

# **Analyse glättebedingter Unfälle von Güterkraftfahrzeugen mit mehr als 12 t zulässigem Gesamtgewicht**

**Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

**Fahrzeugtechnik Heft F 148**

**bast**

# **Analyse glättebedingter Unfälle von Güterkraftfahrzeugen mit mehr als 12 t zulässigem Gesamtgewicht**

von

Gerd Müller  
Manfred Thüring  
Michael Jänsch  
Sandra Epple  
Felix Kretschmer  
Yann Luca Gottwald  
Felix Oehring  
Andreas Winkenbach

Fakultät V – Verkehrs- und Maschinensysteme  
Institut für Land- und Seeverkehr  
Fachgebiet Kraftfahrzeuge  
TU Berlin

**Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

**Fahrzeugtechnik Heft F 148**

**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 82.0733**

Analyse von glättebedingten Güterkraftfahrzeuge – Unfällen  
(>12 t zulässiges Gesamtgewicht)

### **Fachbetreuung**

Adrian Hellmann

### **Referat**

Aktive Fahrzeugsicherheit und Fahrerassistenzsysteme

### **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 978-3-95606-709-9

Bergisch Gladbach, Oktober 2022

## Kurzfassung – Abstract

### **Analyse glättebedingter Unfälle von Güterkraftfahrzeugen mit mehr als 12 t zulässigem Gesamtgewicht**

Die Überschreitung des möglichen Reibwertpotenzials zwischen Fahrbahn und Reifen stellt nach wie vor ein großes Sicherheitsrisiko dar. Während sich mittlerweile Systeme in der Entwicklung befinden, die das aktuelle Reibwertpotenzial recht verlässlich schätzen können, stellt sich die Frage, auf welche Weise diese Information am besten dem Fahrer\* zu übermitteln ist. Diese und weitere Fragen bezüglich des Nutzens einer Reibwertwarnung werden in diesem Projekt beantwortet.

Im Laufe dieses Projektes wurde untersucht, welcher Nutzen eine Reibwertwarnung für Güterkraftfahrzeuge darstellt. Mittels einer Probandenstudie im Fahrsimulator der technischen Universität Berlin ließen sich Fahrverhalten feststellen, welche positive Auswirkungen im Falle eines glättebedingten Unfalles hätten.

Die Grundlage bildete zunächst die Literaturrecherche, die sowohl Erkenntnisse über den Stand der Technik von Fahrerassistenzsystemen sowie auch Einblicke in die Forschung zur Gestaltung von Warnungen aufzeigte. Zahlreiche Details über das Sicherheitspotenzial, das Angebot der verschiedenen Hersteller, die Gesetzgebung und weiteres hinsichtlich der Fahrerassistenzsysteme wurden ergründet, während zur Gestaltung von Warnungen kognitive Modelle und die Auswirkungen von Warnungen auf einen Probanden untersucht wurden. Folglich war es möglich, zusammen mit einer Expertenrunde und Vorstudien zur Gestaltung der unterschiedlichen Glätte-Icons, eine wissenschaftlich fundierte Warnstrategie herauszuarbeiten, die aus akustischen Signalen, Sprachangaben und grafischen Anzeigen auf einem Head-Up-Display besteht.

Parallel dazu wurde mittels einer Analyse von Unfällen von schweren Lkw mit vermindertem Kraft-

schluss ein Überblick über die Unfallsituation von N3-Lkw verschafft. Dazu wurden die Daten der GIDAS-Unfalldatenbank untersucht und eine repräsentative Zufallsstichprobe der Unfälle, bei denen Kraftschlussminderung eine Rolle gespielt haben könnte, erstellt. Zwei Szenarien wurden hierbei betrachtet: Auffahrunfälle, bei denen der Lkw auf ein weiteres Fahrzeug auffährt, sowie Fahrnfälle, bei denen der Lkw-Fahrer die Kontrolle über sein Fahrzeug verliert.

Diese Unfallanalyse bildete dann die Basis für die Szenariengestaltung der Probandenstudie im Fahrsimulator. Kritische Fahrscenarien, unübersichtliche Kurven- und Bergfahrten und ein Stauende hinter einer Kuppe, jeweils gepaart mit Regen, Starkregen oder Nebel und den dazu variierenden Reibwert der Straße, wurden samt der Warnstrategie im Fahrsimulator dargestellt. In der Probandenstudie durchführten Kraftfahrzeugfahrer die präparierten Simulationen, wobei die Experimentalgruppe die Glättewarnung erhielt und die Kontrollgruppe die gleiche Simulation ohne Warnung durchfuhr. Die Hauptfragestellungen, die sich stellten, waren, ob die Fahrer mit Warnsystem ihr Verhalten (insbesondere ihre Geschwindigkeit) an den Zustand der Fahrbahn anpassten und ob die Fahrer mit Warnsystem eine bessere Fahrleistung in Gefahrensituationen im Vergleich zu Fahrern ohne Warnsystem zeigen. Außerdem wurde untersucht, wie die Fahrer die Kritikalität der Fahrsituationen einschätzen und wie die Fahrerbewertung bezüglich der Warnstrategie ausfallen. Zusammenfassend zeigte die Studie, dass die Probanden mit Warnung ihr Fahrverhalten besser an die Glättesituation anpassten als Probanden ohne Warnung. Erstere reduzierten ihre Geschwindigkeit deutlich früher und stärker. Die entwickelte Warnstrategie wurde als positiv und hilfreich bewertet und wurde mit einer hohen Akzeptanz von den Probanden angenommen. Durch die Corona-Pandemie fiel die Stichprobengröße der Probanden geringer aus als ursprünglich geplant, was für die Ergebnisse miteinzuberechnen ist.

Im Schlussteil dieses Projektes wurde der konkrete Nutzen von Glättewarnsystem bei Lkw in Bezug auf das Unfallgeschehen analysiert. Mit der Kenntnis der Auswirkung eines Glättewarnsystems auf das Fahrverhalten der Lkw-Fahrer konnten die Lkw-Unfälle aus der GIDAS-Datenbank durch eine Vor-

---

\* Gender Disclaimer: In diesem Bericht wird aus Gründen der besseren Lesbarkeit das generische Maskulinum verwendet. Dabei werden weibliche und anderweitige Geschlechteridentitäten ausdrücklich mitgemeint, soweit es für die Aussage erforderlich ist.

wärtsrekonstruktion neu simuliert werden, um zu ermitteln, welchen Einfluss das Glättewarnsystem auf den Unfall gehabt hätte. Die Analyse zeigte unter anderem, dass eine Glättewarnung für Lkw bei 12 % aller Unfälle zum Einsatz kommen könnte. Bei einer angenommenen mittleren Reduktion der Fahrgeschwindigkeit der Lkw-Fahrer um 9,6 km/h bei Tempo 80 aufgrund der Glättewarnung wären nahezu 30 % der Kollisionen bei Alleinunfällen oder Unfällen mit Beteiligung eines anderen Fahrzeugs sowohl bei den Lkw als auch bei den Kollisionsgegnern vermieden worden. Ferner hätten mehr als die Hälfte der Lkw und der Kollisionsgegner geringere Kollisionsschweren gehabt. Mittels Verletzungsrisikokurven konnte gezeigt werden, dass durch die geringeren Kollisionsschweren das Risiko, ernsthafte oder schwerere Verletzungen zu erleiden, deutlich gesunken ist. Bei den Lkw-Unfällen mit Fußgängern wären von neun analysierten Unfällen zwei vermieden worden und sieben Unfälle hätten aufgrund der geringeren Kollisionsgeschwindigkeit des Lkws das Potenzial die Verletzungsschwere der Fußgänger zu verringern.

#### **Analysis of accidents related to slippery road conditions of heavy goods vehicles with more than 12 t total permissible weight**

Exceeding the possible friction coefficient potential between the road surface and the tire still represents a major safety risk. While systems are now being developed that can estimate the current friction coefficient potential quite reliably, the question arises as to the best way to communicate this information to the driver. This and other questions regarding the usefulness of a friction value warning are answered in this project.

During this project, the benefits of a friction value warning for heavy trucks (N3) were investigated. By means of a test person study in the driving simulator of the Technical University of Berlin, it was possible to determine driving behaviour that would have positive effects in the event of a slippery road accident.

The basis was initially formed by a literature research, which revealed both findings on the state of the art of driver assistance systems as well as insights into research on the design of warnings. Numerous details about the safety potential, the range of products offered by the various

manufacturers, legislation and other aspects of driver assistance systems were explored, while cognitive models and the effects of warnings on a test person were investigated for the design of warnings. Consequently, together with an expert workshop and preliminary studies on the design of the different slippery-road-icons, it was possible to work out a scientifically sound warning strategy consisting of acoustic signals, voice information and graphic displays on a head-up display.

In parallel, an overview of the accident situation of N3 trucks was obtained with an analysis of accidents of heavy trucks with reduced friction. For this purpose, the data of the GIDAS accident database were examined and a representative random sample of accidents in which reduced adhesion could have played a role was created. Two scenarios were considered: Rear-end collisions where the truck rear-ends another vehicle and driving accidents where the truck driver loses control of his vehicle.

This accident analysis then formed the basis for the scenario design of the test person study in the driving simulator. Critical driving scenarios, unclear curves and uphill driving and the end of a traffic congestion behind a hill, each paired with rain, heavy rain or fog and the varying friction coefficient of the road, were presented in the driving simulator together with the warning strategy. In the test person study, truck drivers drove through the prepared simulations, whereby the experimental group received the slippery road warning and the control group drove through the same simulation without warning. The main questions that arose were whether the drivers with the warning system adapted their behaviour (especially their speed) to the condition of the road and whether the drivers with the warning system showed better driving performance in hazardous situations compared to drivers without the warning system. In addition, the study investigated how drivers rated the criticality of driving situations and how drivers rated the warning strategy. In summary, the study showed that the test subjects with a warning adapted their driving behaviour better to the slippery situation than test subjects without a warning. The former reduced their speed significantly earlier and more strongly. The developed warning strategy was evaluated as positive and helpful and was rated by the test persons with a high degree of acceptance. Due to the Corona pandemic, the sample size of the test

persons was smaller than originally planned, which must be considered for the results.

In the final part of this project, the concrete benefit of slippery road warning systems on HGVs was analysed in relation to accident occurrence. With the knowledge of the effect of a slippery road warning system on the driving behaviour of truck drivers, the truck accidents from the GIDAS database could be re-simulated by a forward reconstruction to determine what influence the slippery road warning system would have had on the accident. The analysis showed, among other things, that a slippery road warning system for trucks could be used in 12% of all accidents. Assuming a medium reduction in the driving speed of HGV drivers of 9.6 km/h at speed of 80 km/h due to the warning system, almost 30 % of collisions in solo accidents or accidents involving another vehicle would have been avoided for both HGVs and collision opponents. Furthermore, more than half of the trucks and collision opponents would have had lower collision severities. Using injury risk curves, it could be shown that the lower collision severities significantly reduced the risk of serious or more severe injuries. In the case of truck accidents with pedestrians, out of nine accidents analysed, two would have been avoided and seven accidents would have had the potential to reduce the injury severity of pedestrians due to the lower collision speed of the truck.

## Summary

### Analysis of accidents related to slippery road conditions of heavy goods vehicles with more than 12 t total permissible weight

## 1 Introduction, aims and procedure

Exceeding the potential friction coefficient between the road surface and the tire still represents a major safety risk. While systems are now being developed that can estimate the current friction coefficient potential quite reliably, the question arises as to how this information can best be communicated to the driver.

For this purpose, warning strategies are being developed, which will then be tested in a test person study. First of all, a comprehensive analysis of the GIDAS database regarding accidents with N3 vehicles will be carried out in order to investigate the circumstances of accidents during and due to slippery conditions in more detail. At the same time, it will be determined at what point in time a warning should have been given so that the driver would have had the opportunity to react adequately.

The result of the test person study is a warning strategy that warns the driver depending on the driving situation and the currently estimated friction value. Subsequently, this warning strategy is applied to representative accidents in order to estimate the accident-avoidance potential by means of suitable simulation. In order to achieve this goal, the following intermediate project steps are required.

1. Findings from extensive literature research on assistance systems as well as the current state of warning design are collected. In a focus group meeting, the knowledge gained flows into the design of a suitable warning strategy.
2. Furthermore, the simulation environment and the developed warning strategy must be programmed into the driving simulator for the study.
3. Test persons, professional drivers with the driving license classes C1E, C or CE, must be

acquired, invited and the study must be carried out.

4. All data sets will be analysed and summarised to results.
5. Data sets are used for the calculation of the accident-avoidance potential.

## 2 Warning strategy

The warning strategy was derived from a literature review, an expert workshop and various preliminary studies. The warning strategy consists of three components: an acoustic signal, a voice output and a slippery icon (see figure 1).

The acoustic signal is intended to draw attention to the warning, the voice output is intended to give the reason for the warning and recommendations for action, and the slippery icon is intended to provide persistent information about the current slippery status. The warning strategy also consists of three different phases. The pre-warning is presented 500 m before the slippery area and is intended to prepare the driver for the upcoming icy road. The actual warning is presented at the beginning of the slippery area and informs about the acute conditions. The all-clear warning is presented as soon as the slippery area has been passed. While the warning sound and the voice output only appear at the beginning of a new phase, the icon remains as persistent information throughout the pre-warning and warning phase and disappears 200 m after leaving the danger area. The effectiveness of this warning strategy is to be investigated in the test person study.

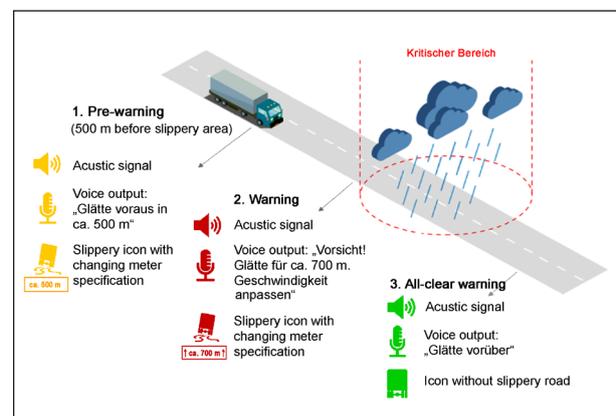


Fig. 1: Warning strategy

### 3 Subject study

#### 3.1 Simulation environment

The driving simulator used consists of a real vehicle as a mockup, a real-time capable vehicle dynamics simulation and a visualisation software that projects the driving images on several screens. The driver reacts to the environmental impressions of the visualisation and operates the steering wheel and pedals. These reactions are fed back to the driver by the vehicle dynamics model in form of vehicle responses. The visualisation also updates itself and reflects all vehicle movements.

The simulated route consisted of a two-lane motor road with two-way traffic. Three different critical route types were simulated: S-curve (curve radius of 380 m on 200 m stretch length), hilltop (gradient: 4%) and 90° curve with fog (curve radius of 330 m on 400 m stretch length). The latter was chosen because the motorway approach, which had originally been selected, could not be adequately released in the simulator. In addition, the weather conditions and thus the road condition and friction coefficient were varied in three stages. When the road was dry, the friction value was  $\mu_{dry} = 1$ . When it was raining, the road was visibly wet, raindrops could be seen and heard, and the coefficient of friction was  $\mu_{rain} = 0.5$ . While heavy rain, the visible wetness of the road was more pronounced than in the rainy condition. Here, too, raindrops were visible and audible; the friction value was  $\mu_{heavy\ rain} = 0.3$ . The differences in the weather conditions were both visually and acoustically perceptible, as well as noticeable in the driving dynamics. With a lower coefficient of friction, the vehicle slid more easily than with a high coefficient of friction.

#### 3.2 Method

The effectiveness of the warning strategy was investigated in a driving simulator study with 20 truck drivers. For this purpose, the test persons were randomly assigned to two groups: the experimental group (EG) was presented with the warning strategy in the presence of slippery conditions, while the control group (KG) received no warning. The subjects of both groups drove through different, critical routes (S-curve, 90° curve in fog, hilltop). In addition, the weather and thus the road condition or the friction value  $\mu$  were varied. The experimental design is shown in figure 2. At the end

of the drive, all subjects of the study experienced a driving situation with increased accident risk (hilltop with traffic congestion and heavy rain), which served to investigate driving performance.

Both objective and subjective measures were used as dependent variables. The objective measure of driving behaviour was speed reduction, and the objective measures of driving performance were accident frequency, frequency of emergency evasive maneuvers and minimum time-to-collision to the end of traffic congestion. Subjective measures were the subjective criticality, which was recorded via a single item after each driving situation, and the evaluation of the warning strategy in terms of satisfaction and usefulness using VAN DER LAAN's acceptance questionnaire [VAN DER LAAN, 1997].

