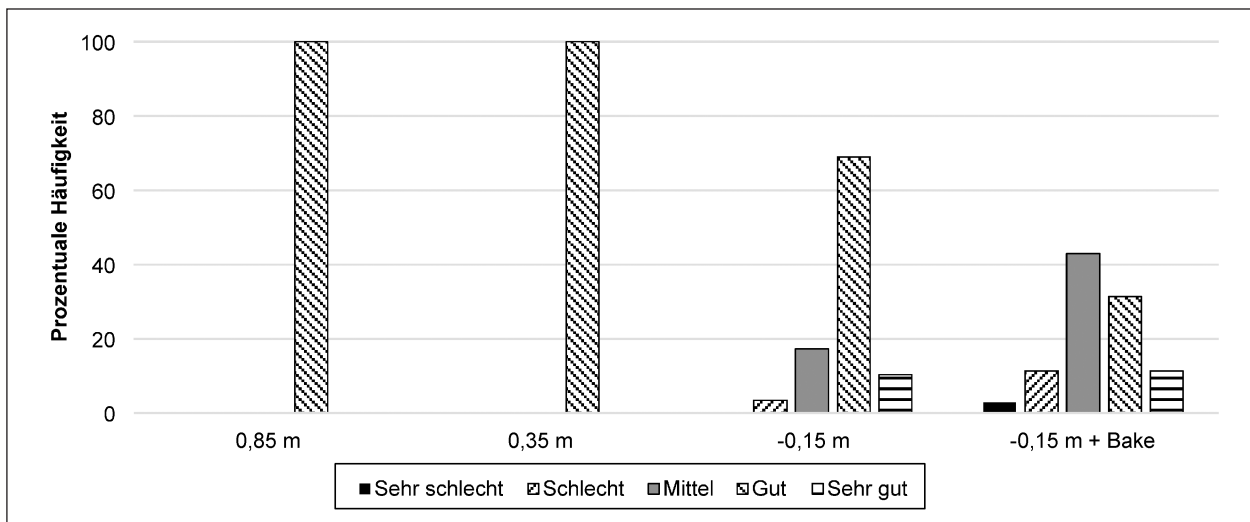


Bild 29: Qualität des Eingriffs in Abhängigkeit der Gegenverkehrssituation in der Hauptstudie des Arbeitspakets 3

die Ego-Trajektorie wurde also wie erwartet vor der potenziell kritischen Fahrsituation in allen Situationen gleich wahrgenommen). Ab Erscheinen des Gegenverkehrs änderte sich dies für die beiden unkritischen Situationen (Abstand 0,85 m und 0,35 m) nicht. In den anderen beiden kritischen Situationen sank die Wahrscheinlichkeit für ein angemessenes Rating auf ca. 50 %. Die Ergebnisse decken sich somit mit den Resultaten der Vorstudie.

Abstand Gegenverkehr	Eingriffe
0,85 m	2 % Eingriffe
0,35 m	2 % Eingriffe
-0,15 m	50 % Eingriffe
-0,15 m + Bake	63 % Eingriffe

Tab. 16: Prozentuale Verteilung der Eingriffe in die automatisierte Fahrzeugführung in Abhängigkeit der Gegenverkehrssituation in der Hauptstudie des Arbeitspakets 3

### Eingriff und Qualität des Eingriffs

Tabelle 16 beinhaltet die prozentuale Verteilung der Eingriffe in die automatisierte Fahrzeugführung. In der Tabelle sind die Eingriffe für alle Situationen der Abstände des Gegenverkehrs aufgelistet. Die Ergebnisse ähneln den zuvor vorgestellten Resultaten bezüglich der Angemessenheitsbewertung der Fahrten ab Erscheinen des Gegenverkehrs. In den Situationen Abstand 0,85 m und 0,35 m gaben die Probanden an, nicht in die automatisierte Fahrzeugführung eingegriffen zu haben. Im Vergleich dazu griffen die Probanden gemäß ihrem eigenen Subjektivurteil in den anderen beiden Situationen gehäuft ein und übernahmen die Fahraufgabe selbst.

Bild 29 beinhaltet die prozentuale Verteilung der subjektiven Qualität des Eingriffs. Allgemein beurteilten die Probanden die Qualität des Eingriffs in die automatisierte Fahrzeugführung als gut. Mit zunehmender Kritikalität zeigt sich jedoch, dass die subjektiv wahrgenommene Qualität der Übernahme sank.

### Komfort-Sicherheits-Skala

Tabelle 17 stellt die Mittelwerte der Komfort-Sicherheits-Skala (siehe auch Kapitel 4.2.1) für die Bewertung der Ego-Trajektorie in Abhängigkeit des Abstands des Gegenverkehrs und des Zeitpunktes,

Abstand Gegenverkehr	Vor Erscheinen des Gegenverkehrs	Ab Erscheinen des Gegenverkehrs
0,85 m	1,20	1,54
0,35 m	1,15	1,87
-0,15 m	1,30	4,41
-0,15 m + Bake	1,28	5,44

Tab. 17: Komfort-Sicherheits-Skala in Abhängigkeit der Gegenverkehrssituation und des Zeitpunkts in der Hauptstudie des Arbeitspakets 3

d. h. vor und ab Erscheinen des Gegenverkehrs, dar. Vor Erscheinen des Gegenverkehrs wurde die automatisierte Fahrt in jeder Situation als sehr angenehm beurteilt. Ab Erscheinen des Gegenverkehrs wurde die Fahrt in den Situationen Abstand 0,85 m und 0,35 m auch als angenehm bewertet. In den anderen beiden Situationen empfanden die Probanden die Ego-Trajektorie ab Erscheinen des Gegenverkehrs als unangenehm.

Zur inferenzstatistischen Untersuchung wurde eine Varianzanalyse (ANOVA) mit Messwiederholung für die beiden Haupteffekte Zeitpunkt (vor vs. ab Erscheinen des Gegenverkehrs) und Situation (d. h., Abstand des Gegenverkehrs) sowie für deren Interaktion durchgeführt. Es bestand ein signifikanter Unterschied in der Beurteilung der Komfort-Sicherheits-Skala zwischen den verschiedenen Zeitpunkten mit  $F(1,53) = 143.81$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .73$ . Ebenfalls bestand ein signifikanter Unterschied zwischen den verschiedenen Situationen mit  $F(3,159) = 86.76$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .62$ . Die Interaktion zwischen Zeitpunkt und Situation zeigte ebenfalls eine Signifikanz mit  $F(3,159) = 92.18$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .64$ .

Um eine Aussage darüber treffen zu können, zwischen welchen Vergleichspaaren diese Effekte tatsächlich vorlagen, wurden bonferroni-korrigierte post-hoc Tests durchgeführt. Der Vergleich der Situation über alle Zeitpunkte hinweg zeigte keinen signifikanten Unterschied zwischen den Situationen Abstand 0,85 m und 0,35 m. Zwischen allen anderen Situationen konnten signifikante Unterschiede allesamt mit  $p < .01$  gefunden werden. Fahrer nahmen also die eigene Fahrtrajektorie über beide Zeitpunkte hinweg in den Situationen Abstand 0,85 m und 0,35 m als ähnlich angenehm war. Für alle anderen Situationen war die Wahrnehmung von Komfort und Sicherheit signifikant verschieden. Für die Interaktion Zeitpunkt\*Situation zeigten die post-hoc-Tests keine signifikanten Unterschiede vor Erscheinen des Gegenverkehrs. D. h., vor Erscheinen des Gegenverkehrs unterschieden sich die Situationen bezüglich der Komfort-Sicherheits-Skala nicht (die Ego-Trajektorie

wurde also vor der potenziell kritischen Fahr situation in allen Situationen gleich wahrgenommen). Auch unterschieden sich die Situation 0,85 m und 0,35 m ab Erscheinen des Gegenverkehrs nicht. Für alle anderen Interaktionen wurden signifikante Unterschiede gefunden mit  $p < .001$ . D. h., ab Erscheinen des Gegenverkehrs gab es zwischen allen anderen Situationen einen signifikanten Unterschied in der Subjektivbewertung. Für die Interaktion Situation\*Zeitpunkt ergaben die post-hoc Analysen durchweg signifikante Unterschiede mit  $p < .001$ . Lediglich die Interaktion zwischen der Situation 0,85 m und den Zeitpunkten war leicht schwächer ( $p < .05$ ). D. h., die Bewertung der Ego-Trajektorie war in jeder Situation zwischen den zwei Zeitpunkten signifikant unterschiedlich.

### Offene Anmerkungen

Zusätzlich hatten die Probanden die Möglichkeit, am Ende der Befragung Anmerkungen bezüglich der Begründung und Art des Eingriffs zu machen. In der Situation 0,85 m griff die Mehrheit der Probanden nicht ein ( $n = 59$ ) mit der Begründung, dass sich die meisten sicher fühlten bzw. keine Gefahr verspürten ( $n = 27$ ) und den Platz als ausreichend einschätzten ( $n = 14$ ) (siehe Tabelle 19). Fast dasselbe Ergebnis zeigte sich auch in der Situation 0,35 m (siehe Tabelle 21). Im Gegensatz dazu gab es in der Situation -0,15 m gleich viele Probanden, die in die Situation eingriffen sowie nicht eingriffen (jeweils  $n = 29$ ; s. Tabelle 22 und Tabelle 23). Der Eingriff zeigte sich bei den meisten als Lenkbewegung bzw. Ausweichen und wurde hauptsächlich durch ein Fehlverhalten des Gegenverkehrs begründet. Nur in der Situation -0,15 + Bake gab es eine klare Mehrheit der Probanden, die in die Situation eingriff ( $n = 35$ ; s. Tabelle 24). Die Gründe dafür reichten von Unsicherheit ( $n = 26$ ) bis zu Misstrauen gegenüber dem System ( $n = 1$ ). Der Eingriff zeigte sich in Form von Lenkbewegungen bzw. Ausweichen oder Bremsung. Genauere Informationen und Beispiele können Tabellen 18 bis 25 entnommen werden.

Begründung des Verhaltens	Beschreibung des Verhaltens	Beispiel
Begründung des Verhaltens	Beschreibung des Verhaltens	<ul style="list-style-type: none"> <li>„Ich wollte ins Lenkrad greifen, falls etwas passiert, sodass ich das Auto korrigieren kann.“</li> </ul>

Tab. 18: Offene Anmerkungen zu Situation Abstand 0,85 m bei Eingriff ( $n = 1$ ) in der Hauptstudie des Arbeitspakets 3

Begründung des Verhaltens	Beschreibung des Verhaltens	Beispiel
Sicherheit/keine Gefahr ( $n = 27$ )		<ul style="list-style-type: none"> <li>„Habe Auto eine Minute lang kommen sehen, Auto ist gerade auf eigener Spur gefahren, der Gegenverkehr auch.“</li> <li>„Normale Straßenführung, Fahrzeug kam nicht rüber, keine gefährliche Situation, in die man hätte eingreifen müssen.“</li> <li>„Es ging geradeaus, habe kein Risiko gesehen; bin ja nicht auf das Fahrzeug zugesteuert.“</li> </ul>
Genügend Platz ( $n = 14$ )		<ul style="list-style-type: none"> <li>„Fahrzeug war weit genug von der Mittellinie entfernt.“</li> <li>„Das Fahrzeug war auf der Gegenfahrbahn und meine Bahn war frei.“</li> <li>„Seitenabstand und Spurentreue waren gegeben; war nicht nötig einzugreifen“</li> </ul>
Keine Notwendigkeit (nicht weiter differenziert) ( $n = 14$ )		
Vertrauen in System ( $n = 4$ )		<ul style="list-style-type: none"> <li>„Ich habe registriert, dass die Automatik das System beherrscht, aber ich war in Bereitschaft.“</li> <li>„Ich war mir sicher, dass das System funktioniert; war eine gerade Strecke, keine anderen Einflüsse, normale Verhältnisse.“</li> </ul>

Tab. 19: Offene Anmerkungen zu Situation Abstand 0,85 m bei keinem Eingriff ( $n = 59$ ) in der Hauptstudie des Arbeitspakets 3

Begründung des Verhaltens	Beschreibung des Verhaltens	Beispiel
Zu wenig Platz/Unsicherheit ( $n = 1$ )	Lenkbewegung/Ausweichen ( $n = 1$ )	<ul style="list-style-type: none"> <li>„War zu nah am Gegenverkehr.“</li> </ul>

Tab. 20: Offene Anmerkungen zu Situation Abstand 0,35 m bei Eingriff ( $n = 1$ ) in der Hauptstudie des Arbeitspakets 3

Begründung des Verhaltens	Beschreibung des Verhaltens	Beispiel
Sicherheit/keine Gefahr ( $n = 21$ )		<ul style="list-style-type: none"> <li>„Beide Fahrzeuge waren in ihrer Spur, von daher keine Gefahr.“</li> <li>„Es schien, dass das Auto gut vorbeikommt; kein Bedarf einzugreifen, Geschwindigkeit gut, genug Zeit zum Einschätzen.“</li> <li>„Mein Fahrzeug hatte eine gute Straßenlage und war auf einem geraden Streckenabschnitt.“</li> </ul>
Genügend Platz ( $n = 15$ )		<ul style="list-style-type: none"> <li>„War immer noch genug Platz.“</li> <li>„Gegenverkehr ist in seiner Spur gefahren.“</li> <li>„Ausreichend Sicherheitsabstand, Spur wurde gehalten.“</li> </ul>
Keine Notwendigkeit (nicht weiter differenziert) ( $n = 15$ )		
Vertrauen in System ( $n = 7$ )		<ul style="list-style-type: none"> <li>„Habe dem Auto vertraut, dass es der Spur folgt.“</li> <li>„Ich habe registriert, dass das System weiterarbeiten kann.“</li> <li>„Ich wollte den Fahrassistenten nicht ausschalten.“</li> </ul>

Tab. 21: Offene Anmerkungen zu Situation Abstand 0,35 m bei keinem Eingriff ( $n = 59$ ) in der Hauptstudie des Arbeitspakets 3

Begründung des Verhaltens	Beschreibung des Verhaltens	Beispiel
Fehlverhalten des Gegenverkehrs (n = 18)	Lenkbewegung/Ausweichen (n = 18)	<ul style="list-style-type: none"> <li>„Gegenverkehr hat Mittellinie überfahren und war auf meiner Spur.“</li> <li>„Ich war relativ weit links auf meiner Spur und Gegenverkehr fuhr auf meiner Spur.“</li> <li>„Fahrweise des Gegenverkehrs war etwas unsicher.“</li> </ul>
Gefahr einer Kollision (n = 6)	Lenkbewegung/Ausweichen (n = 5), Gas wegnehmen (n = 1)	<ul style="list-style-type: none"> <li>„Verkehr war auf meiner Spur. Dachte, es kommt zum Unfall.“</li> <li>„Seitenabstand war nicht mehr gegeben. Es hätte zur Kollision führen können.“</li> </ul>
Zu wenig Platz/Unsicherheit (n = 4)	Lenkbewegung/Ausweichen (n = 3) Gas wegnehmen (n = 1)	<ul style="list-style-type: none"> <li>„Ich war unsicher, ob Autos an einander vorbei passen.“</li> <li>„Es war zu eng, ich wollte mehr Sicherheitsabstand. Der Gegenverkehr fuhr zu mittig, ich zu weit links.“</li> </ul>
Misstrauen/Kontrollverhalten (n = 1)	Lenkbewegung/Ausweichen (n = 1), Bremsung (n = 1)	<ul style="list-style-type: none"> <li>„Habe dem System nicht vertraut. Habe mich gefragt, ob es ausweichen kann.“</li> </ul>

Tab. 22: Offene Anmerkungen zu Situation Abstand -0,15 m bei Eingriff (n = 29) in der Hauptstudie des Arbeitspakets 3

Begründung des Verhaltens	Beschreibung des Verhaltens	Beispiel
Genügend Platz (n = 16)		<ul style="list-style-type: none"> <li>„Ich konnte abschätzen, dass es mit den Außenspiegeln noch passt.“</li> <li>„Habe zum Lenkrad gegriffen, weil es knapp war, aber der Platz schien ausreichend, also habe ich nicht gelenkt.“</li> </ul>
Sicherheit/keine Gefahr (n = 6)		<ul style="list-style-type: none"> <li>„Gegenverkehr war noch auf seiner Spur, mein Fahrzeug war noch mittig, von daher keine Gefahr.“</li> <li>„Abschätzung von Geschwindigkeit und Versatz hat keine Kollisionsgefahr bedeutet.“</li> <li>„Gegenverkehr fuhr zwar hart an der Mittellinie, aber er hätte eine ruckartige Bewegung machen müssen, damit es zum Crash gekommen wäre.“</li> </ul>
Vertrauen in System (n = 3)		<ul style="list-style-type: none"> <li>„Ich habe das System als stabil eingeschätzt.“</li> <li>„Das System wird schon besser wissen, was es tut.“</li> <li>„Noch habe ich dem Ganzen vertraut.“</li> </ul>
Keine Notwendigkeit (nicht weiter differenziert) (n = 3)		

Tab. 23: Offene Anmerkungen zu Situation Abstand -0,15 m bei keinem Eingriff (n = 29) in der Hauptstudie des Arbeitspakets 3

Begründung des Verhaltens	Beschreibung des Verhaltens	Beispiel
Zu wenig Platz/Unsicherheit (n = 26)	Lenkbewegung/Ausweichen (n = 20), Bremsung (n = 10), Gas wegnehmen (n = 1)	<ul style="list-style-type: none"> <li>„Das Fahrzeug war zu weit auf meiner Spur und mit der Baustelle auf der rechten Seite hätte es nicht gepasst.“</li> <li>„Rechts war mehr Platz als links, also habe ich nach rechts gelenkt.“</li> <li>„Ich hatte keine Vorfahrt.“</li> </ul>
Gefahr einer Kollision (n = 6)	Lenkbewegung/Ausweichen (n = 3), Bremsung (n = 3)	<ul style="list-style-type: none"> <li>„Eigenes Fahrzeug hat nicht abgebremst und weil wir sonst kollidiert wären.“</li> <li>„Ich hatte den Eindruck, das andere Fahrzeug zu berühren.“</li> <li>„Ich wäre entweder in Baustelle gefahren oder ins Auto.“</li> </ul>
Fehlverhalten des Gegenverkehrs (n = 2)	Lenkbewegung/Ausweichen (n = 2)	<ul style="list-style-type: none"> <li>„Gegenverkehr war auf meiner Fahrbahn, sehr weit auf Mittellinie.“</li> <li>„Ich habe befürchtet, dass der Gegenverkehr auf meine Spur kommt.“</li> </ul>
Misstrauen/Kontrollverhalten (n = 1)	Bremsung (n = 1)	<ul style="list-style-type: none"> <li>„Ich wusste nicht, ob das System automatisch brems.“</li> </ul>

Tab. 24: Offene Anmerkungen zu Situation Abstand -0,15 m + Bake bei Eingriff (n = 35) in der Hauptstudie des Arbeitspakets 3



Begründung des Verhaltens	Beschreibung des Verhaltens	Beispiel
Vertrauen in System (n = 5)		<ul style="list-style-type: none"> <li>„Fahrt fuhr absolut gesteuert und gleichmäßig auf Engstelle zu. Es schien, als würde es passen, habe der Automatik vertraut.“</li> <li>„Ich habe dem System und meiner Erfahrung vertraut, dass die Schilder genug Platz lassen.“</li> </ul>
Genügend Platz (n = 4)		<ul style="list-style-type: none"> <li>„Ich kam vorbei und durch, genug Platz trotz Baken und Auto.“</li> <li>„Es hat gerade noch gepasst, man musste nicht eingreifen.“</li> <li>„Hab gesehen, dass es passt.“</li> </ul>
Sicherheit/keine Gefahr (n = 4)		<ul style="list-style-type: none"> <li>„Abschätzung des Kollisionsrisikos unter Einbezug der Fahrbahnverengung ergab keine Kollisionsgefahr.“</li> <li>„Sicherheitsgefühl hat gepasst, Abstand okay.“</li> <li>„Fühlte sich trotz Gegenverkehr und Engstelle sicher an.“</li> </ul>
Eingriff hätte Situation verschlimmert/keine Möglichkeit des Eingriffs (n = 3)		<ul style="list-style-type: none"> <li>„Auto passte in vorgegebener Position am besten; rechts und links kein Platz.“</li> <li>„Ich hätte nach rechts ausweichen wollen, ging aufgrund von Baken aber nicht.“</li> </ul>
Keine Notwendigkeit (nicht weiter differenziert) (n = 3)		

Tab. 25: Offene Anmerkungen zu Situation Abstand -0,15 m + Bake bei keinem Eingriff (n = 21) in der Hauptstudie des Arbeitspakets 3

Zusätzlich zu diesen offenen Fragen, die jeder Proband beantwortete, machten einige Teilnehmer weitere Anmerkungen. So gaben einige Teilnehmer in den verschiedenen Situationen (unkritisch und kritisch) an, zwar nicht eingegriffen, dennoch aber die Hände zurück zum Lenkrad geführt zu haben, um eingriffsbereit zu sein. Außerdem wurde diverse Male angemerkt, dass die Probanden selber eher weiter rechts fahren würden und sie im Nachgang zur Situation eventuell doch eingegriffen hätten.

### Aufbereitung Objektivdaten

Neben den Subjektivdaten wurden im Rahmen der Fahrsimulationsstudie diverse Objektivdaten aufgezeichnet. Zu diesem Zweck wurde der Fahrsimulator für die Logfiles auf eine Taktung von 100 ms eingestellt. Aufgrund hardwareseitiger Latenzzeiten zeigte sich nach Abschluss der Versuchsdurchführung, dass die Taktung innerhalb und zwischen den Probanden allerdings immer leicht variierte. Im Durchschnitt wurden ca. alle 104 ms Messdaten aufgezeichnet.

Für die Auswertung wurden jeweils fünf solcher Messzeitpunkte zu einem Intervall ( $t_i$ ) zusammengefasst. Ein Intervall  $t_i$  umfasste somit im Mittel ca. 520 ms. Der Hinweispunkt wurde als Zeitpunkt  $t_0$  festgelegt und diente als Referenz für die Auswertung. In Bild 30 ist der zeitliche Verlauf einer Gegenver-

kehrssituation inklusive aller relevanten Events bei einer Geschwindigkeit von 50 km/h eingezeichnet. Für die Auswertung wurde der Zeitraum vom Intervall  $t_8$  bis  $t_{+16}$  betrachtet. Bei 50 km/h begannen die Baken zwischen  $t_{+8}$  und  $t_{+9}$ . Das Ende der Baken bei 50 km/h ist nicht eingezeichnet, da bis einschließlich  $t_{+16}$  Baken auf der Straße positioniert waren.

Die Analysen der Objektivdaten fokussierten sich (vor allem für die Fahrparameter) auf die Situationen Abstand -0,15 m und -0,15 m + Bake, da hier laut Subjektivurteil eingegriffen wurde. In einem vorgelagerten Analyseschritt wurden die Objektivdaten auf die Aussage der Probanden hinsichtlich eines (Nicht-)Eingriffs überprüft. Die Objektivdaten bekräftigten, dass in den Fällen, in denen laut Subjektivurteil kein Eingriff geschehen war, keine relevanten Änderungen in den objektiven Fahrparametern erkennbar waren. Für Fälle, in denen ein Eingriff subjektiv dokumentiert wurde, ließen sich in den Objektivdaten entweder klare Geschwindigkeitsveränderungen oder Lenkradbewegungen nachweisen. Aus diesem Grund wurde die Klassifizierung der Fälle in Eingriff vs. kein Eingriff für die Objektivanalyse aus der Subjektivauswertung übernommen.

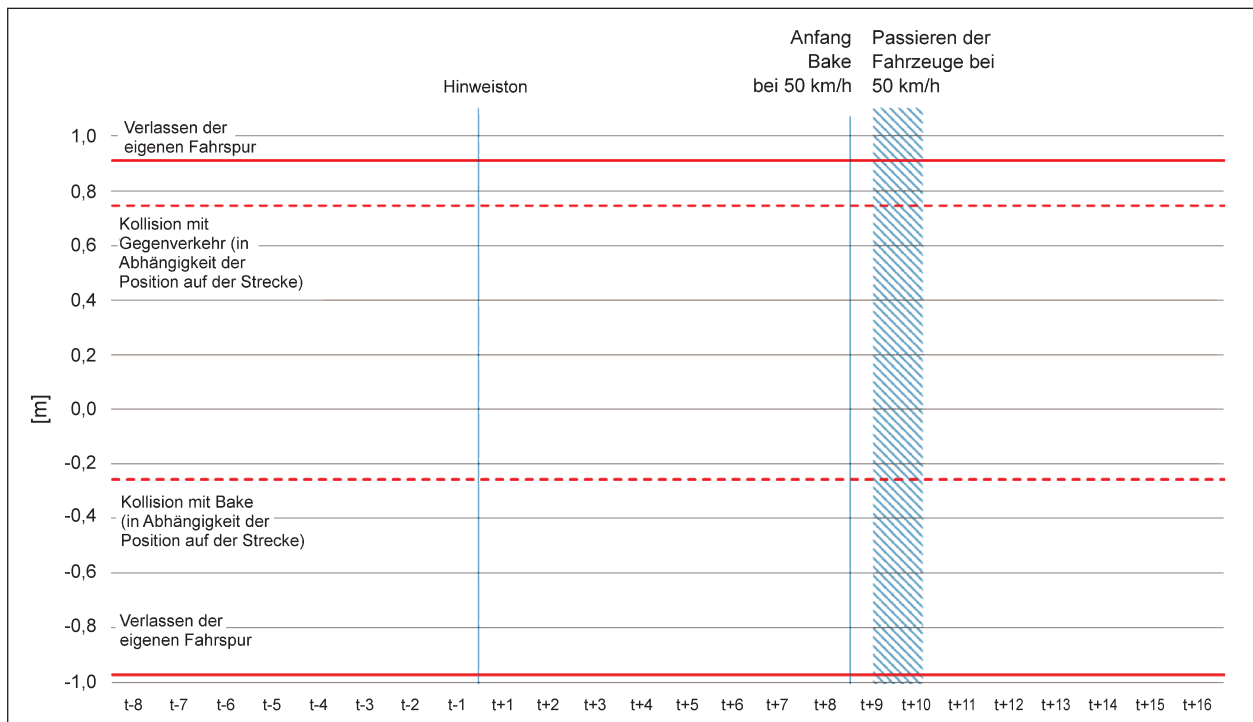


Bild 30: Zeitlicher Verlauf der Fahrsituation inklusive der relevanten Events in der Hauptstudie des Arbeitspakets 3

### SuRT-Aktivität

Als vorgelagerter Schritt zur eigentlichen Auswertung der SuRT-Aktivität wurde die Qualität der Aufgabenbearbeitung im Sinne einer Validitätsüberprüfung untersucht. Hierzu wurde der gesamte Zeitraum, d. h. auch die Dummy-Bearbeitung der SuRT, betrachtet. Insgesamt bearbeiteten die Probanden im Mittel  $M = 189$  Trials ( $SD = 63$ ) mit einer Quote von durchschnittlich 99,4 % korrekten Trials. Somit kann davon ausgegangen werden, dass die Probanden die SuRT gewissenhaft bearbeiteten und die Inputs als valides Maß der Bearbeitung herangezogen werden können.

Weiterhin folgte die Überprüfung, inwiefern sich die SuRT-Bearbeitung zwischen den zwei unkritischen Situationen (Abstand 0,85 m und 0,35 m) unterschied. Zu diesem Zweck wurde eine univariate ANOVA mit den unabhängigen Variablen Situation (Abstand 0,85 m; Abstand 0,35 m), Eingriff (kein Eingriff; Eingriff) sowie Zeitpunkt ( $t_8$  bis  $t_{+16}$ ) durchgeführt. Die abhängige Variable bestand aus den SuRT-Inputs. Die Analyse zeigte keine signifikanten Effekte außer für den Faktor Eingriff ( $F(1,2784) = 7.77$ ,  $p < .01$ , partielles  $\eta^2 = .003$ ). Dieser Effekt ist allerdings zu vernachlässigen, da in der Gruppe „Eingriff“ nur  $n = 2$  (in jeder Situation  $n = 1$ ) Probanden waren. Da sich die Bearbeitung der SuRT also zwischen den unkritischen Situationen nicht zu un-

terscheiden scheint, wurde als Vergleichswert für die weiteren Analysen die Situation Abstand 0,85 m bei keinem Eingriff gewählt.

Bild 31 stellt die SuRT-Inputs gemittelt über alle Probanden für die zu untersuchenden Situationen dar. Dies betrifft die kritischen Fahrsituationen (Abstand -0,15 m und Abstand -0,15 + Bake bei keinem Eingriff und Eingriff) sowie die zuvor erwähnte Vergleichssituation Abstand 0,85 m bei keinem Eingriff.

Auf deskriptiver Basis wurde in der unkritischen Situation (Abstand 0,85 m bei keinem Eingriff, grüne Kurve) die Aktivität in der SuRT nach dem Ton verringert, allerdings aber nicht auf 0 reduziert. Ab  $t_{+7}$ , d. h. noch vor Passieren des Gegenverkehrs, stiegen die Inputs bereits wieder an. In den beiden kritischen Situationen (Abstand -0,15 m, blaue Kurven und -0,15 m + Bake, orange Kurven) wurden die Inputs nach dem Hinweiston auf bzw. auf fast 0 reduziert. Insgesamt erhöhten Fahrer die Aktivität in diesen Situationen später im Vergleich zur unkritischen Situation. Dabei stiegen die Kurven bei keinem Eingriff (Hellblau und Hellorange) bei Passieren des Gegenverkehrs an. Bei einem Eingriff (Dunkelblau und Dunkelorange) fand keine bzw. nur eine geringe Erhöhung erst nach Passieren des Gegenverkehrs statt. Zusammengefasst lässt sich also sagen, dass sich die SuRT-Aktivität auf deskriptiver

Basis zwischen unkritischen und kritischen Fahrsituationen unterscheidet.

Angeschlossen an die deskriptive Untersuchung der Daten folgten einige inferenzstatistische Berechnungen. Zuerst wurde analysiert, inwiefern sich die beiden kritischen Situationen voneinander unterschieden. Hierzu wurde eine univariate ANOVA mit den unabhängigen Variablen Situation (Abstand -0,15 m; Abstand -0,15 m + Bake), Eingriff (kein Eingriff; Eingriff) sowie Zeitpunkt ( $t_{-8}$  bis  $t_{+16}$ ) durchgeführt. Signifikante Ergebnisse ergaben sich für die Haupteffekte Situation ( $F(1,2640) = 20.92$ ,  $p < .001$ , partielles  $\eta^2 = .008$ ), Eingriff ( $F(1,2640) = 24.97$ ,  $p < .001$ , partielles  $\eta^2 = .009$ ) und Zeitpunkt ( $F(23,2640) = 13.95$ ,  $p < .001$ , partielles  $\eta^2 = .108$ ) sowie für die Interaktion Eingriff\*Zeitpunkt ( $F(23,2640) = 2.85$ ,  $p < .001$ , partielles  $\eta^2 = .024$ ). Angeschlossene paarweise Vergleiche (Bonferroni-korrigiert) für die signifikante Interaktion Eingriff\*Zeitpunkt zeigten signifikante Unterschiede ( $p < .05$ ) zwischen den zwei Gruppen Eingriff und kein Eingriff ab  $t_{+11}$  (d. h. nach Passieren des Gegenverkehrs). Insgesamt bedeuten diese Ergebnisse, dass sich in den kritischen Situationen die SuRT-Aktivität in Abhängigkeit davon verändert, ob man eingreift.