The driving simulator study aimed to answer the following research questions:

- Do drivers with the warning system adapt their behaviour (especially their speed) better to the current road condition than drivers without the warning system?
- Do drivers with the warning system show better driving performance than drivers without the warning system when confronted with a dangerous situation (end of a traffic congestion behind a hilltop)?
- How do drivers rate the criticality of the driving situation depending on the weather conditions and the presence or absence of the warning strategy?
- How do drivers rate the warning strategy in terms of satisfaction and usefulness?



Fig. 2: The driving simulator

Warning Critical route type	With Warning			Without Warning		
	Weather condition			Weather condition		
	dry $\mu = 1$	rain $\mu = 0.5$	Heavy rain $\mu = 0.3$	dry $\mu = 1$	rain $\mu = 0.5$	Heavy rain $\mu = 0.3$
S-curve						
Hilltop		EG			KG	
90°-curve with fog						
Hilltop with traffic congestion in heavy rain	EG			KG		

Tab. 1: Study design

### Trial procedure

After a welcome and a briefing on the study, the test persons completed a short driving training in the driving simulator. In the subsequent test phase, the test persons were instructed that they would now drive on a simulated motor road on which they were allowed to drive 80 km/h as truck drivers. No instruction was given on the weather conditions or the warning strategy. The test phase consisted of three runs with 3 critical driving situations each (combination of critical road type and weather condition). Critical route types and weather conditions were presented randomly. Finally, all test persons experienced the driving situation with increased accident risk (hilltop with end of traffic congestion). After each driving situation, the subjective criticality was surveyed verbally. After the test phase in the driving simulator, the test subjects with a warning completed an acceptance questionnaire on the warning strategy. Finally, an interview, the completion of a demographic questionnaire and a debriefing followed.

### 3.3 Results of the driving simulator study

The results of the test person study show that the test persons in the group with warning adapted their driving behaviour better to the slippery situations than test persons in the group without warning. In the experimental group, speed was reduced earlier and significantly more than in the control group. In terms of driving performance, there was a trend towards an improvement due to the warning strategy. Future studies should investigate the influence of slippery road warning strategies on driving performance with a higher number of test persons.

With regard to the subjective criticality evaluation of the driving situations, no difference was shown between the groups. However, driving situations with rain or heavy rain are perceived as more critical than the same driving situations with dry road surfaces.

The data obtained from the questionnaire and the interview show that the warning strategy was rated as very useful, helpful and satisfactory. The combination of the three components voice output, warning tone and icon was considered useful by the vast majority of the test persons. A possible limitation of usefulness could be a potential information overload and risk of distraction. Regarding the visual component, several subjects commented that the presentation of the icon in a head-up display was very useful, as no attention diversion from the road was necessary to perceive the icon.

In summary, the study showed that the developed warning strategy leads to more appropriate driving behaviour in slippery situations and is evaluated as positive and helpful by truck drivers. Slippery road warnings therefore have the potential to be accepted and used outside the laboratory and to increase traffic safety.

## 4 The accident-avoidance potential

This chapter analyses the benefits of a slippery road warning system in terms of avoiding accidents or reducing the severity of accidents.

The analysis of the benefit of a slippery road warning system is carried out with the help of the 444 heavy goods vehicles (N3 vehicles or tractor units) involved in 393 accidents in which a reduction in adhesion was present. These account for 26.4% of all 1,486 accidents involving heavy trucks in the GIDAS database from 1999-2019. By selecting relevant accident types where a slippery road warning can have a positive impact on accident severity because of the associated reduction in driving speed, 175 accidents remain. For example, accident types in which it was likely that another road user will be overlooked, were not considered further. Thus, 12% of all accidents involving heavy goods vehicles have the potential to be positively influenced by a slippery road warning.

In the next step, 2 reductions in the subjects' driving speeds in response to a slippery road warning at an initial speed of approx. 80 km/h were selected for further analysis by the driving simulator experiments: The maximum speed difference of the experimental group to the control group (18.4 km/h) and the average speed difference of the experimental group to the control group in the slippery area (9.6 km/h). These speed differences, defined by driving simulator tests at a driving speed of 80 km/h, were used for the further analysis of the real accidents

relative to the real initial speed  $v_0$ . The resulting reductions are thus calculated as follows:

$$\text{Reduction}_{\text{medium}}(v_0) = 9.6 \text{ km/h} * v_0 / 80 \text{ km/h}$$

$$\text{Reduction}_{\text{max}}(v_0) = 18.4 \text{ km/h} * v_0 / 80 \text{ km/h}.$$

In order to evaluate the influence of a slippery road warning on the accident occurrence, 91 reconstructed accidents of the MHH accident research were re-simulated with the assumption that the drivers of the trucks would have reduced their driving speed before the accident according to the maximum and medium speed reduction.

Of these, 82 accidents were solo accidents or accidents with another vehicle (see figure 3). Nine accidents were accidents with a pedestrian. The pedestrian accidents were considered separately, as here the resulting change in the collision speed ( $v_K$ ) of the truck is decisive for the injury severity of the pedestrian, whereas in the case of the solo accidents and the collisions with another vehicle, the impact-related speed change (delta-v) is decisive for a change in the accident severity.

### 4.1 Results of the simulation

In the case of single vehicle accidents or accidents with another vehicle, 28% of the collisions involving heavy trucks and 29% of the collisions involving other vehicles were avoided, with 52% and 55% of the collisions being reduced in terms of collision severity. Assuming the maximum reduction of driving speed, the proportion of avoided collisions even increases to about half of the cases.

In the case of accidents with pedestrians, 22% of the collisions (medium reduction) and 33% of the collisions (maximum reduction) were avoided. For the remaining collisions at least, the truck reduced the collision speed.

Furthermore, the participants whose collision severity was reduced were evaluated by means of injury risk curves to see how the maximum injury severity of the vehicle occupants would be reduced. Here it was shown that even the medium reduction in driving speed would often not have resulted in serious injuries (< MAIS 2), even in cases with severe injuries. In the case of pedestrian accidents, it was not possible to conduct a meaningful analysis of pedestrian injury reduction due to insufficient data. Here, the dependence of injury severity on

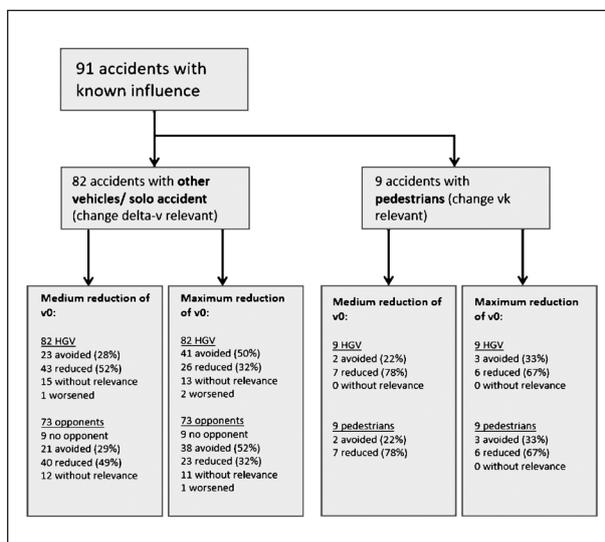


Fig. 3: Analysis of the benefit of slippery road warnings in selected truck accidents

collision speed does not seem to be sufficiently pronounced. As expected, the truck drivers involved in pedestrian accidents were not injured in any of the cases evaluated, so that an analysis of injury severity reduction could not be carried out.

In summary, the analysis shows that a slippery road warning for heavy trucks could be used in 12% of all accidents. Assuming a medium reduction in the driving speed of truck drivers (by 9.6 km/h at speed 80) due to the slippery road warning system, almost 30% of collisions in solo accidents or accidents involving another vehicle would have been avoided for both trucks and collision opponents. Furthermore, more than half of the trucks and collision opponents would have had lower collision severities ( $\Delta v$ ). Using injury risk curves, it could be shown that the lower collision severities significantly reduced the risk of serious or more severe injuries. In the case of truck accidents with pedestrians, out of 9 accidents analysed, 2 would have been avoided and 7 accidents would have had the potential to reduce the injury severity of pedestrians due to the lower collision speed of the truck.

## Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	13	4.2.2	Experten-Diskussion zur Fahrsimulatorstudie .....	45
<b>2</b>	<b>Literaturrecherche und Stand der Wissenschaft</b> .....	13	4.2.3	Ergebnisse und Veränderungen .....	46
2.1	Einführung in Fahrerassistenz- systeme .....	13	<b>5</b>	<b>Vorstudien zur Icon-Gestaltung</b> ....	47
2.1.1	Fahrerassistenzsysteme .....	13	5.1	Vorstudie 1 .....	47
2.1.2	Notbremsassistenzsystem AEBS .....	19	5.1.1	Ziel und Durchführung .....	47
2.1.3	Gesetzgebung .....	23	5.1.2	Ergebnisse .....	47
2.2	Forschungsstand der Warngestaltung .	25	5.2	Vorstudie 2 .....	48
2.2.1	Kognitives Modell der Warnung .....	25	5.2.1	Ziel und Durchführung .....	48
2.2.2	Modalität der Warnung .....	26	5.2.2	Ergebnisse .....	49
2.2.3	Spezifische Eigenschaften der Warnung .....	28	5.3	Fazit .....	50
2.2.4	Voraussetzungen seitens des Empfängers und Konsequenzen für die Warngestaltung .....	30	<b>6</b>	<b>Finale Warnstrategie</b> .....	50
2.2.5	Auswirkung von Warnungen .....	31	<b>7</b>	<b>Fahrsimulator-Studie</b> .....	51
2.2.6	Implikationen für eine Strategie zur Warnung vor Straßenglätte .....	31	7.1	Methode .....	51
<b>3</b>	<b>Analyse von Unfällen von schweren Lkw mit vermindertem Kraftschluss</b> .....	32	7.1.1	Versuchspersonen .....	51
3.1	Fallauswahl .....	32	7.1.2	Fahrsimulator und Simulations- umgebung .....	51
3.2	Analyse des Unfallgeschehens bei Auffahrunfällen von Lkw .....	33	7.1.3	Versuchsdesign .....	54
3.3	Analyse des Unfallgeschehens bei Fahrunfällen von Lkw .....	35	7.1.4	Fragebogen .....	54
3.4	Beispielfälle Auffahrunfälle .....	37	7.1.5	Versuchsablauf .....	55
3.5	Beispielfälle Fahrunfälle .....	40	7.2	Auswertung .....	55
<b>4</b>	<b>Erarbeitung einer Strategie für Glättewarnungen</b> .....	43	7.3	Ergebnisse .....	56
4.1	Erste Version von Warnkonzept und Versuchsplan .....	43	7.3.1	Deskriptive Ergebnisse – Geschwindigkeitsverläufe .....	56
4.2	Expertenworkshop .....	44	7.3.2	Inferenzstatistische Ergebnisse .....	57
4.2.1	Expertendiskussion zum vorgestellten Warnkonzept .....	44	7.3.3	Ergebnisse des Interviews .....	65
			7.4	Diskussion, Limitationen und Fazit. . . .	68
			<b>8</b>	<b>Analyse des Nutzens von Glättewarnsystemen bei schweren Lkw in Bezug auf das Unfall- geschehen</b> .....	69
			8.1	Fallauswahl .....	69
			8.2	Analyse des Nutzens einer Glättewarnung bei Lkw-Unfällen .....	70

8.3	Analyse der Verletzungsminderung . . .	74
8.4	Zusammenfassung . . . . .	76
<b>9</b>	<b>Gesamtzusammenfassung . . . . .</b>	<b>78</b>
	<b>Literatur . . . . .</b>	<b>79</b>
	<b>Bilder . . . . .</b>	<b>83</b>
	<b>Tabellen . . . . .</b>	<b>85</b>

Die Anhänge zum Bericht sind im elektronischen BAST-Archiv ELBA unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de> abrufbar.

## 1 Einleitung

Die Überschreitung des möglichen Reibwertpotenzials zwischen Fahrbahn und Reifen stellt nach wie vor ein großes Sicherheitsrisiko dar. Während sich mittlerweile Systeme in der Entwicklung befinden, die das aktuelle Reibwertpotenzial recht verlässlich schätzen können, stellt sich die Frage, auf welche Weise diese Information am besten dem Fahrer zu übermitteln ist. Diese und weitere Fragen bezüglich des Nutzens einer Reibwertwarnung werden in diesem Projekt beantwortet.

Den Einstieg in die Thematik bietet zunächst eine ausführliche Literaturrecherche über den Stand der Technik rund um Fahrerassistenzsysteme. Diese klärt über das Sicherheitspotenzial, das Angebot der verschiedenen Hersteller, die Gesetzgebung und weiteres auf. Ein weiterer Teil der Recherche umfasst den Forschungsstand der Warngestaltung und befasst sich unter anderem mit dem kognitiven Modell der Warnung und den Auswirkungen von Warnungen. Mit diesen Erkenntnissen, mithilfe eines Expertenworkshops und sämtlichen Vorstudien, entsteht eine finale Warnstrategie zur Warnung vor Glättegefahr, die anschließend in einer Probandenstudie getestet wird. Dazu wird zunächst eine umfassende Analyse der GIDAS-Datenbank hinsichtlich N3-Unfälle durchgeführt, um die Umstände von Unfällen bei und durch Glätte genauer zu untersuchen. Dabei liegt der Fokus auf Fahr- sowie Auffahrunfällen.

Die Warnstrategie und die exemplarisch repräsentativen Unfälle werden im Fahrsimulator der TU Berlin in eine geeignete Simulation eingebunden, sodass eine Probandenstudie durchgeführt werden kann. Im finalen Teil dieses Projektes werden die Ergebnisse der Probandenstudie analysiert. Die entwickelte Warnstrategie führt zu angemessenem Fahrverhalten in Glättesituationen und wird als hilfreich bewertet. Das geänderte Fahrverhalten der Probanden aus der Simulatorstudie wird dann auf die Unfälle aus der Unfallanalyse projiziert und der Einfluss der Glättewarnung berechnet. Das Potenzial einer Glättewarnung lässt sich auf diesem Weg quantifizieren.

## 2 Literaturrecherche und Stand der Wissenschaft

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Literaturrecherche bezüglich bestehender Fahrerassistenzsysteme festgehalten. Für dieses Projekt sind zwei Themenbereiche von erhöhter Bedeutung und so wird dieses Kapitel in zwei Teile unterteilt. Die heutigen Fahrerassistenzsysteme für Kraftfahrzeuge sind gekennzeichnet von einer ständigen Weiterentwicklung. So ist zunächst der Stand der Technik in diesem Themengebiet von Nutzen, um im späteren Verlauf ein solches zu konzipieren und studieren. Aus diesem Grund sind Kenntnisse über die Warngestaltung aus der kognitiven Sicht ebenfalls unentbehrlich. Die Art und Weise, wie eine Warnung aussehen muss und wie sie den Empfänger, hier den Fahrzeugführer, beeinflusst, wird im zweiten Unterkapitel erläutert.

### 2.1 Einführung in Fahrerassistenzsysteme

Im Folgenden wird ausführlich auf die Definition, die Bedeutung und Funktionen von Fahrerassistenzsystemen eingegangen. Das Beispiel des Notbremsassistenzsystems (AEBS) wird umfassend erläutert, um einen Einblick in die Technologie zu erlangen, die heutzutage verbaut wird. Ebenfalls die Effektivität und Abschätzungen über die Kosten sind interessante Informationen, die eine Entwicklung neuer Assistenzsysteme unterstützen. Abschließend ist in diesem Unterkapitel die Gesetzeslage für Fahrerassistenzsysteme geschildert, wie sie in Deutschland bzw. in der Europäischen Union durch die Typengenehmigungen festgelegt wird.

#### 2.1.1 Fahrerassistenzsysteme

Fahrerassistenzsysteme (FAS) sind Einrichtungen in Kraftfahrzeugen, die den Fahrer in bestimmten Fahrsituationen unterstützen. Diese Fahrsituationen reichen vom Einparken bis hin zur Vollbremsung zur Unfallvermeidung. Sie werden also verwendet, um zum einen den Fahrkomfort zu steigern und zum anderen die Fahrsicherheit zu erhöhen. Dazu greifen FAS automatisiert oder teilautomatisiert in den Fahrbetrieb ein, indem sie den Antrieb (z.B. die Bremse), die Steuerung (z.B. beim Park-Assistent) oder die Signaleinrichtungen des Fahrzeuges bedienen und den Fahrzeugführer warnen.

Deutsche Bezeichnung	Abkürzung	Englische Bezeichnung	Abkürzung
Abbiegeassistent	AAS	Turning Assistant	
Adaptive Geschwindigkeitsregelanlage	AGR	Adaptive Cruise Control	ACC
Adaptive Lenkung		Active Front Steering	AFS
Adaptives Fernlicht	AFS	Adaptive Highbeam Assist	
Adaptives Kurvenlicht		Adaptive Frontlighting System	AFS
Aktiver Notbremsassistent	ANB	Active Brake Assist	ABA
Aktiver Spurhalteassistent	LKA	Lane Keep Assis	LKA
Anhänger-Stabilitätsprogramm		Trailer Stability Assist	TSA
Antiblockiersystem	ABS	Anti-lock Braking System	ABS
Antriebsschlupfregelung	ASR	Traction Control System	TCS
Aufmerksamkeits-Assistent	DAW	Driver Drowsiness Detection	
Elektronisches Bremssystem	EBS		
Elektronisches Stabilitätsprogramm	ESP	Electronic Stability Control	ESC
Fortschrittliches Notbremssystem	FCA	Autonomous Emergency Braking	AEBS
Geschwindigkeitsregelanlage	GRA	Cruise Control	
Reifendruckkontrollsystem	RDK	Tire Pressure Monitoring	TPM
Spurverlassenswarner		Lane Departure Warning	LDW
Totwinkelassistent		Blind Spot Detection	BSD

Tab. 1: Die wichtigsten Assistenzsysteme

Hierbei werden verschiedenste Sensorik (ABS Sensoren, Raddrehzahl-Sensoren etc.), Radarsysteme (Ultraschall, LIDAR etc.) oder Kamerasysteme mit eingebunden. Die Norm SAE J3016 klassifiziert das automatisierte Fahren in sechs Stufen. Die hier behandelten FAS sind der Stufe eins und zwei zuzuordnen [SAE, 2016]. Trotz der verbauten Technik ist es wichtig zu beachten, dass jegliche Verantwortung für die Führung immer beim Fahrer des Vehikels liegt, auch wenn der fortschreitende Stand der Technik den Fahrer immer mehr entlastet.

Unzählige FAS für Nutzfahrzeuge existieren bereits und sind vom Gesetzgeber vorgeschrieben (Notbremsassistent), von Fahrzeugherstellern als Standard in den Fahrzeugen verbaut (Geschwindigkeitsregelanlage) oder von Fahrzeugherstellern optional buchbar (Einparkhilfe). Die wichtigsten Fahrassistenzsysteme, die vordergründig eine Sicherheitssteigerung erwirken sollen, sind im Folgenden tabellarisch gelistet [DVR, 2006]; [Hella, 2020].

### Unfallvermeidung und -folgenminderung

Unfälle unterscheiden sich hinsichtlich einer Vielzahl von Parametern und sind selten direkt miteinander vergleichbar. Der europäische Dachverband

der Automobilindustrie hat deswegen ein Schema entwickelt, in dem sich jeder Unfall in fünf Phasen einteilen lässt. Ist das Verständnis für diese Phasen gegeben, so lässt sich auch die Funktionsweise und das Unfallvermeidungspotenzial von FAS verstehen.

Dem Schema zufolge startet ein Unfallablauf immer mit einer „Normalfahrt“ (Phase 1), in der es noch keine Anzeichen eines Unfalles gibt. Der Fahrer ahnt nichts und führt sein Fahrzeug gesetzesmäßig bis zum Eintreffen der sogenannten „kritischen Situation“. Daraufhin folgt die Phase der Gefahr (Phase 2), von dieser der Unfallverlauf abhängig ist. Es stellt sich die Frage, ob der Fahrer die Gefahr erkennt und wenn ja, ob er genug Zeit zum Reagieren hat, um die Situation zu entschärfen. Diese Phase dauert unter Umständen nur Sekundenbruchteile an. Diese Phase ist alltäglich, jedoch gelingt es dem Fahrer meistens eine gefährliche Situation zu umgehen. Die Phase zwei endet mit dem „Zeitpunkt der Unvermeidbarkeit“. Hat der Fahrer und alle anderen Beteiligten bis dahin nicht angemessen reagiert, aufgrund von Ablenkung oder einfach, weil es nicht möglich war, so ist der Unfall die Folge. Dieser beginnt mit der Phase „Kollision unvermeidbar“ (Phase 3) und endet mit dem „Anprall“, der Kollision

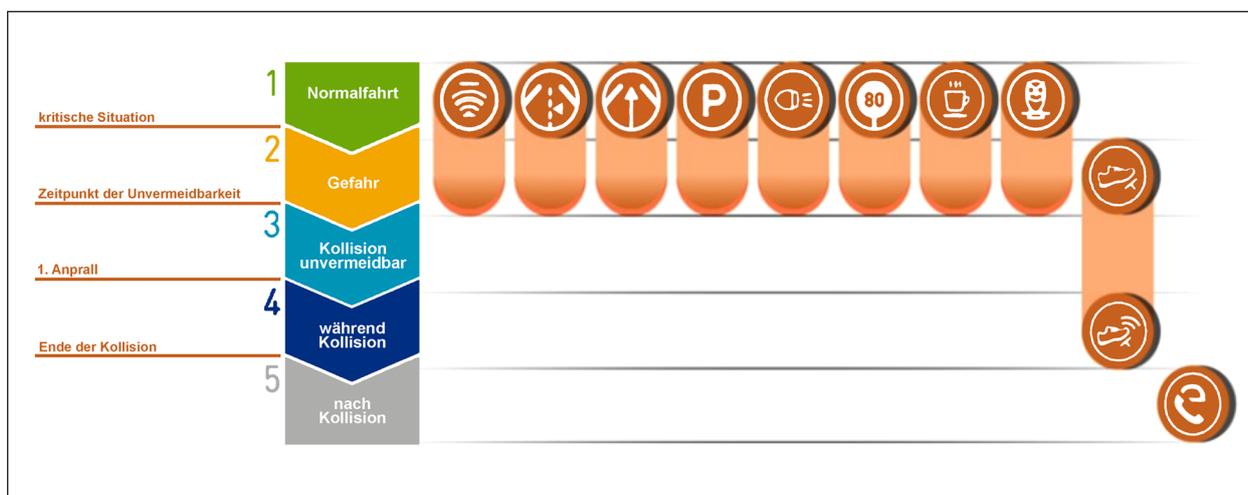


Bild 1: Fünf Phasen des Unfallgeschehens [DVR, 2017]

des Fahrzeuges. Es folgt die Phase „während der Kollision“ (Phase 4) bis zu dem Zeitpunkt, an dem die Fahrzeuge bzw. das Fahrzeug und das Hindernis zum Stillstand kommt. Damit ist das „Ende der Kollision“ markiert. Die letzte Phase nennt sich „nach der Kollision“ (Phase 5) und in dieser werden dann Rettungs- und Sicherheitsmaßnahmen getroffen.

Wie in Bild 1 zu sehen ist, wirken Assistenzsysteme vorbeugend in Phase 1 und greifen aber vor allem in Phase 2, der Gefahren-Phase. FAS sind also bereits während der Normalfahrt aktiv und minimieren Gefahren-Situationen, wie etwa der Abstandsregler oder der Müdigkeitswarner. Eine kritische Situation soll dementsprechend schon frühzeitig verhindert werden. Sollte dennoch eine kritische Situation auftauchen, so ist die Hilfe der FAS in Phase 2 am effektivsten. Der Notbremsassistent leitet nach Bedarf automatisch eine Vollbremsung ein oder der Spurhalteassistent hält die Spur bei Sekunden-schlaf und sucht die Aufmerksamkeit des Fahrers mittels Warnsignale.

FAS können nicht alle Unfälle vermeiden. Schwerwiegende Fahrfehler oder das menschliche Fehlverhalten können diese nicht verhindern. Trotzdem können sie in vielen Situationen, falls die Unfallvermeidung unabdingbar ist, den Schaden minimieren, in dem sie die Aufprallgeschwindigkeit reduzieren oder nach der Kollision einen automatischen Notruf absetzen [DVR, 2017].

Verlässliche Zahlen über den Bestand und die Verbreitung von FAS in Nutzfahrzeugen sind ohne Weiteres nicht zu recherchieren. Genauere Studien gibt es im Bereich der Personenkraftwagen zum Bei-

spiel für das AEBS-System, jedoch nicht für Lkw. Um dennoch das Wirkungspotenzial der Assistenzsysteme zu verdeutlichen, ist es ein Ansatz, sich die Unfallzahlen der vergangenen Jahre anzusehen und eine Tendenz zu ermitteln. Wie bereits beschrieben, ist der Einfluss von FAS zu erwarten, erst recht, wenn man bedenkt, dass ab 2013 FAS wie der Notbremsassistent in Lkw verpflichtend wurden.

Das statistische Bundesamt (Destatis) bietet in seinem Bericht „Unfälle von Güterkraftfahrzeugen im Straßenverkehr 2018“ Zahlen zu den Verkehrsunfällen von Güterfahrzeugen. Im letzten Kapitel „Zeitreihen“ werden die Gesamtanzahl der Unfälle unter Beteiligung von Güterkraftfahrzeugen zwischen den Jahren 1991 bis 2018 aufgelistet. Es wird weiterhin nach zulässigem Gesamtgewicht der Fahrzeuge, zwischen „Alle Beteiligte“ und „Hauptverursacher“ sowie zwischen „mit Sachschaden“ und „mit Personenschaden“ unterschieden.

Tendenziell fällt die Anzahl der Unfälle für Güterfahrzeuge als Hauptverursacher mit zulässigem Gesamtgewicht zwischen 12 und 16 Tonnen mit Personen- und Sachschaden. Ab 2013, dem Jahr ab dem zum Beispiel das Notbremssystem verpflichtend wurde, sind die zulässigen Gesamtgewichtsklassen von 3,5 t bis 16 t und mehr zusammengefasst, sodass nähere Angaben zu N2 Fahrzeugen nicht mehr gemacht werden können.

Generell wird die Anzahl der Unfälle auch nicht weiter in Unfallarten unterteilt, was für die Zuordnung der jeweiligen FAS notwendig wäre. Eine konkrete Aussage über die Unfallminimierung der FAS lässt sich somit nicht aufstellen [Destatis, 2019].

Eine andere Möglichkeit, die Auswirkungen von FAS zu ergründen, ist es, sich gemeldete Unfälle anzuschauen und Hochrechnungen durchzuführen, wie viele von diesen Unfällen durch Assistenzsysteme theoretisch verhindert werden könnten. Eine solche Untersuchung führte 2011 die Unfallforschung der Versicherer für den Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V. (GDV) durch. In den Jahren 2007 bis 2010 sollten diese Ergebnisse/Hochrechnungen über das Sicherheitspotenzial von FAS in Pkw, Lkw und Bussen liefern. Dabei konzentrierten sie sich ausschließlich auf Unfälle mit Personenschaden und einem Schadenaufwand von mindestens 15.000 €.

Als Basis für die Datenerhebung wurde die 2004 bis 2006 entwickelte Unfalldatenbank (UDB) herangezogen. Diese stellt ein Instrument zur Erfassung und Auswertung von Unfall- und Schaden-Akten dar. Damit die in der UDB erfassten Daten mit dem repräsentativen Bild für alle dem GDV gemeldeten Schäden passen, wurde ein Verfahren zur Gewichtung und Hochrechnung entwickelt.

Im Projekt wurde die UDB untersucht, Unfallabläufe betrachtet und diese mit einem errechneten theoretischen Unfallablauf mit FAS gegenübergestellt. In einem Mehrstufen-Verfahren, in dem die Unfallart, die Fahrzeugart, die Auswahl sinnvoller FAS etc. ausgewertet wurden, konnte dann das realisierbare Sicherheitspotenzial berechnet werden. Insgesamt wurden für die Lkw der Notbremsassistent (AEBS, Advanced Emergency Braking System), Totwinkel-Assistent, ESP, Spurverlassenswarner, Abbiegeassistent und Rückfahrassistent betrachtet, wobei beim Notbremsassistent zwischen den Generationen 1 und 2 unterschieden wird. Auf die unterschiedlichen Generationen wird in Kapitel 2.1.2 detaillierter eingegangen.

Insgesamt wurden so 443 Lkw-Unfälle mit 570 beteiligten Lkw (> 5 t zulässiges Gesamtgewicht) zwischen den Jahren 2002 bis 2006 analysiert und auf 18.467 Unfälle mit 22.863 beteiligten Lkw hochgerechnet. Die Ergebnisse sind Tabelle 2 und Tabelle 3 zu entnehmen.

Zu sehen ist, dass der ermittelte Nutzen für die jeweiligen FAS zwischen 1 % beim Rückfahrassistent und 12 % beim Notbremsassistent erreicht. Weitere Detailanalysen ergaben zudem, dass je nach Lkw-Kategorie die einzelnen FAS unterschiedlichen Nutzen aufweisen. So schwanken die Werte für den Abbiegeassistent RF für den Solo-Lkw und dem Lkw + Anhänger von 4,2 % zu 0,6 %.

Diese Ergebnisse werden auch im Sachstand „Vermeidung von Lkw-Auffahrunfällen auf Bundesautobahnen durch Notbremsysteme“ vom deutschen Bundestag im Jahr 2016 zitiert [Bundestag, 2016]. Weitere Studien aus mehreren Publikationen untermauern diese Ergebnisse bzw. liefern ebenfalls positive Zahlen. So sind aus den folgenden Studien diese Ergebnisse zu entnehmen:

PETERSEN verfasste 2012 einen Bericht (Fahrerassistenzsysteme für Nutzfahrzeuge zur Erhöhung der Verkehrssicherheit. Stand der Technik und Anforderungen Europäischer Vorschriften – Forderungen an Gesetzgeber, Hersteller und Betreiber), in dem er die Ergebnisse von Feldtests niederschrieb. In diesen Feldtests stattete er eine Testflotte von 767 Nutzfahrzeugen mit ESP, LDWS, ACC bzw.

FAS	Sicherheitspotenzial SP <sub>theor</sub> [%]	Beeinflussbarkeit
<b>für Lkw</b>	<b>alle Lkw-Unfälle ≙ 100 %</b>	
Notbremsassistent 1	6,1	v
Notbremsassistent 2	12,0	v
Abbiegeassistent	4,4	v
Totwinkelwarner	7,9	pb
Spurverlassenswarner	1,8	v
ESP	5,6	pb
Rückfahrassistent	1,2	v

v = vermeidbar  
pb = positiv beeinflussbar

Tab. 2: Gesamtes Sicherheitspotenzial nach [Bundestag, 2016]

FAS	Sicherheitspotenziale		
	Solo-Lkw	Lkw + Anhänger	Sattelzugmaschine
NBA 1 (v)	2,2	6,1	5,1
NBA 2 (v)	7,9	10,7	9,5
Abbiegeassistent RF (v)	4,2	0,6	2,9
Abbiegeassistent FG (v)	0,5	0,9	0,8
ESP (pb)	1,5	4,6	6,1
Totwinkelwarner (pb)	6,8	5,2	6,4
Spurverlassenswarner (v)	1,6	1,8	1,3
Rückfahrassistent (v)	3,0	0,5	-

v = vermeidbar  
pb = positiv beeinflussbar

Tab. 3: Sicherheitspotenziale aufgeteilt in FAS und Kraftfahrzeug nach [Bundestag, 2016]

AEBS aus, die eine Fahrstrecke von 213 Mio. km zurücklegten. Dem gegenüber verglich er 565 Nutzfahrzeuge mit 136 Mio. km verfahrenere Strecke ohne FAS. Als Ergebnis weisen die Fahrzeuge mit FAS ein 34 % geringeres Unfallrisiko als die ohne. Weiterhin berichtet er, dass für Lkw schwerer als 12 t und ausgestattet mit einem FAS-Paket aus ESP, LDWS und ACC, 50 % Autobahnunfälle vermieden werden können. Mit einem FAS-Paket ESP, LDWS und AEBS (inkl. ACC) könnten 60 % Autobahnunfälle und 35 % der Unfälle in Ortslagen vermieden werden. Des Weiteren beschreibt er eine Vermeidbarkeit von 60 % für Auffahrunfälle mit ACC und 90 % mit AEBS.