Eine weitere univariate ANOVA untersuchte potenzielle Unterschiede zwischen den kritischen Situationen und der unkritischen Vergleichssituation. Die unabhängigen Variablen hierbei waren die Situa-

tion (Abstand 0,85 m kein Eingriff; Abstand -0,15 m kein Eingriff; Abstand -0,15 m Eingriff; Abstand -0,15 m + Bake kein Eingriff; Abstand -0,15 m + Bake Eingriff) und der Zeitpunkt ( $t_{-8}$  bis  $t_{+16}$ ). Die abhängige Variable waren erneut die SuRT-Inputs. Sowohl die zwei Haupteffekte (Situation:  $F(4,4032) = 35.81$ ,  $p < .001$ , partielles  $\eta^2 = .034$ ; Zeitpunkt:  $F(23,4032) = 14.54$ ,  $p < .077$ , partielles  $\eta^2 = .077$ ) als auch die Interaktion Situation\*Zeitpunkt ( $F(92,4032) = 1.68$ ,  $p < .001$ , partielles  $\eta^2 = .037$ ) wurden signifikant. Es wurden angeschlossene paarweise Vergleiche (Bonferroni-korrigiert) für den Haupteffekt Zeitpunkt durchgeführt. Sie wiesen für den Vergleich der Intervalle vor vs. nach dem Hinweiston nach, dass es eine signifikante Reduktion der SuRT-Inputs ab den Intervallen  $t_{+2}$  bzw.  $t_{+3}$  (z. B.  $t_{-4}$  und  $t_{+2}$  sowie  $t_{-1}$  und  $t_{+3}$  jeweils  $p < .01$ ) gab. Gleichmaßen wurden paarweise Vergleiche (Bonferroni-korrigiert) für die Interaktion Situation\*Zeitpunkt durchgeführt. Bis auf vereinzelte Vergleiche unterschied sich gemäß diesen Analysen ab  $t_{+10}$  die unkritische Situation ohne Eingriff von den beiden kritischen, wenn in diesen eingegriffen wurde ( $p < .05$ ). Es wurden keine signifikanten Unterschiede für die unkritische vs. die kritischen Situationen bei keinem Eingriff gefunden. Hier bestand lediglich der zuvor diskutierte deskriptive Datentrend. Zusammengefasst lassen sich also auf inferenzstatistischer Basis nur Unterschiede für die unkritische Situation mit den kritischen Situationen erkennen, falls in den kritischen Situationen eingegriffen wurde.

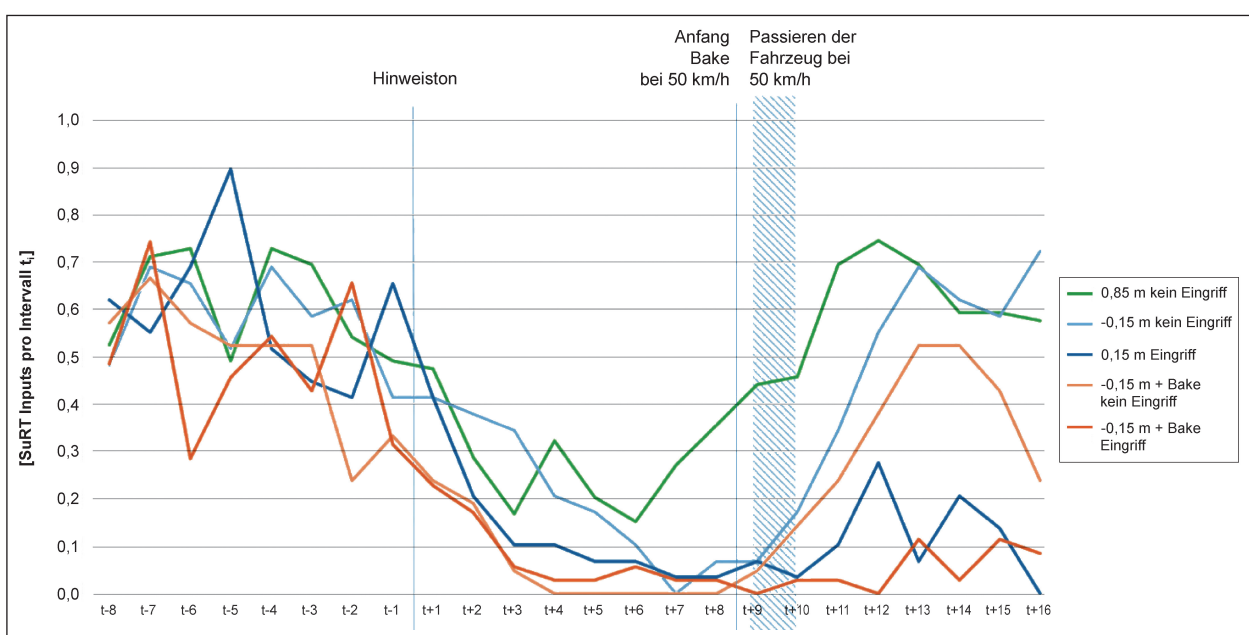


Bild 31: SuRT-Inputs für die kritischen Fahrsituationen (Abstand -0,15 m und -0,15 m + Bake bei keinem Eingriff und Eingriff) und die Vergleichssituation Abstand 0,85 m bei keinem Eingriff in der Hauptstudie des Arbeitspakets 3

## Geschwindigkeit

Neben den SuRT-Inputs wurde die Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeugs analysiert. Bild 32 beinhaltet den Geschwindigkeitsverlauf für die zwei kritischen Fahrsituationen Abstand -0,15 m und Abstand -0,15 m + Bake.

Zur inferenzstatistischen Untersuchung wurde eine univariate ANOVA mit den unabhängigen Variablen Situation (Abstand -0,15 m; Abstand -0,15 m + Bake), Eingriff (kein Eingriff; Eingriff) sowie Zeitpunkt ( $t_{-8}$  bis  $t_{+16}$ ) durchgeführt. Die abhängige Variable war in diesem Fall die Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeugs. Es ergaben sich signifikante Effekte für alle Haupteffekte und Interaktionen (siehe Tabelle 26).

Zusätzlich wurden angeschlossene paarweise Vergleiche (Bonferroni-korrigiert) durchgeführt. Für die Situation Abstand -0,15 m ergaben sie, dass es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen Eingriff und kein Eingriff außer für  $t_{+15}$  und  $t_{+16}$  ( $p < .05$ ) gab. Für die Situation Abstand -0,15 m + Bake unterschieden sich die zwei Gruppen Eingriff und kein Eingriff ab  $t_{+5}$  ( $p < .01$ ). In der Gruppe von Probanden, die eingriffen, unterschieden sich die zwei Situationen ab  $t_{+5}$  ( $p < .01$ ), was bedeutet, dass in der Situation -0,15 m + Bake stärker gebremst wurde. Zusammengefasst über die verschiedenen Vergleiche unterscheidet sich die Geschwindigkeit der Fahrer in Abhängigkeit der Fahrsituation, des Zeitpunkts und inwiefern eingegriffen wurde.

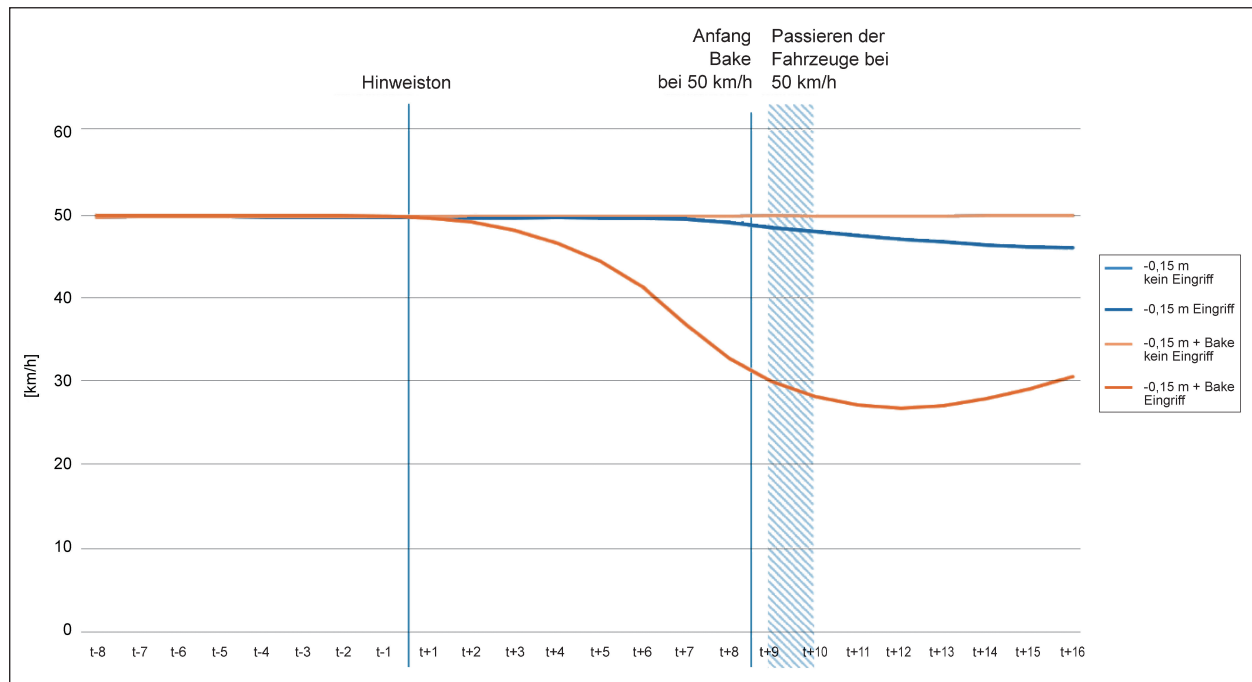


Bild 32: Geschwindigkeit in den zwei kritischen Fahrsituationen (Abstand -0,15 m und Abstand -0,15 m + Bake) in der Hauptstudie des Arbeitspakets. Anmerkung: Der hellblaue Graph von -0,15 m kein Eingriff wird vom hellorangenen Graph -0,15 m + Bake kein Eingriff überlagert

Effekt	F-Wert	p-Wert	partielles $\eta^2$
Situation	$F(1, 2640) = 212,00$	$p < ,001$	$\eta^2 = ,074$
Eingriff	$F(1, 2640) = 338,15$	$p < ,001$	$\eta^2 = ,114$
Zeitpunkt	$F(23, 2640) = 16,33$	$p < ,001$	$\eta^2 = ,125$
Situation*Eingriff	$F(1, 2640) = 218,00$	$p < ,001$	$\eta^2 = ,076$
Situation*Zeitpunkt	$F(23, 2640) = 10,28$	$p < ,001$	$\eta^2 = ,082$
Eingriff*Zeitpunkt	$F(23, 2640) = 16,87$	$p < ,001$	$\eta^2 = ,128$
Situation*Eingriff*Zeitpunkt	$F(23, 2640) = 10,29$	$p < ,001$	$\eta^2 = ,082$

Tab. 26: Signifikante Ergebnisse der univariaten ANOVA für die abhängige Variable Geschwindigkeit der Ego-Fahrzeugs in der Hauptstudie des Arbeitspakets 3

Neben dem gemittelten Geschwindigkeitsverlauf wurden die Einzeltrajektorien der Probanden in den zwei kritischen Fahrsituationen betrachtet (siehe Bild 33 für Abstand -0,15 m und Bild 34 für Abstand -0,15 m + Bake). Dies ist besonders interessant, um mögliche (sicherheitskritische) Verhaltensmuster zu identifizieren.

Der Verlauf der Einzeltrajektorien deckte sich mit den zuvor berichteten inferenzstatistischen Analysen für das Gruppenmittel (im Vergleich der Situationen, wird bei Abstand -0,15 m + Bake stärker gebremst). Die Situation Abstand -0,15 m + Bake wurde auf

deskriptiver Einzelfallbasis weitergehend untersucht, da hier signifikante Änderungen im Geschwindigkeitsverlauf erkennbar waren. Viele Probanden reduzierten ihre Geschwindigkeit vor den Baken. Diese Geschwindigkeitsreduktion führte dazu, dass sich die Position der Fahrer auf der Strecke im zeitlichen Verlauf verschob (bei stärkerer Bremsung geringerer Fortschritt auf der Strecke). D. h., diese Fahrer passierten die Baken zu einem späteren Zeitpunkt (im Vergleich zum eingezeichneten Zeitpunkt bei 50 km/h).  $N = 6$  Probanden bremsen in dieser Situation vollständig auf 0 km/h ab. Dies kann als nicht optimales Verhalten in der

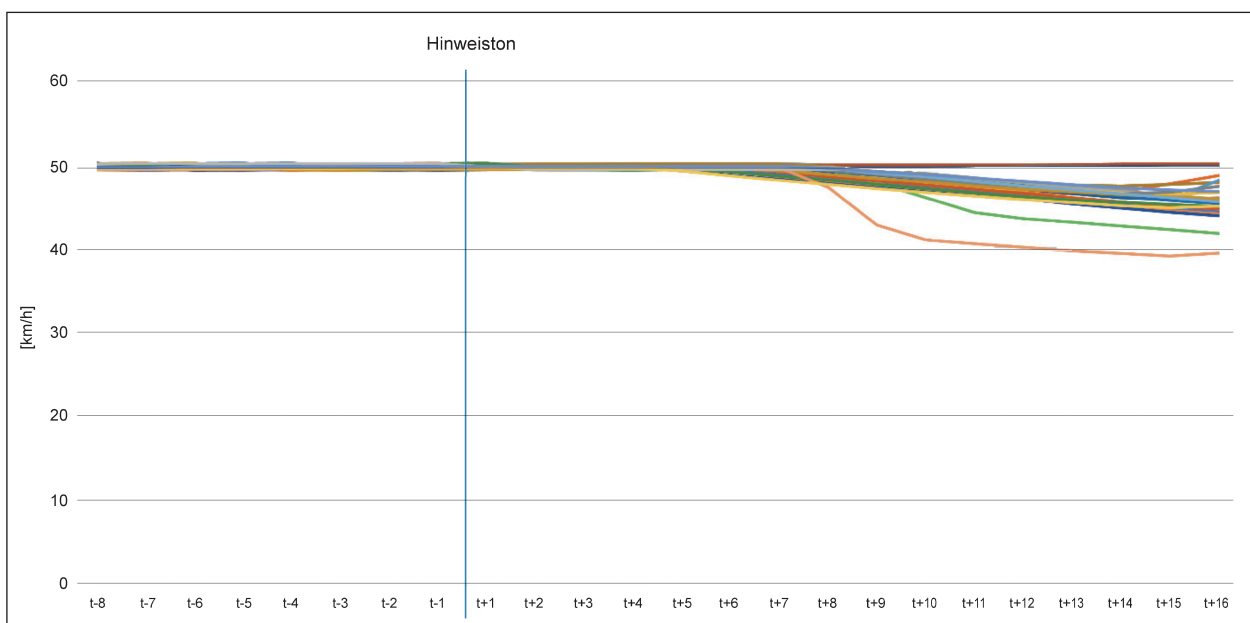


Bild 33: Einzeltrajektorien der Geschwindigkeit für die Situation Abstand -0,15 m in der Hauptstudie des Arbeitspakets 3

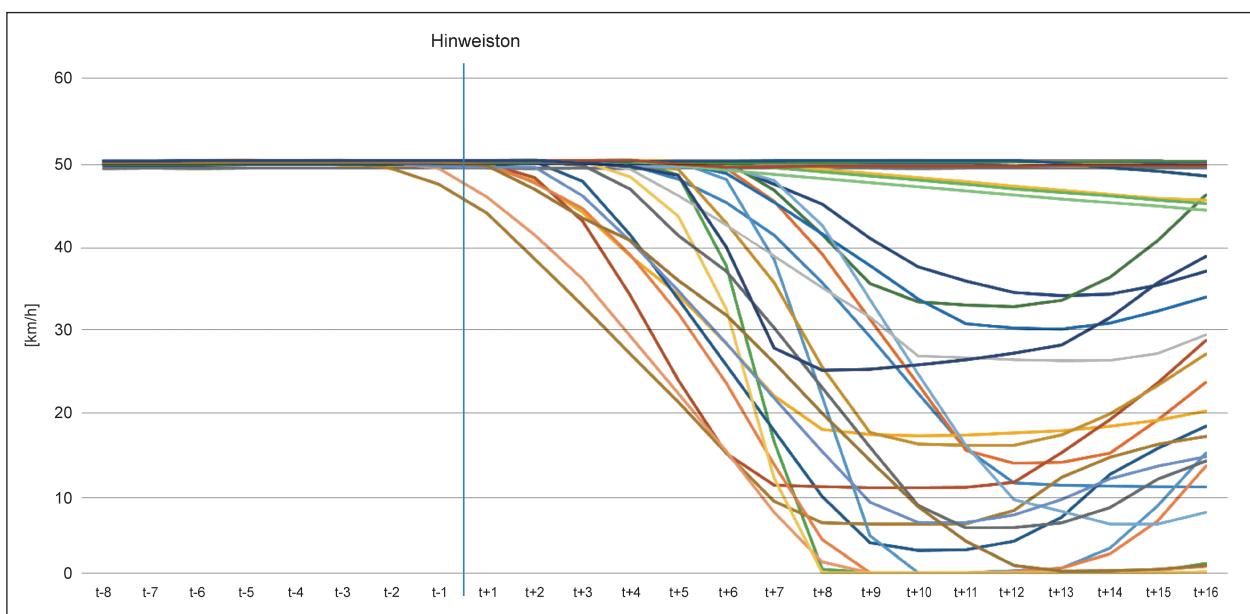


Bild 34: Einzeltrajektorien der Geschwindigkeit für die Situation Abstand -0,15 m + Bake in der Hauptstudie des Arbeitspakets 3



Fahrsituation bezeichnet werden (z. B. Störung des Verkehrsflusses oder Risiko eines Auffahrunfalls). Neben einem Komfortaspekt der subjektiven Schwellen (kritische Situationen werden als unangenehm/kritisch bewertet), gibt es also auch einen Sicherheitsaspekt. 10 % der Probanden verschlechterten die Fahrsituation durch den Eingriff in die Fahrzeugführung.

### Lateralversatz

Als dritter Objektivparameter wurde der Lateralversatz ausgewertet. Bild 35 zeigt den Lateralversatz für die zwei kritischen Fahrsituationen Abstand -0,15 m und Abstand -0,15 m + Bake.

Zur Überprüfung potenzieller Unterschiede wurde, wie bei der Geschwindigkeit, eine univariate ANO-

VA mit den unabhängigen Variablen Situation (Abstand -0,15 m; Abstand -0,15 m + Bake), Eingriff (kein Eingriff; Eingriff) sowie Zeitpunkt ( $t_{-8}$  bis  $t_{+16}$ ) durchgeführt. Als abhängige Variable diente der Lateralversatz des Ego-Fahrzeugs. Es zeigten sich signifikante Ergebnisse für alle Haupteffekte und Interaktionen (siehe Tabelle 27). Angeschlossene paarweise Vergleiche (Bonferroni-korrigiert) lieferten für die Situation Abstand -0,15 m signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen Eingriff und kein Eingriff ab  $t_{+7}$  ( $p < .05$ ). Für die Situation Abstand -0,15 m + Bake unterschieden sich die zwei Gruppen Eingriff und kein Eingriff signifikant zwischen  $t_{+5}$  und  $t_{+12}$  ( $p < .05$ ). In der Gruppe Eingriff unterschieden sich die zwei Situationen zu  $t_{+4}$  und ab  $t_{+9}$  ( $p < .05$ ), was bedeutet, dass in der Situation Abstand -0,15 m stärker nach rechts ausgewichen wurde. Zusammenfassend unterscheidet sich die

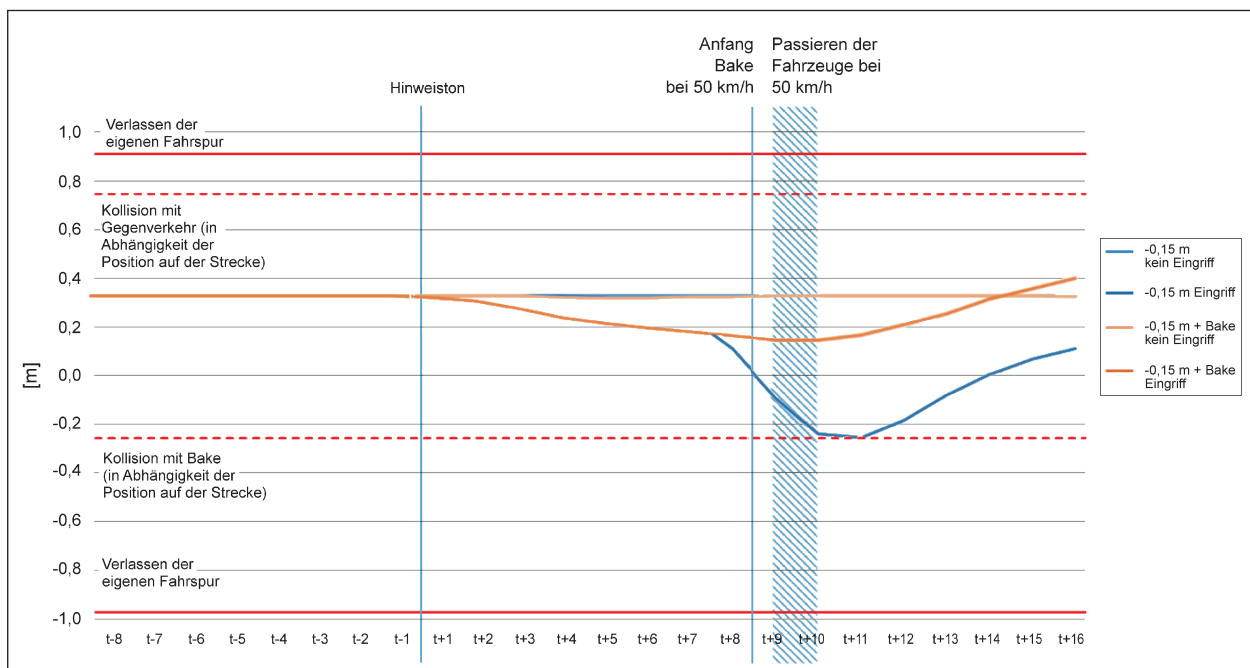


Bild 35: Lateralversatz in den zwei kritischen Fahrsituationen (Abstand -0,15 m und Abstand -0,15 m + Bake) in der Hauptstudie des Arbeitspakets 3

Effekt	F-Wert	p-Wert	partielles $\eta^2$
Situation	$F(1, 2640) = 61,74$	$p < ,001$	$\eta^2 = ,023$
Eingriff	$F(1, 2640) = 309,05$	$p < ,001$	$\eta^2 = ,105$
Zeitpunkt	$F(23, 2640) = 19,62$	$p < ,001$	$\eta^2 = ,146$
Situation*Eingriff	$F(1, 2640) = 67,33$	$p < ,001$	$\eta^2 = ,025$
Situation*Zeitpunkt	$F(23, 2640) = 9,63$	$p < ,001$	$\eta^2 = ,077$
Eingriff*Zeitpunkt	$F(23, 2640) = 19,72$	$p < ,001$	$\eta^2 = ,147$
Situation*Eingriff*Zeitpunkt	$F(23, 2640) = 9,25$	$p < ,001$	$\eta^2 = ,075$

Tab. 27: Signifikante Ergebnisse der univariaten ANOVA für die abhängige Variable Lateralversatz der Ego-Fahrzeugs in der Hauptstudie des Arbeitspakets 3

Lateralposition der Fahrer gemäß den berichteten Vergleichen in Abhängigkeit der Fahrsituation, des Zeitpunkts und inwiefern eingegriffen wurde.

Zusätzlich zu den gemittelten Kurven des Lateralversatzes wurden auch hier die Einzeltrajektorien der verschiedenen Fahrer betrachtet. Bild 36 beinhaltet die Einzeltrajektorien für die Situation Abstand  $-0,15\text{ m}$ , für die Situation Abstand  $-0,15\text{ m} + \text{Bake}$ .

Anhand dieser grafischen Darstellung der Einzeltrajektorien lässt sich erkennen, dass insgesamt  $n = 6$

Versuchspersonen Fahrfehler verursachten. Als Fahrfehler wurden sämtliche Kollisionen (entgegenkommendes Fahrzeug, Bake) oder das Verlassen des eigenen Fahrstreifens verstanden. In der Situation Abstand  $-0,15\text{ m}$  fuhr  $n = 1$  Fahrer auf den anderen Fahrstreifen. In der Situation Abstand  $-0,15\text{ m} + \text{Bake}$  kamen  $n = 4$  Fahrer auf den anderen Fahrstreifen. Es kam aber zu keiner Kollision mit dem Gegenverkehr, da dieser jeweils bereits passiert war.  $N = 1$  Proband verursachte eine Kollision mit der Bake.  $N = 4$  weitere Probanden erreichten laut Bild 37 zwar die rote Linie einer Kollision mit den Baken, durch eine Bremsung standen bei die-

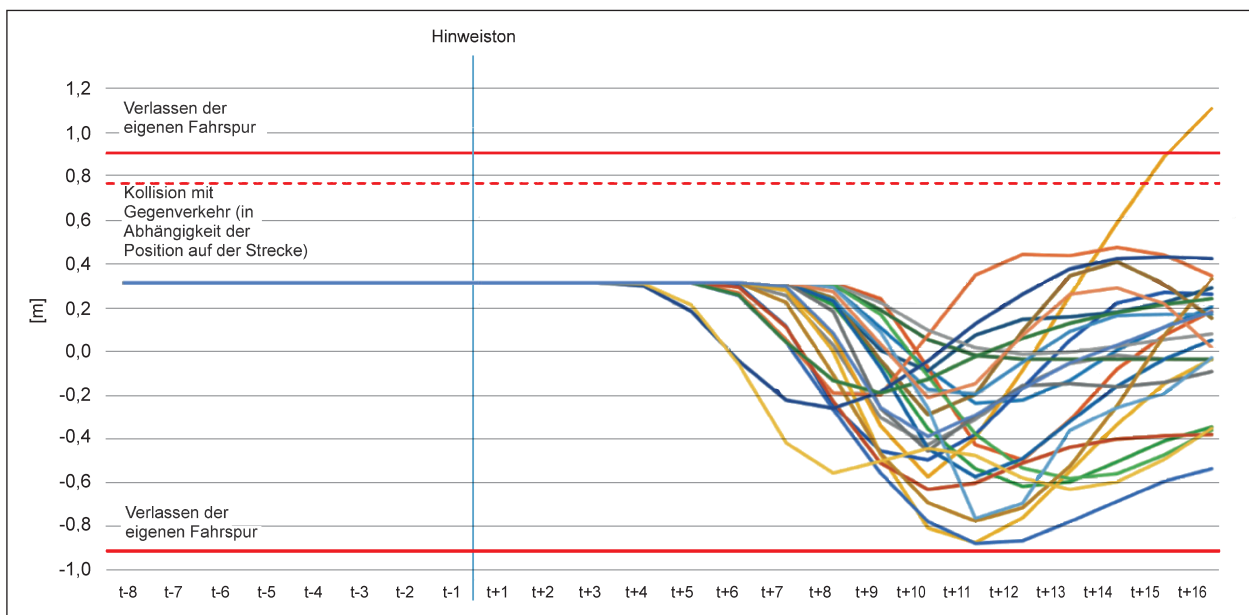


Bild 36: Einzeltrajektorien des Lateralversatzes für die Situation Abstand  $-0,15\text{ m}$  in der Hauptstudie des Arbeitspakets 3

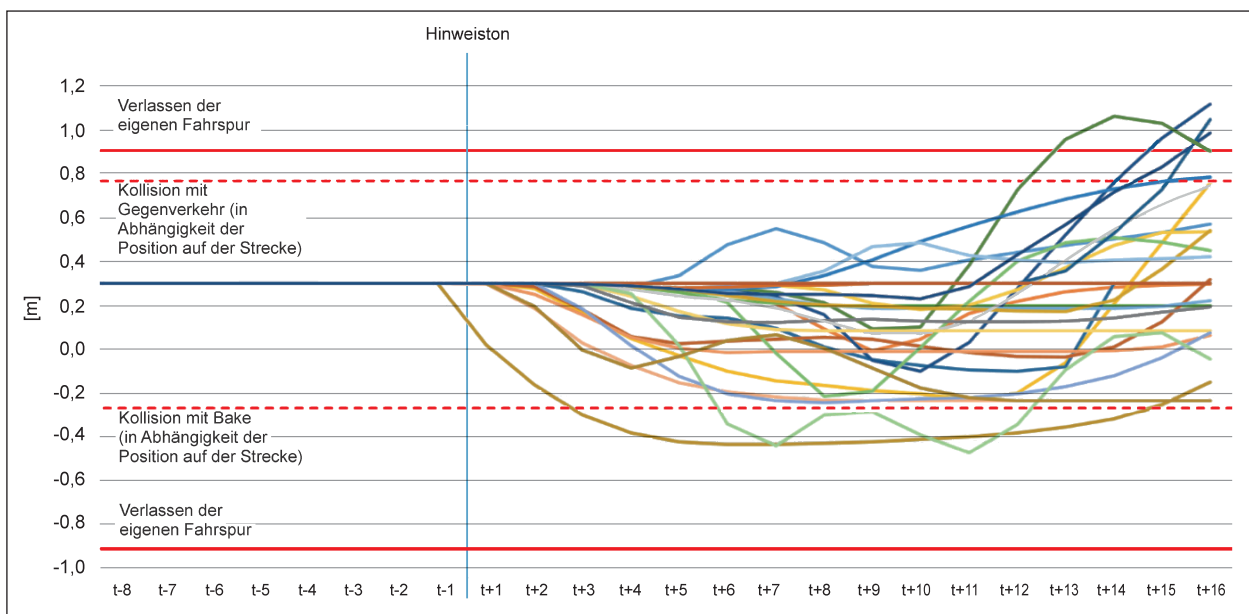


Bild 37: Einzeltrajektorien des Lateralversatzes für die Situation Abstand  $-0,15\text{ m} + \text{Bake}$  in der Hauptstudie des Arbeitspakets 3

sen Probanden allerdings noch keine Baken auf der Strecke. Neben einem Komfortaspekt der subjektiven Schwellen gibt es also auch hier einen Sicherheitsaspekt. 10 % der Probanden verschlechterten die Fahrsituation durch den Eingriff in die Fahrzeugführung.

### Vergleich der zwei Objektivfahrparameter

Neben der separaten Auswertung der Geschwindigkeit und des Lateralversatzes wurden diese beiden Parameter auf deskriptiver Basis miteinander verglichen. Diese Auswertung beschränkte sich auf die Situation Abstand -0,15 m + Bake, da hier auf inferenzstatistischer Basis signifikante Geschwindigkeitsveränderungen festgestellt wurden.

In der Geschwindigkeit lassen sich zwei Gruppen bilden (größer und kleiner 20 km/h, s. auch Bild 39). Für diese zwei Gruppen wurden die zwei Objektivparameter (Geschwindigkeit und Lateralposition) miteinander verglichen. Bild 38 zeigt, dass es bei höheren Geschwindigkeiten eine größere Variabilität der Lateralposition gibt. Bei niedrigen Geschwindigkeiten hingegen tendieren Fahrer eher zum Ausweichen nach rechts.

Des Weiteren wurden, in Fortführung zur Analyse der Fahrfehler in der Querregelung unter Kapitel 5.2.4, die Geschwindigkeitsverläufe für die  $n = 5$  Probanden, die entweder auf die Gegenfahrbahn

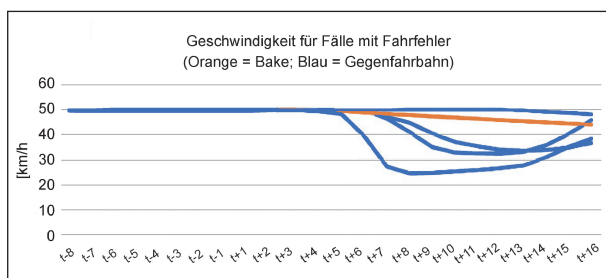


Bild 38: Geschwindigkeitsverlauf für die Probanden mit Fehler in der Querregelung in der Situation Abstand -0,15 m + Bake in der Hauptstudie des Arbeitspakets 3

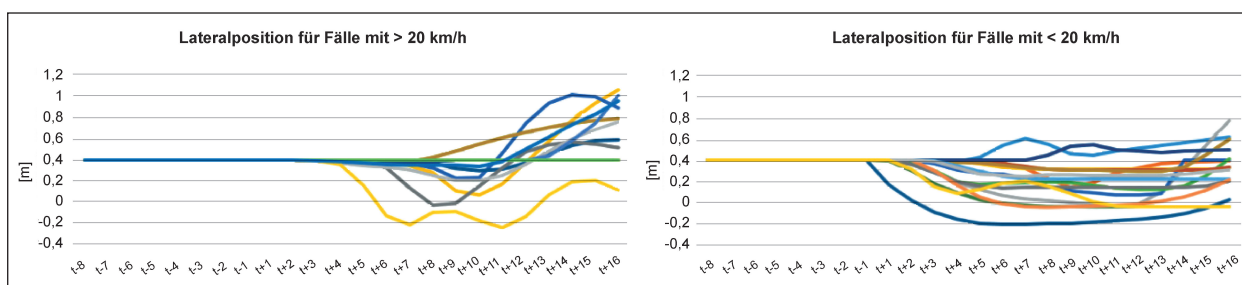


Bild 39: Lateralposition der Einzelfälle in den zwei Gruppen größer bzw. kleiner 20 km/h in der Situation Abstand -0,15 m + Bake in der Hauptstudie des Arbeitspakets 3

führen oder mit der Bake kollidierten, untersucht (siehe Bild 38). Es zeigte sich, dass Probanden, die in der Situation Abstand -0,15 m + Bake Fahrfehler in der Querregelung begingen, deskriptiv Fahrer waren, die die Geschwindigkeit nicht reduzierten. Somit deckt sich dieses Ergebnis mit dem zuvor berichteten Vergleich der zwei Objektivparameter.

### 5.2.5 Beantwortung der Hypothesen

Aufbauend auf den Ergebnissen der Fahrstudie lassen sich die unter Kapitel 5.1.2 formulierten Hypothesen beantworten. Nachfolgend geschieht dies einzeln für jede der Hypothesen.

1. Für die unkritischen Gegenverkehrsszenarien (0,85 m / 0,35 m) bewerten Fahrer die automatisierte Fahrt sowohl vor als auch ab Erscheinen des Gegenverkehrs als angemessen und angenehm.

Die Ergebnisse der Subjektivfragebogen weisen nach, dass die Probanden die beiden Gegenverkehrssituationen Abstand 0,85 m und 0,35 m als sehr angenehm und angemessen bewerteten (siehe Tabelle 15 und Tabelle 17). Somit kann Hypothese 1 angenommen werden.

2. Für das kritische Gegenverkehrsszenario (-0,15 m) bewerten Fahrer die automatisierte Fahrt

- vor Erscheinen des Gegenverkehrs als angemessen und angenehm,
- ab Erscheinen des Gegenverkehrs als nicht angemessen und unangenehm.

Basierend auf dem Subjektivurteil der Probanden wurden die Situationen Abstand -0,15 m und -0,15 m + Bake vor Erscheinen des Gegenverkehrs als angenehm und angemessen bewertet. Ab Erscheinen des Gegenverkehrs än-

derte sich dieses Urteil insofern, als dass die Trajektorie des Ego-Fahrzeugs ab diesem Zeitpunkt als unangenehm und von ca. der Hälfte der Probanden als unangemessen bewertet wurde (siehe Tabelle 15 und 17). Somit kann Hypothese 2 mit leichten Einschränkungen hinsichtlich der Angemessenheitsbewertung angenommen werden.

3. Beim Erscheinen des unkritischen Gegenverkehrs (0,85 m / 0,35 m) werden Fahrer nicht in die automatisierte Fahrzeugführung eingreifen.

Gemäß ihrem Subjektivurteil griffen die Probanden in den zwei Gegenverkehrssituationen Abstand 0,85 m und 0,35 m nicht in die Fahrzeugführung ein (siehe Tabelle 16). Dies deckt sich mit den Objektivdaten. Somit kann Hypothese 3 angenommen werden.

4. Beim Erscheinen des kritischen Gegenverkehrs (-0,15 m) werden Fahrer mit dem Ziel, der Verletzung der subjektiven Fahrleistungsschwelle entgegenzuwirken, ab Erscheinen des Gegenverkehrs
  - a. die Aktivität in der FFT verringern, um so ausreichend Ressourcen für die Regulierung der Fahraufgabe bereitzustellen
  - b. nach rechts lenken und somit ihre Spurposition in Richtung der Mitte des Ego-Fahrstreifens verschieben
  - c. zusätzlich einen Bremsvorgang einleiten, um den Zeitpunkt des Aufeinandertreffens beider Fahrzeuge zeitlich zu verzögern (lediglich für die Zusatzsituation, in der am rechten Fahrbahnrand Baken positioniert sind).

Gemäß ihrem Subjektivurteil übernahm ca. die Hälfte der Probanden in den Situationen Abstand -0,15 m und -0,15 m + Bake die Fahrzeugführung vom automatisierten System (siehe Tabelle 16). Laut ihrer eigenen Aussage lenkten und bremsen sie.

Dies deckt sich auch mit den Objektivdaten. Es scheint einen proaktiven Handlungsmechanismus im Verhalten der Fahrer zu geben. In der FFT zeigte sich, dass Fahrer in allen Situationen die Aktivität reduzierten, um somit potenziell benötigte Ressourcen freizugeben. Sofern die Situation bzw. die eigene Trajektorie als angenehm eingeschätzt und nicht eingegriffen wurde, wurde die Aktivität in der FFT wieder erhöht. In den als unangenehm bzw. kritisch eingeschätzten Situationen unterschied sich die Ak-

tivität in Abhängigkeit davon, ob die Fahrer in die Fahrzeugführung eingriffen. Im Falle keines Eingriffs wurde die Aktivität in der FFT wiederaufgenommen, sobald die Kritikalität der Situation abnahm (d. h., wenn der Gegenverkehr passiert war). Im Falle eines Eingriffs wurden die freigewordenen Ressourcen für die Fahraufgabe benötigt. Aus diesem Grund blieb die Aktivität in der FFT auf einem niedrigen Niveau (siehe Bild 31).

Für diese Situationen mit Eingriff ließen sich signifikante Veränderungen in der Lateralposition ca. eine (Situation Abstand -0,15 m) bzw. zwei (Situation Abstand -0,15 m + Bake) Sekunden vor Passieren des Gegenverkehrs erkennen. Ab Passieren des Gegenverkehrs unterschied sich die Lateralposition dabei signifikant zwischen den zwei Situationen. Ohne Bake wichen Fahrer deutlich stärker nach rechts aus (siehe Bild 35). Hinsichtlich der Geschwindigkeit zeigte sich, dass Fahrer in der Situation Abstand -0,15 m + Bake ca. 2,6 Sekunden nach dem Hinweiston signifikant die Geschwindigkeit reduzierten. Ein Teil der Probanden bremste bis zum vollständigen Stillstand ab. Dies geschah nicht in der Situation Abstand -0,15 m (siehe Bild 32). Insgesamt kann somit Hypothese 4 angenommen werden.

### 5.2.6 Erste Schlussfolgerungen zur Notwendigkeit adaptiver Mechanismen in automatisierten Fahrfunktionen

Insgesamt deuten die Studienergebnisse der Fahr-simulationsstudie darauf hin, dass ein adaptiver Mechanismus in der Trajektorienplanung sinnvoll wäre, um das fahrerseitige Komfort- und Sicherheitslevel zu steigern. In subjektiv als unangenehm bzw. kritisch eingeschätzten Situationen, in denen unter Verwendung des automatisierten Systems keine Fahrfehler bzw. Unfälle auftreten würden, griff ca. die Hälfte der Probandenstichprobe in die Fahrzeugführung ein. Durch Fahrfehler in der Querregelung bzw. nicht optimales Verhalten in der Längsrichtung löste ein Teil dieser Fahrer die Situation schlechter als es durch das System geschehen wäre. Durch eine schlecht oder nicht kontrollierte (Impuls-)Handlung zeigten sie eine Art Überkompensation für die Fahrsituation (zu extremes Eingreifen in Längs- oder Querregelung).

Gemäß den aktuellen Ergebnissen sollte ein automatisiertes System insgesamt so konzipiert sein, dass es (a) adaptive Mechanismen besitzt und/oder



(b) dem Fahrer Rückmeldung gibt, dass es eine Situation erfolgreich lösen kann. Mithilfe dieser grundsätzlichen Empfehlungen ist zu vermuten, dass fahrerseitiges Vertrauen geschaffen und sicherheitskritische bzw. nicht optimale Eingriffe verhindert werden könnten.

Konkreter sollte ein automatisiertes System vor einer kritischen Situation, in der Fahrer die eigene Trajektorie subjektiv als unangenehm bzw. nicht akzeptabel bewerten, proaktiv handeln. Die eigene Trajektorie sollte so angepasst werden, dass sie in einem von Fahrern als angenehm bewerteten Bereich liegt. Zur Vermeidung eines fahrerseitigen Eingriffs sollte dabei die Trajektorie mindestens ca. zwei Sekunden vor der kritischen Situation adaptiert werden, da laut den Studienergebnissen nach diesem Zeitpunkt fahrerseitige Eingriffe zu erwarten wären.

Des Weiteren zeigten die Studienergebnisse, dass sich die Art des fahrerseitigen Eingriffs zwischen den Fahrsituationen unterschied (stärkeres Ausweichen in der einen vs. stärkeres Bremsen in der anderen Situation). Dies sollte bei der Auslegung adaptiver Mechanismen eines automatisierten Systems berücksichtigt werden. Ein System sollte, sofern möglich, die Adaptation der Trajektorie wählen, die der Fahrer selber bevorzugen würde. Für den aktuellen Fall wäre dies bei einer Engstelle (Baken) eine Bremsung, bei keinem zusätzlichen Hindernis ein stärkeres Ausweichen bei gleichbleibender Geschwindigkeit.

Der letzte Gestaltungshinweis für adaptive Trajektorienmechanismen betrifft die FFT. Die Studienergebnisse zeigten, dass sich der Aktivitätsverlauf zwischen Fahrten, die als angenehm bzw. unangenehm bewertet wurden, unterschied. Aus diesem Grund könnte die Aktivität einer FFT als Indikator für die subjektive Kritikalität einer Situation genutzt (z. B. eine frühere Wiederaufnahme der FFT deutet auf eine geringe Kritikalität der Situation und eine angenehme Trajektorie hin) und adaptive Mechanismen prädiktiv hierauf abgestimmt werden. Eine frühe Wiederaufnahme der FFT vor einer potenziell kritischen Situation wäre ein Indikator dafür, dass ein Fahrer eine Trajektorie als angemessen bewertet und keine adaptiven Mechanismen aktiviert werden müssten. Komplementär gälte, dass bei ausbleibender Wiederaufnahme der FFT adaptive Mechanismen gemäß den oben beschriebenen Hinweisen aktiviert werden sollten.

## 6 Arbeitspaket 4

Arbeitspaket 4 umfasste die Verifikation der in den bisherigen Arbeitspaketen erarbeiteten Ergebnisse auf der Teststrecke. Zum einen wurden die in der Online-Studie des Arbeitspakets 2 identifizierten Schwellenwerte überprüft. Zum anderen galt es, die in Arbeitspaket 3 erlangten empirischen Befunde in einer Realfahrtsstudie zu replizieren und somit die Validität und Praxisrelevanz der Ergebnisse für die Gestaltung automatisierter Fahrfunktionen im Sinne adaptiver Mechanismen in der Trajektorienplanung nachzuweisen.

Für diesen Zweck wurde eine zweiteilige Studie auf der Teststrecke des Instituts für Kraftfahrzeuge (ika) der RWTH Aachen University durchgeführt. Beide Studienteile wurden im Rahmen einer gemeinsamen Testung durchgeführt und alle Probanden absolvierten beide Studienteile. Im Folgenden sind die Methodik, die Ergebnisse sowie mögliche Schlussfolgerungen beider Studienteile dargelegt.

### 6.1 Methode

Im Folgenden werden das allgemeine Fahrszenario beider Studienteile, der spezifische Aufbau der zwei Studienteile sowie der Ablauf der Gesamtstudie berichtet.

#### 6.1.1 KapAllgemeines Fahrszenario

Zur Durchführung der Studie wurde ein vergleichbares Fahrszenario zu den bisherigen Studien der Arbeitspakete 2 und 3 gewählt. Die Studie fand auf der Teststrecke des ika statt (Bild 40). Es wurde eine zweispurige Landstraße mit einer jeweiligen Fahrstreifenbreite von 3.50 m dargestellt. Dabei wechselten sich kurvige und geradeausführende Streckenpassagen ab. Bild 41 stellt den Strecken-



Bild 40: ika-Teststrecke



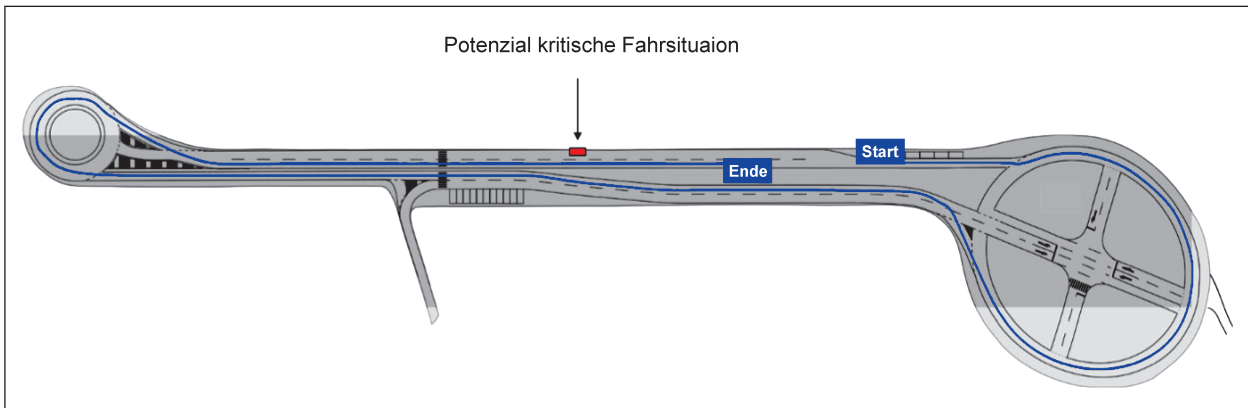


Bild 41: Strecken- bzw. Szenarioverlauf der Realfahrstudie



Bild 42: Versuchsfahrzeug (Passat CC) der Realstudie

verlauf der Studie, der im Uhrzeigersinn absolviert wurde, dar. Die erste Kurve am Anfang der Strecke hatte einen Kurvenradius von ca. 45 m. Es folgte eine Gerade mit einer Länge von ca. 400 m, gefolgt von einer weiteren Kurve mit einem Radius von 17,5 m. Als letzter Streckenabschnitt folgte erneut eine Gerade mit einer Länge von ca. 400 m. Insgesamt entsprach eine Fahrt auf der Strecke einer Teststreckenrunde.

Die Probanden fahren in einem Passat CC mit einer Breite von 1,86 m, der über eine automatisierte Fahrfunktion verfügte (Bild 42). Diese automatisierte Fahrfunktion war, wie in Arbeitspaket 3, in der Lage, Brems-, Beschleunigungs- und Lenkmanöver durchzuführen. Es wurde eine Richtgeschwindigkeit von maximal 50 km/h festgelegt. Die Funktion konnte auftretenden Hindernissen auf der Strecke, wie z. B. entgegenkommenden Fahrzeugen oder Baustellen, nicht automatisiert ausweichen, sodass die Fahrer im Bedarfsfall die Fahrzeugführung übernehmen mussten. Im Falle eines Hindernisses gab das System einen ca. vier Sekunden vorgelagerten Hinweis. Dieser war nicht als zwingende Übernahmeaufforderung zu verstehen, sondern diente lediglich als Information. Die Fahrer mussten eigenständig entscheiden, inwiefern sie einen Eingriff als notwendig ansahen und die Fahrzeugführung über-



Bild 43: Symbole (Tempomat und Spurhaltung) im Instrumenten-Kombi bei aktivem automatisiertem System in der Realstudie

nehmen wollten. Die Aktivierung der Funktion erfolgte über das Ziehen des ACC-Hebels unterhalb des Lenkrads. Bei aktivem System erschienen ein grünes Tempomaten- und Spurhaltungssymbol im Instrumenten-Kombi (siehe Bild 43). Eine Deaktivierung des Systems war jederzeit über Drücken des ACC-Hebels bzw. über Eingriffe in die Längs- oder Querführung möglich.

Es gab im Streckenverlauf keinen mittelfließenden Verkehr. Vergleichbar zu den vorherigen Arbeitspaketen wurden allerdings Gegenverkehrssituationen dargestellt. Der Gegenverkehr war ein Pkw und wurde über ein Balloon-Car mit einer Breite von ca. 1,50 m realisiert. Basierend auf den bestehenden Gegenverkehrssituationen der Arbeitspakete 2 und 3 wurden drei Variationen des Gegenverkehrs realisiert (siehe Bild 44 und Bild 45). In der ersten Situation, die als unkritisch bzw. angenehm klassifiziert wurde, war der Abstand des Gegenverkehrs zur Straßenmitte 0,85 m. Diese Situation stellte eine

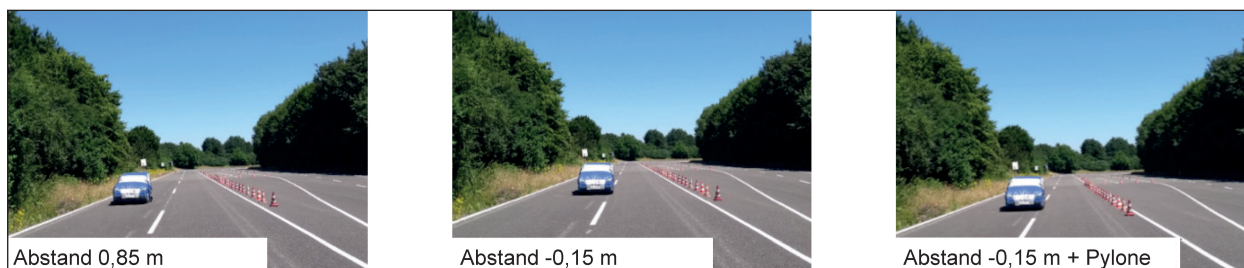


Bild 44: Gegenverkehrssituationen der Realstudie. Anmerkung: Die Bezeichnung „Abstand“ bezieht sich auf den Abstand des Gegenverkehrs zur Straßenmitte

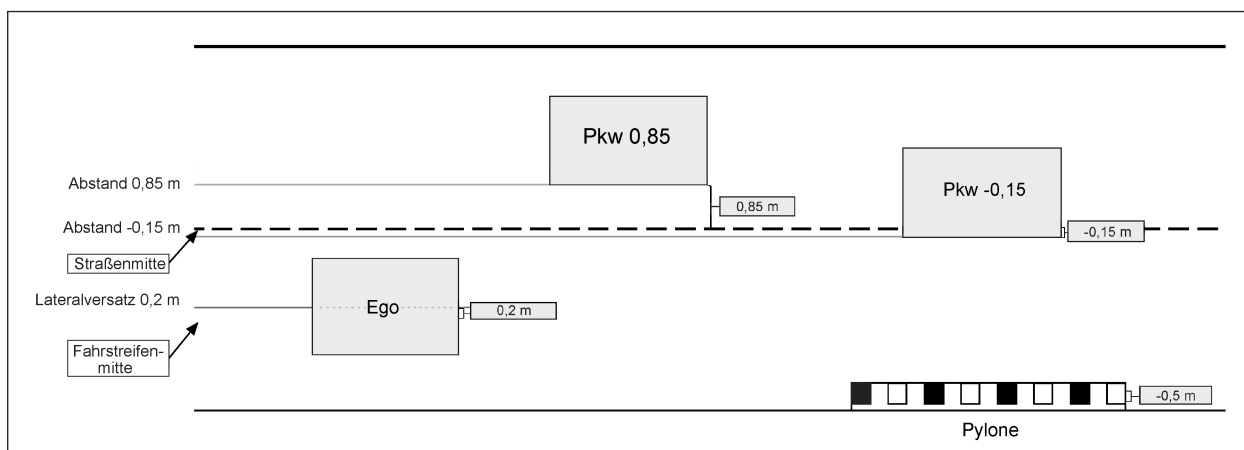


Bild 45: Schematische Darstellung des Lateralversatzes des Ego-Fahrzeugs sowie des Gegenverkehrs in der Realstudie

Arbeitspaket	Breite Ego-Fahrzeug	Lateralversatz Ego-Fahrzeug von Fahrstreifenmitte	Abstand Ego-Fahrzeug zur Straßenmitte	Position Baken/Pylonen	Abstand Ego-Fahrzeug zu Baken/Pylonen
2/3	1,67 m	0,3 m	0,61 m	0,7 m	0,51 m
4	1,86 m	<b>0,21 m → 0,2 m</b>	0,61 m	<b>0,52 m → 0,5 m</b>	0,51 m

Anmerkung:  
Die Anpassungen wurden in fett markiert. Die Anpassung des Lateralversatzes des Ego-Fahrzeugs wurde beispielhaft für den Lateralversatz von 0,3 m dargestellt. Für andere Lateralversätze ist eine analoge Anpassung vorzunehmen.

Tab. 28: Anpassung des Lateralversatzes des Ego-Fahrzeugs sowie der Position der Pylonen in der Realstudie

Baseline dar. In einer zweiten Situation war der Abstand des Gegenverkehrs zur Straßenmitte  $-0,15$  m. Dieser war in einer dritten Situation gleich, wobei zusätzlich am rechten Fahrbahnrand des Ego-Fahrstreifens Pylonen (anstelle von Baken) aufgestellt waren. Die Pylonen begannen ca.  $3,60$  m vor dem Balloon-Car. Ausgehend von den bisherigen Projektergebnissen wurden die zweite und dritte Situation als kritisch bzw. unangenehm klassifiziert.

Wie zuvor bereits erwähnt, betrug die Fahrzeugbreite des Ego-Fahrzeugs im Vergleich zu den Arbeitspaketen 2 und 3 nicht  $1,67$  m, sondern  $1,86$  m. Da allerdings die Fahr Situationen zwischen den verschiedenen Arbeitspaketen vergleichbar sein sollten (d. h., gleicher Abstand des Ego-Fahrzeugs zur

Straßenmitte und zu den Baken/Pylonen), musste der Lateralversatz des Ego-Fahrzeugs sowie die Position der Baken/Pylonen angepasst werden. Tabelle 28 stellt die vorgenommenen Änderungen dar. Bild 45 beinhaltet eine schematische Darstellung der verschiedenen Gegenverkehrssituationen.

Wie in Arbeitspaket 3 ließ sich der zeitliche Ablauf einer Gegenverkehrssituation in die zwei Zeiträume „Vor Erscheinen des Gegenverkehrs“ und „Ab Erscheinen des Gegenverkehrs“ unterteilen. Wie in Kapitel 5.2.1 wurde unter dem Zeitraum „Vor Erscheinen des Gegenverkehrs“ die Zeit vor dem Hinweiston verstanden, zu der noch kein Gegenverkehr ersichtlich war (siehe Bild 46). Somit unterschied sich die automatisierte Fahrt im Zeitraum „Vor Er-

scheinen des Gegenverkehrs“ nicht zwischen den drei Gegenverkehrssituationen. Insofern kann dieser Zeitraum als identisches Unterszenario der drei Gegenverkehrssituationen verstanden werden, das jeweils subjektiv gleich wahrgenommen werden sollte. Der Zeitraum „Ab Erscheinen des Gegenverkehrs“ begann, sobald der Gegenverkehr ersichtlich wurde, d. h. zum Zeitpunkt des Hinweistons.



Bild 46: Unterszenario „Vor Erscheinen des Gegenverkehrs“ der drei Gegenverkehrssituationen in der Realstudie

Lateralversatz Ego-Fahrzeug (Realstudie – Studienteil 1)	Entspricht in Arbeitspaket 2/3	
0,0 m	0,1 m	Unterhalb des in AP 2 bestimmten Schwellenwerts (0,47 m)
0,2 m	0,3 m	
0,4 m	0,5 m	Oberhalb des in AP 2 bestimmten Schwellenwerts (0,47 m)
0,6 m	0,6 m	

Tab. 29: Abstufungen des Lateralversatzes des Ego-Fahrzeugs in Studienteil 1 in der Realstudie

### 6.1.2 Aufbau Studienteil 1

Ein Ziel des Arbeitspakets 4 war die Überprüfung der in der Online-Studie identifizierten Schwellwerte in einer Realfahrtsstudie. Hierfür wurde der Studienteil 1 der Realtestung durchgeführt, in dem die Probanden verschiedene automatisierte Fahrten im zuvor beschriebenen Landstraßenszenario in der Gegenverkehrssituation Abstand 0,85 m erlebten und subjektiv bewerteten. Als unabhängige Variable wurde zwischen den automatisierten Fahrten der Lateralversatz des Ego-Fahrzeugs als Innersubjekt-Faktor in vier Stufen variiert. Dabei lagen zwei der implementierten Trajektorien unterhalb des in Arbeitspaket 2 bestimmten Schwellenwerts einer subjektiv angemessenen Fahrleistung von 0,47 m. Die zwei anderen Trajektorien lagen oberhalb des Schwellenwerts (siehe Tabelle 29 und Bild 47). Da es in diesem ersten Studienteil um die reine Bewertung automatisierter Fahrten ging und um die Vergleichbarkeit zum Arbeitspaket 2 zu gewährleisten, wurde der Hinweiston des automatisierten Systems bei einem auftretenden potenziellen Hindernis deaktiviert.

Als abhängige Variablen der subjektiven Trajektorienbewertung wurden ausgewählte Subjektivfragen des Arbeitspakets 3 verwendet. Erstens wurde die Angemessenheit der automatisierten Fahrt insgesamt im Hinblick auf die Position des Ego-Fahrzeugs auf der Straße bewertet (angemessen vs. nicht angemessen). Zweitens wurde erfragt, ob der Proband in die automatisierte Fahrzeugführung eingegriffen hätte (ja vs. nein). Drittens wurde die Komfort-Sicherheits-Skala angewendet (siehe auch Kapitel 4.2.1).

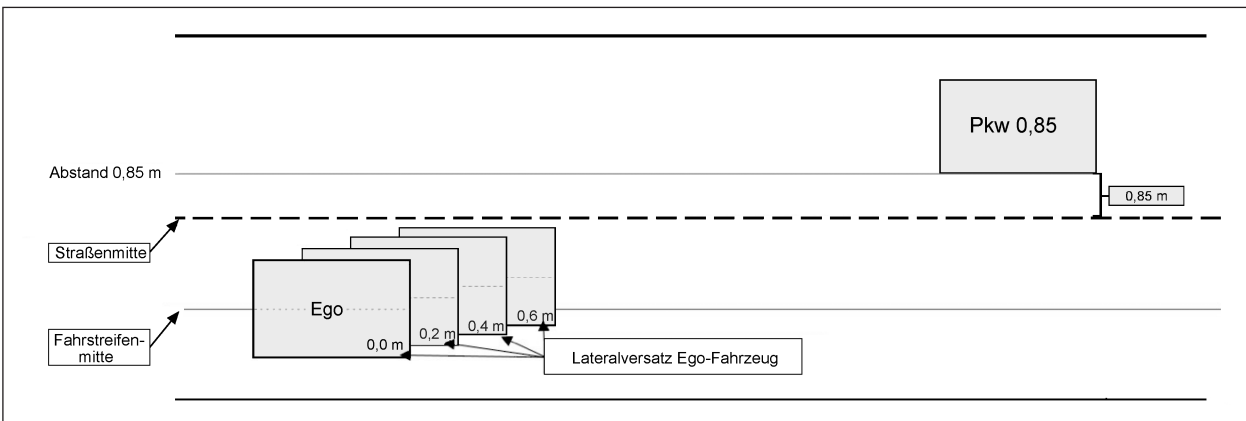


Bild 47: Schematische Darstellung der Fahrsituation des Studienteil 1 inkl. der Lateralversätze des Ego-Fahrzeugs in der Realstudie



### 6.1.3 Aufbau Studienteil 2

Weitere Ziele des Arbeitspakets 4 waren die Replikation der in Arbeitspaket 3 erlangten empirischen Befunde in einer Realfahrtsstudie sowie die Überprüfung der Validität und Praxisrelevanz der Ergebnisse für die Gestaltung automatisierter Fahrfunktionen (adaptive Trajektorienmechanismen). Für diesen Zweck wurde Studienteil 2 der Realtestung realisiert, in dem die Probanden erneut automatisierte Fahrten auf der Teststrecke erlebten. Die unter Kapitel 6.1.1 beschriebenen Gegenverkehrssituationen (Abstand 0,85 m, Abstand -0,15 m, Abstand -0,15 m + Pylone) dienten als unabhängige Variable. Es wurde ein Mixed-Design mit zwei Probandengruppen realisiert, in dem eine Gruppe (Gruppe A) die unkritische Baseline (Abstand 0,85 m) sowie die kritische Situation Abstand -0,15 m erlebte. Die andere Gruppe (Gruppe B) erlebte ebenfalls die unkritische Baseline (Abstand 0,85 m), als kritische Situation wurde allerdings Situation Abstand -0,15 m + Pylone implementiert. Als solches erlebte jeder Proband zwei automatisierte Fahrten gemäß der Gruppenzuordnung. Dabei konnte jede der zwei Fahrten in die in Kapitel 6.1.1 beschriebenen Zeiträume „Vor Erscheinen des Gegenverkehrs“ und „Ab Erscheinen des Gegenverkehrs“ unterteilt werden. „Vor Erscheinen des Gegenverkehrs“ war dabei als identisches Unterszenario der Gegenverkehrssituationen zu verstehen, in dem sich die automatisierte Fahrt zwischen den Gegenverkehrssituationen nicht unterschied (da noch kein Gegenverkehr ersichtlich war). Die Differenzierung zwischen den Gegenverkehrssituationen ergab sich erst „Ab Erscheinen des Gegenverkehrs“ durch die Manipulation des Abstands des Gegenverkehrs.

In beiden Fahrten, die jeder Proband absolvierte, betrug der Lateralversatz des Ego-Fahrzeugs 0,2 m. Dieser Versatz entsprach der in der Hauptstudie des Arbeitspakets 3 verwendeten Trajektorie des Ego-Fahrzeugs. In diesem Studienteil wurde das automatisierte System im vollen Systemumfang genutzt, d. h. bei Erscheinen eines Hindernisses wurde der Hinweiston dargeboten (im Vergleich zum Studienteil 1, in dem der Hinweiston deaktiviert war). Wie auch in Arbeitspaket 3 bearbeiteten die Probanden die SuRT als FFT im Verlauf der automatisierten Fahrten. Bild 48 zeigt den Aufbau der SuRT im Versuchsfahrzeug.

Wie in Arbeitspaket 3 wurde jede der automatisierten Fahrten über dieselben subjektiven Fragen, die

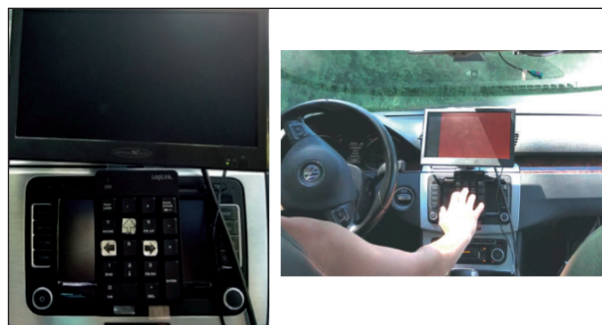


Bild 48: Aufbau der SuRT im Versuchsfahrzeug in der Realstudie

in Kapitel 5.2.1 beschrieben sind, bewertet. Sie betrafen die Wahrnehmung des Gegenverkehrs, die Bewertung der Angemessenheit der Ego-Trajektorie und die Komfort-Sicherheits-Skala (siehe auch Kapitel 4.2.1) (je nach Wahrnehmung des Gegenverkehrs für die gesamte Fahrt oder für die zwei Zeiträume „Vor Erscheinen des Gegenverkehrs“ und „Ab Erscheinen des Gegenverkehrs“) sowie, falls durchgeführt, eine Beschreibung und Begründung eines Eingriffs in die automatisierte Fahrzeugführung. Diese Subjektivfragen dienten als abhängige Variablen der Studie. Weitere abhängige Variablen waren diverse Objektivparameter, die auch bereits in Arbeitspaket 3 verwendet wurden. So wurden als Fahrparameter der Lateralversatz des Ego-Fahrzeugs von der Fahrstreifenmitte (bezogen auf die Mitte des Fahrzeugs) sowie longitudinale Eingriffe des Fahrers (Geschwindigkeitsanpassungen) ausgewertet. Als Maß für die FFT-Bearbeitung wurden die Inputs, d. h. die Eingaben auf den Pfeiltasten, verwendet.