Im Jahr 2014 verfassten BACHEM, H. K. und DOBERSTEIN, J. den Bericht „Fahrzeugsicherheit bei schweren Nutzfahrzeugen“. Für dessen Studie wurden zwischen 2011 und 2012 insgesamt 57 Nutzfahrzeuge der Firma MAN neun Monate ohne FAS und später weitere 7 Monate mit einem FAS-Paket bestehend aus ESP, LDWS und ACC ausgestattet und dessen Daten aufgenommen und ausgewertet. Die Auswertung ergab ein Unfallvermeidungspotenzial von 60 % auf Autobahnen und 33 % in Ortslagen. Mit einem FAS-Paket aus AEBS und aktiver Spurhalteassistent wären sogar 80 % der Autobahnunfälle und 50 % der Unfälle in Ortslagen vermeidbar [BACHEM, 2014].

### Stand der Technik

Die größten Nutzfahrzeughersteller auf dem deutschen und globalen Markt besitzen mittlerweile alle die benötigte Technik und das Wissen über Assistenzsysteme zur Steigerung der Sicherheit des Fahrers und der Unfallbeteiligten. Mercedes Benz verbaute bereits 1981 das erste ABS in Lkw und gibt an, auch bei weiteren FAS wie die Antriebs-schlupfregelung oder den Wankregel-Assistent Pioniere zu sein. Heutzutage gehören viele der FAS dank dem Fortschritt der Technik und der Gesetzgebung zur Standardausstattung. Das durchschnittliche Flottenalter der Lkw in Deutschland beträgt im Jahr 2021 8,2 Jahre [Statista, 2021]. Eine Marktdurchdringung neuer Technologien ist damit in einem überschaubaren Zeitabschnitt möglich. Die größten Hersteller entwickeln entweder selbst ihre Systeme oder kaufen diese bei Lieferanten ein.

### Daimler Truck AG

Daimler Truck AG wirbt mit technologisch modernen Sicherheitsassistenten. Mit ihrem „Active Brake

Assist“ sind sie 2019 in der fünften Generation und fügen diesen für jedes neue Fahrzeug serienmäßig bei. Das System ermöglicht Fahrzeugen sogar, bei einer Geschwindigkeit von bis zu 50 km/h, sich bewegende Fußgänger zu detektieren und zu bremsen. Weitere FAS sind der „Active Drive Assist“, eine Kombination aus automatischer Abstandregelung und Spurhalte Assistent, den „Anhänger Stabilitätsregel-Assistent“ oder den „Verkehrszeichen-Assistent“. Diese sind jedoch nur als Sonderausstattung hinzufüßbar [Daimler, 2020]; [Benz, 2020].

### MAN Truck & Bus SE

MAN bietet ebenfalls wie Daimler einen Aufmerksamkeitsassistenten an, den „MAN AttentionGuard“, der Veränderungen am Lenkverhalten anzeigt und insbesondere bei Fahrspurverletzungen den Fahrer frühzeitig warnt. Der GPS-gestützter Tempomat „MAN EfficientCruise“ und ein elektronisches System zum Bremsmanagement „MAN BrakeMatic“, der die Dauerbremse aktiviert, um die Betriebsbremse zu entlasten, sind nur einige Beispiele weiterer FAS [MAN, 2020].

### DAF Trucks NV

Für die aktuelle DAF XF-Reihe bietet der Hersteller unzählige FAS serienmäßig an, um die Sicherheit, den Komfort oder die Kraftstoffeffizienz zu steigern. Dazu gehören unter anderem die Systeme ACC, AEBS, LDWS oder ein Reifendrucküberwachungssystem. Als nicht sicherheitsrelevantes Extra ist der DAF XF in einer Silent-Ausführung konfigurierbar, bei der sichergestellt wird, dass der Schallpegel nicht die 71 dB(A) überschreitet und somit urbane Einsatzgebiete trotz Lärmschutzaufgaben befahren werden können [DAF, 2020].

### Scania AB

Scania begann schon früh, in die Sicherheit der Fahrer ihrer Fahrzeuge zu investieren und führte bereits 1961 Aufpralltests an Kabinen durch. Später führten sie 1984 das ABS als erstes FAS in ihren Nutzfahrzeugen ein. Heutzutage verbauen sie weitere FAS wie das ACC oder die „System Area View Camera HD 360°“. Eine Besonderheit bieten sie mit ihrem „Alarmsystem gegen Kraftstoffdiebstahl mit intelligenter Konnektivität“, das dem Kunden bei einem Diebstahlversuch unmittelbar eine SMS oder E-Mail senden kann [Scania, 2020].

## Volvo Trucks AG und Renault Trucks AG

Auch diese beiden Hersteller bestücken ihre Lkw mit den üblichen FAS wie AEBS, ACC oder Spurwechselunterstützung und folgen somit ihren Wettbewerbern. Auch zusätzliche elektronische Unterstützer wie der Kippschutz bei Renault oder die elektronische Stabilitätskontrolle werden in den Fahrzeugen mit eingebunden [Volvo, 2020]; [Renault, 2020].

Um die Übersicht über die Angebotsvielfalt der FAS bezüglich der Hersteller zu vervollständigen, sind

die einzelnen FAS in Tabelle 4 zusammengefasst. Leere Felder bedeuten nicht unbedingt, dass diese FAS vom Hersteller nicht angeboten werden, sondern lediglich, dass keine Angaben des Herstellers bei der Recherche gefunden wurden.

Zusätzlich zu den sicherheitsrelevanten Assistenzsystemen bieten die Hersteller auch zahlreiche Komfort-, treibstoffsparende oder weitere Optimierungsassistenten an.

FAS	Hersteller	Daimler Truck AG	MAN Truck & Bus SE	DAF Trucks NV	Scania AB	Volvo Trucks AG	Renault Trucks AG
Auffahrsystem				Forward Collision Warning			
Notbremsassistent	Active Brake Assist 1-5 (ABA)	EBA mit ESS	AEBS	AEBS	AEBS	Kollisionswarnung mit Notbremse	AEBS
Notbremsblinken							
Elektronisches Bremsmanagement		MAN BrakeMatic	Vehicle Stability Control	EBS			
Spurrückführungsassistent		MAN Spurassistent				Spurwechselunterstützung	
Spurhalte Assistent	Active Drive Assist		LDWS				Spurhalteassistent
Abstandshalte Assistent		ACC Stop & Go	Adaptive Cruise Control	ACC	Distance Alert	ACC	
Abbiege Assistent		Video-Abbiege-System		Seitenerfassung			
Elektrisch unterstützte Lenkung		MAN ComfortSteering		Servolenkung	Volvo Dynamic Steering		
GPS-gestützter Tempomat		EfficientCruise	Predictive Cruise Control				
Stabilitätsregel Assistent	Anhänger Stabilitätsregel Assistent				ESP	Elektronische Stabilitätskontrolle	Stabilitätskontrolle
Adaptives Fernlicht	Automatisches Aufblend-/ Abblend- und Abbiegelicht	MAN Licht-Technologie				Adaptives Fernlicht	Automatische Fahrlichtsteuerung
Adaptives Kurvenlicht							Kurvenscheinwerfer
Verkehrszeichen Assistent	Verkehrszeichen Assistent						
Alarmsystem gegen Kraftstoffdiebstahl					Alarmsystem gegen Kraftstoffdiebstahl mit intelligenter Konnektivität		
Aufmerksamkeitsassistent	Aufmerksamkeitsassistent	MAN AttentionGuard			Scania Aufmerksamkeitsassistent		
360° Video Umgebung		MAN BirdView			System Area View Camera HD 360°		
Schallpegel Assistent				Silent-Ausführung			
Reifendruck Assistent	Reifendruck Assistent			Reifendruck-Überwachungssystem			Automatische Reifendruckkontrolle
Berganfahrhilfe							HSA (hill start assistent)

Tab. 4: FAS Angebot bezogen auf Hersteller

## 2.1.2 Notbremsassistentensystem AEBS

Laut dem Amtsblatt der Europäischen Union ist ein Notbremsassistentensystem ein System, das in der Lage ist, einen Frontalzusammenstoß mit einem Verkehrsteilnehmer selbständig zu erkennen und das Abbremsen des Fahrzeuges initiieren kann, um einen Zusammenstoß zu verhindern oder abzumildern [UNECE, 2014]. Des Weiteren sind weitere Anforderungen definiert:

- Das System darf einzig in den Situationen eingreifen, in denen das Abbremsen ein Unfall verhindert oder abmildert.
- Das System darf im Falle eines Versagens nicht den sicheren Betrieb des Fahrzeuges gefährden.
- Ist das System gestört, muss eine Fehlerwarnung erfolgen.
- Das System ist ab einer Geschwindigkeit von höchstens 15 km/h aktiv und kann manuell deaktiviert werden. Im Fall der Deaktivierung muss ein Signal erfolgen.
- Bei einem Neustart des Fahrzeuges ist das System automatisch wieder aktiv.
- Es muss mindestens eine akustische oder haptische Warnung erzeugen in Situationen, in denen es sich um eine scharfe Abbremsung handelt, um die Aufmerksamkeit des Fahrers auf die Straße zu lenken.
- Der Fahrzeugführer muss bei jeder Maßnahme des Systems, in den Warn- oder Notbremsphasen, jederzeit mit bewussten Aktionen einschreiten können, um die Kontrolle zu übernehmen.
- Das System soll möglichst nicht zu Fehlalarmen oder Fehlabbremsungen führen, die den Fahrzeugführer dazu bewegen könnten das System abzuschalten.

## Funktionsweise

Fahrzeuge mit Notbremsassistent haben in der Regel Sensoren zur Ermittlung von Abständen, Beschleunigung, Lenkwinkel, Lenkradwinkel und Pedalstellungen. Alle Messwerte werden ständig zusammengetragen und ein Steuergerät errechnet, ob es Indizien für eine Gefahrensituation oder einen kritischen Fahrzustand gibt. Ermittelt das System, dass der Fahrzeugführer sein Verhalten ändern müsste, um einen Aufprall zu verhindern, warnt es den Fahrer. Bleibt eine Reaktion des Fahrers aus, so leitet das System von selbst die geeignete Maßnahme ein. Die gesammelten Daten einiger Sensoren können auch für andere Zwecke genutzt werden.

In der Praxis funktionieren die Systeme laut Hersteller zuverlässig. Auch der ADAC führte unabhängige und objektive Tests durch, in denen sie die Funktionsweise und Fehlverhalten untersuchten. Im Jahr 2017 testeten sie drei Lkw (> 7,5 t): den MAN TGX, Mercedes-Benz Actros und den Volvo FH 540. Angelehnt an das Testverfahren des Europäische Testprotokoll EuroNCAP prüfte der ADAC drei Szenarien:

- Das Auffahren auf ein stehendes Hindernis (0 km/h) – Lkw fährt 50-60-70-80 km/h
- Das Auffahren auf ein langsam fahrendes Hindernis (20 km/h) – Lkw fährt 50-60-70-80 km/h
- Das Auffahren auf ein verzögerndes Hindernis (50 km/h; 6 m/s<sup>2</sup>) – Lkw fährt 50 km/h, 40 m Abstand

Die Ergebnisse dieser Tests sind Tabelle 5 zu entnehmen.

Mit diesen Ergebnissen zeigt der ADAC, dass der technische Stand viel weiter ist als die gesetzlichen Vorgaben, die im Kapitel 2.1.3 ausgeführt werden. Alle drei Lkw schaffen es aus einer Fahrt mit 80 km/h bzw. 70 km/h vor dem stationären Hindernis, durch eine vom System eingeleitete Vollbremsung zum Stehen zu kommen. Der ADAC fordert daher die Gesetzeslage zu verschärfen [ADAC, 2017].

Hersteller	Modell	Stand: Modell	Hindernis	Bemerkung/Erkenntnis
Volvo	FH 540	2016	Stationäres Target Langsam fahrendes Hindernis bremsendes Hindernis	Unfallvermeidung bis 70 km/h* Unfallvermeidung bis 80 km/h Unfallvermeidung
MAN	TGX	2017	Stationäres Target Langsam fahrendes Hindernis bremsendes Hindernis	Unfallvermeidung bis 80 km/h Unfallvermeidung bis 80 km/h Unfallvermeidung
Mercedes	Actros	2017	Stationäres Target Langsam fahrendes Hindernis bremsendes Hindernis Abbiegen Fußgängererkennung	Unfallvermeidung bis 80 km/h Unfallvermeidung bis 80 km/h Unfallvermeidung Warnung Warnbremsung – Vermeidung bis 20 km/h

\* Aufgrund der Sensorik im Lkw und der Geometrie des im Test verwendeten Hinderniskörpers kann eine Fehlinterpretation bei 80 km/h nicht ausgeschlossen werden.

Tab. 5: Ergebnisse der AEBS-Tests des ADAC

Fahrzeugklasse	Unbewegliches Ziel			Bewegliches Ziel			
	Zeitpunkt der Warnmodi		Verringerung der Geschwindigkeit des Prüffahrzeugs (s. Nummer 2.4.5)	Zeitpunkt der Warnmodi		Verringerung der Geschwindigkeit des Prüffahrzeugs (s. Nummer 2.5.3)	Zielgeschwindigkeit (s. Nummer 2.5.1)
	Mindestens 1, haptisch oder akustisch (s. Nummer 2.4.2.1)	Mindestens 2 (s. Nummer 2.4.2.2)		Mindestens 1, haptisch oder akustisch (s. Nummer 2.5.2.1)	Mindestens 2 (s. Nummer 2.5.2.2)		
M 3, N 3 und N 2 > 8 t (ausgestattet mit pneumatischen oder drucklufthydraulischen Bremssystemen und mit Hinterachsaufhängungssystemen mit Luftfederung)	Spätestens 1,4 s vor dem Beginn der Notbremsphase	Spätestens 0,8 s vor dem Beginn der Notbremsphase	Mindestens 10 km/h	Spätestens 1,4 s vor dem Beginn der Notbremsphase	Spätestens 0,8 s vor dem Beginn der Notbremsphase	Prüffahrzeug darf nicht mit dem beweglichen Ziel zusammenstoßen	32 ± 2 km/h

Tab. 6: Genehmigungsstufe 1: Anforderungen für die Warn- und Aktivierungsprüfung – Werte für Bestehen/Nichtbestehen aus [EU, 2012]

## Abstufungen

Im April 2012 trat die Verordnung (EU) Nr. 347/2012 in Kraft und definierte zwei Genehmigungsstufen für AEBS in Nutzfahrzeugen. Diese gilt für alle Kraftfahrzeuge der Klassen M2, M3, N2 und M3 ausschließlich N2 Sattelzugmaschinen mit zulässigem Gesamtgewicht von unter 8 t, Geländefahrzeuge der oben genannten Klassen, Fahrzeuge der genannten Klassen mit besonderer Zweckbestimmung und Fahrzeuge der genannten Klassen mit mehr als drei Achsen.

Die Genehmigungsstufe 1 (AEBS 1) ist für N2 Fahrzeuge schwerer als 8 t, die mit pneumatischen Bremsen oder luftgefederten Hinterachsen ausgestattet sind, seit dem 1. November 2013 verpflichtend. Ab dem 1. November 2016 ist dann für diesen Fahrzeugtyp die zweite Genehmigungsstufe (AEBS 2) verpflichtend. Zusätzlich müssen ab 2016 dann auch alle Fahrzeugtypen mit einem zulässigem

Gesamtgewicht zwischen 3,5 t und 8 t und Nutzfahrzeuge bis 8 t ohne pneumatisches Bremsen oder luftgefederte Hinterachsen einen AEBS 2 vorweisen.

Zwischen dem AEBS 1 und AEBS 2 gibt es zwei grundsätzliche Unterschiede. Das AEBS 1 muss in der Lage sein, bei einer Geschwindigkeit von  $80 \pm 2$  km/h, ein stehendes Fahrzeug aus mindestens 120 Metern zu erkennen und seine Geschwindigkeit um mindestens 10 km/h zu verzögern. Beim AEBS 2 sind es 20 km/h.

Ist das vorausfahrende Fahrzeug in Bewegung, darf das Nutzfahrzeug nicht mit dem vorausfahrenden Fahrzeug zusammenstoßen. Dabei beträgt die Geschwindigkeit des voranfahrenden Fahrzeuges  $32 \pm 2$  km/h für AEBS 1 und  $12 \pm 2$  km/h für AEBS 2 [EU, 2012].

Tabellen 6 und 7 sind aus dem Amtsblatt entzogen.