### 6.1.4 Ablauf

Insgesamt nahm die Realstudie pro Proband ca. 60 min in Anspruch. Die Durchführung erfolgte im Juni 2018. Nach der Begrüßung unterzeichnete jeder Proband die Datenschutz- und Geheimhaltungserklärung sowie Haftungsausschlüsse für Teststrecke und Fahrzeug. Anschließend instruierte der Versuchsleiter, dass mit der Studie untersucht würde, inwiefern eine automatisierte Fahrt als entspannt wahrgenommen würde.

Für den Versuch selber nahm der Proband auf dem Fahrersitz, der Versuchsleiter auf dem Beifahrersitz Platz. Zusätzlich saß auf der Rückbank des Fahrzeugs ein technischer Versuchsleiter, der für die Überwachung des automatisierten Systems zuständig war. Nach Einstieg in das Fahrzeug nahm der Proband die notwendigen Fahrzeugeinstellungen

(Sitz und Spiegel) vor. Anschließend erklärte der Versuchsleiter die allgemeine Fahrzeugbedienung sowie das automatisierte System. Er instruierte, dass es sich um ein automatisiertes System handle, welches die laterale und longitudinale Fahrzeugführung übernehme. Es wurde noch nicht darauf eingegangen, dass das System möglichen Hindernissen nicht selbstständig ausweichen kann. Daraufhin erfolgte die Instruktion und Durchführung einer Übungsfahrt (eine Runde auf der Teststrecke). Diese fand zur Gewöhnung an das Fahrzeug im nicht-automatisierten Fahren statt. Allerdings hatte der Proband die Möglichkeit, das automatisierte System diverse Male zu aktivieren und zu deaktivieren. Die Richtgeschwindigkeit bzw. das Tempolimit waren 50 km/h.

Es folgte die Durchführung des Studienteils 1. Gemäß dem Design absolvierten die Probanden pro Lateralversatz des Ego-Fahrzeugs eine Fahrt, d. h. sie erlebten insgesamt vier automatisierte Fahrten. Alle Probanden starteten mit dem Lateralversatz 0,0 m. Es fand keine Randomisierung der Fahrten statt, sondern der Lateralversatz wurde über die Fahrten jeweils inkrementell erhöht. Wie auch bei der Übungsfahrt wurde noch nicht auf die fehlende Fähigkeit des Systems, potenziellen Hindernissen selbstständig auszuweichen, eingegangen. Der Proband wurde lediglich instruiert, dass es sich um ein System handle, welches Längs- und Querführung übernehmen könne. Der Start jeder Fahrt fand nicht-automatisiert statt. Der Proband wurde gebeten, das automatisierte System direkt nach dem Losfahren, noch vor Einfahrt in die erste Kurve, zu aktivieren. Da es um die reine Bewertung der automatisierten Fahrten ging, wurde keine zusätzliche FFT bearbeitet. Nach Abschluss jeder Fahrt stoppte das Fahrzeug und der Proband beantwortete den Subjektivfragebogen des Studienteils 1.

Nach Abschluss der vier Experimentalfahrten des Studienteils 1 wurde der Proband gebeten, einen (sozio-) demografischen Fragebogen auszufüllen. Der Versuchsleiter teilte ihm mit, dass diese kurze Pause genutzt würde, um die zuvor gegebenen Bewertungen des Probanden auszuwerten und das automatisierte System zu trainieren.

Daraufhin erfolgte der Übergang zum Studienteil 2. Der Versuchsleiter erklärte dem Probanden die SuRT und dieser hatte die Möglichkeit, diese FFT kurz zu üben. Daraufhin wurde dem Probanden

eine zweite, ausführlichere Erklärung des automatisierten Systems gegeben. Der Versuchsleiter erklärte, dass es bei Hindernissen oder Gegenverkehr nicht automatisiert ausweichen könne. Der Fahrer müsse deshalb bei Bedarf die Fahrzeugführung übernehmen. Im Falle eines potenziellen Hindernisses erfolge ca. vier Sekunden vor dem Hindernis ein vorgelagerter Hinweis. Dieser sei keine zwingende Übernahmeaufforderung, sondern diene lediglich der Information und der Fahrer solle selbst entscheiden, inwiefern seiner Meinung nach ein Eingriff notwendig sei. Je nach Gruppenzuteilung (Gruppe A bzw. Gruppe B) erfolgten anschließend die zwei Experimentalfahrten. Auch hier fand keine Randomisierung statt, sondern alle Probanden begannen mit der unkritischen Baseline (Abstand 0,85 m) und erlebten anschließend eine der beiden kritischen Situationen gemäß Gruppenzuteilung. Auch in diesem Studienteil war der Start einer Fahrt nicht-automatisiert. D. h., der Proband fuhr nicht-automatisiert an und aktivierte das System direkt nach dem Losfahren, noch vor Einfahrt in die erste Kurve. Parallel zu der gesamten automatisierten Fahrt bearbeitete der Proband die SuRT. Nach Abschluss jeder der beiden Fahrten, d. h. jeweils nach Passieren des Balloon-Cars, stoppte das Fahrzeug und der Proband beantwortete den Subjektivfragebogen. Wie in Arbeitspaket 3 fand die Befragung also immer nach Passieren des Gegenverkehrs statt (auch für die Subjektivfragen, die sich auf den Zeitraum „Vor Erscheinen des Gegenverkehrs“ beziehen). Die Aufteilung in die Zeiträume „Vor Erscheinen des Gegenverkehrs“ und „Ab Erscheinen des Gegenverkehrs“ wurde, für den Fall das der Gegenverkehr jeweils wahrgenommen wurde, für beide Fahrten beibehalten, obwohl sich der Zeitraum „Vor Erscheinen des Gegenverkehrs“ nicht zwischen den Situationen unterschied. Grund hierfür war, dass geprüft werden sollte, inwiefern die Wahrnehmung der Ego-Trajektorie vor der potenziell kritische Fahrsituation zwischen den Situationen gleich war. Zum Abschluss des Versuchs klärte der Versuchsleiter den Probanden über den Studienhintergrund auf und verabschiedete den Teilnehmer.

## 6.2 Hypothesen

Ausgehend von den bisherigen empirischen Ergebnissen des Forschungsprojekts wurden für beide Studienteile Hypothesen abgeleitet, die in den folgenden zwei Kapiteln dargelegt sind.



### 6.2.1 Studienteil 1

Studienteil 1 diente der konfirmatorischen Überprüfung des in Arbeitspaket 2 identifizierten Schwellenwerts einer subjektiv angemessen empfundenen Fahrleistung für den Lateralversatz des Ego-Fahrzeugs. Für die vier Variationen des Lateralversatzes im Studienteil 1 der Realstudie ergaben sich die folgenden Hypothesen.

1. Da die Lateralversätze des Ego-Fahrzeugs 0,0 m und 0,2 m unterhalb des in Arbeitspaket 2 bestimmten Schwellenwerts einer subjektiv angemessen empfundenen Fahrleistung liegen, werden sie als angemessen und angenehm bewertet. Fahrer haben keinen Eingriffswunsch in die automatisierte Fahrzeugführung.
2. Da die Lateralversätze des Ego-Fahrzeugs 0,4 m und 0,6 m oberhalb des in Arbeitspaket 2 bestimmten Schwellenwerts einer subjektiv angemessen empfundenen Fahrleistung liegen, werden sie als nicht angemessen und unangenehm bewertet. Fahrer haben einen Eingriffswunsch in die automatisierte Fahrzeugführung.

### 6.2.2 Studienteil 2

Studienteil 2 diente der konfirmatorischen Untersuchung der Handlungsrelevanz der subjektiven Fahrleistungsschwellen auf der Teststrecke. Ausgehend von den vorherigen Arbeitspaketen und dem Studiendesign ergaben sich die folgenden Hypothesen.

1. In der unkritischen Gegenverkehrssituation (Abstand 0,85 m) bewerten Fahrer die automatisierte Fahrt sowohl vor als auch ab Erscheinen des Gegenverkehrs als angemessen und angenehm.
2. In den kritischen Gegenverkehrssituationen (-0,15 m und -0,15 m + Pylone) bewerten Fahrer die automatisierte Fahrt
  - a. vor Erscheinen des Gegenverkehrs als angemessen und angenehm,
  - b. ab Erscheinen des Gegenverkehrs als nicht angemessen und unangenehm.
3. In der unkritischen Gegenverkehrssituation (Abstand 0,85 m) werden Fahrer beim Erscheinen des Gegenverkehrs nicht in die automatisierte Fahrzeugführung eingreifen.

4. In den kritischen Gegenverkehrssituationen (-0,15 m und -0,15 m + Pylone) werden Fahrer im Sinne der funktionalen Verhaltensmechanismen beim Erscheinen des Gegenverkehrs

- a. die Aktivität in der FFT verringern, um so ausreichend Ressourcen für die Regulierung der Fahraufgabe bereitzustellen,
- b. nach rechts lenken und somit ihre Spurposition in Richtung der Mitte des Ego-Fahrestreifens verschieben,
- c. zusätzlich einen Bremsvorgang einleiten (lediglich in der Situation Abstand -0,15 m + Pylone).

## 6.3 Stichprobe

Insgesamt nahmen  $N = 29$  Probanden ( $n = 5$  weiblich) an der Untersuchung teil (Gruppe A:  $n = 14$ ; Gruppe B:  $n = 15$ ). Bei keinem der Probanden lag eine unkorrigierte Hör- oder Sehbeeinträchtigung vor. Die Versuchspersonen waren im Mittel  $M = 36$  Jahre ( $SD = 18$ ) alt und besaßen seit  $M = 19$  Jahren ( $SD = 19$ ) ihren Führerschein. Alle Probanden waren deutscher Nationalität. 76 % der Probanden fuhren im Alltag hauptsächlich mit einem Schaltfahrzeug. Die Probanden gaben eine jährliche Kilometerleistung von  $M = 13.810$  km ( $SD = 9.677$ ) an. Diese Kilometer verteilten sich zu 24 % auf die Landstraße, zu 29 % auf die Stadt und zu 47 % auf die Autobahn. 76 % der Stichprobe gab an, bereits Erfahrung mit Fahrassistenzsystemen zu haben. Die meistgenannten Systeme waren dabei Tempomat ( $n = 15$ ), Spurhaltesysteme ( $n = 9$ ), ACC ( $n = 7$ ) sowie Einparkhilfen ( $n = 7$ ).

## 6.4 Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse des Arbeitspakets 4, unterteilt in Studienteil 1 und 2, berichtet.

### 6.4.1 Studienteil 1

Studienteil 1 diente der konfirmatorischen Überprüfung des zuvor bestimmten Schwellenwerts einer subjektiv angemessen empfundenen Fahrleistung für den Lateralversatz des Ego-Fahrzeugs. Nachfolgend sind die Ergebnisse der verschiedenen Subjektivitems berichtet.

**Angemessenheit der Ego-Trajektorie und Eingriffswunsch**

Bild 49 beinhaltet die subjektive Angemessenheitsbewertung der automatisierten Ego-Trajektorie im Hinblick auf die Position des Ego-Fahrzeugs auf der Straße für jeden der vier getesteten Lateralversätze. Die Ego-Trajektorie wurde bei allen vier Lateralversätzen zu mehr als 75 % als angemessen bewertet. So wurden die Lateralversätze 0,0 m und 0,2 m, die unterhalb des in Arbeitspaket 2 bestimmten Schwellenwerts liegen, von fast allen Probanden als angemessen bewertet. Im Vergleich hierzu wurden der Lateralversatz 0,4 m und 0,6 m, die oberhalb des in Arbeitspaket 2 bestimmten Schwellenwerts liegen, schlechter eingestuft.

Bild 50 beinhaltet analog die prozentuale Verteilung des Eingriffswunschs in die automatisierte Fahrzeugführung pro Lateralversatz des Ego-Fahrzeugs. Vergleichbar zur Angemessenheitsbewertung

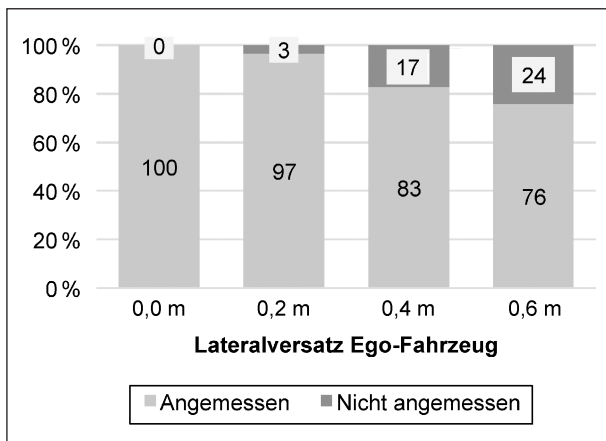


Bild 49: Angemessenheitsbewertung pro Lateralversatz des Ego-Fahrzeugs in der Realstudie

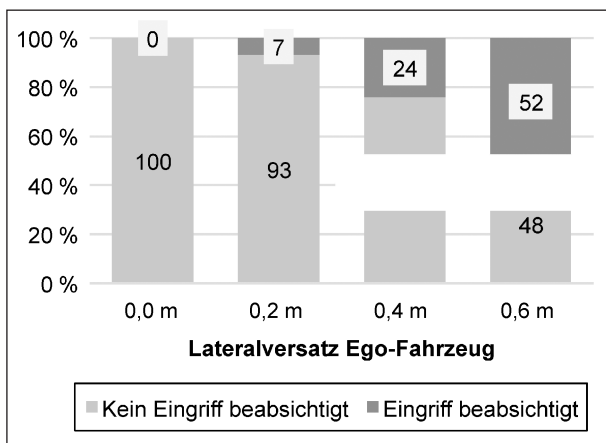


Bild 50: Eingriffswunsch in die automatisierte Fahrzeugführung pro Lateralversatz des Ego-Fahrzeugs in der Realstudie

tung wurde bei den Lateralversätzen 0,0 m und 0,2 m kein Eingriff gewünscht bzw. beabsichtigt. Bei Lateralversatz 0,4 m betrug der Prozentsatz eines beabsichtigten Eingriffs ca. 25 %, bei Lateralversatz 0,6 m lag er bei ca. 50 %. Für die beiden letztgenannten Trajektorien lässt sich somit auf deskriptiver Basis ein unterschiedlicher Verlauf zwischen der Angemessenheits- und der Eingriffswunsch-Kurven feststellen. Die Frage nach einem Eingriffswunsch rief bei steigendem Lateralversatz des Ego-Fahrzeugs eine stärkere Ablehnung einer Trajektorie hervor als die Frage nach der Angemessenheit.

**Komfort-Sicherheits-Skala**

Als drittes Subjektivitem wurde die Komfort-Sicherheits-Skala (siehe auch Kapitel 4.2.1) für die vier Lateralversätze auf deskriptiver und inferenzstatistischer Basis ausgewertet. Bild 51 zeigt die deskriptiven Statistiken der Skala. Zur weiteren Untersuchung wurde eine univariate ANOVA mit der unabhängigen Variable Lateralversatz des Ego-Fahrzeugs und der abhängigen Variable Skalenwert der Komfort-Sicherheits-Skala durchgeführt. Sie zeigte einen signifikanten Effekt ( $F(3, 112) = 15.73, p < .001, \eta^2 = .30$ ). Bild 51 beinhaltet ebenfalls die Ergebnisse der verschiedenen angeschlossenen post-hoc Tests (Bonferroni-korrigiert). So gab es jeweils keine Unterschiede zwischen den Lateralversätzen 0,0 m und 0,2 m, die als angenehm bewertet wurden, sowie zwischen 0,4 m und 0,6 m, die als unangenehm bewertet wurden. 0,0 m und 0,2 m unterschieden sich jeweils signifikant von 0,4 m und

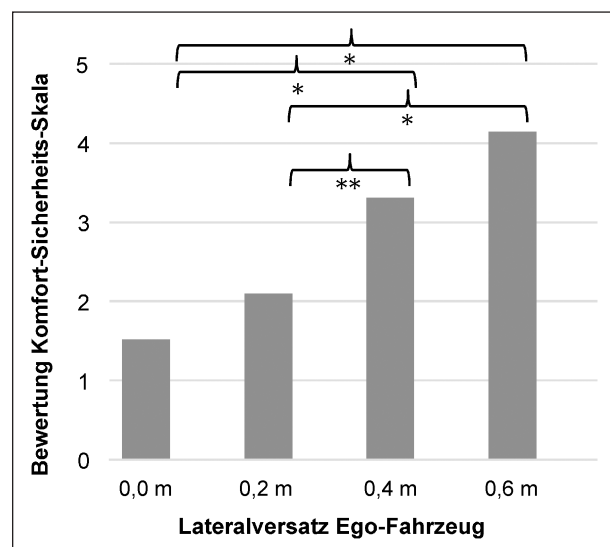


Bild 51: Bewertung der Komfort-Sicherheits-Skala pro Lateralversatz des Ego-Fahrzeugs in der Realstudie. Anmerkung: \*  $p < .001$ ; \*\*  $p < .05$

0,6 m. Darüber hinaus ist anzumerken, dass bei den Lateralversätzen 0,4 m und 0,6 m, die über dem in Arbeitspaket 2 bestimmten Schwellenwert einer subjektiv angemessen empfundenen Fahrleistung lagen, die Bewertung im Vergleich zur mittleren Komfort-Sicherheits-Bewertung am Schwellenwert in Arbeitspaket 2 ( $M = 5.77$ ) um ca. ein bis zwei Skalenpunkte besser ausfiel.

#### 6.4.2 Studienteil 2

Im Folgenden werden die Ergebnisse des Studienteils 2 berichtet. In den ersten Unterkapiteln erfolgt die Darstellung der Subjektivergebnisse. Anschließend werden die Analysen der Objektivdaten zur FFT und zur Fahraufgabe berichtet.

#### Wahrnehmung des Gegenverkehrs und Angemessenheit der Ego-Trajektorie

Alle Probanden nahmen in jeder Situation den Gegenverkehr wahr. Tabelle 30 zeigt die prozentuale Verteilung der Bewertung der Angemessenheit der automatisierten Fahrt vor und ab Erscheinen des Gegenverkehrs für alle Abstände des Gegenverkehrs. Wie unter Kapitel 6.1.1 erläutert, wurde unter „Vor Erscheinen des Gegenverkehrs“ der Zeitraum vor dem Hinweiston verstanden, in dem noch kein Gegenverkehr ersichtlich war. „Ab Erscheinen des Gegenverkehrs“ war der Zeitraum ab dem Hinweiston. Wie in Kapitel 6.1.3 erklärt, wurde der Zeitraum „Vor Erscheinen des Gegenverkehrs“ als Kontrolle in allen Gegenverkehrssituationen bewertet, um zu prüfen, inwiefern die automatisierte Fahrt ohne Gegenverkehr zwischen den Situationen gleich wahrgenommen wurde. So empfanden die Probanden vor Erscheinen des Gegenverkehrs die automatisierte Fahrt in allen Situationen gleichsam angemessen (d. h., die Ego-Trajektorie wurde also wie erwartet vor der potenziell kritischen Fahrsituation in allen Situationen gleich wahrgenommen). Ab Erscheinen des Gegenverkehrs wurde die automatisierte Fahrt in der Situation Abstand 0,85 m 97 % der Fälle als angemessen bewertet. In der Situation -0,15 m empfand jeder zweite die Fahrt als nicht an-

gemessen. In der Situation -0,15 m + Pylone war die Fahrt für 73 % der Probanden nicht angemessen. Zur besseren Vergleichbarkeit mit den Ergebnissen des Arbeitspakets 3 sind in Tabelle 30 die Werte des Arbeitspakets 3 jeweils in Klammern angegeben. Für den Zeitpunkt vor Erscheinen des Gegenverkehrs decken sich die Ergebnisse zwischen den Arbeitspaketen 3 und 4. Während die Ergebnisse ab Erscheinen des Gegenverkehrs für die Situationen Abstand 0,85 m und -0,15 m ebenfalls vergleichbar sind, fiel die Bewertung für die Situation Abstand -0,15 m + Pylone deutlich kritischer aus.

#### Eingriff und Qualität des Eingriffs

Tabelle 31 zeigt die prozentuale Verteilung der subjektiv berichteten Eingriffe in die automatisierte Fahrzeugführung in Abhängigkeit der Gegenverkehrssituation. In der Situation Abstand 0,85 m gaben fast alle Probanden an, nicht in die automatisierte Fahrzeugführung eingegriffen zu haben. Im Vergleich dazu griffen ca. 2/3 der Probanden gemäß ihres Subjektivurteils in den Situationen Abstand -0,15 m und -0,15 m + Pylone in die Fahrzeugführung ein. Wie bei der vorherigen Tabelle sind in Tabelle 31 in Klammern jeweils die Vergleichswerte aus Arbeitspaket 3 eingetragen. Die Ergebnisse zeigten, dass für die beiden kritischen Situationen Abstand -0,15 m und -0,15 m + Pylone die subjektiv berichtete Eingriffsrate in der Realstudie im Vergleich zu Arbeitspaket 3 höher war.

Bild 52 stellt die Qualität des Eingriffs in Abhängigkeit der Situation dar. Allgemein ist dem Bild zu ent-

Abstand Gegenverkehr	Eingriffe
0,85 m	3 %, $n = 1$ Eingriffe (2 %)
-0,15 m	71 %, $n = 10$ Eingriffe (50 %)
-0,15 m + Pylone	67 %, $n = 10$ Eingriffe (63 %)
Anmerkung: In Klammern ist jeweils der Vergleichswert aus Arbeitspaket 3 angegeben.	

Tab. 31: Prozentuale Verteilung der subjektiv berichteten Eingriffe pro Gegenverkehrssituation in der Realstudie

Abstand Gegenverkehr	Vor Erscheinen des Gegenverkehrs	Ab Erscheinen des Gegenverkehrs
0,85 m	97 % angemessen (100 %)	97 % angemessen (100 %)
-0,15 m	100 % angemessen (97 %)	50 % angemessen (52 %)
-0,15 m + Pylone	93 % angemessen (95 %)	27 % angemessen (48 %)

Tab. 30: Bewertung der Angemessenheit pro Gegenverkehrssituation und Zeitpunkt in der Realstudie. Anmerkung: In Klammern ist jeweils der Vergleichswert aus Arbeitspaket 3 angegeben

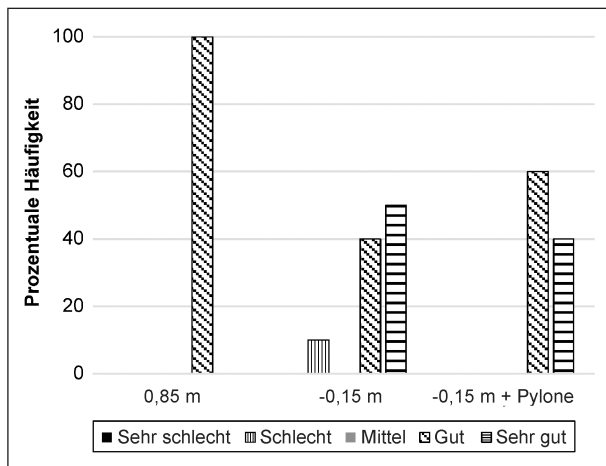


Bild 52: Subjektiv berichtete Qualität des Eingriffs pro Gegenverkehrssituation in der Realstudie

nehmen, dass die meisten Probanden die Qualität ihres Eingriffs in die automatisierte Fahrzeugführung als gut bzw. sehr gut beurteilten.

### Komfort-Sicherheits-Skala

Tabelle 32 stellt die Mittelwerte der Komfort-Sicherheits-Skala in Abhängigkeit der Gegenverkehrssituation und des Zeitpunktes, d. h. vor und ab Erscheinen des Gegenverkehrs, dar. Wie bei den vorherigen Tabellen sind in Klammern erneut die Vergleichswerte des Arbeitspakets 3 eingetragen. Vor Erscheinen des Gegenverkehrs wurde die automatisierte Fahrt in der Realstudie jeder Situation als angenehm beurteilt. Ab Erscheinen des Gegenverkehrs wurde die Fahrt in der Situation Abstand 0,85 m ebenfalls noch als angenehm bewertet. In der Situation Abstand -0,15 m war die Fahrt im unangenehmen und in der Situation Abstand -0,15 m + Pylone im kritischen Bereich. Insgesamt fielen die Bewertungen in der Realstudie im Vergleich zur Simulatorstudie um ca. einen Punkt kritischer aus.

Zur inferenzstatistischen Prüfung wurde eine ANOVA mit Messwiederholung für die Faktoren Zeitpunkt (vor vs. ab Erscheinen des Gegenverkehrs) und Gegenverkehrssituation (Abstand 0,85 m, -0,15 m, -0,15 m + Pylone) durchgeführt. Es bestand ein signifikanter Unterschied in der Beurteilung der automatisierten Fahrt auf der Komfort-Sicherheits-Skala zwischen den zwei Messzeitpunkten, also vor und ab Erscheinen des Gegenverkehrs ( $F(1,55) = 90.43, p < .001, \eta^2 = .62$ ). Zudem war die Interaktion der Faktoren Zeitpunkt und Gegenverkehrssituation signifikant ( $F(2,55) = 26.48, p < .001, \eta^2 = .49$ ).

Abstand Gegenverkehr	Vor Erscheinen des Gegenverkehrs	Ab Erscheinen des Gegenverkehrs
0,85 m	2,4 (1,20)	2,6 (1,54)
-0,15 m	2,2 (1,30)	4,8 (4,41)
-0,15 m + Pylone	2,3 (1,28)	6,4 (5,44)

Anmerkung: In Klammern ist jeweils der Vergleichswert aus Arbeitspaket 3 angegeben.

Tab. 32: Komfort-Sicherheits-Skala pro Gegenverkehrssituation und Zeitpunkt in der Realstudie

Um eine Aussage darüber treffen zu können, zwischen welchen Vergleichspaaren diese Effekte tatsächlich vorlagen, wurden Bonferroni-korrigierte post-hoc Tests für die signifikante Interaktion Zeitpunkt\*Gegenverkehrssituation durchgeführt. Die Ergebnisse zeigten, dass sich, wie in Arbeitspaket 3, vor Erscheinen des Gegenverkehrs die Situationen auf der Komfort-Sicherheits-Skala nicht signifikant voneinander unterschieden (die Ego-Trajektorie wurde also vor der potenziell kritischen Fahrsituation in allen Situationen gleich wahrgenommen). Ab Erscheinen des Gegenverkehrs unterschied sich die unkritische Situation Abstand 0,85 m, wie auch in Arbeitspaket 3, signifikant von den beiden kritischen Situationen (-0,15 m und -0,15 m + Pylone unterschieden sich allerdings nur marginal voneinander ( $p < .1$ )). Des Weiteren wurde die Situation Abstand 0,85 m sowohl vor als auch ab Erscheinen des Gegenverkehrs als angenehm bewertet. Es gab im Gegensatz zu Arbeitspaket 3 keine signifikanten Unterschiede. In den Situationen Abstand -0,15 m und -0,15 m + Pylone war die Bewertung der eigenen Trajektorie, wie auch in Arbeitspaket 3, zwischen den Zeitpunkten signifikant unterschiedlich ( $p < .001$ ). Ab Erscheinen des Gegenverkehrs fiel die Bewertung kritischer aus.

### Offene Anmerkungen

Die Probanden hatten zusätzlich die Möglichkeit, am Ende der Subjektivbefragung offene Anmerkungen bezüglich der Begründung und Art des Eingriffs zu notieren. In der Situation Abstand 0,85 m griff die Mehrheit der Probanden nicht ein ( $n = 28$ ) mit der Begründung, dass es keinen Grund bzw. keine Notwendigkeit für einen Eingriff gab ( $n = 9$ ), die Spurposition gut war ( $n = 8$ ), der Abstand bzw. Platz genügte ( $n = 6$ ), keine Gefahr empfunden wurde ( $n = 4$ ) und die Situation in Ordnung war ( $n = 1$ ) (siehe Tabelle 34). In der Situation Abstand -0,15 m griffen mehr als 2/3 der Probanden ein ( $n = 10$ ) (sie-

Begründung des Verhaltens	Beschreibung des Verhaltens	Beispiel
Hindernis ( <i>n</i> = 1)	Lenkbewegung/Ausweichen ( <i>n</i> = 1)	• „Habe Hindernis gesehen und wollte ausweichen.“

Tab. 33: Offene Anmerkungen zu Situation Abstand 0,85 m bei Eingriff (*n* = 1) in der Realstudie

Begründung des Verhaltens	Beschreibung des Verhaltens	Beispiel
Kein Grund/Keine Notwendigkeit ( <i>n</i> = 9)		<ul style="list-style-type: none"> <li>• „Habe Situation eingeschätzt – dachte nicht, dass Lenken notwendig ist (beim Ton kurz hochguckt bzw. auch kurz erschreckt).“</li> <li>• „Ich war vorbereitet und habe abgewartet, habe festgestellt, dass es klappt und habe nicht eingegriffen.“</li> </ul>
Gute Spurposition ( <i>n</i> = 8)		<ul style="list-style-type: none"> <li>• „Fahrzeug war relativ mittig/ gut auf der Straße.“</li> <li>• „Wir sind relativ mittig in der Spur gefahren, ich sah keine Gefahr.“</li> </ul>
Genügend Abstand/Platz ( <i>n</i> = 5)		<ul style="list-style-type: none"> <li>• „Es war vom Abstand her alles gut. Ich habe nicht eingegriffen, sondern nur aufgepasst.“</li> <li>• „Es war genügend Abstand zur mittleren Begrenzungslinie.“</li> </ul>
Keine Gefahr/Sicherheit ( <i>n</i> = 4)		<ul style="list-style-type: none"> <li>• „Einschätzung, dass der Gegenverkehr keine Gefahr darstellt.“</li> <li>• „Ich fühle mich sicher – , Urvertrauen.“</li> </ul>
Situation in Ordnung ( <i>n</i> = 1)		<ul style="list-style-type: none"> <li>• „Ich habe die Situation so bewertet, dass sie in Ordnung ist.“</li> </ul>

Tab. 34: Offene Anmerkungen zu Situation Abstand 0,85 m bei keinem Eingriff (*n* = 28) in der Realstudie

Begründung des Verhaltens	Beschreibung des Verhaltens	Beispiel
Fehlverhalten des Gegenverkehrs ( <i>n</i> = 5)	Lenkbewegung/Ausweichen ( <i>n</i> = 18), Bremsung ( <i>n</i> = 1)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• „Fahrzeug war in meiner Spur, mein Fahrzeug hat nicht automatisch nach rechts gelenkt.“</li> <li>• „Entgegenkommendes Fahrzeug war auf meiner Spur. Ich wollte sicher gehen.“</li> </ul>
Gefahr einer Kollision ( <i>n</i> = 4)	Lenkbewegung/Ausweichen ( <i>n</i> = 4)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• „Fahrzeug war (fast) auf meiner Spur. Ich dachte, es kommt zum Unfall.“</li> <li>• „Ich wollte nicht, dass das entgegenkommende Fahrzeug mich nicht sieht und um den Abstand zwischen den Fahrzeugen zu halten.“</li> </ul>
Schlechte Spurposition ( <i>n</i> = 1)	Lenkbewegung/Ausweichen ( <i>n</i> = 1)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• „Falsche Ausrichtung unseres Fahrzeuges – es war zu eng zum Gegenverkehr.“</li> </ul>

Tab. 35: Offene Anmerkungen zu Situation -0,15 m bei Eingriff (*n* = 10) in der Realstudie

he Tabelle 35). Dabei zeigte sich der Eingriff bei allen Probanden in Form einer Lenkbewegung bzw. Ausweichen und nur in einem Fall durch Bremsen. Der Eingriff wurde durch Fehlverhalten des Gegenverkehrs (*n* = 5), Gefahr einer Kollision (*n* = 4) und eine schlechte Spurposition (*n* = 1) begründet. In der Situation Abstand -0,15 + Pylone griffen im Vergleich zur anderen kritischen Situation genauso viele Probanden in die Fahrzeugführung ein (*n* = 10) (siehe Tabelle 37). In diesem Fall zeigten sich die Eingriffe in Form von Lenkbewegung bzw. Ausweichen (*n* = 10) und/oder Bremsen (*n* = 3). Die Gründe für den Eingriff waren verschieden und reichten von der schlechten Spurposition (*n* = 3), der Gefahr

einer Kollision (*n* = 3) zum Fehlverhalten des Gegenverkehrs (*n* = 2) und zu wenig Platz (*n* = 2). Genauere Informationen und Beispiele können Tabelle 33 bis Tabelle 38 entnommen werden.

Zusätzlich zu diesen offenen Fragen, die jeder Proband beantwortete, machten einige Teilnehmer weitere Anmerkungen. So gaben einige an, dass die zusätzliche FFT die automatisierte Fahrt insgesamt ungewohnt bzw. unangenehm mache und dazu führe, dass man den Gegenverkehr spät bzw. nicht wahrnehme. Nur durch den Hinweiston seien sie auf den Gegenverkehr aufmerksam geworden. Andere Teilnehmer merkten an, dass die Fahrt auf der



Begründung des Verhaltens	Beschreibung des Verhaltens	Beispiel
Genügend Abstand/Platz ( $n = 2$ )		<ul style="list-style-type: none"> <li>„Ich dachte, das passt noch, auch wenn es knapper war als vorher. Wenn ich selber gefahren wäre, wäre ich vermutlich ein Stück weiter rechts gefahren.“</li> <li>„Ich habe mit einem Blick festgestellt, dass der Abstand reicht.“</li> </ul>
Keine Kollision erwartet ( $n = 1$ )		<ul style="list-style-type: none"> <li>„Ich war eingriffsbereit und hatte Hände am Lenkrad. Nach dem Ton habe ich die Situation geprüft – war zwar eng, aber ich habe keinen Unfall erwartet.“</li> </ul>
Situation in Ordnung ( $n = 1$ )		<ul style="list-style-type: none"> <li>„Ich habe gesehen, dass das noch im Rahmen ist.“</li> </ul>

Tab. 36: Offene Anmerkungen zu Situation -0,15 m bei keinem Eingriff ( $n = 4$ ) in der Realstudie

Begründung des Verhaltens	Beschreibung des Verhaltens	Beispiel
Schlechte Spurposition ( $n = 3$ )	Lenkbewegung/Ausweichen ( $n = 3$ ), Bremsung ( $n = 2$ )	<ul style="list-style-type: none"> <li>„Spur passte nicht – wir wären ins Auto gefahren.“</li> <li>„War für mich zu nah am entgegenkommenden Fahrzeug.“</li> </ul>
Gefahr einer Kollision ( $n = 3$ )	Lenkbewegung/Ausweichen ( $n = 3$ )	<ul style="list-style-type: none"> <li>„Unfallvermeidung.“</li> <li>„Ich dachte, die Fahrzeuge touchieren sich, deshalb auch Lenkung.“</li> </ul>
Fehlverhalten Gegenverkehr ( $n = 2$ )	Lenkbewegung/Ausweichen ( $n = 2$ )	<ul style="list-style-type: none"> <li>„Auto war auf eigener Spur.“</li> <li>„Gegenverkehr war auf meiner Spur.“</li> </ul>
Zu wenig Platz ( $n = 2$ )	Lenkbewegung/Ausweichen ( $n = 2$ ), Bremsung ( $n = 1$ )	<ul style="list-style-type: none"> <li>„Hindernis (Pylonen rechts) waren relativ nah. Fahrzeug fuhr zu weit links (zumindest nicht mittig). Dadurch war es links zu eng.“</li> <li>„War zu nah.“</li> </ul>

Tab. 37: Offene Anmerkungen zu Situation -0,15 m + Pylone bei Eingriff ( $n = 10$ ) in der Realstudie

Begründung des Verhaltens	Beschreibung des Verhaltens	Beispiel
Genügend Abstand/Platz ( $n = 1$ )		<ul style="list-style-type: none"> <li>„Ich war der Meinung, dass genug Platz war.“</li> </ul>
Gute Spurposition ( $n = 1$ )		<ul style="list-style-type: none"> <li>„Ich hatte das Gefühl, dass wir zwischen den Hindernissen recht mittig waren. Ich habe das Spiel unterbrochen und Hand trotzdem am Lenkrad gehabt.“</li> </ul>
Situation in Ordnung ( $n = 1$ )		<ul style="list-style-type: none"> <li>„War am Grenzbereich, aber noch in Ordnung.“</li> </ul>
Kein Grund/Keine Notwendigkeit ( $n = 1$ )		<ul style="list-style-type: none"> <li>„Ich hatte das Gefühl, da passiert nichts, weil es ein BalloonCar war. Bei meinem Fahrzeug und im realen Verkehr hätte ich definitiv eingegriffen. Auch bei Mensch und Tier sofortiger Eingriff.“</li> </ul>
Vertrauen in System ( $n = 1$ )		<ul style="list-style-type: none"> <li>„Ich war kurz vor einem Eingriff, weil es zu eng war. Kein Eingriff, da ich Vertrauen in das System hatte.“</li> </ul>

Tab. 38: Offene Kommentare zu Situation -0,15 m + Pylone bei keinem Eingriff ( $n = 5$ ) in der Realstudie

Teststrecke im Vergleich zum Simulator aufregender sei, da es eine echte Gefahr gebe, man sich aber mit jeder Fahrt sicherer fühle.

### Aufbereitung der Objektivdaten

Neben den Subjektivdaten wurden im Rahmen der Realstudie diverse Objektivdaten aufgezeichnet. Insgesamt wurden die Datensätze von  $N = 29$  Probanden mit je 2 Fällen (Fahrten) aufgezeichnet. Aufgrund von Datenfehlern bzw. technischen Pro-

blemen wurden  $n = 6$  Fälle ausgeschlossen. Zudem wurde  $n = 1$  Fall aufgrund fehlender Übereinstimmung der Subjektiv- und Objektivdaten bezüglich des Eingriffs ausgeschlossen. Dies bedeutet, dass subjektiv kein Eingriff berichtet wurde, die Objektivdaten allerdings auf einen fahrerseitigen Eingriff hindeuten. Tabelle 39 zeigt die Verteilung aller Fälle vor Ausschluss, also die Fälle in der Subjektivauswertung, Tabelle 40 hingegen zeigt die Verteilung aller Fälle nach Ausschluss, d. h. die Fälle in der Objektivauswertung. In dieser Tabelle ist zusätzlich

angegeben, wie die Eingriffe hinsichtlich Längs- und Querregelung zu klassifizieren waren (Lenken vs. Bremsung vs. beides). Die Betrachtung von Tabelle 40 zeigt außerdem, dass die Fallzahlen je nach Kombination sehr unterschiedlich bzw. sehr

gering waren. Diese Tatsache hatte möglicherweise Einfluss auf die späteren inferenzstatistischen Analysen der Objektivdaten.

Die Aufbereitung der Objektivdaten fand in vergleichbarer Weise zu Arbeitspaket 3 statt. Die Messdaten wurden zu Intervallen  $t_i$  mit einer jeweiligen Länge von 500 ms aggregiert. Als Zeitpunkt  $t_0$  wurde der Hinweiston festgelegt, welcher als Referenz für die Auswertung diente. In Bild 53 ist der zeitliche Verlauf einer Gegenverkehrssituation inklusive aller relevanten Ereignisse bei einer Geschwindigkeit von 50 km/h markiert (inklusive Pylone und entgegenkommendem Fahrzeug). Für die Auswertung wurde erneut der Zeitraum vom Intervall  $t_8$  bis  $t_{+16}$

	Kein Eingriff	Eingriff	Summe
Abstand 0,85 m	28	1	29
Abstand -0,15 m	4	10	14
Abstand -0,15 m + Pylone	5	10	15
Summe	37	21	58

Tab. 39: Verteilung aller Fälle vor Ausschluss (d. h., Fälle in der Subjektivauswertung) in der Realstudie

	Kein Eingriff	Eingriff		Summe
Abstand 0,85 m	24	1	Lenken (n = 1)	25
			Bremsung (n = 0)	
			Beides (n = 0)	
Abstand -0,15 m	3	10	Lenken (n = 8)	13
			Bremsung (n = 0)	
			Beides (n = 2)	
Abstand -0,15 m + Pylone	4	9	Lenken (n = 5)	13
			Bremsung (n = 0)	
			Beides (n = 4)	
Summe	31	20		51

Tab. 40: Verteilung aller Fälle nach Ausschluss (d. h., Fälle in der Objektivauswertung) in der Realstudie

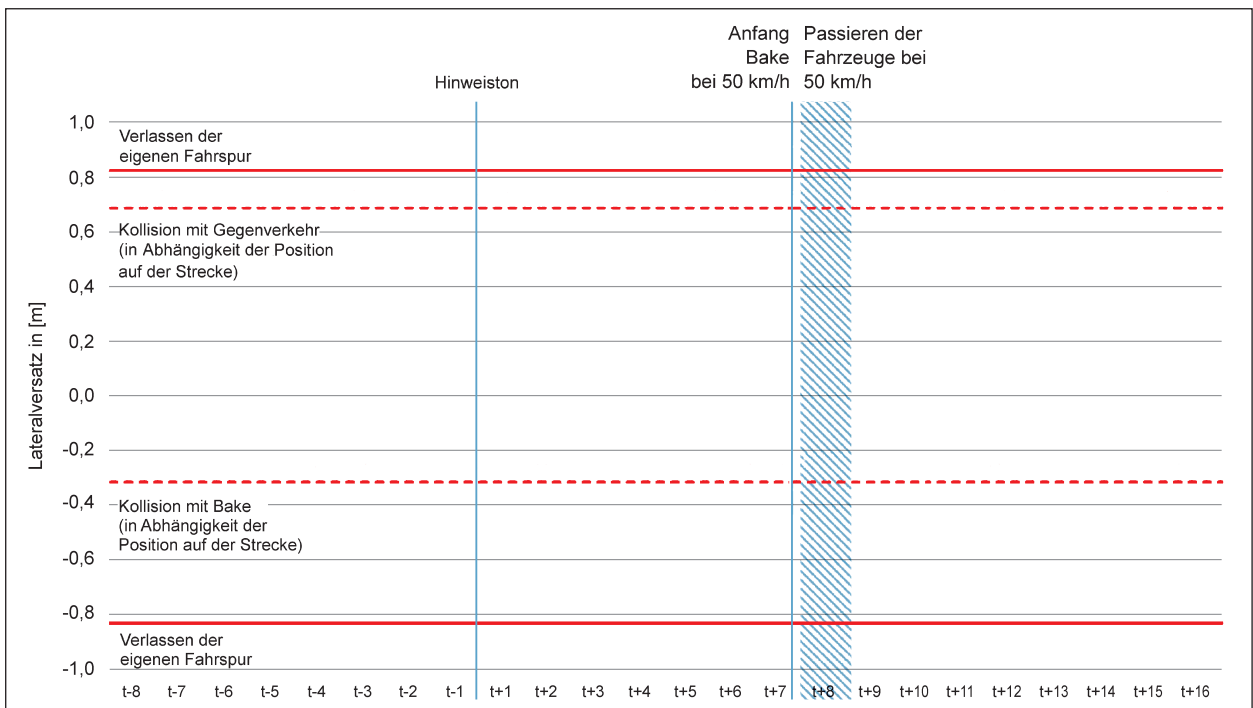


Bild 53: Zeitlicher Verlauf der Fahrsituation in der Realstudie inklusive aller relevanter Ereignisse in der Realstudie

betrachtet. Bei 50 km/h begannen die Pylonen zwischen  $t_{+7}$  und  $t_{+8}$ . Die folgenden Analysen der Objektivdaten fokussierten sich (vor allem für die Fahrparameter) auf die Situationen Abstand -0,15 m und -0,15 m + Pylone, da hier laut Subjektivurteil eingegriffen wurde.

### SuRT-Aktivität

Vor der eigentlichen Auswertung der SuRT-Aktivität erfolgte als Voranalyse die Untersuchung der Qualität der Aufgabenbearbeitung im Sinne einer Validitätsüberprüfung. Dafür wurde die gesamte Fahrt betrachtet. Die Probanden bearbeiteten im Mittel  $M = 19$  Trials ( $SD = 9$ ) mit einer Quote von durchschnittlich 98,1 % korrekten Trials. Die durchschnittliche Bearbeitung und Qualität der SuRT war ausreichend hoch, sodass angenommen werden kann, dass die Probanden die Aufgabe gewissenhaft bearbeiteten. Die Inputs können daher als valides Maß der Bearbeitung herangezogen werden. Eine subjektive Beobachtung der Versuchsleiter ergab zusätzlich, dass im Vergleich zur Fahrsimulationsstudie im Arbeitspaket 3 eine geringere Bearbeitung der FFT erfolgte.

Bild 54 zeigt die SuRT-Inputs gemittelt über alle Probanden für die kritischen Fahrsituationen (Abstand -0,15 m und -0,15 m + Pylone bei keinem Eingriff und Eingriff) und die Vergleichssituation Abstand 0,85 m bei keinem Eingriff.

Auf deskriptiver Basis wurde in der unkritischen Situation (Abstand 0,85 m bei keinem Eingriff, blaue Kurve in Bild 54) die SuRT-Aktivität nach dem Ton verringert, allerdings nicht auf 0 reduziert. Bereits ab dem Zeitpunkt  $t_{+7}$ , d. h. noch vor dem Passieren des Gegenverkehrs, wurden die Inputs wieder erhöht. In den beiden kritischen Situationen (Abstand -0,15 m bei keinem Eingriff, gelbe Kurve, und Eingriff, orange Kurve, sowie Abstand -0,15 m + Pylonen bei keinem Eingriff, hellgrüne Kurve, und Eingriff, dunkelgrüne Kurve) wurde die SuRT-Aktivität nach dem Hinweiston auf 0 reduziert. In der kritischen Situation Abstand -0,15 m bei keinem Eingriff wurde die SuRT-Aktivität ab dem Zeitpunkt  $t_{+5}$  wieder erhöht, d. h. noch vor Passieren des Gegenverkehrs. Zudem zeigte sich in der kritischen Situation Abstand -0,15 m + Pylone bei keinem Eingriff eine erhöhte Aktivität ab dem Zeitpunkt  $t_{+12}$ , also erst nach Passieren des Gegenverkehrs. In den beiden kritischen Situationen Abstand -0,15 m bei Eingriff und Abstand -0,15 m + Pylone bei Eingriff erfolgte keine bzw. lediglich eine geringe Erhöhung der SuRT-Aktivität nach Passieren des Gegenverkehrs. Zusammenfassend unterscheidet sich auf deskriptiver Basis die SuRT-Aktivität also zwischen der unkritischen und den kritischen Fahrsituationen. Außer für die Situationen Abstand -0,15 m und -0,15 m + Pylone ohne Eingriff entsprechen die Muster der Daten der Realstudie den deskriptiven Ergebnissen des Arbeitspakets 3. In den beiden ge-

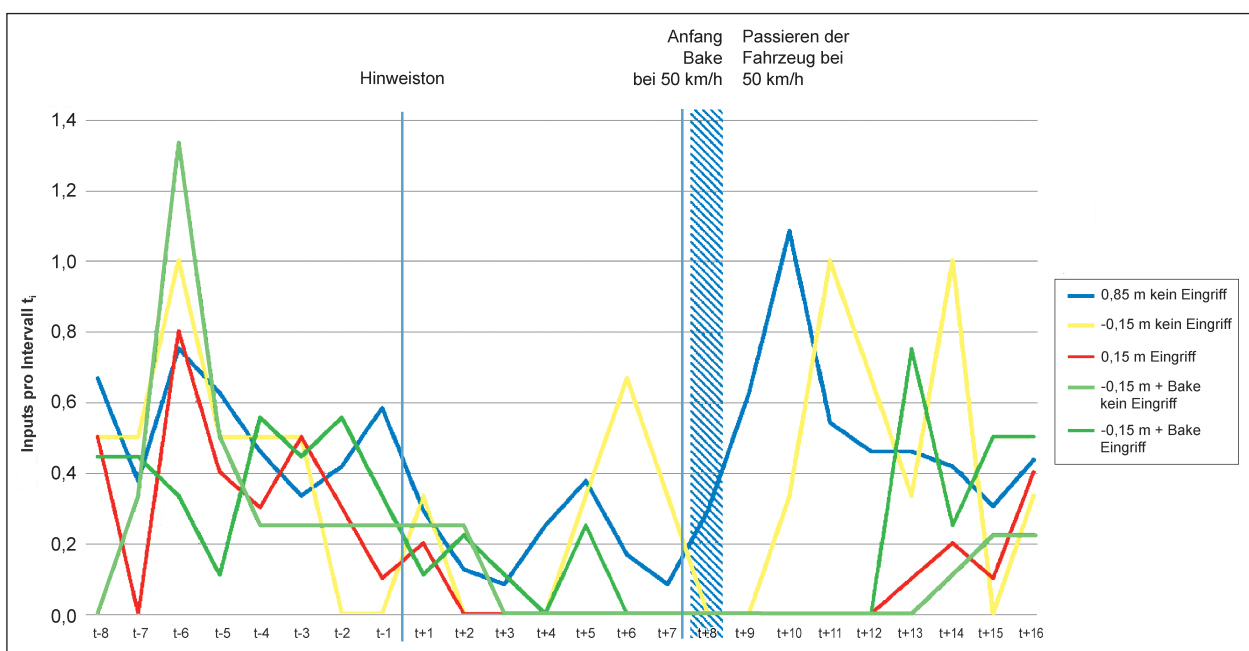


Bild 54: SuRT-Inputs für die kritischen Fahrsituationen (Abstand -0,15 m und -0,15 m + Pylone bei keinem Eingriff und Eingriff) und die Vergleichssituation Abstand 0,85 m bei keinem Eingriff in der Realstudie

nannten Fällen, in denen es keine Übereinstimmung gibt, fand die Wiedererhöhung der SuRT im Realfahrzeug zu anderen Zeitpunkten statt. Auf deskriptiver Basis scheint es demnach insgesamt den in Arbeitspaket 3 diskutierten proaktiven Handlungsmechanismus im Verhalten der Fahrer zu geben. Fahrer scheinen die SuRT zur Freigabe von Ressourcen, die potenziell für die Fahraufgabe benötigt werden könnten, zu reduzieren.

Im Anschluss an die deskriptive Analyse wurden diverse inferenzstatistische Berechnungen durchgeführt. Im ersten Schritt wurde untersucht, inwiefern sich die kritischen Situationen von der unkritischen unterscheiden. Dafür wurde eine einfaktorielle ANOVA mit den unabhängigen Variablen Situation (Abstand 0,85 m kein Eingriff; Abstand -0,15 m kein Eingriff; Abstand -0,15 m Eingriff; Abstand -0,15 m + Pylone kein Eingriff; Abstand -0,15 m + Pylone Eingriff) sowie Zeitpunkt ( $t_{.8}$  bis  $t_{+16}$ ) durchgeführt. Die abhängige Variable waren die SuRT-Inputs. Signifikante Ergebnisse ergaben sich nur für den Haupteffekt Situation ( $F(4,1067) = 8.38$ ,  $p < .001$ , partielles  $\eta^2 = .030$ ). Der Haupteffekt Zeitpunkt erreichte eine marginale Signifikanz ( $F(23,1067) = 1.53$ ,  $p < .1$ , partielles  $\eta^2 = .032$ ). Angeschlossene paarweise Vergleiche (Bonferroni-korrigiert) für den Haupteffekt Situation zeigten, dass sich die unkritische Situation Abstand 0,85 m bei keinem Eingriff nur von den kritischen Situationen Abstand -0,15 m und -0,15 m + Pylonen unterschied, falls in letzteren eingegriffen wurde. Zudem wurden zusätzliche paarweise Vergleiche (Bonferroni-korrigiert) trotz fehlender Signifikanz auf Interaktionsebene für Situation\*Zeitpunkt durchgeführt. Daraus resultierte, dass in der unkritischen Situation Abstand 0,85 m die SuRT-Aktivität ab dem Zeitpunkt  $t_{+10}$ , d. h. eine Sekunde nach Passieren der Fahrzeuge, signifikant höher war als bei den ersten Intervallen nach dem Hinweiston ( $t_{+1}$  bis  $t_{+3}$ ). Zusammenfassend lassen sich, wie in Arbeitspaket 3, auf inferenzstatistischer Basis Hinweise für den proaktiven Handlungsmechanismus von Fahrern finden.

Zur Untersuchung des Unterschiedes zwischen den beiden kritischen Situationen wurde eine weitere einfaktorielle ANOVA durchgeführt. Dabei waren die unabhängigen Variablen die Situation (Abstand -0,15 m; Abstand -0,15 m + Pylone), Eingriff (kein Eingriff; Eingriff) und Zeitpunkt ( $t_{.8}$  bis  $t_{+16}$ ). Auch in diesem Fall stellten die SuRT-Inputs die abhängige Variable dar. Die beiden Haupteffekte Eingriff ( $F(1,517) = 11.99$ ,  $p < .01$ , partielles  $\eta^2 = .023$ ) und

Zeitpunkt ( $F(23,517) = 3.57$ ,  $p < .001$ , partielles  $\eta^2 = .137$ ) wurden signifikant. Alle weiteren Effekte waren nicht signifikant. Für den Faktor Zeitpunkt wurden angeschlossene paarweise Vergleiche (Bonferroni-korrigiert) berechnet. Daraus resultierte, dass der Haupteffekt des Faktors vor allem bei  $t_{.6}$ , also noch vor Darbietung des Hinweistons, lag. Aus diesem Grund ist der Effekt eher als Artefakt zu interpretieren. Wie erwähnt, gab es auf Haupteffekt-Ebene keine Unterschiede in der SuRT-Bearbeitung zwischen den zwei kritischen Fahrsituationen. Allerdings zeigten sich Tendenzen für die Interaktion Situation\*Eingriff ( $p = 0.91$ ). Tendenziell unterschieden sich die beiden Situationen bei keinem Eingriff gemäß eines Bonferroni-korrigierten paarweisen Vergleichs ( $p = .08$ ). Zusammenfassend bedeuten die Ergebnisse dieser Analyse, dass sich, wie in Arbeitspaket 3, die SuRT-Aktivität in den kritischen Situationen über den Zeitverlauf und je nachdem, ob man eingreift, verändert. Tendenziell unterschieden sich die beiden Situationen für die Probanden, die nicht eingriffen. Dieses Ergebnis passt zur deskriptiven Auswertung der SuRT-Aktivität, in der sich zeigte, dass Probanden in der Situation -0,15 m ohne Eingriff eine höhere Aktivität hatten. Allerdings ließen sich im Gegensatz zu Arbeitspaket 3 insgesamt keine Interaktionen mit den Zeitpunkten erkennen. Insofern lassen sich auf inferenzstatistischer Basis nur bedingt Beweise für den proaktiven Handlungsmechanismus von Fahrern finden.

### Geschwindigkeit

Als weiterer Objektivparameter wurde die Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeugs analysiert. Bild 55 stellt den Geschwindigkeitsverlauf für die zwei kritischen Gegenverkehrssituationen Abstand -0,15 m und Abstand -0,15 m + Pylone jeweils bei keinem Eingriff und Eingriff dar.

Zur inferenzstatistischen Untersuchung wurde eine einfaktorielle ANOVA mit den unabhängigen Variablen Situation (Abstand -0,15 m; Abstand -0,15 m + Pylone), Eingriff (kein Eingriff, Eingriff) und Zeitpunkt ( $t_{.8}$  bis  $t_{+16}$ ) durchgeführt. Die abhängige Variable war in diesem Fall die Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeugs. Es ergaben sich signifikante Effekte für alle Haupteffekte und die Interaktion Situation\*Eingriff (siehe Tabelle 41). Im Anschluss daran wurden paarweise Vergleiche (Bonferroni-korrigiert) durchgeführt. Hieraus ergab sich, dass der Haupteffekt Zeitpunkt auch durch die noch steigende Geschwindigkeit bei den negativen Intervallen vor dem

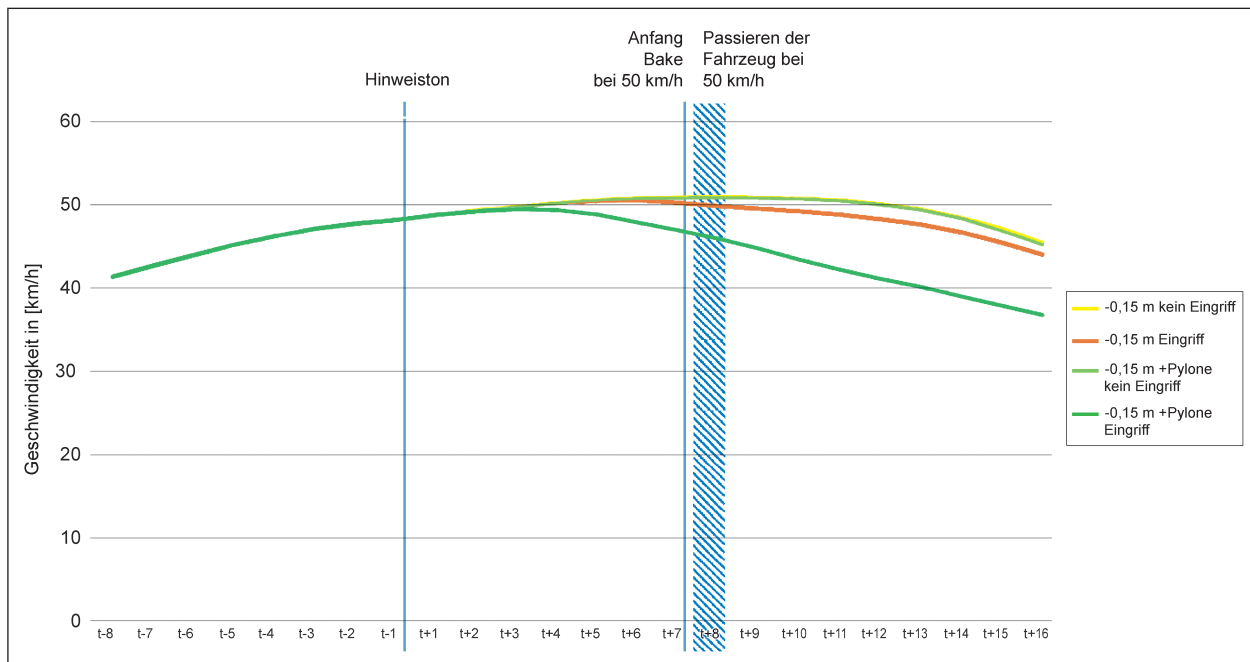


Bild 55: Geschwindigkeitsverlauf des Ego-Fahrzeugs in den zwei kritischen Gegenverkehrssituationen Abstand -0,15 m und Abstand -0,15 m + Pylone jeweils bei keinem Eingriff und Eingriff in der Realstudie

Effekt	F-Wert	p-Wert	partielles $\eta^2$
Situation	$F(1,517) = 11,72$	$p < ,01$	$\eta^2 = ,022$
Eingriff	$F(1,517) = 23,42$	$p < ,001$	$\eta^2 = ,043$
Zeitpunkt	$F(23,517) = 6,36$	$p < ,001$	$\eta^2 = ,220$
Situation*Eingriff	$F(1,517) = 11,18$	$p < ,01$	$\eta^2 = ,021$

Tab. 41: Signifikante Ergebnisse der einfaktoriellen ANOVA für die abhängige Variable Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeugs in der Realstudie

Hinweiston zustande kam. Für den Haupteffekt Situation gab es nur signifikante Unterschiede zwischen den Situationen, falls eingegriffen wurde ( $p < ,001$ ). Für die Situation Abstand -0,15 m ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen Eingriff und keinem Eingriff, d. h. im Falle eines Eingriffs reduzierten die Fahrer nicht signifikant die Geschwindigkeit. Für die Situation -0,15 m + Pylone zeigten sich hingegen signifikante Unterschiede zwischen Eingriff und keinem Eingriff ( $p < ,001$ ). Es wurden zudem paarweise Vergleiche (Bonferroni-korrigiert) trotz fehlender Signifikanz auf Interaktionsebene durchgeführt. Diese ergaben, dass es signifikante Unterschiede ab dem Zeitpunkt  $t_{+10}$  gab, je nachdem, ob eingegriffen wurde ( $p < ,05$ ). Zudem konnten signifikante Unterschiede zwischen den zwei Situationen bei Eingriff ab dem Zeitpunkt  $t_{+8}$ , d. h. vier Sekunden nach dem Hinweiston, festgestellt werden (vgl. Arbeitspaket 3: 2,6 Sekunden nach Hinweiston). Mit Pylonen bremsten Fahrer also signifikant stärker ab. Für die Situation Abstand

-0,15 m + Pylone gingen signifikante Unterschiede zwischen Eingriff und keinem Eingriff ( $p < ,05$ ) ab dem Zeitpunkt  $t_{+9}$ , d. h. ca. 4,5 Sekunden nach dem Hinweiston, hervor (vgl. Arbeitspaket 3: ca. 2,6 Sekunden nach Hinweiston). Wie in Arbeitspaket 3, unterschied sich die Geschwindigkeit der Fahrer also im Mittel in Abhängigkeit der Fahrsituation, des Zeitpunkts und inwiefern eingegriffen wurde.

Zusätzlich zu den zuvor berichteten gemittelten Geschwindigkeitsverläufen wurden die Einzeltrajektorien der Probanden in den zwei kritischen Situationen im Falle eines Eingriffs betrachtet (siehe Bild 56 für Abstand -0,15 m und Bild 57 für Abstand -0,15 m + Pylone).