Fahrzeugklasse	Unbewegliches Ziel			Bewegliches Ziel			
	Zeitpunkt der Warnmodi		Verringerung der Geschwindigkeit des Prüffahrzeugs (s. Nummer 2.4.5)	Zeitpunkt der Warnmodi		Verringerung der Geschwindigkeit des Prüffahrzeugs (s. Nummer 2.5.3)	Zielgeschwindigkeit (s. Nummer 2.5.1)
	Mindestens 1, haptisch oder akustisch (s. Nummer 2.4.2.1)	Mindestens 2 (s. Nummer 2.4.2.2)		Mindestens 1, haptisch oder akustisch (s. Nummer 2.5.2.1)	Mindestens 2 (s. Nummer 2.5.2.2)		
M 3, N 3 und N 2 > 8 t (1)	Spätestens 1,4 s vor dem Beginn der Notbremsphase	Spätestens 0,8 s vor dem Beginn der Notbremsphase	Mindestens 20 km/h	Spätestens 1,4 s vor dem Beginn der Notbremsphase	Spätestens 0,8 s vor dem Beginn der Notbremsphase	Prüffahrzeug darf nicht mit dem beweglichen Ziel zusammenstoßen	12 ± 2 km/h
N 2 ≤ 8 t und M 2 (2)	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)

(1) Fahrzeuge der Klasse M 3 mit hydraulischen Bremssystemen unterliegen den Anforderungen nach Zeile 2.  
(2) Fahrzeuge mit pneumatischen Bremssystemen unterliegen den Anforderungen nach Zeile 1.  
(3) Die Werte sind gemäß Artikel 5 festzulegen.

Tab. 7: Genehmigungsstufe 2: Anforderungen für die Warn- und Aktivierungsprüfung – Werte für Bestehen/Nichtbestehen aus [EU, 2012]

## Warnmethodik

Im Jahr 2014 wurde die Regelung „Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung von Kraftfahrzeugen hinsichtlich des Notbremsassistentensystems (AEBS)“ zur Festlegung einheitlicher Vorschriften für Notbremsassistentensysteme von der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (UNECE) festgelegt.

In dieser ist unter Punkt 5.5 „Warnanzeige“ auch festgelegt, wie und wann das Assistenzsystem den Fahrer warnen muss. So lauten die Vorschriften wie folgt:

- Die Kollisionswarnung muss in mindestens zwei der drei Modi akustisch, haptisch oder optisch erfolgen.
- Der Zeitpunkt der Warnsignale muss früh genug auftreten, sodass der Fahrer die Möglichkeit hat, auf ein Kollisionsrisiko zu reagieren, aber spät genug, sodass der Fahrer nicht von zu frühen und zu häufigen Warnungen gestört ist.
- Der Fahrzeughersteller ist verpflichtet, eine Beschreibung der Warnanzeige samt der Reihenfolge der Kollisionswarnsignale zur Typengenehmigung vorlegen.
- Im Falle einer Störung des Systems muss ein konstantes, gelbes optisches Warnsignal ausgegeben werden.

Alle einzelnen Warnsignale des AEBS werden aktiviert, wenn der Fahrzeugführer den Anlassschalter

auf eine Position zwischen „Ein“ und „Start“ gestellt wird (Prüfstellung).

- Alle optischen Warnsignale müssen bei Tageslicht vom Sitz des Fahrers leicht erkennbar sein.
- Sollte das AEBS, zum Beispiel wegen ungünstigen Wetterbedingungen, vorübergehend nicht verfügbar sein, muss ein konstantes gelbes Warnsignal leuchten.
- Sollte der Fahrer die AEBS-Funktion manuell deaktivieren können, muss das konstante gelbe Warnsignal leuchten.

Des Weiteren sind Zeit-Anforderungen, wie in der Tabelle 8 auch dargestellt ist, definiert. Für ein bewegliches oder unbewegliches Ziel muss mindestens eine haptische oder akustische Warnung höchstens 1,4 s vor Beginn der Notbremsphase erfolgen. Höchstens 0,8 s vor Beginn der Notbremsphase müssen daraufhin mindestens zwei Warnmodi erfolgen [UNECE, 2014].

	Unbewegliches Ziel			Bewegliches Ziel			
	Zeitpunkt der Warnmodi		Verringerung der Geschwindigkeit (siehe Absatz 6.4.4)	Zeitpunkt der Warnmodi		Verringerung der Geschwindigkeit (siehe Absatz 6.5.3)	Zielgeschwindigkeit (siehe Absatz 6.5.1)
	Mindestens 1, haptisch oder akustisch (siehe Absatz 6.4.2.1)	Mindestens 2 (siehe Absatz 6.4.2.2)		Mindestens 1, haptisch oder akustisch (siehe Absatz 6.5.2.1)	Mindestens 2 (siehe Absatz 6.5.2.2)		
M 3, N 2 > 8 t und N 3	Höchstens 1,4 s vor dem Beginn der Notbremsphase	Höchstens 0,8 s vor dem Beginn der Notbremsphase	Mindestens 10 km/h	Höchstens 1,4 s vor dem Beginn der Notbremsphase	Höchstens 0,8 s vor dem Beginn der Notbremsphase	Keine Auswirkungen	32 ± 2 km/h

Tab. 8: Zeitpunkte der Warnmodi aus [UNECE, 2014]

Vehicle class AEBS fitted to		System class		
		Current	Near future	Longer term
M1	Fatality reduction	313 – 1,149	2,043 – 7,489	1,349 – 4,946
	Break even costs (€)	26 – 216	136 – 966	96 – 703
M2/3	Fatality reduction	4 – 14	96 – 351	55 – 202
	Break even costs (€)	197 – 1,731	1,732 – 12,324	871 – 6,217
N1	Fatality reduction	44 – 160	148 – 543	185 – 681
	Break even costs (€)	26 – 182	68 – 443	76 – 500
N2/3	Fatality reduction	102 – 372	180 – 659	319 – 1,170
	Break even costs (€)	314 – 1,475	432 – 1,938	773 – 3,481
L	Fatality reduction			618 – 2,265
	Break even costs (€)			1,322 – 5,704

Tab. 9: Ergebnisse für die Vermeidung von Todesfällen und Break-Even-Kosten laut [EU-Commission, 2008]

## Kosteneffizienz

Der Deutsche Bundestag veröffentlichte 2016 einen Sachstand mit dem Titel „Vermeidung von Lkw-Auffahrunfällen auf Bundesautobahnen durch Notbremssysteme“. Im Kapitel vier stützen sie sich auf das „Commission Staff Working Document“ der EU-Kommission und stellen die Kosten für eine Lkw-Ausstattung mit AEBS und die durch das Assistenzsystem entstandenen Einsparungen durch Unfallvermeidung gegenüber [Bundestag, 2016].

Aus diesem Arbeitspapier aus dem Jahr 2008 geht hervor, wie viel ein AEBS für Lkw N 2/3 maximal kosten darf, um kosteneffizient zu bleiben. Die Kosteneffizienz berechnet sich aus dem Potenzial zur Vermeidung von Todesfällen, die das System darstellt („Fatality reduction“). So entsteht die Obergrenze, die „Break even costs“ von 314 Euro für ein AEBS in einem Lkw der Kategorie N2/3.

Zu dem Zeitpunkt des Arbeitspapiers im Jahr 2008 kostete ein AEBS laut befragter Hersteller 1.000 €,

jedoch wurde angenommen, dass dieser Preis sich schnell verringern würde, wenn das System sich verbreiten und somit die Produktionszahlen steigen würden. Eine Prognose von 200 bis 250 € wurde genannt. Zu beachten ist auch, wie in Tabelle 9 angezeigt wird, dass die Break-Even-Kosten in den Spalten für die nahe Zukunft („Near future“) und auf lange Sicht („Longer term“) steigen. Das Argument für diese Tendenz ist die technologische Weiterentwicklung des Systems, welches ausgereifter und fähiger wird und somit teurer, jedoch gleichzeitig ein höheres Potenzial zur Vermeidung von Todesfällen aufweisen wird.

Weiterhin wird ein Einsparungspotenzial für „Heavy vehicles“ von jährlich 1.608,9 Mio. Euro oder 275 Euro pro Jahr je Fahrzeug errechnet. Dazu wurde von 1000 Euro Kosten für ein AEBS ausgegangen und der Reduktion von Todesfällen („Fatalities saved“) und schweren Verletzungen („Serious injuries saved“) ein monetärer Wert zugeordnet, um ein Kosten-Nutzen-Verhältnis („Benefit/Cost Ratio“) zu

	Electronic Stability Control		Advanced Emergency Braking		Lane Departure Warning
	Light vehicles	Heavy vehicles	Light vehicles	Heavy vehicles	(all vehicles)
Increase in vehicle cost €	250	1.000	1.000	1.000	600
Fatalities saved (per annum)	2.250	500	7.000	1.020	5.500
Serious injuries saved (per annum)	23.000	2.500	17.000	4.280	30.800
Slight injuries saved (per annum)	260.000	0	-15.000	-1.800	208.500
Value of casualty savings per annum (Million €)	10,802	867	9,213	1.608.9	14,824
Total per vehicle per year €	127	148	54.5	275	84.7
Total value of casualties saved though 13 year vehicle life €	1.651	1.926	708.5	3.575	1.101
Present value €	991	1.155	425	2.147	661
Benefit/Cost Ratio	3.97	1.16	0.43	2.15	1.1

Tab. 10: Ergebnisse bezüglich Einsparungen hinsichtlich verschiedener FAS aus [EU-Commission, 2008]

erstellen. Laut Verfasser wird jedoch darauf hingewiesen, dass aufgrund der zahlreichen Datenquellen die verwendeten Annahmen variieren können [EU-Commission, 2008].

### 2.1.3 Gesetzgebung

Auch die Gesetzgebung behandelt das Thema der Assistenzsysteme und aktualisiert regelmäßig Regelungen und Verordnungen.

#### Aktueller Stand

Die Gesetzgebung für FAS teilt sich in Verordnungen und untergeordneten Regelungen auf. Aktuell gilt für Deutschland bzw. für Europa immer noch die im Juli 2009 verfasste Verordnung (EG) Nr. 661/2009 des europäischen Parlaments über die Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen, Kraftfahrzeuganhängern und von Systemen, Bauteilen und selbstständigen technischen Einheiten für diese Fahrzeuge hinsichtlich ihrer allgemeinen Sicherheit. Diese Verordnung ist seit dem 1. November 2011 gültig und Gegenstand ist die Festlegung grundsätzlicher Anforderungen für die Typgenehmigung von:

- Kraftfahrzeugen und Anhänger sowie Systemen, Bauteilen und technischen Einheiten hinsichtlich ihrer Sicherheit.
- Die Reifendrucküberwachungssysteme von Kraftfahrzeugen hinsichtlich ihrer Sicherheit, Kraftstoffeffizienz und Abgasemissionen.

- Den Gangwechselanzeigern hinsichtlich Kraftstoffeffizienz und Emissionen.
- Neuhergestellten Reifen hinsichtlich Sicherheit, Rollwiderstand und Rollgeräusch.

In dieser Verordnung sind die Fahrerassistenzsysteme für die Fahrzeuge der Klassen M, N und O mit einigen Ausnahmen, die je nach FAS variieren, wie der AEBS, das ESP, das Spurhaltewarnsystem, einen Gangwechselanzeiger und das Reifendrucküberwachungssystem verpflichtend [EU, 2009].

Untergeordnet sind dann die unterschiedlichen Regelungen zu betrachten, welche einheitliche Vorschriften über die einzelnen vorgeschriebenen FAS festlegen. Für das Beispiel des Notbremsassistentensystems ist es die Regelung Nr. 131 der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (UNECE): Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung von Kraftfahrzeugen hinsichtlich des Notbremsassistentensystems. In diesen Regelungen sind die Vorschriften und die detaillierten Rahmenbedingungen für das Prüfverfahren oder Regelungen bezüglich der Produktion niedergeschrieben, die das jeweilige System, in diesem Beispiel das AEBS, vorweisen muss. Die Verordnungen bzw. einzelne Abschnitte sowie die jeweiligen Regelungen werden in regelmäßigen Abständen verändert, erweitert oder aktualisiert. Für das Beispiel des AEBS ist die Verordnung (EU) Nr. 347/2012 zu erwähnen, eine Rechtsakte ohne Gesetzescharakter, welche die Verordnung (EG) Nr. 661/2009 unter anderem mit einem EG-Typgenehmigungsbogen oder die Anforderungen und Prüfverfahren hinsicht-

lich des AEBS ergänzt. Alle Details zu AEBS und deren Vorschriften sind im Kapitel 2.1.2 zu finden [EU, 2012].

Der Gangwechsellanzeiger ist für Fahrzeuge der Klasse M1 mit einer Bezugsmasse von bis zu 2.610 kg, die mit Handschaltgetriebe ausgestattet sind, verpflichtend. Dieser besteht lediglich aus einem optischen Signal, das anzeigt, wann der Fahrer den Gang wechseln sollte [EU, 2009].

Für das Spurhaltewarnsystem dient die Verordnung (EU) Nr. 351/2012 und der Regelung Nr. 130. Dieses System ist für alle Fahrzeugklassen M2, N2, M3 und N3. Wird es nicht manuell deaktiviert, so ist es ab einer Fahrzeuggeschwindigkeit von 60 km/h in Betrieb. Der Fahrer wird durch mindestens zwei Warnmedien gewarnt (optisch, akustisch und haptisch) oder durch ein haptisches oder akustisches Signal mit der Angabe der Richtung, in die das Fahrzeug von der Fahrspur abweicht. Das Spurhaltewarnsystem warnt in dem Moment, wenn die Außenseite des Reifens des Vorderrades des Fahrzeugs eine imaginäre Linie überschreitet, die 0,3 m jenseits der Außenkante der sichtbaren Fahrspurmarkierung liegt. Welche Fahrspurmarkierungen erkannt werden müssen, unterscheidet sich nach Land und ist in der Regelung Nr. 130 im Anhang definiert [UNECE, 2013].

Die Regelung Nr. 141 spezifiziert die Anforderungen des Reifendruckkontrollsystems für die Fahrzeuge der Klasse M1 bis zu einer Höchstmasse von 3.500 kg und Fahrzeuge der Klasse N1, die ein solches System installiert haben. Ausgeschlossen sind hier jedoch Fahrzeuge mit Achsen mit Doppelrädern. Dieses System muss einen plötzlichen Druckverlust im Reifen erkennen und innerhalb von 10 Minuten kumulierter Fahrzeit warnen, falls der Reifendruck um 20 % oder den Mindestdruck von 150 kPa unterschreitet. Zudem muss es auch erkennen, wenn der Reifendruck generell den optimalen Betriebsdruck unterschreitet. Das Warnsignal leuchtet in diesem Fall auf, wenn in einem bzw. höchstens vier Reifen der Druck um 20 % gesunken ist oder einen Mindestdruck von 150 kPa unterschreitet. Die Warnung ist ein optisches Warnsignal [UNECE, 2017].

Alle genannten UN-Regelungen samt weitere Regelungen bezüglich der Mobilität sind auf der Internetseite des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur gelistet und können dort nachgeschlagen werden [BMVI,2020].

In jeder dieser Regelung sind detaillierte Prüfverfahren geschildert, die die FAS durchlaufen müssen, um genehmigt zu werden. Dabei wird immer ihre Funktion geprüft, die jeweiligen genannten Anforderungen müssen erreicht werden.

### Geplante Änderungen

Nach Ablauf der aktuell geltenden Verordnung EG 661/2009 am 5. Juli 2022 tritt die neue Verordnung (EU) 2019/2144 in Kraft. Laut dieser neuen Verordnung haben die Entwicklungen in der Fahrzeugsicherheit großen Anteil dazu beigetragen, die Zahl der bei Verkehrsunfällen getöteten und Schwerverletzten zu senken. Dem Amtsblatt zufolge bleibt die Anzahl der auf den Straßen Verstorbenen seit 2017 konstant. Um diese Zahlen zu senken, sind folgende Anforderungen für die Typengenehmigung festgelegt von:

- Fahrzeugen, Systemen sowie Bauteilen und technischen Einheiten für das Fahrzeug hinsichtlich ihrer Merkmale, Sicherheit und des Schutzes der Fahrzeuginsassen und ungeschützter Verkehrsteilnehmer.
- Reifendrucküberwachungssystemen hinsichtlich ihrer Sicherheit, Kraftstoffeffizienz und CO<sub>2</sub> Emissionen.
- Neu hergestellten Reifen hinsichtlich ihrer Sicherheit und Umweltverträglichkeit.

In dieser neuen Verordnung sind in Artikel 6 die verpflichtenden FAS für alle Kraftfahrzeugklassen gelistet:

- Intelligenter Geschwindigkeitsassistent
- Vorrichtung zum Einbau einer alkoholempfindlichen Wegfahrsperre
- Warnsystem bei Müdigkeit und nachlassender Aufmerksamkeit des Fahrers
- Warnsystem bei nachlassender Konzentration des Fahrers
- Notbremslicht
- Rückfahrassistent
- Ereignisbezogene Datenaufzeichnung

Zum Zeitpunkt des Verfassens dieser Recherche, wird in der neuen Verordnung immer noch auf die aktuellen Regelungen hingewiesen (für AEBS Re-

gelung Nr. 131), sodass detaillierte Angaben über die Anforderungen an die zukünftigen FAS für N2 Fahrzeuge nicht vorhanden sind [EU, 2019].