Wie die gemittelten Plots bereits zeigten, reduzierten die Fahrer im Falle eines Eingriffs in der Situation Abstand -0,15 m + Pylone öfter und stärker die Geschwindigkeit als in der Situation Abstand -0,15 m. Keiner der Probanden kam allerdings zum



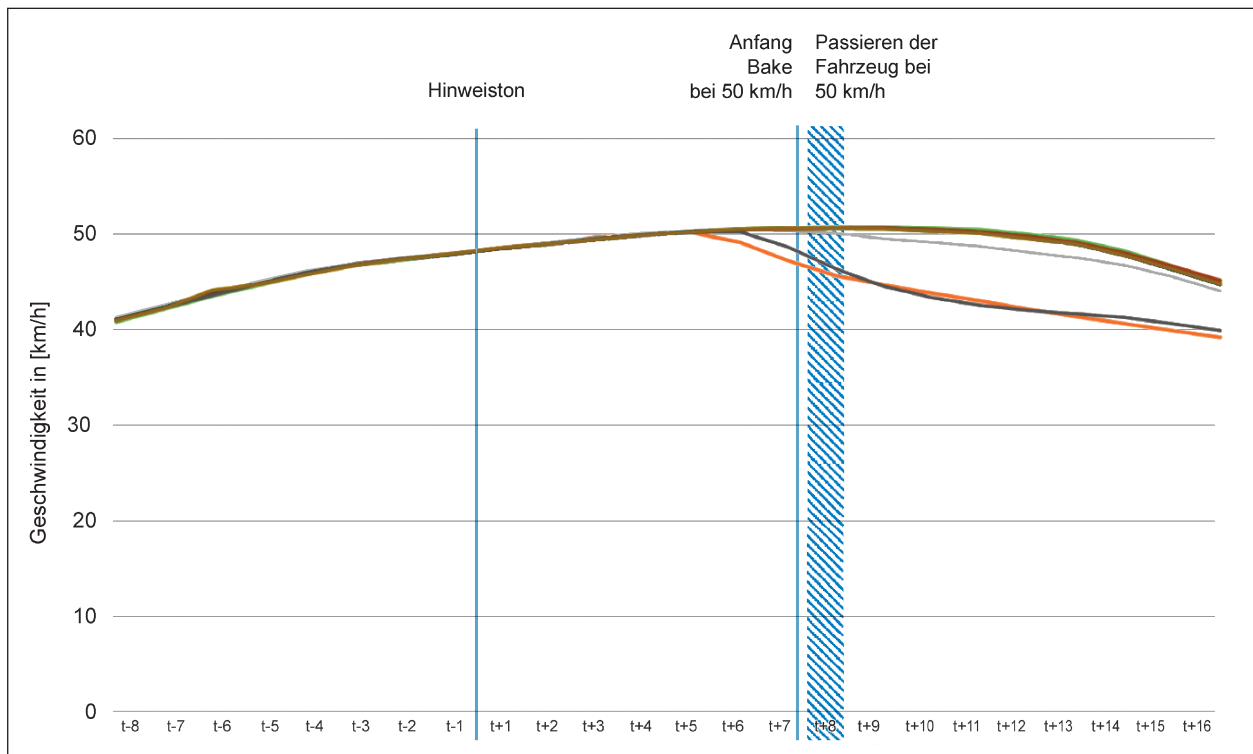


Bild 56: Einzeltrajektorien der Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeugs für die Gegenverkehrssituation Abstand -0,15 m bei Eingriff in der Realstudie

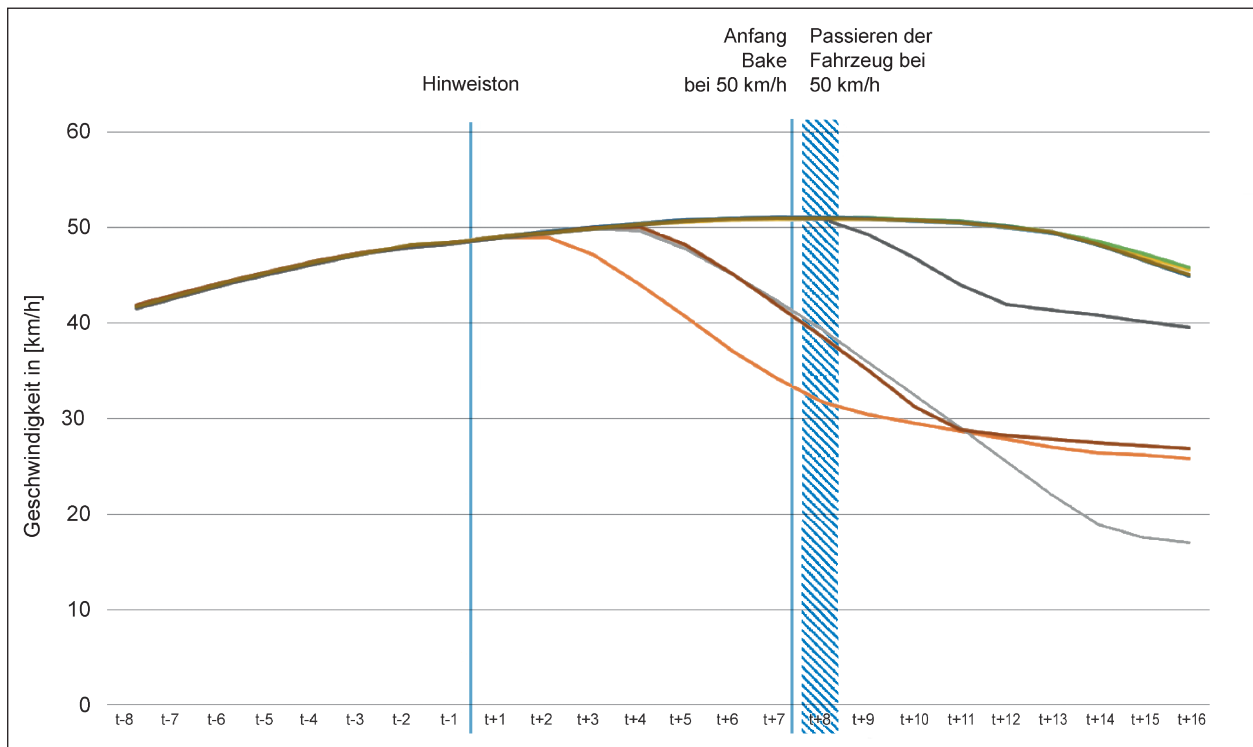


Bild 57: Einzeltrajektorien der Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeugs für die Gegenverkehrssituation Abstand -0,15 m + Pylone bei Eingriff in der Realstudie

vollständigen Stillstand. Die stärkste Bremsung eines Probanden war auf ca. 20 km/h. D. h., keiner der Probanden zeigte in der Realstudie das nicht

optimale Verhalten, das in Arbeitspaket 3 bei 10 % der Probanden beobachtet wurde. Während der Komfortaspekt der subjektiven Schwellen nach-

weisbar war (kritische Situationen wurden als unangenehm/kritisch bewertet), ist es schwierig, auf die Sicherheitsrelevanz derselben zu schließen. Eine mögliche Erklärung für diesen Befund ist der Versuchsaufbau (bewegter Gegenverkehr in Arbeitspaket 3 vs. stationärer Gegenverkehr in Arbeitspaket 4). Während sich in Arbeitspaket 3 die Engstelle durch Abbremsen und Warten auflöste (Passieren des Gegenverkehrs), blieb die Engstelle in Arbeitspaket 4 bestehen.

**Lateralversatz**

Als zweiter objektiver Fahrparameter wurde der Lateralversatz des Ego-Fahrzeugs von der Fahrstreifenmitte ausgewertet. Bild 58 zeigt den Lateralversatz für die zwei kritischen Gegenverkehrssituationen Abstand -0,15 m und Abstand -0,15 m + Pylone jeweils bei keinem Eingriff und Eingriff.

Zur Überprüfung möglicher inferenzstatistischer Unterschiede wurde wie bei der Geschwindigkeit eine einfaktorielle ANOVA mit den unabhängigen Variablen Situation (Abstand -0,15 m; Abstand -0,15 m + Pylone), Eingriff (kein Eingriff; Eingriff) und Zeitpunkt (t<sub>8</sub> bis t<sub>+16</sub>) durchgeführt. Als abhängige Variable diente der Lateralversatz des Ego-Fahrzeugs. Es zeigten sich signifikante Ergebnisse für alle Haupteffekte sowie für zwei Interaktionen (siehe Tabelle 42). Im Anschluss daran wurden paarweise Vergleiche (Bonferroni-korrigiert) berechnet. Diese ergaben, dass der Lateralversatz sich insgesamt signifikant zwischen den Zeitpunkten t<sub>+10</sub> und t<sub>+12</sub> veränderte (im Vergleich zu t<sub>-1</sub> vor dem Hinweiston). Des Weiteren zeigten sie, dass sich die zwei Situationen nur im Falle eines Eingriffs signifikant voneinander unterschieden (p < .001). Ohne Pylone wichen die Fahrer stärker aus. Zudem ergaben sich signifikante Unterschiede zwischen den

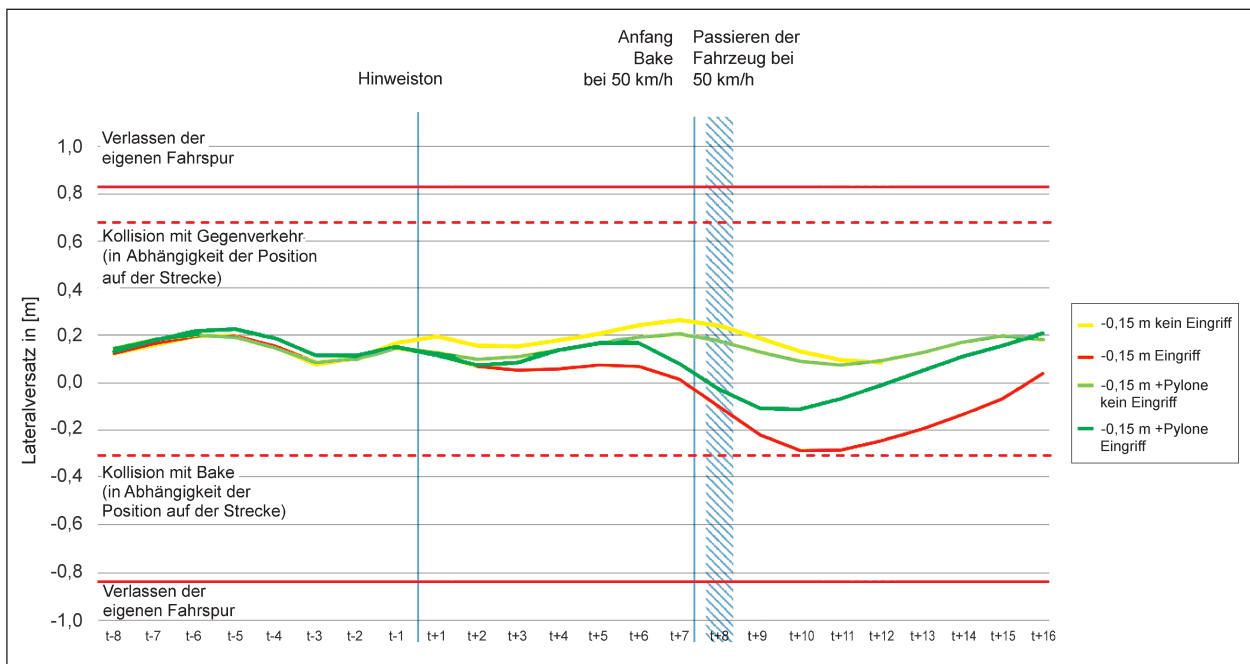


Bild 58: Lateralversatz des Ego-Fahrzeugs in den zwei kritischen Gegenverkehrssituationen Abstand -0,15 m und Abstand -0,15 m + Pylone jeweils bei keinem Eingriff und Eingriff in der Realstudie

Effekt	F-Wert	p-Wert	partielles η²
Situation	F(1, 517) = 10,56	p < ,01	η² = ,020
Eingriff	F(1, 517) = 68,88	p < ,001	η² = ,119
Zeitpunkt	F(23, 517) = 6,31	p < ,001	η² = ,219
Situation*Eingriff	F(1, 517) = 19,97	p < ,001	η² = ,037
Eingriff*Zeitpunkt	F(23, 517) = 3,60	p < ,001	η² = ,138

Tab. 42: Signifikante Ergebnisse der einfaktoriellen ANOVA für die abhängige Variable Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeugs in der Realstudie

Gruppen Eingriff und kein Eingriff ab dem Zeitpunkt  $t_{+7}$ . Trotz fehlender Signifikanz auf diversen Interaktionsebenen wurden zusätzliche paarweise Vergleiche (Bonferroni-korrigiert) berechnet. Diese zeigten, dass es bei einem Eingriff signifikante Unterschiede zwischen den zwei Situationen ab dem Zeitpunkt  $t_{+10}$  gab ( $p < .05$ ). Zudem zeigten sich für die Situation Abstand -0,15 m signifikante Unterschiede zwischen Eingriff und keinem Eingriff zwischen den Zeitpunkten  $t_{+6}$  und  $t_{+15}$  ( $p < .05$ ). Weiterhin konnte festgestellt werden, dass es für Situation Abstand -0,15 m + Pylone signifikante Unterschiede zwischen Eingriff und kein Eingriff zwischen den Zeitpunkten  $t_{+8}$  und  $t_{+10}$  gab ( $p < .05$ ). Bei einem Eingriff veränderte sich die Lateralposition der Fahrer also eine Sekunde vor Passieren der Fahrzeuge (Situation Abstand -0,15 m) bzw. bei Passieren der Fahrzeuge (Situation Abstand -0,15 m + Pylone) (vgl. Arbeitspaket 3 eine bzw. zwei Sekunden vor Passieren der Fahrzeuge). Zusammenfassend unterscheidet sich, wie in Arbeitspaket 3, die Lateralposition der Fahrer in Abhängigkeit der Fahrsituation, des Zeitpunkts und inwiefern eingegriffen wurde.

Zusätzlich zu den gemittelten Kurven des Lateralversatzes wurden auch in diesem Fall die Einzeltrajektorien der verschiedenen Fahrer betrachtet. Bild 59 zeigt die Einzeltrajektorien für die Situation Abstand -0,15 m bei Eingriff, Bild 60 für die Situation Abstand -0,15 m + Pylone bei Eingriff.

Wie die gemittelten Plots bereits zeigen, wichen Fahrer im Falle eines Eingriffs in der Situation Abstand -0,15 m stärker nach rechts aus als in der Situation -0,15 m + Pylone. Somit ähneln sich die grundlegenden Muster der Einzeltrajektorien zwischen Arbeitspaket 3 und 4. Allerdings gab es im Vergleich zu Arbeitspaket 3, in dem 10 % der Probanden die Situation durch einen Eingriff verschlechterten, keine Fahrfehler in der Querregelung. So verursachte in der Situation Abstand -0,15 m keiner der Probanden eine Kollision (weder Gegenverkehr noch Pylone) oder verließ den eigenen Fahrstreifen. Auch in Situation Abstand -0,15 m + Pylone verursachte keiner der Probanden eine Kollision mit dem Gegenverkehr oder verließ den eigenen Fahrstreifen. Bei  $n = 1$  Probanden erfolgte laut Objektivdaten eine vermeintliche Kollision mit den Pylonen, tatsächlich kam es jedoch nicht dazu. Neben minimalen Ungenauigkeiten im GPS ist der Versuchsaufbau eine mögliche Erklärung. Insofern kann bei diesem Fall eher von einem Beinahe-Unfall gesprochen werden. Somit ist, wie auch bei der Geschwindigkeit, der Komfortaspekt der subjektiven Schwellen nachweisbar (kritische Situationen wurden als unangenehm/kritisch bewertet). Die Sicherheitsrelevanz lässt sich allerdings nur für den einen Probanden, der einen Beinahe-Unfall verursachte und somit die Situation schlechter als das automatisierte System löste, nachweisen.

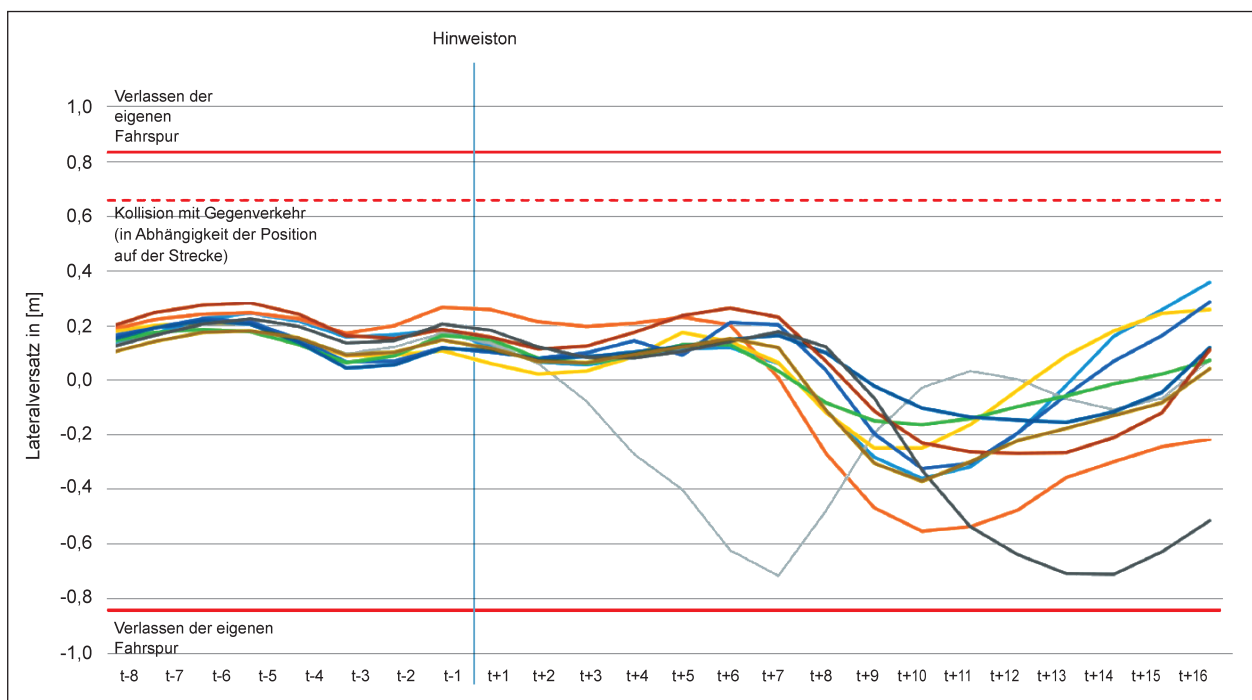


Bild 59: Einzeltrajektorien des Lateralversatzes des Ego-Fahrzeugs für die Gegenverkehrssituation Abstand -0,15 m bei Eingriff in der Realstudie

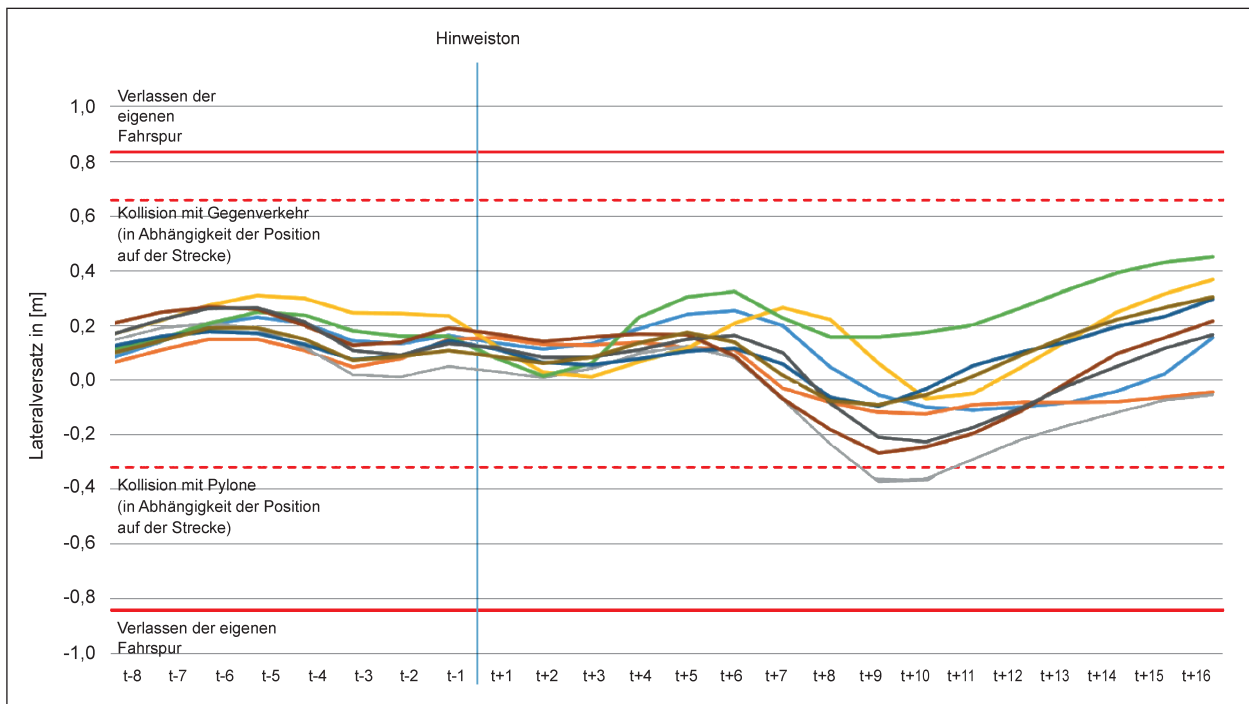


Bild 60: Einzeltrajektorien des Lateralversatzes des Ego-Fahrzeugs für die Gegenverkehrssituation Abstand  $-0,15\text{ m}$  + Pylone bei Eingriff in der Realstudie

## 6.5 Beantwortung der Hypothesen

Aufbauend auf den Ergebnissen der Realstudie lassen sich die in Kapitel 6.2 formulierten Hypothesen beantworten. Im Folgenden geschieht dies für jeden Studienteil pro Hypothese.

### 6.5.1 Studienteil 1

1. Da die Lateralversätze des Ego-Fahrzeugs  $0,0\text{ m}$  und  $0,2\text{ m}$  unterhalb des in Arbeitspaket 2 bestimmten Schwellenwerts einer subjektiv angemessen empfundenen Fahrleistung liegen, werden sie als angemessen und angenehm bewertet. Fahrer haben keinen Eingriffswunsch in die automatisierte Fahrzeugführung.

Sowohl der Lateralversatz  $0,0\text{ m}$  als auch  $0,2\text{ m}$  wurden als angemessen und angenehm bewertet. Die Probanden gaben nicht an, in die automatisierte Fahrzeugführung eingreifen zu wollen (siehe Bild 49 bis 51). Die Ergebnisse bestätigen somit Hypothese 1.

2. Da die Lateralversätze des Ego-Fahrzeugs  $0,4\text{ m}$  und  $0,6\text{ m}$  oberhalb des in Arbeitspaket 2 bestimmten Schwellenwerts einer subjektiv angemessen empfundenen Fahrleistung liegen, werden sie als nicht angemessen und unange-

nehm bewertet. Fahrer haben einen Eingriffswunsch in die automatisierte Fahrzeugführung.

Gemäß den Subjektivbewertungen der Probanden wurde der Lateralversatz von  $0,4\text{ m}$  als angemessen bewertet und die Probanden äußerten eher keinen Eingriffswunsch. Auch der Lateralversatz von  $0,6\text{ m}$  wurde eher als angemessen bewertet. Hier beabsichtigten die Probanden allerdings eher einen Eingriff. Auf der Komfort-Sicherheits-Skala lagen die Ratings für beide Lateralversätze im unteren unangenehmen Bereich. Somit lässt sich die Hypothese 2 in Abhängigkeit des Lateralversatzes und der abhängigen Variable bedingt bestätigen (siehe Bild 49 bis 51). Während die Hypothese hinsichtlich der Komfort-Sicherheits-Skala für beide Trajektorien angenommen werden kann, muss sie für den Lateralversatz  $0,4\text{ m}$  für das Angemessenheits-Rating und den Eingriffswunsch abgelehnt werden. Für den Lateralversatz  $0,6\text{ m}$  muss die Hypothese für das Angemessenheitsrating ebenfalls eher verworfen werden, während sie für den Eingriffswunsch eher anzunehmen ist.

### 6.5.2 Studienteil 2

1. In der unkritischen Gegenverkehrssituation (Abstand  $0,85\text{ m}$ ) bewerten Fahrer die automatisier-

te Fahrt sowohl vor als auch ab Erscheinen des Gegenverkehrs als angemessen und angenehm.

Gemäß der Subjektivbewertung wurde die Gegenverkehrssituation Abstand 0,85 m von den Probanden größtenteils als angemessen (Tabelle 30) und angenehm bewertet (Tabelle 32). Somit kann Hypothese 1 angenommen werden.

2. In den kritischen Gegenverkehrssituationen (-0,15 m und -0,15 m + Pylone) bewerten Fahrer die automatisierte Fahrt

- a. vor Erscheinen des Gegenverkehrs als angemessen und angenehm,
- b. ab Erscheinen des Gegenverkehrs als nicht angemessen und unangenehm.

Im Rahmen der Subjektivbewertung gaben die Probanden an, dass die automatisierte Fahrt in den kritischen Fahrsituationen vor Erscheinen des Gegenverkehrs angemessen und angenehm war. Ab Erscheinen des Gegenverkehrs berichteten die Probanden, dass die automatisierte Fahrt unangemessen (Abstand -0,15 m) bzw. sogar kritisch (Abstand -0,15 m + Pylone) war (Tabelle 32). In der Situation Abstand -0,15 m war die Fahrt ab Erscheinen des Gegenverkehrs für die Hälfte der Probanden nicht angemessen, in der Situation Abstand -0,15 m + Pylone bewerteten mehr als 2/3 der Probanden die Fahrt als nicht angemessen (Tabelle 30). Ausgehend von diesen Ergebnissen kann Hypothese 2 angenommen werden.

3. In der unkritischen Gegenverkehrssituation (Abstand 0,85 m) werden Fahrer beim Erscheinen des Gegenverkehrs nicht in die automatisierte Fahrzeugführung eingreifen.

Gemäß ihrem Subjektivurteil griffen die Probanden in der unkritischen Gegenverkehrssituation nicht in die automatisierte Fahrzeugführung ein. Nur ein Proband berichtete einen Eingriff (Tabelle 31). Dieses Bild deckt sich vollständig mit den Objektivdaten. Insgesamt kann Hypothese 3 deshalb angenommen werden.

4. In den kritischen Gegenverkehrssituationen (-0,15 m und -0,15 m + Pylone) werden Fahrer im Sinne der funktionalen Verhaltensmechanismen beim Erscheinen des Gegenverkehrs

- a. die Aktivität in der FFT verringern, um so ausreichend Ressourcen für die Regulierung der Fahraufgabe bereitzustellen,

b. nach rechts lenken und somit ihre Spurposition in Richtung der Mitte des Ego-Fahrstreifens verschieben,

c. zusätzlich einen Bremsvorgang einleiten (lediglich in der Situation Abstand -0,15 m + Pylone).

Laut ihrem Subjektivurteil griffen jeweils ca. 2/3 der Probanden in den kritischen Gegenverkehrssituationen in die automatisierte Fahrzeugführung ein (Tabelle 31). Dabei gaben sie an, in der Situation Abstand -0,15 m insbesondere durch Lenkbewegungen eingreifen zu haben (Tabelle 35). In der Situation -0,15 m wurden sowohl Lenk- als auch Bremsgriffe berichtet (Tabelle 37).

Die Objektivdaten zeigen ein übereinstimmendes Bild. Im Sinne der funktionalen Verhaltensmechanismen scheint es in allen Situationen eine proaktive Reduktion in der Bearbeitung der FFT vor Passieren der Fahrzeuge zu geben. Die Probanden scheinen potenziell benötigte kognitive Ressourcen freizugeben. In Abhängigkeit des Übernahmeverhaltens (Eingriff vs. kein Eingriff) und der Kritikalität der Fahrsituation (unkritisch vs. kritisch) wurde die FFT-Aktivität wieder erhöht (Bild 54). Des Weiteren wurde gemäß den Objektivdaten in beiden kritischen Gegenverkehrssituationen nach rechts ausgewichen (Bild 58). Dabei fand eine signifikante Änderung der Lateralposition eine Sekunde vor bzw. bei Passieren der Fahrzeuge statt. In der Situation Abstand -0,15 m + Pylone war es darüber hinaus so, dass im Vergleich zur anderen kritischen Gegenverkehrssituation in 50 % der Eingriffe gebremst wurde und sich die Geschwindigkeit ab Passieren der Fahrzeuge zwischen den zwei kritischen Fahrsituationen unterschied (Bild 55). Die Subjektiv- und Objektivergebnisse zusammenfassend ist Hypothese 4 folglich insgesamt anzunehmen.

## 6.6 Vergleich der Ergebnisse mit den anderen Arbeitspaketen

Im zusammenfassenden Vergleich der verschiedenen Arbeitspakete des Forschungsprojekts ergeben sich diverse Schlussfolgerungen über die Stimmigkeit der Ergebnisse der verschiedenen Studien.

Als solches lassen sich die Ergebnisse des Studienteils 1 des Arbeitspakets 4 mit den Ergebnissen der Online-Studie (Hauptstudie) im Arbeitspaket 2 vergleichen. Laut diesem Vergleich entspricht für



die Bewertung auf der Komfort-Sicherheits-Skala der Schwellenwert einer subjektiv angemessen empfundenen Fahrleistung im Realfahrzeug dem der Online-Studie. Für die anderen Subjektivbewertungen (Angemessenheitsrating und Eingriffswunsch in die automatisierte Fahrzeugführung) zeigte sich ein anderes Bild. Hier scheint der Schwellenwert einer subjektiv angemessen empfundenen Fahrleistung im Realfahrzeug im Vergleich zur Online-Studie höher zu liegen. Fahrer scheinen im Realfahrzeug also höhere Lateralversätze des Ego-Fahrzeugs zuzulassen. Die Ergebnisse für das Angemessenheitsrating und den Eingriffswunsch waren dabei allerdings nicht vollständig homogen. Während bei einem hohen Lateralversatz (0,6 m) – der deutlich über dem in der Online-Studie bestimmten Schwellenwert lag – die Wahrscheinlichkeit für ein nicht angemessenes Rating nur bei ca. 25 % lag und sich somit nicht klar zum niedrigeren Versatz von 0,4 m unterschied (ca. 17 %), stieg die Wahrscheinlichkeit für einen beabsichtigten Eingriff mit zunehmendem Lateralversatz an und lag bei dem Lateralversatz 0,6 m zumindest bereits bei 50 %.

Ein weiterer Vergleich ist zwischen den Subjektivdaten des Studienteils 2 des Arbeitspakets 4 und der Fahrsimulationsstudie des Arbeitspakets 3 möglich. Insgesamt scheint sich die Angemessenheitsbewertung der Gegenverkehrssituationen zwischen den Arbeitspaketen zu decken, wobei in der Situation Abstand -0,15 m + Pylone die Bewertung in der Realstudie im Vergleich zur Fahrsimulation negativer ausfiel. Auch auf der Komfort-Sicherheits-Skala entsprechen die Bewertungstendenzen der Realstudie denen der Fahrsimulationsstudie (z. B. Unterschiede zwischen vor/ab Erscheinen des Gegenverkehrs; Unterschiede zwischen unkritischen und kritischen Gegenverkehrssituationen). Dabei gilt aber, dass in der Realstudie die Bewertung im Vergleich zur Fahrsimulation insgesamt kritischer ausfiel. So wurde beispielsweise die Situation Abstand -0,15 m + Pylone in der Realstudie nicht nur als unangenehm (wie in der Fahrsimulation), sondern sogar als kritisch bewertet. Vergleichbar würden die Probanden der Realstudie, wie auch in der Fahrsimulation, in der unkritischen Situation nicht in die automatisierte Fahrzeugführung eingreifen. Die subjektiv berichtete Eingriffsrate in den kritischen Gegenverkehrssituationen war in der Realstudie allerdings ebenfalls höher als in der Fahrsimulation.

Schließlich lassen sich die Objektivdaten des Studienteils 2 des Arbeitspakets 4 mit den Ergebnissen

der Fahrsimulationsstudie des Arbeitspakets 3 vergleichen. Hinsichtlich der SuRT scheint es auf deskriptiver Basis, und bedingt auch inferenzstatistisch, den in Arbeitspaket 3 diskutierten proaktiven Handlungsmechanismus im Verhalten der Fahrer zu geben. D. h., Fahrer reduzieren die FFT zur Freigabe von Ressourcen. Allerdings fand in der Realstudie in bestimmten Bedingungen (kritisch ohne Eingriff) die Wiederaufnahme der SuRT zu anderen Zeitpunkten statt. Aufgrund der geringeren Datenbasis in der Realstudie könnte dies allerdings auch als statistisches Artefakt interpretiert werden.

Auch hinsichtlich der Geschwindigkeit gibt es Übereinstimmungen zwischen den Arbeitspaketen 3 und 4. Die Datenmuster der Realstudie decken sich mit denen der Fahrsimulationsstudie. So fand eine Bremsung nur in der Engstellensituation statt. Allerdings erfolgte diese in der Realstudie ca. zwei Sekunden später als im Simulator. Außerdem lässt sich in Arbeitspaket 4 kein nicht optimales bzw. sicherheitskritisches Verhalten wie in Arbeitspaket 3 identifizieren, da kein Proband zum vollständigen Stillstand kam. Wie bereits erwähnt, kann dies möglicherweise durch den Versuchsaufbau begründet werden (bewegter vs. stationärer Gegenverkehr). Insgesamt kann also in der Realstudie grundsätzlich eine Handlungsrelevanz der Fahrleistungsschwellen für die Längsführung repliziert werden, da in die Fahrzeugführung eingegriffen wurde, sobald eine Trajektorie als unangenehm bewertet wurde. Es ist allerdings schwierig, auf die Sicherheitsrelevanz zu schließen (aufgrund der fehlenden Fahrfehler und des Versuchsaufbaus). Eine analoge Diskussion ist auch für den Objektivparameter des Lateralversatzes möglich. Insgesamt decken sich die Muster zwischen Fahrsimulations- und Realstudie. Ohne Baken/Pylone gab es ein stärkeres Ausweichen nach rechts. In der Situation Abstand -0,15 m fand die Fahrerreaktion dabei in beiden Studien ungefähr zum gleichen Zeitpunkt statt. In der Situation -0,15 m + Pylone wurde in der Realstudie ca. eine Sekunde später ausgewichen. Da es in der Realstudie in der Querverführung nur einen Beinahe-Unfall gab, lässt sich zwar eine Handlungsrelevanz der Fahrleistungsschwellen nachweisen, diese liegt aber eher auf der Komfortebene. Die Sicherheitsrelevanz ist nur bedingt nachweisbar.

Diese vergleichende Diskussion der empirischen Arbeitspakete wird im Arbeitspaket 5 für eine kritische Reflexion der Studienmethodik des Forschungsprojekts herangezogen.

## 7 Arbeitspaket 5

Im Anschluss an die empirischen Arbeitspakete 2 bis 4 diente das Arbeitspaket 5 dem Zweck, die erlangten Erkenntnisse zur Handlungsrelevanz des Erreichens oder Überschreitens subjektiver Fahrleistungsschwellen für die Ableitung von Handlungs- und Gestaltungsempfehlungen zu nutzen. Im Folgenden werden erstens Optimierungsmöglichkeiten automatisierter Systeme diskutiert. Zweitens folgt eine Diskussion der im Forschungsprojekt angewendeten Methoden. Drittens und letztens folgt ein kurzer Ausblick.

### 7.1 Optimierungsmöglichkeiten automatisierter Systeme

Im Rahmen der Diskussion der empirischen Studienergebnisse wurden Optimierungsmöglichkeiten zukünftiger automatisierter Fahrsysteme im Sinne adaptiver Mechanismen im Hinblick auf die Trajektorienplanung erarbeitet. Solche Optimierungsmöglichkeiten bergen das Potenzial, den Fahrkomfort und somit den Fahrspaß, die Kaufincentivierung sowie die Nutzung automatisierter Fahrfunktionen zu erhöhen. Es galt zu klären, wie eine adaptive Fahrtrajektorie gestaltet sein muss, damit Fahrer nicht in ungeeigneten Momenten, d. h., wenn sie aufgrund fehlender Kontextinformationen im automatisierten Fahren nicht oder nicht ausreichend in der Lage sind, die Fahrzeugführung selbstständig zu übernehmen, eingreifen. Diese Diskussion wurde aufbauend auf den bereits erlangten ersten Schlussfolgerungen zur Notwendigkeit adaptiver Mechanismen in automatisierten Fahrfunktionen der Simulatorstudie in Arbeitspaket 3 (siehe Kapitel 5.2.6) geführt.

So zeigten bereits die Ergebnisse der Fahrsimulationsstudie, dass ca. die Hälfte der Probandenstichprobe in subjektiv als unangenehm bzw. kritisch eingeschätzten Situationen ohne objektives Unfallrisiko in die automatisierte Fahrzeugführung eingriff. Im Rahmen dieser Eingriffe bestand das Risiko von Fahrfehlern bzw. nicht optimalen Fahrerverhalten, das dazu führte, dass die Probanden die Situation im Vergleich zum System schlechter lösten. Ausgehend hiervon wurde im Rahmen der Diskussion des Arbeitspakets 3 bereits empfohlen, grundsätzlich adaptive Mechanismen in der Trajektorienplanung zur Steigerung des fahrerseitigen Komfort- und Sicherheitslevels zu implementieren. Eine weitere Empfehlung betraf die Einbindung systemseiti-

ger Rückmeldungen an den Fahrer, dass eine Fahr-situation durch das System erfolgreich gelöst werden kann. Beide Empfehlungen zielten darauf ab, das fahrerseitige Systemvertrauen zu stärken und so potenziell sicherheitskritische Eingriffe in die automatisierte Fahrzeugführung zu vermeiden. Die Studienergebnisse des Arbeitspakets 4 zeigten, dass es die diskutierten Fahrleistungsschwellen auch in einer Realfahrt zu geben scheint. Die Eingriffsquote in subjektiv unangenehmen/kritischen Fahrsituationen ohne objektives Unfallrisiko schien in einer Realfahrt im Vergleich zum Simulator ähnlich bzw. sogar höher zu sein (z. B. Situation Abstand -0,15 m + Pylone ca. 75 %). Allerdings gab es im Vergleich zur Fahrsimulationsstudie in der Realstudie nur bedingt Fahrfehler (einen Beinahe-Unfall), was gegebenenfalls durch den Versuchsaufbau hervorgerufen sein könnte (siehe hierzu das Kapitel 7.2). Ausgehend von der Annahme, dass bereits eine komfortbasierte Handlungsrelevanz der Fahrleistungsschwellen (Eingriff in die automatisierte Fahrzeugführung aufgrund der Bewertung einer Trajektorie als unangenehm/kritisch) ein ausreichender Grund für adaptive Trajektorienmechanismen ist, können die zwei allgemeinen Handlungsempfehlungen, die für die Ergebnisse der Fahrsimulationsstudie formuliert wurden (adaptive Mechanismen und systemseitige Rückmeldungen), insgesamt bestätigt werden.

Basierend auf diesen allgemeinen Empfehlungen lassen sich konkretere Maßnahmen zur adaptiven Trajektoriengestaltung ableiten. Die Ergebnisse der Fahrsimulationsstudie zeigten bereits, dass signifikante Eingriffe in die Fahrzeugführung (Längs- und Querregelung) ca. zwei Sekunden vor der kritischen Situation bzw. dem Passieren der Fahrzeuge erfolgten. Ein automatisiertes System sollte deshalb vor einer kritischen Situation, in der die Fahrer die eigene Trajektorie subjektiv als unangenehm bzw. nicht akzeptabel bewerten, proaktiv handeln. Die eigene Trajektorie sollte so angepasst werden, dass sie in einem von Fahrern als angenehm bewerteten Bereich liegt. Zur Vermeidung eines fahrerseitigen Eingriffs sollte dabei die Trajektorie mindestens ca. zwei Sekunden vor der kritischen Situation adaptiert werden, da laut den Studienergebnissen nach diesem Zeitpunkt fahrerseitige Eingriffe zu erwarten wären. Die Realstudie lieferte vergleichbare Ergebnisse. Für die Situation Abstand -0,15 m fanden signifikante Anpassungen der Lateralposition zu einem ähnlichen Zeitpunkt (ca. zwei Sekunden vor der kritischen Situation) wie in der Fahrsimulations-

studie statt. Für die Situation Abstand -0,15 m + Pylone fanden signifikante Anpassungen der Lateralposition später als in der Fahrstudie statt (ca. eine Sekunde vor der kritischen Situation). Für die gleiche Situation kam es zudem zu signifikanten Geschwindigkeitsveränderungen, die im Vergleich zum Simulator ebenfalls später auftraten (erst beim Passieren des Gegenverkehrs). Aufgrund des Nachweises dieser fahrerseitigen Eingriffe kann die Empfehlung eines proaktiven, adaptiven Mechanismus bestätigt werden. Dabei sollte die bestehende Empfehlung bezüglich der zeitlichen Platzierung der adaptiven Mechanismen trotz der späteren Eingriffe in der Realstudie beibehalten werden, um sicherzustellen, dass die Adaptation nicht zu spät kommt.

Gemäß der Fahrstudie ließen sich des Weiteren Unterschiede in der Art des fahrerseitigen Eingriffs (Lenken vs. Bremsen) in Abhängigkeit der Fahrsituation feststellen. Hiervon ausgehend wurde gefordert, dass ein System, sofern möglich, die Adaptation einer Trajektorie wählen sollte, die der Fahrer selber bevorzugen würde. Da die Realstudie vergleichbare empirische Ergebnisse lieferte, kann auch diese Forderung übernommen werden. Als solches sollte bei einer Engstelle gebremst und bei keinem zusätzlichen Hindernis bei gleichbleibender Geschwindigkeit eher ausgewichen werden.

Ein letzter Gestaltungshinweis, der im Rahmen des Arbeitspakets 3 bereits abgeleitet werden konnte, betraf die FFT. So zeigten sich in der Simulatorstudie zwischen den unkritischen und kritischen Fahrsituationen Unterschiede in der FFT-Bearbeitung. Es wurde vorgeschlagen, die Aktivität einer FFT als Indikator für die subjektive Kritikalität einer Situation zu nutzen und adaptive Mechanismen prädiktiv hierauf abzustimmen. Eine ausbleibende Aufnahme der FFT vor einer kritischen Fahrsituation würde auf einen Eingriff in die Fahrzeugführung hindeuten und somit die Notwendigkeit adaptiver Trajektorienmechanismen anzeigen. In der Realstudie konnte, vergleichbar zur Simulatorstudie, gezeigt werden, dass es Unterschiede in der FFT-Bearbeitung zwischen unkritischen Situationen ohne Eingriff und vor allem kritischen Situationen, in denen eingegriffen wurde, gab. Aus diesem Grund können die Empfehlungen, die für die Ergebnisse der Fahrstudie formuliert wurden, bestätigt werden.

## 7.2 Diskussion der Forschungsmethodik

Ausgehend von den einzelnen Forschungsergebnissen der empirischen Studien des Projekts sowie von dem in Kapitel 6.6 geführten Vergleich der Arbeitspakete lässt sich die Forschungsmethodik des Projekts reflektieren. Im Zuge dessen kann die Realstudie als Validierung der vorherigen Arbeitspakete (Online-Studie; Fahrstudie) gesehen werden, da hier die Praxisrelevanz der Ergebnisse deutlich wird.

Erstens lassen sich Schlüsse zur Eignung bzw. der Trennschärfe der verschiedenen Subjektivitems zur Bestimmung eines Schwellenwerts ziehen. Im Rahmen des Forschungsprojekts wurden drei verschiedene Items bzw. Skalen zur subjektiven Bewertung automatisierter Trajektorien genutzt. Dies waren ein allgemeines Angemessenheitsrating, der Eingriffswunsch in die automatisierte Fahrzeugführung sowie die im Projekt entwickelte Komfort-Sicherheits-Skala. Laut den Ergebnissen der Realstudie sind die Subjektivitems unterschiedlich trennscharf und liefern unterschiedliche Übereinstimmung mit den Ergebnissen aus der Online- und Fahrstudie (siehe Kapitel 6.6). Während die Schwellenwerte der Komfort-Sicherheits-Skala zwischen den Studien übereinstimmen, werden für das Angemessenheitsrating und den Eingriffswunsch in der Realstudie höhere Lateralversätze akzeptiert. Ausgehend von der Annahme, dass die Teststreckenstudie am ehesten die Realität abbildet, scheint also vor allem die Komfort-Sicherheits-Skala geeignet, um in Online- oder Fahrstudien realitätsnahe Schwellenwerte einer subjektiv angemessen empfundenen Fahrleistung zu identifizieren. Im Vergleich der anderen beiden Subjektivitems (Angemessenheit und Eingriffswunsch) scheint die Frage zum Eingriffswunsch in die automatisierte Fahrzeugführung in der Realstudie besser zwischen Trajektorien mit unterschiedlichem Lateralversatz differenzieren zu können. Während die Angemessenheitsbewertung auch bei großen Lateralversätzen, die deutlich über dem Schwellenwert einer subjektiv angemessen empfundenen Fahrleistung liegen, noch hohe Akzeptanzquoten, die sich nicht klar von denen niedriger Lateralversätze unterscheiden, liefert, kann das Item zum Eingriffswunsch hier besser trennen (siehe Kapitel 6.6 sowie Bild 49 und Bild 50). Es ist somit vor dem allgemeinen Angemessenheitsrating zu bevorzugen.

Zweitens ist die Verwendbarkeit der statischen Fahrsimulation zur Untersuchung der Handlungsrelevanz der subjektiven Fahrleistungsschwellen zu diskutieren. Während in der Fahrsimulationsstudie Fahrfehler bei Eingriffen in die automatisierte Fahrzeugführung detektiert werden konnten, kam es in der Realstudie bis auf einen Beinahe-Unfall zu keinen Fahrfehlern. Dies könnte auf das unterschiedliche Fahrgefühl in den beiden Umgebungen zurückzuführen sein, da im statischen Simulator die Wahrnehmung bzw. eine realistische Rückmeldung der Längs- und Querführung fehlte. Ein anderer Grund könnte darin liegen, dass Fahrer im Simulator stärker out-of-the-loop zu sein schienen und sich stärker von der Fahraufgabe abwendeten. Aufgrund der in der Realstudie bestehenden realistischeren Kritikalität kam es zu einer weniger starken Abwendung von der Fahraufgabe, was evtl. zu einer besseren Kontrolle im Falle eines Eingriffs führte. Insgesamt scheint es also so, dass die in der Simulationsstudie gefundenen Fahrfehler mit Vorsicht betrachtet werden müssen und die statische Fahrsimulation zu extremeren Eingriffsmustern führt, die in der Realität nur abgeschwächt zu finden sind. Ein statischer Fahrsimulationsversuch sollte deshalb nicht als alleinige Datenbasis für die Untersuchung der Handlungsrelevanz der subjektiven Fahrleistungsschwellen herangezogen werden. Folglich sollten auch die in Kapitel 7.1 genannten Handlungsempfehlungen hinsichtlich automatisierter Fahrfunktionen diesen Punkt berücksichtigen. Die Simulatorstudie kann als Quelle erster Hinweise und Handlungsempfehlungen gesehen werden, die allerdings im Rahmen einer Realstudie abgesichert bzw. bestätigt werden sollten (z. B. Abgleich der grundsätzlich identifizierten Trajektorienmuster bei einem Eingriff). Dies konnte im aktuellen Forschungsprojekt geleistet werden. Es zeigte sich in der Realfahrt eine vergleichbare bzw. sogar höhere Eingriffsquote sowie vergleichbare Eingriffsmechanismen (Ausweichen vs. Bremsen in Abhängigkeit der Situation).

In diesem Kontext des Vergleichs zwischen Fahrsimulation und Realstudie sollten weiterhin zwei grundlegende methodische Überlegungen bedacht werden. Zum einen könnten die geringeren Stichprobengrößen in der Realstudie zu fehlenden Signifikanzen bzw. zu abweichenden Aktivitätsverläufen geführt haben. Zum anderen könnte die Operationalisierung des Gegenverkehrs einen Effekt haben. Während in der Fahrsimulation ein sich bewegendes, reales Fahrzeug dargestellt wurde, wurde in

der Realstudie ein stationäres Balloon-Car aus Kunststoff verwendet. Wie bereits in den Kapiteln 6.6 angesprochen, könnte die fehlende Bewegung in der Realstudie mit ein Grund für das Ausbleiben des nicht optimalen Fahrverhaltens in der Längsrichtung (kein Abbremsen auf 0 km/h) sein. Während sich bei bewegtem Gegenverkehr die Engstelle nämlich durch Abwarten auflöste, geschah dies nicht beim stationären Balloon-Car. Weiterhin könnte das Material des Fahrzeugs einen Einfluss gehabt haben. Durch das Kunststoff-Material des Balloon-Cars könnte die Wahrnehmung der Probanden verzerrt worden sein und ein verändertes Verhalten hervorgerufen haben (z. B. lässt man ggf. aus diesem Grund in der Realstudie tendenziell höhere Lateralversätze des Ego-Fahrzeugs zu).

### 7.3 Ausblick

Unter Berücksichtigung der in Kapitel 7.2 geführten methodischen Diskussion lässt sich den subjektiven Fahrleistungsschwellen insgesamt eine Handlungsrelevanz zuschreiben. Während in Arbeitspaket 3 dabei tatsächlich Fahrfehler bzw. nicht optimales Fahrverhalten gefunden wurde, kam es in Arbeitspaket 4 in einem Fall zu einem Beinahe-Unfall. In diesem Fall in Arbeitspaket 4 hätte das automatisierte System die Fahraufgabe besser lösen können. Der Fahrer verschlechterte die Fahrsituation durch seinen Eingriff. Obwohl also der Großteil der im Forschungsprojekt getesteten Stichproben die Fahraufgabe bei einem Eingriff sicher lösen konnte, scheint es in der Praxis Einzelfälle zu geben, bei denen es zu Problemen bzw. negativen Auswirkungen in der Fahrzeugführung kommen kann und die demnach als „Graubereich“ diskutiert werden können.

Aufgrund der Existenz dieses Graubereichs, in dem es die Wahrscheinlichkeit gibt, dass automatisierte Fahrten als unangenehm oder kritisch bewertet werden, es deshalb Eingriffe in die automatisierte Fahrzeugführung gibt und diese Übernahmen von Fahrern nicht erfolgreich gelöst werden, erscheint es wichtig, diese Fälle näher zu betrachten. Eine Möglichkeit wäre die Generierung eines simulierten Fahrermodells, in welches die Daten des aktuellen Forschungsprojekts und weitere zukünftige Erhebungen einfließen könnten. Über Extrapolation und Skalierung der Daten, könnte die Sicherheitsrelevanz der Fahrleistungsschwellen in einem breiteren Kontext betrachtet werden. Es könnte beispielsweise



se die Wahrscheinlichkeit untersucht werden, mit der nicht optimales Fahrverhalten bzw. Beinahe-Unfälle in größeren Populationen auftreten.

## Literatur

- ABENDROTH, B. & BRUDER, R. (2012): 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
- ADAC (2012): 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), abgerufen am 10.10.2018
- ARTHUR, W. & GRAZIANO, W. G. (1996): The five-factor model, conscientiousness, and driving accident involvement. *Journal of personality*, 64(3), 593–618
- ASHLEY, W. S.; STRADER, S.; DZIUBLA, D. C. & HABERLIE, A. (2015): Driving blind: weather-related vision hazards and fatal motor vehicle crashes. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 96(5), 755 – 778
- BÄRGMAN, J.; SMITH, K. & WERNEKE, J. (2015): Quantifying drivers' comfort-zone and dread-zone boundaries in left turn across path/opposite direction (LTAP/OD) scenarios. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 35, 170 – 184
- BEEDE, K. E. & KASS, S. J. (2006): Engrossed in conversation: The impact of cell phones on simulated driving performance. *Accident Analysis & Prevention*, 38(2), 415 – 421
- BELLEM, H.; KLUVER, M.; SCHRAUF, M.; SCHÖNER, H-P.; HECHT, H. & KREMS, J. F. (2017): Can We Study Autonomous Driving Comfort in Moving-Base Driving Simulators? A Validation Study. *Human Factors*, 59(3), 442 – 456
- BJÖRNSTIG, U.; BJÖRNSTIG, J. & ERIKSSON, A. (2008): Passenger car collision fatalities—with special emphasis on collisions with heavy vehicles. *Accident Analysis & Prevention*, 40(1), 158 – 166
- BLANA, E. & GOLIAS, J. (2002): Differences between vehicle lateral displacement on the road and in a fixed-base simulator. *Human factors*, 44(2), 303 – 313
- BURNS, P.C.; TRBOVICH, P.L.; McCURDIE, T. & HARBLUK, J.L. (2005): Measuring Distraction: Task Duration and the Lane-Change Test (LCT). In: *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 49th Annual Meeting*, 1980 – 1983
- CARSTEN, O.; LAI, F. C.; BARNARD, Y.; JAMSON, A. H. & MERAT, N. (2012): Control task substitution in semiautomated driving: Does it matter what aspects are automated? *Human factors*, 54(5), 747 – 761
- CRAWFORD, A. (1963): The overtaking driver. *Ergonomics*, 6(2), 153 – 170
- DAMBÖCK, D.; WEIßGERBER, T.; KIENLE, M. & BENGLER, K. (2013): Requirements for cooperative vehicle guidance. In *Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, 16<sup>th</sup> International IEEE Conference (pp.1656 – 1661)
- DICK, M. (2001): Die Situation des Fahrens: Phänomenologische und ökologische Perspektiven der Psychologie. (Harburger Beiträge zur Psychologie und Soziologie der Arbeit Sonderband 03). Hamburg
- DICK, M. (2002): Auf den Spuren der Motive, Auto zu fahren – Die Perspektive der Fahrenden. *Verkehrszeichen*, 4(2), 9 – 16
- DIJKSTERHUIS, C.; BROOKHUIS, K. A. & de WAARD, D. (2011): Effects of steering demand on lane keeping behaviour, self-reports, and physiology. A simulator study. *Accident Analysis & Prevention*, 43(3), 1074 – 1081
- DINGUS, T. A.; KLAUER, S. G.; NEALE, V. L.; PETERSEN, A.; LEE, S. E.; SUDWEEKS, J. D.; KNIPLING, R. R. (2006): The 100-Car Naturalistic Driving Study: Phase II – Results of the 100-Car Field Experiment. Washington, D.C., USA
- DOZZA, M.; SCHINDLER, R.; BIANCHI-PICCININI, G. & KARLSSON, J. (2016): How do drivers overtake cyclists? *Accident Analysis & Prevention*, 88, 29 – 36



- EBERL, T. X. (2014): Charakterisierung und Gestaltung des Fahr-Erlebens der Längsführung von Elektrofahrzeugen. Dissertation, Technische Universität München, München
- ECKSTEIN, L. (2014): Aktive Fahrzeugsicherheit und Fahrerassistenz. Umdruck zur Vorlesung „Fahrzeugtechnik III – Systeme und Sicherheit“. fka Forschungsgesellschaft für Kraftfahrwesen mbH Aachen, Aachen
- ENDSLEY, M. R. (1995): Measurement of situation awareness in dynamic systems. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 37(1), 65 – 84
- ENDSLEY, M. R. & KIRIS, E. O. (1995): 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), 381 – 394
- ENGELBRECHT, A.; ENGELN, A. & ARNDT, S. (2009): Wie entstehen Fahrkomfort und Fahrspaß? Beschreibung und Bewertung von Fahrkomfort und Fahrspaß aus Expertensicht. VDI-Berichte, 2085
- ENGSTRÖM, J. A.; VICTOR, T. & MARKKULA, G. (2013): Attention selection and multitasking in everyday driving: A conceptual model. In: M. A. REGAN, J. D. LEE & T. VICTOR (Hrsg.) *Driver Distraction and inattention, advances in research and countermeasures* (Vol.1, pp. 27 – 54). Surrey, England: Ashgate
- FINLEY C. & FINLEY, R. (2017): SurveyMonkeyR. Abgerufen von <https://de.surveymonkey.com/>; abgerufen am 16.10.2018
- FISCHER, R.; KÜPPER, K. & SCHÖGGL, P. (2014): Antriebsoptimierung durch Fahrzeugvernetzung. 35. the International Vienna Motor Symposium
- FITCH, G. M.; HANOWSKI, R. J. & GUO, F. (2014): The Risk of a Safety-critical Event Associated with Mobile Device Subtasks in Specific Driving Contexts. *Traffic Injury Prevention*, 16(2), 124 – 132
- FITCH, G. M.; TOOLE, L.; GROVE, K.; SOCCOLICH, S. & HANOWSKI, R. J. (2017): Investigating Drivers' Compensatory Behavior when Using a Mobile Device
- FULLER, R. (2005): Towards a general theory of driver behaviour. *Accident analysis and prevention*, 37(3), 461 – 472
- GIBSON, J. J. & CROOKS, L. E. (1938): A theoretical field-analysis of automobile-driving. *The American Journal of Psychology*, 51 (3), 453 – 471
- GOLD, C. (2014): Automatisiertes Fahren-ohne Mensch wird alles besser? *Ergonomie*, 7
- GOLD, C.; DAMBÖCK, D.; LORENZ, L. & BENGELER, K. (2013): "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
- GREZIK, A. (2009): Physiologiebasierte Simulation des Bremsverhaltens von Fahrzeugführern. Unveröffentlichte Dissertation, Technische Universität Ilmenau, Deutschland
- GRIFFITHS, P. G. & GILLESPIE, R. B. (2005): 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), 574 – 590
- HAIDER, E. (1997): Beurteilung von Belastung und zeitvarianter Beanspruchung des Menschen bei kompensatorischen Regeltätigkeiten: Simulationen-Feldstudien-Modelle. Düsseldorf: VDI-Verlag
- HAGNEY, D. E.; TAYLOR, R. G. & WESTERMANN, S. J. (2000): Concurrent mobile (cellular) phone use and driving performance: task demand characteristics and compensatory processes. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behavior*, 3(3), 113 – 121
- HANCOCK, P. A. & SAWYER, B. D. (2015): Judging Thieves of Attention. Commentary on 'Assessing Cognitive Distraction in the Automobile' by Strayer, Turrill, Cooper, Coleman, Medeiros-Ward, and Biondi (2015). *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 57(8), 1339 – 1342

- HARBLUK, J. L.; BURNS, P. C.; LOCHNER, M. & TRBOVICH, P. L. (2007): Using the lane change test (LCT) to assess distraction: Tests of visual-manual and speech-based operation of navigation system interfaces. In: Proceedings of the Fourth International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design, Stevenson, Washington, 16 – 22
- HARBLUK, J. L.; MITROI, J. S. & BURNS, P. C. (2009): Three navigation systems with three tasks: Using the lane-change test (LCT) to assess distraction demand. In: Proceedings of the Fifth International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design, Big Sky, MT, 24 – 30
- HAUTIÈRE, N.; DUMONT, E.; BRÉMOND, R. & LE-DOUX, V. (2009): 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
- HEINO, A. (1996): Risk taking in car driving; perceptions, individual differences and effects of safety incentives. Dissertation, Reichsuniversität Groningen, Niederlande
- HERZBERGER, D.; ECKSTEIN, L. & SCHWALM, M. (2018): Detection of missing takeover capability by the orientation reaction to a takeover request. Aachener Kolloquium Fahrzeug- und Motorentechnik GbR (Hrsg.), 27. Aachen Colloquium Automobile and Engine Technology (S. 1231 – 1240)
- HILBURN, B. & JORNA, P. G. A. M. (2001): Workload and air traffic control. In: P. A. HANCOCK & P. A. DESMOND (Hrsg.), Human factors in transportation. Stress, workload, and fatigue. Mahwah, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates
- HOCKEY, G. R. J. (1997): Compensatory control in the regulation of human performance under stress and high workload: A cognitive-energetical framework. *Mental Resources: Intensive and Selective Aspects*, 45(1-3), 73 – 93
- HORREY, W. J.; LESCH, M. F.; MITSOPOULOS-RUBENS, E. & LEE, J. D. (2015): Calibration of skill and judgment in driving: Development of a conceptual framework and the implications for road safety. *Accident analysis and prevention*, 76, 25 – 33
- HORVATH, P. & ZUCKERMANN, M. (1993): Sensation seeking, risk appraisal, and risky behavior. *Personality and individual differences*, 14(1), 41 – 52
- HOSKING, S. G.; YOUNG, K. L. & REGAN, M. A. (2009): The effects of text messaging on young drivers. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 51(4), 582 – 592
- HUEMER, A. K. & VOLLRATH, M. (2012): Ablenkung durch fahrfremde Tätigkeiten-Machbarkeitsstudie. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen. Unterreihe Mensch und Sicherheit, M 225. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW. Verfügbar unter: <http://bast.opus.hbz-nrw.de/volltexte/2012/382/pdf/M225b.pdf>; abgerufen am 28.03.2016
- HUTH, V.; SANCHEZ, Y. & BRUSQUE, C. (2015): Drivers' phone use at red traffic lights: A roadside observation study comparing calls and visual-manual interactions. *Accident Analysis & Prevention*, 74, 42 – 48
- HÜTTER, A. (2013): Verkehr auf einen Blick. Statistisches Bundesamt (Hrsg.), Verkehr auf einen Blick. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt. Verfügbar unter: [https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/TransportVerkehr/Querschnitt/BroschuereVerkehrBlick0080006139004.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/TransportVerkehr/Querschnitt/BroschuereVerkehrBlick0080006139004.pdf?__blob=publicationFile); abgerufen am 07.04.2016
- IVERSEN, H. & RUNDMO, T. (2002): Personality, risky driving and accident involvement among Norwegian drivers. *Personality and individual Differences*, 33(8), 1251 – 1263
- JAMSON, A. H.; MERAT, N.; CARSTEN, O. M. & LAI, F. C. (2013): Behavioural changes in drivers experiencing highly-automated vehicle control in varying traffic conditions. *Transportation research part C: emerging technologies*, 30, 116 – 125
- JONAH, B. A. (1997): Sensation seeking and risky driving. *Traffic and transport psychology. Theory and application*
- JONAH, B. A.; THIESSEN, R. & AU-YEUNG, E. (2001): Sensation seeking, risky driving and behavioral adaptation. *Accident Analysis & Prevention*, 33(5), 679 – 684

- KABER, D. B. & ENDSLEY, M. R. (1997): 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), 126 – 131
- KAHNEMAN, D. (1973): *Attention and effort*. Prentice-Hall series in experimental psychology. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall
- KONSTANTOPOULOS, P.; CHAPMAN, P. & CRUNDALL, D. (2010): Driver's visual attention as a function of driving experience and visibility. Using a driving simulator to explore drivers' eye movements in day, night and rain driving. *Accident Analysis & Prevention*, 42(3), 827 – 834
- KONTARATOS, A. N. (1974): A systems analysis of the problem of road casualties in the United States. *Accident Analysis & Prevention*, 6(3), 223 – 241
- KÜHN, M. & HANNAWALD, L. (2015): Verkehrssicherheit und Potenziale von Fahrerassistenzsystemen. In: H. WINNER, S. HAKULI, F. LOTZ & C. SINGER (Hrsg.), *Handbuch Fahrerassistenzsysteme* (S. 55 – 70). Wiesbaden: Springer
- LANSDOWN, T. C.; BROOK-CARTER, N. & KERSLOOT, T. (2004): Distraction from multiple in-vehicle secondary tasks: vehicle performance and mental workload implications. *Ergonomics*, 47(1), 91 – 104
- LENZ, K. & BURGER, W. (1975): Spurverhalten von Kraftfahrzeugen auf einer zweispurigen Landstraße. *STR U AUTOBAHN*, 26(11), 419 – 423
- LEVY, J. & PASHLER, H. (2008): Task prioritisation in multitasking during driving: Opportunity to abort a concurrent task does not insulate braking responses from dual-task slowing. *Applied Cognitive Psychology*, 22(4), 507 – 525
- LEWIS-EVANS, B.; de WAARD, D. & BROOKHUIS, K. A. (2010): That's close enough—A threshold effect of time headway on the experience of risk, task difficulty, effort, and comfort. *Accident Analysis & Prevention*, 42(6), 1926-1933
- LIANG, Y.; HORREY, W. J. & HOFFMANN, J. D. (2015): Reading text while driving: Understanding drivers' strategic and tactical adaptation to distraction. *Human factors*, 57(2), 347-359
- LIU, B.-S. & LEE, Y.-H. (2006): In-vehicle workload assessment, Effects of traffic situations and cellular telephone use. *Journal of Safety Research*, 37, 99 – 105
- LLANERAS, R. E.; SALINGER, J. A. & GREEN, C. A. (2013): 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* (92 – 98)
- MATTES, S. & HALLÉN, A. (2009): Surrogate distraction measurement techniques: The lane change test. In: M. REGAN, J. LEE & K. YOUNG (eds.), *Driver distraction: Theory, effects, and mitigation*, 107 – 121
- MERAT, N.; JAMSON, A. H.; LAI, F. C. & CARSTEN, O. (2012): Highly automated driving, secondary task performance, and driver state. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 54(5), 762 – 771
- MERAT, N.; JAMSON, A. H.; LAI, F. C.; DALY, M. & CARSTEN, O. M. (2014): Transition to manual: Driver behaviour when resuming control from a highly automated vehicle. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 27, 274 – 282
- MICHON, J. (1985): *A Critical View of Driver Behavior Models: What do we know, what should we do?* In: L. EVANS & C. SCHWING (eds.), *Human behavior and traffic safety* (pp. 485 – 524). New York: Plenum Press
- MONSELL, S. (2003): Task switching. *Trends in cognitive sciences*, 7(3), 134 – 140
- MUELLER, A. S. & TRICK, L. M. (2012): Driving in fog: The effects of driving experience and visibility on speed compensation and hazard avoidance. *Accident Analysis & Prevention*, 48, 472 – 479
- NAUJOKS, F.; MAI, C. & NEUKUM, A. (2014): 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