Die UNECE bietet dennoch Transparenz in ihrer Arbeit und Fortschritt. So sind auf deren Webseite unter „Working Documents“ Regelungen zu finden, an denen gearbeitet wird bzw. Modifikationen durchgeführt werden. Somit lassen sich keine festen Aussagen aus diesen unvollständigen und nicht endgültigen Dokumenten verfassen [UNECE, 2020].

## 2.2 Forschungsstand der Warngestaltung

Das zweite Thema der Literaturrecherche widmet sich der Gestaltung einer Warnung aus kognitions-wissenschaftlicher Sicht. In diesem Unterkapitel wird gezeigt, durch welche Eigenschaften eine Warnung gekennzeichnet ist und wie sie ausgestaltet werden muss, damit sie optimal vom Fahrer verarbeitet werden kann. Dazu wird im Folgenden detailliert auf die Modalitäten und Eigenschaften von Warnungen sowie auf relevante Charakteristika des Empfängers und die Möglichkeiten der Beeinflussung seines Verhaltens eingegangen.

### 2.2.1 Kognitives Modell der Warnung

Warnungen sind eine Form der Entscheidungsstützung, die Informationen zusätzlich zu den Umwelteinflüssen bereitstellen, sie jedoch nicht ersetzen [u. a. WOGALTER, 2006]. Nach dem C-HIP-Modell [WOGALTER, 2006] besteht ihre Aufgabe darin, die Aufmerksamkeit auf Risiken in spezifischen Gefahrensituationen zu lenken [FRICKE, 2009] und diese wahrnehmbar und verständlich zu machen, um die Entscheidungsfindung bei der Auswahl geeigneter Gegenmaßnahmen zu unterstützen [u. a. WOGALTER, 2006; WERNEKE, 2013; CHENG, 2002; DeLUCIA, 2009; WILLIAMS, 2007].

Die Effektivität einer Warnung wird anhand des Verhaltens beurteilt, das aus der Informationsverarbeitung resultiert und gemäß C-HIP-Modell eine Vielzahl kognitiver Prozesse berührt, wie z. B. Aufmerksamkeitszuwendung, Aufmerksamkeits-erhaltung, Verstehen, Gedächtnisleistung sowie Einstellungen, Überzeugungen und Motivation. Damit der Warnungsempfänger ein Verhalten zeigt, das für die Gefahrenabwehr angemessen ist, sollte die Warnungsausgabe vier Anforderungen erfüllen, um diese Prozesse zu unterstützen:

1. Informationsgabe bezüglich der Gefahrenpotenziale
2. Bewertung der Kritikalität
3. Ausgabe von Handlungsempfehlungen
4. Achtsamkeits- und Erinnerungsunterstützung

Zunächst muss gewährleistet werden, dass die Warnung über die Gefahrenpotenziale angemessen informiert, sodass ihre Bedeutung fehlerfrei und eindeutig erkannt wird [KELLER & STEVENS, 2004]. Dies beinhaltet auch Informationen über die Kritikalität der Situation, damit der Empfänger die Dringlichkeit eines Eingriffs unmittelbar erkennt. Um die Entscheidung zu unterstützen, welche Gegenmaßnahmen in der Situation zu ergreifen sind, sollte die Warnung außerdem konkrete Handlungsempfehlungen enthalten [WILLIAMS, 2007], die als zielgerichtete Verhaltensanweisungen formuliert sind und den Empfänger auch über die negativen Konsequenzen eines fehlerhaften Verhaltens aufklären [DONMEZ, 2008]. Insgesamt sollte die Warnung dazu beitragen, die Achtsamkeit des Empfängers in der Gefahrensituation zu erhöhen und – im Zusammenwirken mit der Handlungsempfehlung – ihm dabei helfen, sich an Gefahren und Bewältigungsstrategien zu erinnern, die zwar im Langzeitgedächtnis abgespeichert sind, aber ohne zielführende Hinweise ggf. nicht abgerufen werden würden [WOGALTER, 2006].

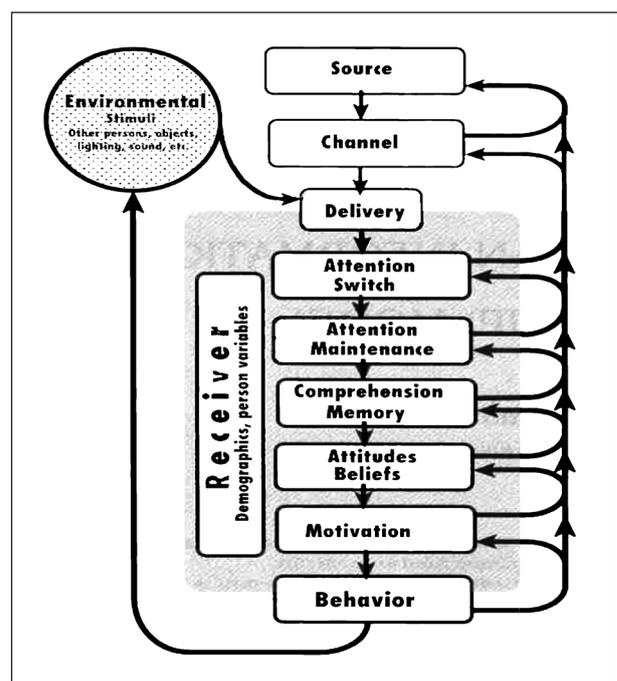


Bild 2: C-HIP-Modell [WOGALTER, 2006]

In den folgenden Kapiteln wird ausgeführt, was bei der Gestaltung einer Warnung beachtet werden muss, damit die vier genannten Anforderungen erfüllt werden können. Die Wahrnehmung einer Warnung erfolgt über eine Sinnesmodalität, d. h. sie kann visuell, akustisch oder haptisch übermittelt werden (vgl. Kapitel 2.2.2). Damit sie so verarbeitet wird, dass sie die Informationsverarbeitung des Empfängers unterstützt, sollte sie eine Reihe spezifischer Eigenschaften aufweisen (vgl. Kapitel 2.2.3). Des Weiteren sind seitens des Empfängers bestimmte Voraussetzungen zu erfüllen (vgl. Kapitel 2.2.4), damit die Warnung richtig verstanden und in ein geeignetes Verhalten umgesetzt wird. Das Verhalten des Empfängers als Reaktion auf die Warnung hat schlussendlich Auswirkungen (vgl. Kapitel 2.2.5) auf die Unfallwahrscheinlichkeit und das zukünftige Risikoverhalten.

### 2.2.2 Modalität der Warnung

Warnungen können den Empfänger über verschiedene Wahrnehmungskanäle erreichen, wobei die Art der Primäraufgabe, während derer gewarnt werden soll, mitbestimmt, über welche Sinnesmodalität am erfolgreichsten gewarnt werden kann.

#### Visuelle Modalität

Visuelle Warnungen haben den Vorteil, Gefahren direkt und konkret repräsentieren zu können [DRESSLER, 2015]. Eine Vielzahl an Studien hat sich bereits mit verschiedenen bedeutungsvollen Einflussgrößen visueller Warnungen auseinandergesetzt und ermittelt, wie sich bspw. die Schriftart, der Kontrast, die Farbe und die Strukturiertheit auf die Aufmerksamkeitslenkung auswirken [DRESSLER, 2015; WOGALTER, 2006]. Allerdings können visuelle Warnungen im Fahrzeug zu einem Overload-Effekt führen (also dazu, dass Fahrer aufgrund zu vieler Reize relevante Informationen verpassen oder verzögert darauf reagieren), da die Primäraufgabe des Fahrens bereits eine hohe visuelle Informationsdichte aufweist [NAVARRO, 2007; DRESSLER, 2015]. Um ein Overload zu umgehen, muss sichergestellt werden, dass Sichtbarkeit und Darbietungsort so gewählt sind, dass dadurch die Wahrnehmungsleistung des Fahrers unterstützt wird [WOGALTER, 2006]. Bei richtiger Gestaltung führen Icons zu kürzeren Verarbeitungszeiten als Texte. Dies ist der Fall, wenn sie:

- Salient sind (also sich z. B. deutlich vom Hintergrund abheben) und somit die Aufmerksamkeit auf sich ziehen (attention capturing),
- komplexe Information vereinfacht darstellen,
- die vereinfachte Darstellung eindeutig im Sinne der Warnung interpretiert werden kann. [DRESSLER, 2015; FRICKE, 2009; WOGALTER, 2006].

Bei der Auswahl und Gestaltung von Icons ist zu beachten, dass eine Ähnlichkeit zu anderen Icons oder Symbolen zu Fehlinterpretationen und Verzögerungen des Verstehens führen kann, weshalb genau überprüft werden muss, wie eindeutig sie als Signal wirken [FRICKE, 2009; WOGALTER, 2006].

#### Auditive Modalität

Aus einigen Studien geht hervor, dass auditorische Reize eine sehr schnelle Reaktion auslösen. In der Informationsverarbeitung kommt es dabei zur Bildung einer direkten Assoziation zwischen Wahrnehmung und Handlung, die schnell abgerufen und umgesetzt wird [u. a. FRICKE, 2009; BEN-YAACOV, 2002; BAUMANN, 2008]. Zudem kann eine auditorische Warnung wahrgenommen werden, ohne den Fokus von der hauptsächlich visuell beanspruchenden Fahraufgabe zu lösen [WOGALTER 2006; BAUMANN, 2008]. Wie bei den visuellen Warnsignalen gibt es auch im auditorischen Bereich eine Vielzahl von Studien, die sich mit den Einflüssen auf die Wirksamkeit auseinandergesetzt haben. Für Töne wurde z. B. ermittelt, dass eine Tonfrequenz von 700 Hz im Vergleich zu 400 Hz, ein größerer Tonumfang, ein Zweiklang, und eine höhere Amplitude (-5 db > -20 db Dämpfung) sowie eine dynamische Zunahme der Lautstärke des Tones zu schnelleren Reaktionen führen [DRESSLER, 2015; CHENG, 2002; HELLIER, 2002].

GRAHAM [1999] unterscheidet drei Untergruppen auditiver Warnungen: „Auditory Icons“, „Earcons“ und „Sprachwarnungen“. Auditory Icons sind Geräuschen aus dem Alltag nachempfunden und zielen darauf ab, spezifische Assoziationen beim Empfänger auszulösen. So könnte beispielsweise das Geräusch quietschender Reifen zur Assoziation „Bremsen“ führen und eine entsprechende Handlung vorbereiten. Unter Earcons versteht man nichtsprachliche Audiosignale, die aus ein bis drei Tönen bestehen und bestimmten Objekten oder Ereignis-

sen zugeordnet sind. Da sie nicht mit Alltagsassoziationen einhergehen, muss ihre Bedeutung erlernt werden. Da beide Formen nicht-sprachlicher Informationen kurze Signale sind, können sie schnell verarbeitet werden, wenn der Empfänger ihre Bedeutung repräsentiert hat. Im direkten Vergleich werden Auditory Icons in der Regel schneller verarbeitet als Earcons.

Sprachwarnungen müssen vollständig gehört werden, um vollumfänglich verstanden zu werden, sodass sie eine konkrete Reaktion hervorrufen können. Je nach Länge der sprachlichen Mitteilung erfordert dies unterschiedlich viel Zeit. Im Vergleich zu Auditory Icons und Earcons gehen Sprachwarnungen mit längeren Reaktionszeiten einher, aber die erwünschte Reaktion wird bei ihnen eher gezeigt als bei Auditory Icons oder Earcons [GRAHAM, 1999; vgl. CHENG, 2002]. Die Studie von GRAHAM [1999] zeigt zudem, dass Sprachwarnungen im direkten Vergleich der drei Untergruppen von Fahrzeugführern präferiert werden. Weiterführend zeigt die Studie von WOGALTER [2006], dass auditorische Sprachwarnungen effektiver sind als gedruckter Text. Die Ausführung der Sprachmitteilung muss allerdings möglichst prägnant sein, da kurze, wenig komplexe Mitteilungen den größtmöglichen Effekt zeigen [WOGALTER, 2006]. Um das Verständnis der Sprachmitteilung nicht zu reduzieren und dennoch die Mitteilung kurz zu halten, können auditive Signalwörter verwendet werden [FRICKE, 2009]. In Experimenten von LAUGHERY [2009] zeigte sich, dass solche Wörter (gemäß dem Signal-Word-Panel) unterschiedlich stark aufmerksamkeitsanziehend sein können. Der Signal-Word-Panel beschreibt dabei das Zusammenspiel von Signalwörtern (Gefahr, Warnung, Achtung), Farbkodierungen (rot für Gefahr, orange für Warnung, gelb für Achtung) und Alarm Symbolen innerhalb einer Warnung [WOGALTER, 2006]. „Gefahr!“ zeigte sich als salienter als „Warnung!“ und das wiederum salienter als „Vorsicht!“. Die beschriebenen Erkenntnisse weisen darauf hin, dass Sprachwarnungen in einem Warnsystem verwendet werden können, wenn eine angemessene Verarbeitungszeit für die Informationen gewährleistet wird, wie es bspw. innerhalb eines Vorwarnprozesses der Fall ist.

### **Haptische Modalität**

Studien zur haptischen Modalität zeigen sowohl Vor- als auch Nachteile haptischer Warnsignale auf [vgl. SCOTT, 2008; vgl. HO, 2005]. Der Vorteil die-

ses Signaltyps besteht in der geringen sonstigen Verwendung in Fahrsituationen [FRICKE, 2009], wodurch eine schnelle Reaktion seitens des Fahrers ermöglicht wird [DUFFY, 1995; HO, 2005]. HO [2005] führen als weiteren Vorteil ihren geringen Ablenkungsgrad an. Ein Nachteil dagegen ist, dass haptische Warnungen nur eine sehr einfache Informationsgabe ermöglichen, da es keine direkte Assoziation zwischen ihnen und einer Gefahr gibt. So können beispielsweise Vibrationssignale des Lenkrads oder ein Straffen des Sicherheitsgurts den Empfänger kurzzeitig aktivieren und seine Aufmerksamkeit erhöhen, aber keine genaue Bedeutung vermitteln [FRICKE, 2009]. Dadurch kann es zu Fehlinterpretationen und Irritationen kommen, die hohe False-Alarm-Raten zur Folge haben [SCOTT, 2008]. Hinzu kommt, dass in den bisherigen Fahr-simulatorstudien haptische Warnungen gegenüber Warnungen in anderen Modalitäten als „am meisten störend“ von den Probanden beurteilt wurden [SCOTT, 2008; BAUMANN, 2008].

### **Multimodalität**

Werden Informationen simultan über mehr als eine Modalität vermittelt, so spricht man von Multimodalität. Der Vorteil des Warnens auf mehreren, kombinierten Sinneskanälen besteht darin, dass dies in den meisten Fällen zu einer schnelleren Wahrnehmung und Verarbeitung der Warnung führt [FRICKE, 2009; HO, 2007; WOGALTER, 2006]. Dies lässt sich mit der Redundanz der Signale erklären, durch die das Verfehlen einer Information auf einem Kanal durch Informationen auf einem anderen Kanal ausgeglichen werden kann [WOGALTER, 2006]. Visuomotorische Anforderungen können am besten mit einfachen auditorischen und haptischen Signalen vereinbart werden, im Vergleich mit Kombinationen visueller Signale [DRESSLER, 2015]. Dabei können visuomotorische Signale zu einer schnelleren Reaktion auf situative Gefahren führen [HO, 2005; SCOTT, 2008], während auditorische und visuelle Warnungen am besten die Ausführung des relevanten Verhaltens unterstützen [WOGALTER, 2006]. Multimodale Warnungen können allerdings auch Reaktionszeiten verlängern [BAUMANN, 2008], wenn die kognitive Beanspruchung durch eine Vielzahl von Umweltreizen bereits sehr hoch ist [KAUFMANN, 2008].

### 2.2.3 Spezifische Eigenschaften der Warnung

Neben der gewählten Modalität beeinflussen weitere Eigenschaften einer Warnung ihre Wirksamkeit und sollten bei ihrem Design überdacht werden.