- NEUKUM, A.; LÜBBEKE, T.; KRÜGER, H. P.; MAYSER, C. & STEINLE, J. (2008): ACC-Stop&Go: Fahrerverhalten an funktionalen Systemgrenzen. In: 5. Workshop Fahrerassistenzsysteme-FAS (S. 141 – 150)
- OLTEDAL, S. & RUNDMO, T. (2006): The effects of personality and gender on risky driving behaviour and accident involvement. *Safety Science*, 44(7), 621 – 628
- OWENS, J. M.; McLAUGHLIN, S. B. & SUDWEEKS, J. (2011): Driver performance while text messaging using handheld and in-vehicle systems. *Accident Analysis & Prevention*, 43(3), 939 – 947
- PAPAKOSTOPOULOS, V.; MARMARAS, N. & NATHANAEL, D. (2017): The “field of safe travel” revisited: interpreting driving behaviour performance through a holistic approach. *Transport Reviews*, 1 – 20
- PARKIN, J. & MEYERS, C. (2010): The effect of cycle lanes on the proximity between motor traffic and cycle traffic. *Accident Analysis & Prevention*, 42(1), 159 – 165
- PASHLER, H. (1994): Dual-task interference in simple tasks: data and theory. *Psychological bulletin*, 116(2), 220
- PENG, Y.; BOYLE, L. N. & HALLMARK, S. L. (2013): Driver’s lane keeping ability with eyes off road: Insights from a naturalistic study. *Accident Analysis & Prevention*, 50, 628 – 634
- PETERMANN-STOCK, I.; HACKENBERG, L.; MUHR, T. & MERGL, C. (2013): Wie lange braucht der Fahrer? Eine Analyse zu Übernahmezeiten aus verschiedenen Nebentätigkeiten während einer hochautomatisierten Staufahrt. 6. Tagung Fahrerassistenzsysteme. Der Weg zum automatischen Fahren
- PETZOLDT, T.; BÄR, N.; IHLE, C. & KREMS, J. F. (2011): Learning effects in the lane change task (LCT) – Evidence from two experimental studies. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behavior*, 14, 1 – 12
- PETZOLDT, T.; BÄR, N. & KREMS, J. F. (2009): Gender effects on lane change test (LCT) performance. In: *Proceedings of the Fifth International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design*, Big Sky, MT, 90 – 96
- PIECHULLA, W.; MAYSER, C.; GEHRKE, H. & KÖNIG, W. (2003): Reducing drivers’ mental workload by means of an adaptive man–machine interface. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 6(4), 233 – 248
- PLATTEN, F.; MILICIC, N.; SCHWALM, M. & KREMS, J. F. (2013): Using an infotainment system while driving – A continuous analysis of behavior adaptations. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 21, 103–11 doi:10.1016/j.trf.2013.09.012
- PLATTEN, F.; SCHWALM, M. & KREMS, J. F. (2011): The effect of anticipation on mental workload while driving. In: D. de WAARD, N. GÉRARD, L. ONNASCH, R. WICZOREK & D. MANZEY (eds.), *Human centred automation*. HFES Europe Chapter (S.329 – 337). Maastricht: Shaker Publishing
- POPIV, D. (2012): 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>; abgerufen am 16.10.2018
- RADLMAYR, J. & BENGLER, K. (2015): Literaturanalyse und Methodenauswahl zur Gestaltung von Systemen zum hochautomatisierten Fahren. Forschungsvereinigung Automobiltechnik e. V. (FAT)
- RAUCH, N. (2009): Ein verhaltensbasiertes Messmodell zur Erfassung von Situationsbewusstsein im Fahrkontext. Dissertation, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Würzburg
- RAUCH, N.; GRADENEGGER, B. & KRÜGER, H.-P. (2009): Darf ich oder darf ich nicht? Situationsbewusstsein im Umgang mit Nebenaufgaben während der Fahrt. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 63(1)
- RICHTER, H.; ECKER, R.; DEISLER, C. & BUTZ, A. (2010): HapTouch and the 2+1 State Model: Potenzials of Haptic Feedback on Touch Based In-Vehicle Information Systems. In: *Proceedings of the Second International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications*, Pittsburgh, Pennsylvania, USA, 72 – 79



- ROGNIN, L.; ALIDRA, S.; VAL, C.; LESCAUT, A. & CHALANDON, X. (2007): Driver strategies when interacting with information and comfort systems. In: Proceedings of the 20<sup>th</sup> International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles, Lyon
- ROSEY, F.; AUBERLET, J. M.; MOISAN, O. & DUPRÉ, G. (2009): Impact of narrower lane width: Comparison between fixed-base simulator and real data. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2138, 112 – 119
- SAE International (2014): 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; abgerufen am 28.03.2016
- SCHIEßL, C. (2008): Subjective strain estimation depending on driving manoeuvres and traffic situation. Intelligent Transport Systems, 2(4), 258 – 265
- SCHÖMIG, N.; SCHOCH, S.; NEUKUM, A.; SCHUMACHER, M. & WANDTNER, B. (2015): Simulatorstudien zur Ablenkungswirkung fahrfremder Tätigkeiten. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen. Unterreihe Mensch und Sicherheit, 253
- SCHWALM, M.; KEINATH, A. & ZIMMER, H. D. (2008): 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
- SCHWALM, M.; VOß, G. M. I. & LADWIG, S. (2015): 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
- SERAFIN, C. (1994): Driver eye fixation on rural roads: insights into safe driving behavior. In: The University of Michigan, Transport research Institute (UMTRI) (ed.). Ann Arbor, Michigan
- SHEN, S. & NEYENS, D. M. (2014): Assessing drivers' performance when automated driver support systems fail with different levels of automation. In: Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, 58(1), 2068 – 2072, Sage Publications
- SIEBENPFEIFFER, W. (2014): Vernetztes Automobil. Sicherheit – Car IT – Konzepte. Springer Vieweg: Stuttgart
- SIEBERT, F. W.; OEHL, M. & PFISTER, H. R. (2014): The influence of time headway on subjective driver states in adaptive cruise control. Transportation research part F: traffic psychology and behaviour, 25, 65 – 73
- SIEBERT, F. W.; OEHL, M.; BERSCH, F. & PFISTER, H. R. (2017): The exact determination of subjective risk and comfort thresholds in car following. Transportation research part F: traffic psychology and behaviour, 46, 1 – 13
- STANTON, N. A.; YOUNG, M. & McCAULDER, B. (1997): Drive-by-wire: the case of driver workload and reclaiming control with adaptive cruise control. Safety science, 27(2), 149 – 159
- Statistisches Bundesamt (2016): 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); abgerufen am 16.10.2018
- STRAND, N.; NILSSON, J.; KARLSSON, I. M. & NILSSON, L. (2014): Semi-automated versus highly automated driving in critical situations caused by automation failures. Transportation research part F: traffic psychology and behaviour, 27, 218 – 228
- STRAYER, D. L. & COOPER, J. M. (2015): Driven to distraction. Human Factors, 57(8), 1343 – 1347
- STRAYER, D. L. & FISHER, D. L. (2016): SPIDER: A Framework for Understanding Driver Distraction. Human Factors, 58(1), 5 – 12
- SUMMALA, H. (1980): How does it change safety margins if overtaking is prohibited: a pilot study. Accident Analysis & Prevention, 12(2), 95 – 103



- SUMMALA, H. (1988): Risk control is not risk adjustment: the zero-risk theory of driver behavior and its implications. *Ergonomics*, 31(4), 491 – 506
- SUMMALA, H. (2005): Traffic Psychology Theories: Towards Understanding Driving Behaviour and Safety Factors. International Conference of Traffic and Transport Psychology
- SUMMALA, H.; LEINO, M. & VIERIMAA, J. (1981): Drivers' steering behavior when meeting another car: the case of perceptual tropism revisited. *Human factors*, 23(2), 185 – 189
- TEH, E.; JAMSON, S.; CARSTEN, O. & JAMSON, H. (2014): 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, 207 – 217
- TISCHLER, M. A. & RENNER, G. (2007): 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
- TIVESTEN, E. & DOZZA, M. (2014): Driving context and visual-manual phone tasks influence glance behavior in naturalistic driving. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 26, 258 – 272
- TODA, Y. & KAGEYAMA, I. (2007): Measuring a Driver's Pleasure during Driving. *Review of Automotive Engineering*, 28, 89 – 93
- TRIGGS, T. J. (1980): The influence of oncoming vehicles on automobile lateral position. *Human factors*, 22(4), 427 – 433
- TRIGGS, T. J. (1997): The effect of approaching vehicles on the lateral position of cars travelling on a two-lane rural road. *Australian Psychologist*, 32(3), 159 – 163
- TRUTSCHEL, R. (2007): Analytische und experimentelle Untersuchung der Mensch-Maschine-Schnittstellen von Pkw-Bremsanlagen. *Kraftfahrzeugtechnische Berichte: Bd. 1*. Ilmenau: Univ.-Verl. [u. a.]
- VAA, T. (2014): From Gibson and Crooks to Damasio: The role of psychology in the development of driver behavior models. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behavior*, 25, 112 – 119
- VILIMEK, R.; KEINATH, A. & SCHWALM, M. (2012): The MINI E field study: Similarities and differences in international everyday EV driving. In: N. A. Stanton (ed.), *Advances in human factors and ergonomics series. Advances in human aspects of road and rail transportation* (pp. 363 – 372). Boca Raton, FL: CRC Press
- VOß, G. M. I.; HOFFMANN, H.; FREY, A. & SCHWALM, M. (2017): Drivers' Functional Behavioral Adaptations in the Context of Automated Driving. Manuscript submitted for publication
- VOß, G. M. I. & SCHWALM, M. (2015): 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
- WANDTNER, B.; SCHUMACHER, M. & SCHMIDT, E. A. (2016): The role of self-regulation in the context of driver distraction: a simulator study. *Traffic injury prevention*, 17(5), 472 – 479
- WARM, J. S.; DEMBER, W. N. & HANCOCK, P. A. (1996): Vigilance and workload in automated systems. *Automation and human performance: Theory and applications*, 183 – 200
- WERLING, M. (2011): Ein neues Konzept für die Trajektoriengenerierung und -stabilisierung in zeitkritischen Verkehrsszenarien. *Schriftenreihe des Instituts für Angewandte Informatik/Automatisierungstechnik am KIT*, 34
- WILDE, G. J. S. (1982): The Theory of Risk Homeostasis: Implications for Safety and Health. *Risk Analysis*, 2(4), 209 – 225
- WILSCHUT, E. S.; RINKENAUER, G.; BROOKHUIS, K. A. & FALKENSTEIN, M. (2005): Effects of visual search task complexity on lane change task performance. *European Conference on Human Centered Design for Intelligent Transport System*, Lyon, 23 – 32
- WINNER, H. (2012): *Handbuch Fahrerassistenzsysteme*. 2. Auflage. Wiesbaden: Springer
- YAGIL, D. (2001): Reasoned action and irrational motives: A prediction of drivers' intention to

- violate traffic Laws. *Journal of Applied Social Psychology*, 31(4), 720 – 739
- YOUNG, K.; REGAN, M. & HAMMER, M. (2007): Driver distraction: A review of the literature. *Distracted driving*, 379 – 405
- YOUNG, M. S.; MAHFOUD, J. M.; WALKER, G. H.; JENKINS, D. P. & STANTON, N. A. (2008): Crash dieting: The effects of eating and drinking on driving performance. *Accident Analysis & Prevention*, 40(1), 142 – 148
- ZIMMER, A. (1997): Das Problem der Risikowahrnehmung von Verkehr. Das Beispiel Massenfälle
- ZOMOTOR, A.; BRAESS, H. H. & RÖNITZ, R. (1998): Verfahren und Kriterien zur Bewertung des Fahrverhaltens von Personenkraftwagen. *ATZ-Automobiltechnische Zeitschrift*, 100(3), 236 – 243
- ## Bilder
- Bild 1: Arbeitsmodell zum regulativen Fahrerverhalten nach SCHWALM et al. (2015; VOß & SCHWALM 2015; VOß et al. 2017)
- Bild 2: Verlauf der FFT Bearbeitung in der Studie von WANDTNER et al. (2016:475)
- Bild 3: Subjektivempfinden von Fahrern in automatisierten Kurvenfahrten mit Gegenverkehr (FISCHER et al 2014:35)
- Bild 4: Fields of safe travel nach PAPAKOSTOPOULOS et al. (2017:5)
- Bild 5: Modell zu den fields of safe travel (PAPAKOSTOPOULOS et al. 2017:7)
- Bild 6: Zonen der Fahrzeugführung nach BÄRGMAN et al. (2015:171)
- Bild 7: Veränderung des Arousallevels im automatisierten Fahren (RADLMAYR & BENGLER 2015:14)
- Bild 8: Versuchsdesign der Online-Studie zur Bestimmung akzeptierter Trajektorien im abgeschlossenen Projekt
- Bild 9: Darstellung der Variation des Innersubjekt-Faktors „Lateralversatz Ego-Fahrzeug“ in der Vorstudie des Arbeitspakets 2
- Bild 10: Die vier Versuchsbedingungen im 2x2 Innersubjekt-Design in der Vorstudie des Arbeitspakets 2
- Bild 11: Angemessenheitsbewertung für die vier verschiedenen Videosequenzen in der Vorstudie des Arbeitspakets 2
- Bild 12: Darstellung der Variation der unabhängigen Variablen „Abstand des Gegenverkehrs von der Straßenmitte“ in der Hauptstudie des Arbeitspakets 2
- Bild 13: Übersicht über die neun entwickelten Fahrscenarien der Hauptstudie des Arbeitspakets 2
- Bild 14: Variation des Innersubjekt-Faktors „Lateralversatz des Ego-Fahrzeugs“ für jedes Fahrscenario in der Hauptstudie des Arbeitspakets 2
- Bild 15: Komfort-Sicherheits-Skala
- Bild 16: Darstellung der Wahrscheinlichkeit für ein angemessenes Rating in Abhängigkeit des Szenarios in der Hauptstudie des Arbeitspakets 2
- Bild 17: Darstellung des Schwellenwerts im Lateralversatz des Ego-Fahrzeugs in der Hauptstudie des Arbeitspakets 2
- Bild 18: Zusammenhang zwischen dem binären Angemessenheitsrating und der Komfort-Sicherheits-Skala in der Hauptstudie des Arbeitspakets 2
- Bild 19: Zusammenhang zwischen dem binären Rating zum Eingriffswunsch in die automatisierte Fahrt und der Komfort-Sicherheits-Skala in der Hauptstudie des Arbeitspakets 2
- Bild 20: Deskriptive Statistik der 22 umkodierten Items des Fragebogens zur subjektiven Fahrleistungsbewertung in der Hauptstudie des Arbeitspakets
- Bild 21: Statischer Fahrsimulator des ISAC
- Bild 22: Fahrscenario des Versuchs im Fahrsimulator des ISAC im Rahmen des Arbeitspakets 3
- Bild 23: Position des Ego-Fahrzeugs und des Gegenverkehrs in der Studie des Arbeitspakets 3

- Bild 24: Zusätzliche Gegenverkehrssituation (Abstand -0,15 m + Bake) in der Hauptstudie des Arbeitspakets 3
- Bild 25: Vier Gegenverkehrssituationen in der Hauptstudie des Arbeitspakets 3 im Fahrsimulator des ISAC. Anmerkung: Die Bezeichnung „Abstand“ bezieht sich auf den Abstand des Gegenverkehrs zur Straßenmitte
- Bild 26: Unterszenario „Vor Erscheinen des Gegenverkehrs“ der vier Gegenverkehrssituationen in der Hauptstudie des Arbeitspakets 3 im Fahrsimulator des ISAC
- Bild 27: Bildschirmausschnitt der SuRT (links); Nummernblock (rechts) in der Hauptstudie des Arbeitspakets 3
- Bild 28: Zeitliche Abfolge der Experimentalfahrt in der Hauptstudie des Arbeitspakets 3
- Bild 29: Qualität des Eingriffs in Abhängigkeit der Gegenverkehrssituation in der Hauptstudie des Arbeitspakets 3
- Bild 30: Zeitlicher Verlauf der Fahrsituation inklusive der relevanten Events in der Hauptstudie des Arbeitspakets 3
- Bild 31: SuRT-Inputs für die kritischen Fahrsituationen (Abstand -0,15 m und -0,15 m + Bake bei keinem Eingriff und Eingriff) und die Vergleichssituation Abstand 0,85 m bei keinem Eingriff in der Hauptstudie des Arbeitspakets 3
- Bild 32: Geschwindigkeit in den zwei kritischen Fahrsituationen (Abstand -0,15 m und Abstand -0,15 m + Bake) in der Hauptstudie des Arbeitspakets. Anmerkung: Der hellblaue Graph von -0,15 m kein Eingriff wird vom hellorangenen Graph -0,15 m + Bake kein Eingriff überlagert
- Bild 33: Einzeltrajektorien der Geschwindigkeit für die Situation Abstand -0,15 m in der Hauptstudie des Arbeitspakets 3
- Bild 34: Einzeltrajektorien der Geschwindigkeit für die Situation Abstand -0,15 m + Bake in der Hauptstudie des Arbeitspakets 3
- Bild 35: Lateralversatz in den zwei kritischen Fahrsituationen (Abstand -0,15 m und Abstand -0,15 m + Bake) in der Hauptstudie des Arbeitspakets 3
- Bild 36: Einzeltrajektorien des Lateralversatzes für die Situation Abstand -0,15 m in der Hauptstudie des Arbeitspakets 3
- Bild 37: Einzeltrajektorien des Lateralversatzes für die Situation Abstand -0,15 m + Bake in der Hauptstudie des Arbeitspakets 3
- Bild 38: Lateralposition der Einzelfälle in den zwei Gruppen größer bzw. kleiner 20 km/h in der Situation Abstand -0,15 m + Bake in der Hauptstudie des Arbeitspakets 3
- Bild 39: Geschwindigkeitsverlauf für die Probanden mit Fehler in der Querregelung in der Situation Abstand -0,15 m + Bake in der Hauptstudie des Arbeitspakets 3
- Bild 40: ika-Teststrecke
- Bild 41: Strecken- bzw. Szenarioverlauf der Realfahrtsstudie
- Bild 42: Versuchsfahrzeug (Passat CC) der Realstudie
- Bild 43: Symbole (Tempomat und Spurhaltung) im Instrumenten-Kombi bei aktivem automatisiertem System in der Realstudie
- Bild 44: Gegenverkehrssituationen der Realstudie. Anmerkung: Die Bezeichnung „Abstand“ bezieht sich auf den Abstand des Gegenverkehrs zur Straßenmitte
- Bild 45: Schematische Darstellung des Lateralversatzes des Ego-Fahrzeugs sowie des Gegenverkehrs in der Realstudie
- Bild 46: Unterszenario „Vor Erscheinen des Gegenverkehrs“ der drei Gegenverkehrssituationen in der Realstudie
- Bild 47: Schematische Darstellung der Fahrsituation des Studienteil 1 inkl. der Lateralversätze des Ego-Fahrzeugs in der Realstudie
- Bild 48: Aufbau der SuRT im Versuchsfahrzeug in der Realstudie
- Bild 49: Angemessenheitsbewertung pro Lateralversatz des Ego-Fahrzeugs in der Realstudie
- Bild 50: Eingriffswunsch in die automatisierte Fahrzeugführung pro Lateralversatz des Ego-Fahrzeugs in der Realstudie

- Bild 51: Bewertung der Komfort-Sicherheits-Skala pro Lateralversatz des Ego-Fahrzeugs in der Realstudie. Anmerkung: \*  $p < .001$ ; \*\*  $p < .05$
- Bild 52: Subjektiv berichtete Qualität des Eingriffs pro Gegenverkehrssituation in der Realstudie
- Bild 53: Zeitlicher Verlauf der Fahrsituation in der Realstudie inklusive aller relevanter Ereignisse in der Realstudie
- Bild 54: SuRT-Inputs für die kritischen Fahrsituationen (Abstand -0,15 m und -0,15 m + Pylone bei keinem Eingriff und Eingriff) und die Vergleichssituation Abstand 0,85 m bei keinem Eingriff in der Realstudie
- Bild 55: Geschwindigkeitsverlauf des Ego-Fahrzeugs in den zwei kritischen Gegenverkehrssituationen Abstand -0,15 m und Abstand -0,15 m + Pylone jeweils bei keinem Eingriff und Eingriff in der Realstudie
- Bild 56: Einzeltrajektorien der Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeugs für die Gegenverkehrssituation Abstand -0,15 m bei Eingriff in der Realstudie
- Bild 57: Einzeltrajektorien der Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeugs für die Gegenverkehrssituation Abstand -0,15 m + Pylone bei Eingriff in der Realstudie
- Bild 58: Lateralversatz des Ego-Fahrzeugs in den zwei kritischen Gegenverkehrssituationen Abstand -0,15 m und Abstand -0,15 m + Pylone jeweils bei keinem Eingriff und Eingriff in der Realstudie
- Bild 59: Einzeltrajektorien des Lateralversatzes des Ego-Fahrzeugs für die Gegenverkehrssituation Abstand -0,15 m bei Eingriff in der Realstudie
- Bild 60: Einzeltrajektorien des Lateralversatzes des Ego-Fahrzeugs für die Gegenverkehrssituation Abstand -0,15 m + Pylone bei Eingriff in der Realstudie

## Tabellen

- Tab. 1: Weitere Modelle und Erklärungsansätze zur subjektiven Fahrleistungsbewertung nach EBERL (2014:32)
- Tab. 2: Empirische Studien zur lateralen Bewegung auf dem Fahrstreifen bzw. zur bevorzugten Trajektorie auf dem Fahrstreifen
- Tab. 3: Empirische Studien zur longitudinalen Bewegung auf dem Fahrstreifen bzw. zur bevorzugten Trajektorie auf dem Fahrstreifen
- Tab. 4: Übersicht der Automatisierungslevel nach ECKSTEIN (2014:306)
- Tab. 5: Die 22 trennscharfen Attribute des Konstrukts der subjektiven Fahrleistungsbewertung
- Tab. 6: Verteilung der Probanden auf die neun Fragebogenversionen mit zugehörigen demografischen Eigenschaften in der Hauptstudie des Arbeitspakets 2
- Tab. 7: Schwellenwerte des Lateralversatzes für die neun getesteten Szenarien der Hauptstudie des Arbeitspakets 2
- Tab. 8: Deskriptive Statistiken der Komfort-Sicherheits-Skala am Schwellenwert für jede Fragebogenversion der Hauptstudie des Arbeitspakets 2
- Tab. 9: Gesamtskalenwert des Fragebogens zur subjektiven Fahrleistungsbewertung für jede Fragebogenversion der Hauptstudie des Arbeitspakets 2
- Tab. 10: Zu überprüfende Annahmen in der Vorstudie des Arbeitspakets 3
- Tab. 11: Bewertung der Angemessenheit in der Vorstudie des Arbeitspakets 3
- Tab. 12: Wahrscheinlichkeit eines beabsichtigten/gewünschten Eingriffs in die automatisierte Fahrzeugführung in der Vorstudie des Arbeitspakets 3
- Tab. 13: Wahrscheinlichkeit eines beabsichtigten/gewünschten Eingriffs in die automatisierte Fahrzeugführung in einer rea-

	len Fahrsituation in der Vorstudie des Arbeitspakets 3		griff ( $n = 21$ ) in der Hauptstudie des Arbeitspakets 3
Tab. 14:	Bewertung der Komfort-Sicherheits-Skala in der Vorstudie des Arbeitspakets 3	Tab. 26:	Signifikante Ergebnisse der univariaten ANOVA für die abhängige Variable Geschwindigkeit der Ego-Fahrzeugs in der Hauptstudie des Arbeitspakets 3
Tab. 15:	Bewertung der Angemessenheit in Abhängigkeit der Gegenverkehrssituation und des Zeitpunkts in der Hauptstudie des Arbeitspakets 3	Tab. 27:	Signifikante Ergebnisse der univariaten ANOVA für die abhängige Variable Lateralversatz der Ego-Fahrzeugs in der Hauptstudie des Arbeitspakets 3
Tab. 16:	Prozentuale Verteilung der Eingriffe in die automatisierte Fahrzeugführung in Abhängigkeit der Gegenverkehrssituation in der Hauptstudie des Arbeitspakets 3	Tab. 28:	Anpassung des Lateralversatzes des Ego-Fahrzeugs sowie der Position der Pylonen in der Realstudie
Tab. 17:	Komfort-Sicherheits-Skala in Abhängigkeit der Gegenverkehrssituation und des Zeitpunkts in der Hauptstudie des Arbeitspakets 3	Tab. 29:	Abstufungen des Lateralversatzes des Ego-Fahrzeugs in Studienteil 1 in der Realstudie
Tab. 18:	Offene Anmerkungen zu Situation Abstand 0,85 m bei Eingriff ( $n = 1$ ) in der Hauptstudie des Arbeitspakets 3	Tab. 30:	Bewertung der Angemessenheit pro Gegenverkehrssituation und Zeitpunkt in der Realstudie
Tab. 19:	Offene Anmerkungen zu Situation Abstand 0,85 m bei keinem Eingriff ( $n = 59$ ) in der Hauptstudie des Arbeitspakets 3	Tab. 31:	Prozentuale Verteilung der subjektiv berichteten Eingriffe pro Gegenverkehrssituation in der Realstudie
Tab. 20:	Offene Anmerkungen zu Situation Abstand 0,35 m bei Eingriff ( $n = 1$ ) in der Hauptstudie des Arbeitspakets 3	Tab. 32:	Komfort-Sicherheits-Skala pro Gegenverkehrssituation und Zeitpunkt in der Realstudie
Tab. 21:	Offene Anmerkungen zu Situation Abstand 0,35 m bei keinem Eingriff ( $n = 59$ ) in der Hauptstudie des Arbeitspakets 3	Tab. 33:	Offene Anmerkungen zu Situation Abstand 0,85 m bei Eingriff ( $n = 1$ ) in der Realstudie
Tab. 22:	Offene Anmerkungen zu Situation Abstand -0,15 m bei Eingriff ( $n = 29$ ) in der Hauptstudie des Arbeitspakets 3	Tab. 34:	Offene Anmerkungen zu Situation Abstand 0,85 m bei keinem Eingriff ( $n = 28$ ) in der Realstudie
Tab. 23:	Offene Anmerkungen zu Situation Abstand -0,15 m bei keinem Eingriff ( $n = 29$ ) in der Hauptstudie des Arbeitspakets 3	Tab. 35:	Offene Anmerkungen zu Situation -0,15 m bei Eingriff ( $n = 10$ ) in der Realstudie
Tab. 24:	Offene Anmerkungen zu Situation Abstand -0,15 m + Bake bei Eingriff ( $n = 35$ ) in der Hauptstudie des Arbeitspakets 3	Tab. 36:	Offene Anmerkungen zu Situation -0,15 m bei keinem Eingriff ( $n = 4$ ) in der Realstudie
Tab. 25:	Offene Anmerkungen zu Situation Abstand -0,15 m + Bake bei keinem Ein-	Tab. 37:	Offene Anmerkungen zu Situation -0,15 m + Pylone bei Eingriff ( $n = 10$ ) in der Realstudie
		Tab. 38:	Offene Kommentare zu Situation -0,15 m + Pylone bei keinem Eingriff ( $n = 5$ ) in der Realstudie



- Tab. 39: Verteilung aller Fälle vor Ausschluss  
(d. h., Fälle in der Subjektivauswertung)  
in der Realstudie
- Tab. 40: Verteilung aller Fälle nach Ausschluss  
(d. h., Fälle in der Objektivauswertung)  
in der Realstudie
- Tab. 41: Signifikante Ergebnisse der einfaktoriellen ANOVA für die abhängige Variable  
Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeugs in  
der Realstudie
- Tab. 42: Signifikante Ergebnisse der einfaktoriellen ANOVA für die abhängige Variable  
Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeugs in  
der Realstudie

## Schriftenreihe

### Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

#### Unterreihe „Fahrzeugtechnik“

## 2013

#### F 86: Experimentelle Untersuchung zur Unterstützung der Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen für ältere Kraftfahrer

Hoffmann, Wipking, Blanke, Falkenstein € 16,50

#### F 87: 5th International Conference on ESAR „Expert Symposium on Accident Research“

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

#### F 98: Absicherungsstrategien für Fahrerassistenzsysteme mit Umfeldwahrnehmung

Weitzel, Winner, Peng, Geyer, Lotz Sefati € 16,50

#### F 99: Study on smoke production, development and toxicity in bus fires

Hofmann, Dülsen € 16,50

## 2015

#### F 100: Verhaltensbezogene Kennwerte zeitkritischer Fahrmanöver

Powelleit, Muhrer, Vollrath, Henze, Liesner, Pawellek € 17,50

#### F 101: Altersabhängige Anpassung von Menschmodellen für die passive Fahrzeugsicherheit

Wagner, Segura, Mühlbauer, Fuchs, Peldschus, Freßmann € 19,00

#### F 102: 6th International Conference on ESAR „Expert Symposium on Accident Research“

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

#### F 103: Technische Möglichkeiten für die Reduktion der CO2-Emissionen von Nutzfahrzeugen

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

#### F 104: Abbiege-Assistenzsystem für Lkw – Grundlagen eines 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 <https://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 <https://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, Wöbbing, 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 <https://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 <https://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 <https://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 <https://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 <https://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 <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**F 117: 7th International Conference on ESAR „Expert Symposium on Accident Research“ – Reports on the ESAR-Conference 2016 at Hannover Medical School**  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**F 118: Bedeutung kompensativer Fahrerstrategien im Kontext automatisierter Fahrfunktionen**  
Voß, Schwalm € 16,50

**F 119: Fahrzeugtechnische Eigenschaften von Lang-Lkw**  
Förg, Süßmann, Wenzelis, Schmeiler  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**F 120: Emissionen von über 30 Jahre alten Fahrzeugen**  
Steven, Schulte, Hammer, Lessmann, Pomsel  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**F 121: Laufleistungsabhängige Veränderungen der CO<sub>2</sub>-Emissionen von neuen Pkw**  
Pellmann, Schmidt  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

## 2018

**F 122: Revision der Emissionsmodellierung für leichte Nutzfahrzeuge – Bedarfsanalyse auf Basis einer Vorstudie**  
Auf der Maur, Strassburg, Knörr, Heidt, Wuethrich  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**F 123: Motorradschutzhelme – Identifizierung ihres Verbesserungspotenzials unter Berücksichtigung des Motorradunfallgeschehens**  
Pollak, Schueler, Bourdet, Deck, Willinger € 19,50

**F 124: Aufbau eines Qualitätsmanagementsystems für die Erfassung und Weiterverarbeitung von Daten für IVS-Dienste**  
Heinrich, Pollesch, Schober, Stamatakis, Grzebellus, Radike, Schneider, Stapelfeld, Huber  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**F 125: Untersuchung zu Elektrokleinstfahrzeugen**  
Bierbach, Adolph, Frey, Kollmus, Bartels,  
Hoffmann, Halbach € 19,50

## 2019

**F 126: Einfluss zunehmender Fahrzeugautomatisierung auf Fahrkompetenz und Fahrkompetenzerwerb**  
Weißgerber, Grattenthaler, Hoffmann € 15,50

**F 127: Erhöhung der Verkehrssicherheit älterer Kraftfahrer durch Verbesserung ihrer visuellen Aufmerksamkeit mittels „Sehfeldassistent“**  
Kupschick, Bürglen, Jürgensohn € 16,50

**F 128: Potenzieller gesellschaftlicher Nutzen durch zunehmende Fahrzeugautomatisierung**  
Rösener, Sauerbier, Zlocki, Eckstein, Hennecke, Kemper, Oeser  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**F 129: Anforderungen an die dynamische Leuchtweitenregulierung zur Vermeidung der Blendung entgegenkommender Verkehrsteilnehmer**  
Kosmas, Kobbert, Khanh € 15,50

**F 130: Infrastrukturbedarf automatisierten Fahrens – Grundlagenprojekt**  
Dierkes, Friedrich, Heinrich, Hoffmann, Maurer, Reschka, Schendzielorz, Ungureanu, Vogt  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**F 131: Fahrerassistenz- und Fahrerinformationssysteme (FAS/FIS) – Personale Voraussetzungen ihres Erwerbs und Nutzung durch ältere Kraftfahrerinnen und -fahrer**  
Hargutt, Kenntner-Mabiala,  
Kaussner, Neukum  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

## 2020

**F 132: Handbuch Barrierefreiheit im Fernbuslinienverkehr**  
Boenke, Grossmann, Nass, Schäfer € 17,50

**F 133: Lkw-Notbremsassistenzsysteme**  
Seiniger, Heini, Bühne, Gail € 15,50

**F 134: Stationär-Geräusch von elektrisch angetriebenen Fahrzeugen**  
Altinsoy, Lachmann, Rosenkranz, Steinbach € 19,00

**F 135: Abweichungen von der akzeptierten Fahrleistungsschwelle in automatisierten Fahrsituationen**  
Voß, Schwalm € 18,00

---

Fachverlag NW in der Carl Ed. Schünemann KG  
Zweite Schlachtpforte 7 · 28195 Bremen  
Tel.+(0)421/3 69 03-53 · Fax +(0)421/3 69 03-48

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

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

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