#### Kontinuität und Dauer

Bei der Gestaltung jeder Art von Information im Fahrzeug ist zu entscheiden, ob sie kontinuierlich und dauerhaft präsentiert wird (wie z. B. die Geschwindigkeitsanzeige) oder ob sie an ein Ereignis gekoppelt und ihre zeitliche Darstellung beschränkt ist (wie z. B. bei einer Kollisionswarnung). Dabei ist ihre Dauer so zu gestalten, dass der Ablenkungsgrad von der Primäraufgabe minimal ausfällt [DRESSLER 2015; WOGALTER, 2006]. Des Weiteren sollte sie rechtzeitig vor Eintritt der Gefahr erfolgen, aber nicht verfrüht, denn je länger sie andauert, ohne dass eine Gefahr erkennbar ist, desto eher wird sie ignoriert, da sie als Fehlalarm oder unnütze Information erscheint [HOROWITZ, 1992]. Frühe Warnungen führen zu einer besseren Einschätzung der Gefahrensituationen und angemessenerem Verhalten [SCOTT, 2008]. Hierfür eignen sich dynamisch gestaltete Warnungen, deren Intensität sich analog zur Dringlichkeit der Situationsbewältigung erhöht [LAUGHERY, 2006]. Eine Studie von ZHANG [2019] zeigt außerdem, dass die Frequenz von Warnungen in Notfallsituationen höher sein sollte.

#### Spezifität

Die Spezifität einer Warnung sollte den situativen Gefahrenmerkmalen angemessen sein [WOGALTER, 2006; vgl. HOROWITZ, 1992]. Um das Gefährdungspotenzial korrekt und umfänglich verstehen zu können, sollten dem Empfänger möglichst genaue Informationen zur Situation übermittelt werden [WILLIAMS, 2007] und Verhaltensaufforderungen sollten konkret und zielführend formuliert sein. Dafür eignen sich insbesondere sprachliche Warnungen, da sie explizit und detailliert die wichtigsten Informationen über die Gefahren, deren mögliche Konsequenzen und geeignete Gegenmaßnahmen enthalten können. Visuelle und auditorische Icons (allein) können dies nicht leisten, eignen sich aber zur Aufmerksamkeitslenkung und damit zur Verkürzung von Reaktionszeiten [WOGALTER, 2006]. Nachteilig ist allerdings, dass sie in verschiedenen Situationen zu unterschiedlichen Interpretationen führen können [GRAHAM, 1999]. Beispielsweise

könnte ein ikonisches Warndreieck als allgemeiner Warnhinweis gedeutet werden, aber nicht als spezifische Warnung über eine konkrete und aktuelle Gefahr. Um die Vorteile sprachlicher und ikonischer Warnungen zu nutzen, empfiehlt sich die Spezifizierung von Warnungen gemäß dem Signal-Word-Panel [WOGALTER, 2006], also die Kombination geeigneter Sprachinformationen mit möglichst gut interpretierbaren Icons sowie eine angemessene Farbkodierung der grafischen Elemente. Derart gestaltete Warnungen mit einer hohen Spezifität des Warntextes und der -symbole erhöhen die Warneffektivität [WOGALTER, 2006].

#### Komplexität

Je spezifischer eine Warnung ist, je ausführlicher sie also über die Gefährdung informiert, desto komplexer ist sie. Um die dadurch entstehende Belastung der Empfänger zu begrenzen und trotzdem angemessen zu warnen, sollte die Komplexität der Warnung der Komplexität der Situation angemessen sein und ihre Formulierung möglichst dem Vorwissen und den Einstellungen angepasst werden [WOGALTER, 2006]. Da bei steigender Komplexität der Gefahrensituation die mentale Beanspruchung stark zunimmt, können mit einer geeigneten Anpassung und Begrenzung ein Informationsüberfluss und somit auch ein Ansteigen der Reaktionszeit vermieden oder zumindest reduziert werden [SCOTT, 2008; KAUFMANN, 2008; CHENG, 2002]. Zur Reduktion der Komplexität kann die Information über die Gefahrensituation in zwei Phasen unterteilt werden, und zwar in eine allgemeinere Vorwarnung, zeitlich gefolgt von der eigentlichen spezifischen Warnung. Dies setzt allerdings voraus, dass genügend Zeit bis zum Eintritt der Gefahr zur Verfügung steht, dass also bereits mit der Informationsübermittlung begonnen werden kann, wenn die Dringlichkeit zu handeln noch nicht sehr hoch ist.

Vorwarnungen sollten allgemein sowie kurz und prägnant über die kommende Gefahrensituation informieren. Dafür empfiehlt sich die auditorische Modalität und die Verwendung sprachlicher Informationen [DRESSLER, 2015; WOGALTER, 2006]. Vorwarnungen lenken die Aufmerksamkeit auf die kommende Gefahrensituation und bereiten auf deren Bewältigung vor [HOROWITZ, 1992]. Eine Reihe von Studien zeigen, dass sie die Akzeptanz, die Effektivität und das fahrbezogene Vertrauen in die nachfolgende Warnung steigern [HO, 2007; WILLIAMS, 2007]. Diese nachfolgende Warnung sollte

weitere spezifischere Informationen vermitteln und handlungsleitend sein, was sich über visuelle Anzeigen in Kombination mit Sprache erreichen lässt [DRESSLER, 2015; WOGALTER, 2006]. So könnte z.B. eine Vorwarnung darüber informieren, dass sich ein Stau in einigen Kilometern Entfernung befindet, während die eigentliche Warnung ausgegeben wird, wenn sich der Fahrer dem Stauende (ggf. zu schnell) nähert.

### Dringlichkeit

Je näher eine Gefahr zeitlich liegt, desto dringlicher ist es, auf sie zu reagieren. Bleibt nur wenig Zeit für die Gefahrenabwehr, ist auf Vorwarnungen und sprachlich gestaltete Warnungen zu verzichten. Als geeignetes Format in dringlichen Situationen empfehlen sich deshalb Warntöne. Für deren Gestaltung schlägt FRICKE 2009 vor, ihre Frequenz und Amplitude der Dringlichkeit und dem Gefahrenschweregrad anzupassen. Zur Unterstützung der Aufmerksamkeitsprozesse sollte die Warnung in einem zeitlichen Rahmen präsentiert werden, in dem die Gefahr physikalisch und zeitlich nahe liegt, aber gleichzeitig noch ausreichend Zeit zum Reagieren gegeben ist [WOGALTER, 2006]. Um beim Führen eines Fahrzeugs in Gefahrensituationen negative Effekte, wie eine Kollision durch Ablenkung von der primären Fahraufgabe, zu vermeiden, sollte allerdings keine Warnung ausgegeben werden, wenn der Abstand zum Vorderfahrzeug sehr gering ist oder wenn die Entschleunigung sehr hoch ist [LAUGHERY, 2006].

In Situationen mit sehr niedriger Dringlichkeit besteht die Möglichkeit, dass eine bestehende Warnung nicht oder nur verzögert beachtet wird, da sie als unnütz oder irreführend wahrgenommen wird [ZHANG, 2019]. Anders verhält es sich, wenn gefahrenbezogene Informationen klar als Vorwarnung erkennbar sind, die auf eine weiter entfernt liegende Gefährdung hinweisen. Ausgehend von der Dringlichkeit der Gefahrenabwehr empfiehlt sich also der Einsatz von Vorwarnungen, wenn die Gefahr zeitlich weit entfernt ist sowie die Verwendung eindeutiger akustischer Signale bei hoher Dringlichkeit. Bei geeigneter Gestaltung eines Soundsystems im Fahrzeuginneren ermöglichen derartige Signale zudem, auf den Ort der Gefahr hinzuweisen oder die Richtung anzuzeigen, aus der sich die Gefahr nähert (Spatial Cueing). Dadurch wird die Reaktion auf die Warnung beschleunigt und das Verhalten optimiert [WERNEKE, 2013; FRICKE, 2009; WOGALTER, 2006].

### Geschlossenheit

Geschlossenheit ist ein allgemeines Designprinzip für die Gestaltung von Systemmeldungen, das bei der Entwicklung von Interfaces eine bedeutende Rolle spielt und zu den sog. „Eight Golden Rules“ zählt [SHNEIDERMAN, 2016]. Dabei wird zwischen zeitlicher und räumlicher Geschlossenheit unterschieden. Eine Meldung ist zeitlich geschlossen, wenn klar ersichtlich ist, wann sie beginnt und wann sie endet. Sie ist räumlich geschlossen, wenn Umfang bzw. Länge (beispielsweise einer Textnachricht) durch eindeutige Grenzen gekennzeichnet sind, sodass sie von anderen Informationen zu unterscheiden ist. Durch die beiden Formen der Geschlossenheit wird die zeitliche Dauer und die Länge der Meldung signalisiert. Dabei sind beide Aspekte nicht unabhängig voneinander, d.h. eine längere Nachricht nimmt in der Regel mehr Zeit in Anspruch als eine kürzere. Wendet man das allgemeine Prinzip der Geschlossenheit auf Warnungen an, so gilt es zunächst für die Warnung per se, d.h. deren Beginn und Ende sollten klar zu erkennen sein, sodass sie sich auch von anderen – ggf. simultanen – Informationen abgrenzen lässt. Da sich die Warnung auf eine Gefahrensituation bezieht, die einen zeitlichen Verlauf hat, ist der Aspekt der zeitlichen Geschlossenheit aber auch auf die Gefahrensituation selbst zu übertragen, d.h. es sollte kommuniziert werden, wann die Gefährdung beginnt und wann (bzw. ob) sie vorüber ist. Für Warnungen im Fahrzeug spielt zudem der Aspekt der räumlichen Geschlossenheit eine Rolle. Er bezieht sich auf die Gefahrenzone, die das Fahrzeug durchquert, sodass Eintritt und Verlassen dieser Zone angezeigt werden sollten. Für Warnungen dieser Art bedingen sich die beiden Aspekte Gefahrenzone und Gefährdungsdauer. Je größer die Gefahrenzone, desto länger die Gefährdung (bei konstanter Geschwindigkeit). Zusammen betrachtet verlangt die Berücksichtigung von zeitlicher und räumlicher Geschlossenheit also, dass sowohl für die Warnung als auch für die Gefahrensituation, auf die sie sich bezieht, Beginn und Ende eindeutig zu kennzeichnen und zu kommunizieren sind.

### 2.2.4 Voraussetzungen seitens des Empfängers und Konsequenzen für die Warngestaltung

Bestimmte Eigenschaften des Empfängers beeinflussen die Wirksamkeit der Warnung und sollten bei ihrer Konzipierung berücksichtigt werden.

#### Aufmerksamkeit

Eine Herausforderung für die Gestaltung von Warnungen besteht darin, dass der Fahrer seine Aufmerksamkeit auf die Warnung lenkt, um sie angemessen verarbeiten zu können, ohne seinen primären Fokus von der Straße zu nehmen [DRESSLER, 2015; KAUFMANN, 2008; WOGALTER, 2006]. Dies kann durch die Wahl der Wahrnehmungsmodalität maßgeblich unterstützt werden. Außerdem spielt hierfür die Dringlichkeit, mit der Informationen benötigt werden, eine bedeutende Rolle. Dabei sollten Informationen mit höherer Priorität Vorrang vor Informationen mit niedriger Priorität haben [KAUFMANN, 2008]. So sollte bspw. eine dringliche Kollisionswarnung stets die Ausgabe einer generellen Information mit niedriger situativer Priorität unterdrücken, verdecken oder zeitlich nach hinten verschieben.

#### Verständnis

Für die Verarbeitung der Warnung ist es essenziell, dass der Fahrer die Warnung zu jedem Zeitpunkt des Warnprozesses nicht nur wahrnehmen, sondern auch verstehen kann [FRICKE, 2009]. Ein intuitives Verständnis der Warnung ist dabei eine wichtige Grundlage für schnelle und angemessene Reaktionen [FRICKE, 2009; WOGALTER, 2006; LAUGHERY, 2006]. Dies wird erreicht, wenn kontextbezogener Textelemente und Symbole verwendet werden, die an das Vorwissen des Fahrers anknüpfen und bestehenden Konventionen – wie z. B. der Verwendung der Signalfarbe für Gefahr entsprechen [LAUGHERY, 2006]. Lässt sich dies nicht realisieren, so können Trainings das Verständnis der Warnung sowie der Symbole fördern [WOGALTER, 2006].

#### Akzeptanz

Eine zentrale Voraussetzung für das Befolgen einer Warnung besteht in ihrer Akzeptanz durch den Fahrer. Akzeptanz kann gefördert werden, wenn:

1. Die Verhaltensanforderungen, die aus der Warnung resultieren, kompatibel sind zum Situationsverständnis des Fahrers,
2. die Einstellung des Fahrers zu Warnsystemen positiv ist [WILSON, 2007],
3. das Kosten-Nutzen-Verhältnis für die Befolgung der Warnung positiv ausfällt.

Letzteres steht in einer Abhängigkeit zu den Situationseigenschaften wie auch zur Benutzung des Systems [WOGALTER, 2006]. Die wahrgenommenen Kosten können durch eine Schaffung zusätzlicher Anreize – bspw. durch positives Feedback – kompensiert werden [DONMEZ, 2008]. Ebenso lässt sich die Akzeptanz des Fahrers fördern, wenn die Warnung an dessen Erfahrung (Laie, Novize, Experte) angepasst wird [LAUGHERY, 2006].

Dagegen kann sich die Akzeptanz verringern, wenn:

1. Die Warnung nicht mit der Situation in Verbindung gebracht wird;
2. keine, eine zu späte oder eine zu frühe Warnung ausgegeben wird [BEN-YAACOV, 2002; BELLA, 2011; HOROWITZ, 1992];
3. die situative Gefahr schon vorher vom Fahrer selbst entdeckt wurde;
4. eine generelle Abneigung gegen Warnsysteme vorliegt [u. a. VÁRHELYI, 2015].

#### Vertrauen

Vertrauen ist eine zentrale Voraussetzung für Akzeptanz sowie für das Befolgen einer Warnung und hängt maßgeblich von der Glaubwürdigkeit der Warnung ab [WILLIAMS, 2007]. Vertrauen ist allerdings keine konstante Größe, sondern verändert sich dynamisch in Abhängigkeit vom wahrgenommenen Nutzen und der erlebten Angemessenheit der Warnung. So ist beispielsweise aus Forschungsarbeiten zu Assistenzsystemen bekannt, dass eine regelmäßige und erfolgreiche Systemnutzung dazu führen kann, dass man sich ganz auf die Assistenz verlässt und nicht mehr detailliert auf die Umwelt achtet [JOSHI, 2008]. Dieses Phänomen ist als „Overtrust“ bekannt und kann im Zusammenhang mit Warnungen dazu führen, dass ein Fahrer sich in Sicherheit glaubt, solange keine Warnung erfolgt. Zusätzlich haben LAUGHERY [2006] ermittelt, dass bei steigender Vertrautheit des Fahrers mit einer Gefahr Warnungen weniger ernstgenommen wer-

den. Beide Phänomene können sich zusammen auf das Fahrverhalten auswirken und zu sog. „Misuse“ führen, d.h., dass die durch ein Warnsystem erzeugten Sicherheitsreserven durch eine riskantere Fahrweise verspielt werden (Risikohomöostase). Auf der anderen Seite können unangemessene Warnungen oder Falsche Alarmer das Vertrauen in eine Warnung reduzieren und „Disuse“ zur Folge haben. Dies bedeutet, dass eine Warnung in Situationen missachtet oder nicht befolgt wird, in denen sie angemessen ist. Für die Wirksamkeit einer Warnung ist also ein angemessenes Vertrauensniveau notwendig, das wiederum von der erlebten Nützlichkeit und Angemessenheit abhängt, die das Design der Warnung ermöglicht.

### Befolgung

Warnungen führen durch den Abruf latent vorhandenen Wissens zur Veränderung des Fahrverhaltens und zu bewusster Achtsamkeit [WOGALTER, 2006; BEN-YAACOV, 2002]. Die Befolgung und somit die Effektivität einer Warnung hängt von der Risikobereitschaft, der Konformität, dem Kosten-Nutzen-Verhältnis, der Veränderungswahrscheinlichkeit sowie von Gedächtnisprozessen ab [FRICKE 2009; WOGALTER, 2006; vgl. C-HIP-Modell]. Spezifische und klar formulierte Warnungen tragen zu angemesseneren Entscheidungsfindungen bei, da sie zu einer konkreten Repräsentation der Gefahr führen [DRESSLER 2015; LAUGHERY, 2006]. Durch eine Anpassung der Warnung an vorhandene behaviorale Strategien lässt sich zudem die Reaktionszeit verkürzen [EHRENPFORDT, 2008] und der Befolgungsgrad erhöhen [ZHAO, 2012]. Voraussetzung dafür ist allerdings, dass die Entscheidung für die Befolgung beim Fahrer liegt, das Warnsystem also lediglich unterstützend wirkt, indem es mögliche Konsequenzen in Abhängigkeit von umweltbezogenen Einflussfaktoren und dem Fahrstil anzeigt [FRICKE, 2009; BIRRELL, 2012].

### 2.2.5 Auswirkung von Warnungen

#### Unfallwahrscheinlichkeit

Nach dem Task Capability Model [FULLER, 2005] steigt die Unfallwahrscheinlichkeit, wenn die Aufgabenschwierigkeit größer ist, als es die kognitive Kapazität des Fahrers erlaubt [vgl. auch NAVARRO, 2007; vgl. Overload-Effekt]. Warnungen wirken dem entgegen, indem sie die situative Aufgabenschwierigkeit verringern [FULLER, 2005]. Allerdings bleibt

das Unfallrisiko hoch, wenn die entstehenden Kosten durch die Befolgung der Warnung den wahrgenommenen Nutzen überwiegen, sodass die Fahrer dem Verhaltenshinweis nicht nachkommen [DRESSLER 2015]. Für die Befolgung von Warnungen und damit für eine dauerhafte Absenkung der Unfallwahrscheinlichkeit ist eine langfristige Veränderung des Verhaltens sowie der Überzeugungen und des Vertrauens des Fahrers notwendig [DRESSLER, 2015; BEN-YAACOV, 2002]. Eine derartige Veränderung hängt maßgeblich vom wahrgenommenen Nutzen der Warnung ab und dem Erfolgserleben bei ihrer Befolgung ab.

### Risikoverhalten

Warn- und Assistenzsysteme können durch frühzeitiges Warnen das Risikoverhalten des Fahrers positiv beeinflussen, wenn sie dessen Aufmerksamkeit auf die drohende Gefahr lenken und eine angemessene Verhaltensänderung bewirken, wie etwa die Reduktion der Geschwindigkeit bei Glätte. Dies führt zu einer Neubewertung der Situation und dadurch zur Anpassung des Verhaltens [WERNEKE, 2013]. Ebenso kann durch Unterstützung bei der Entscheidungsfindung mittels informierender Warnsysteme das Risikoverhalten minimiert werden, was längerfristig zu einer warnkonformen Anpassung des Verhaltens führen kann [DRESSLER, 2015].

### 2.2.6 Implikationen für eine Strategie zur Warnung vor Straßenglätte

Die zu erarbeitende Konzeption für eine Warnstrategie bei Straßenglätte geht von drei Vorannahmen aus:

- Das Glättegebiet kann vom Fahrzeug eindeutig verortet werden.
- Das Gebiet wird so frühzeitig erkannt, dass ein genügend großes Zeitbudget für die Präsentation von Gefährdungsinformationen zur Verfügung steht.
- Das Gefahrenpotenzial kann auf Basis einer hinreichend genauen Reibwertprognose abgeschätzt werden.

Bild 3 fasst die Basismerkmale von Warnungen zusammen. Blau und kursiv gestaltete Punkte verdeutlichen, welche der Merkmale auf Basis der Literaturrecherche für die erste Konzeption der Warnstrategie als geeignet erscheinen.

<p><b>Modalität</b></p> <p>Unimodal vs. bimodal vs. <i>multimodal</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>akustisch: Ton / Sprache</i></li> <li>• <i>visuell: Symbol / Text</i></li> <li>• haptisch</li> </ul> <p><b>Kontinuität</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>permanent</i></li> <li>• situationsbedingt</li> </ul> <p><b>Verlauf</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Eindeutiges Signal zum Beginn der Gefährdung</i></li> <li>• <i>Eindeutiges Signal zum Ende der Gefährdung</i></li> <li>• <i>Phasen:</i> <i>Vorwarnung → Warnung → Entwarnung</i></li> </ul>	<p><b>Dringlichkeit</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Ausgewogener Zeitpunkt der Warnung</i></li> <li>• <i>Signalisierung der Dringlichkeit</i></li> <li>• <i>Anpassung an Situation &amp; Schweregrad der Gefahr</i></li> </ul> <p><b>Semantik</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Art der Gefährdung</i></li> <li>• <i>Verhaltenshinweise</i></li> <li>• <b>Mögliche Konsequenzen bei Missachtung</b></li> </ul>
--	--

Bild 3: Grundlegende Merkmale von Warnungen

### 3 Analyse von Unfällen von schweren Lkw mit vermindertem Kraftschluss

Ziel in diesem Kapitel war es, einen Überblick über die Unfallsituation von schweren Lkw (N3) zu geben, bei denen Kraftschlussminderung eine Rolle gespielt haben könnte. Dabei wurden 2 Szenarien betrachtet: Auffahrunfälle, bei denen der Lkw auf ein weiteres Fahrzeug aufgefahren ist, sowie Fahr-unfälle, bei denen der Lkw-Fahrer die Kontrolle über sein Fahrzeug verlor. In einem weiteren Schritt wurden Einzelfallstudien durchgeführt, um geeignete Unfallabläufe für die Simulation zu identifizieren.

Hierfür wurden die Daten der GIDAS Unfalldatenbank (German In-Depth Accident Study) analysiert. GIDAS bietet umfassende Erkenntnisse zum deutschen Unfallgeschehen, die in Tiefe und Güte über die in amtlichen Unfallstatistiken enthaltenen Informationen hinausgehen. Sie gründet auf einer für die Region Dresden und Region Hannover repräsentativen Erhebung von Verkehrsunfällen mit Verletzten oder Getöteten [JOHANNSEN, 2017]. Nachdem die Erhebungsteams durch die Polizei automatisch über Unfälle mit Verletzten oder Getöteten informiert werden, fährt ein interdisziplinäres Team zeitgleich mit Polizei und Rettungskräften zur Unfallstelle und erhebt Daten aus verschiedenen unfallspezifischen Bereichen. Während der Erhebungszeiten wird dann eine repräsentative Zufallsstichprobe der Unfälle erhoben. Durch die Auswahl der Erhebungsgebiete mit ähnlichen Anteilen der ver-

schiedenen Straßenarten wie in ganz Deutschland entsprechen die erhobenen Daten dem gesamtdeutschen Unfallgeschehen.

#### 3.1 Fallauswahl

Für die Analyse wurden die GIDAS Jahrgänge 1999 bis 2019 herangezogen mit zu dem Zeitpunkt 37.787 fertig kodierten und rekonstruierten Fällen in der Datenbank. Hiervon waren 1.702 Beteiligte Lkw der Fahrzeugklasse N3 (mit einer zulässigen Gesamtmasse von mehr als 12 Tonnen) oder eine Sattelzugmaschine. Anschließend wurden von den 1.702 beteiligten schweren Lkw die Beteiligten herausgefiltert, bei denen ein verminderter Kraftschluss zwischen Reifen und Straße vorhanden war. Die Filterkriterien waren dabei:

- Amtliche Unfallursache ist:  
70 (Verunreinigung durch Öl)  
oder 71 (Andere Verunreinigungen)  
oder 72 (Schnee, Eis)  
oder 73 (Regen)  
oder 74 (Andere Einflüsse der Straßenverhältnisse)
- Oder: Zustand Straßenoberfläche ist gem. GIDAS-Variable STROB feucht, Raureif/Eis oder Schnee
- Oder: Verschmutzung der Fahrbahnoberfläche ist gem. GIDAS-Variable SCHMUTZ mit Öl, Kraftstoff, Schmutz oder „Andere“ kodiert.

Hieraus resultierten 444 Unfallbeteiligte schwere Lkw mit Kraftschlussminderung.

Im Rahmen dieser Studie wurde es für sinnvoll empfunden, zwei Unfallszenarien mit Kraftschlussminderung näher zu untersuchen: Auffahrunfälle und Fahrnfälle (Kontrollverlust oder Schleudern).

Bei den Auffahrunfällen wurden Fälle ausgewählt, bei denen der schwere Lkw auf ein weiteres Fahrzeug aufgefahren ist und bei dem vor der Kollision mit mindestens  $1 \text{ m/s}^2$  versucht wurde zu bremsen und die maximale Bremsverzögerung nicht mehr als  $4 \text{ m/s}^2$  (verminderter Kraftschluss) betrug. Dies resultierte in 15 Auffahrunfällen, die diesen Kriterien entsprachen. Die Filterkriterien für die Auffahrunfälle waren:

- Unfalltyp<sup>1</sup> 60x, 61x, 62x
- N3-Lkw als Unfallauslöser: Ist UTYP A
- Verzögerung vor Kollision (BVP)  $1 \leq a \leq 4 \text{ m/s}^2$

Bei den Fahrnfällen wurden Fälle ausgewählt, bei denen der Lkw bei vermindertem Kraftschluss (nicht mehr als  $6 \text{ m/s}^2$ ) durch einen Fahrnfall die Kontrolle über sein Fahrzeug verlor. Dabei wurden die Unfalltypen der Kategorie 1 – Fahrnfall ausgewählt, bei denen es keine Mitwirkung von Fahrbahnquerschnittsveränderungen, Gefälle oder Unebenheiten gab. Bei den Unfalltypen in dieser Kategorie, die auf einer geraden Strecke passierten, musste der Lkw zusätzlich geschleudert haben vor der ersten Kollision, um Unfälle durch eine zu niedrige Aktivierung des Fahrers wie Einschlafen oder Krankheiten herauszufiltern (Detailliertere Angaben über die Unfalltypen sind dem Katalog im Anhang zu entnehmen). Dies resultierte in 18 Fahrnfällen, die diesen

Kriterien entsprachen. Die Filterkriterien für die Fahrnfälle waren:

- Unfalltyp 101-139
- oder (141, 153, 163, 173, 183 und SCHLEU=1)
- N3-Lkw als Unfallauslöser: Ist UTYP A
- max. mögliche Verzögerung  $\mu_{\max} \leq 6 \text{ m/s}^2$

### 3.2 Analyse des Unfallgeschehens bei Auffahrunfällen von Lkw

Um einen Überblick über die Unfallsituation der Unfallbeteiligten Lkw bei Auffahrunfällen und Fahrnfällen zu geben, wurden relevante Unfallmerkmale analysiert und mit den jeweiligen Kontrollgruppen der Lkw-Beteiligten (alle Unfälle ohne Auffahrunfälle bzw. Fahrnfälle) verglichen.

Bei den Auffahrunfällen war der Unfalltyp 623, bei dem ein Lkw auf einem Wartepflichtigen an einer Ampel auffährt, mit 8 von 15 Fällen am häufigsten, gefolgt von dem Unfalltyp 601 (Auffahrunfall auf einen Vorfahrenden) mit 3 von 15 Fällen (siehe Tabelle 11). Bei allen anderen Lkw-Unfällen hingegen waren diese Unfalltypen mit 2 % (Utyp 623) bzw. 10,4 % (Utyp 601) entsprechend seltener vorhanden.

Nahezu alle Auffahrunfälle ereigneten sich am Tag (14 von 15 beteiligte Lkw-Fahrer), während bei der Kontrollgruppe 75,9 % am Tag, 6,3 % in der Dämmerung und 17,9 % in der Nacht am Unfall beteiligt waren.

Hinsichtlich der Ortslage zeigte sich, dass die meisten Unfallbeteiligten (11 unfallbeteiligte Lkw) einen Auffahrunfall innerorts hatten und nur jeweils 2 beteiligte Lkw an einem Auffahrunfall außerorts (ohne Autobahn) und an einem Auffahrunfall auf der Autobahn beteiligt waren. Im Vergleich dazu waren nur 38,4 % der Kontrollgruppe an einem Innerortsunfall

<sup>1</sup> Unfalltypenkatalog gem. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V. [IFS, 1998]. Siehe Anhang.

UTYP	Auffahrunfall gem. Kriterien	Nicht Auffahrunfall gem. Kriterien	UTYP	Auffahrunfall gem. Kriterien	Nicht Auffahrunfall gem. Kriterien	UTYP	Auffahrunfall gem. Kriterien	Nicht Auffahrunfall gem. Kriterien
601	20,0 % (n = 3)	10,4 % (n = 175)	611	13,3 % (n = 2)	14,6 % (n = 247)	621	6,7 % (n = 1)	0,5 % (n = 9)
602	0,0 % (n = 0)	2,0 % (n = 34)	612	6,7 % (n = 1)	1,8 % (n = 30)	622	0,0 % (n = 0)	0,1 % (n = 1)
603	0,0 % (n = 0)	1,0 % (n = 17)	613	0,0 % (n = 0)	0,9 % (n = 15)	623	53,3 % (n = 8)	2,0 % (n = 34)
604	0,0 % (n = 0)	0,0 % (n = 0)	614	0,0 % (n = 0)	0,0 % (n = 0)	624	0,0 % (n = 0)	0,0 % (n = 0)
609	0,0 % (n = 0)	0,1 % (n = 1)	619	0,0 % (n = 0)	0,1 % (n = 1)	629	0,0 % (n = 0)	0,2 % (n = 4)

Tab. 11: Unfalltyp-Verteilung bei an Auffahrunfällen beteiligten Lkw im Vergleich zur Kontrollgruppe (kein Auffahrunfall)

beteiligt und 15,7 % an einem Unfall außerorts. Die meisten beteiligten Lkw aus der Kontrollgruppe (45,9 %) waren allerdings an einem Unfall auf der Autobahn beteiligt.

Nahezu 3/4 der an einem Auffahrunfall beteiligten Lkw kollidierten mit einem Pkw (11 von 15), die verbliebenen 4 Lkw kollidierten mit einem Nutzfahrzeug (Tabelle 12). Im Vergleich dazu sind bei allen anderen Lkw-Unfällen auch Pkw als Unfallgegner am häufigsten (49,0 %), gefolgt von Nutzfahrzeugen (19,6 %), allerdings finden sich hier auch ungeschützte Verkehrsteilnehmer als Unfallgegner, die bei den Auffahrunfällen nicht vorhanden waren.

Die Auswertung der Verteilung der Straßenklasse (Tabelle 13) zeigt, dass die meisten Lkw auf Landes- oder Staatsstraßen (6 Lkw) bzw. auf Bundesstraßen (4 Lkw) Auffahrunfälle verursachten. Nur 2 der 15 Beteiligten verursachten einen Auffahrunfall auf der Autobahn. Bei der Kontrollgruppe hingegen waren nahezu die Hälfte der Lkw an Unfällen auf Autobahnen beteiligt (46,6 %). Im Gegensatz zu den Auffahrunfällen waren hier Unfälle auf Landes-

Unfallgegner	Auffahrunfall gem. Kriterien	Nicht Auffahrunfall gem. Kriterien
Pkw	73,3 % (n = 11)	49,0 % (n = 827)
Nutzfahrzeug	26,7 % (n = 4)	19,6 % (n = 330)
Mot. Zweirad	0,0 % (n = 0)	3,4 % (n = 57)
Fahrrad	0,0 % (n = 0)	8,1 % (n = 136)
Fußgänger	0,0 % (n = 0)	4,2 % (n = 71)
Objekt	0,0 % (n = 0)	9,0 % (n = 151)
Andere, unbek.	0,0 % (n = 0)	6,8 % (n = 115)

Tab. 12: Verteilung der Unfallgegner bei an Auffahrunfällen beteiligten Lkw im Vergleich zur Kontrollgruppe (kein Auffahrunfall)

Str.-Klasse	Auffahrunfall gem. Kriterien	Nicht Auffahrunfall gem. Kriterien
Parkplatz	0,0 % (n = 0)	0,1 % (n = 2)
Autobahn	13,3 % (n = 2)	46,6 % (n = 783)
Bundesstr.	26,7 % (n = 4)	16,4 % (n = 276)
Landes-/Staatsstr.	40,0 % (n = 6)	10,0 % (n = 168)
Kreisstr.	6,7 % (n = 1)	3,5 % (n = 59)
Gemeindestr.	13,3 % (n = 2)	22,4 % (n = 377)
Andere	0,0 % (n = 0)	0,8 % (n = 13)
Unbekannt	0,0 % (n = 0)	0,1 % (n = 2)

Tab. 13: Verteilung der Straßenklasse bei an Auffahrunfällen beteiligten Lkw im Vergleich zur Kontrollgruppe (kein Auffahrunfall)

oder Bundesstraßen nur in 10 % der Fälle zu sehen.

Da eine Kraftschlussminderung eine der Voraussetzungen war für die Gruppe der Lkw-Beteiligten, die einen Auffahrunfall verursacht haben, war die Straßenoberfläche in allen Fällen schlüpfrig: Feucht in 4 Fällen; nass in 8 Fällen und vereist, verschneit oder verschmutzt in jeweils einem Fall (Tabelle 14). Bei den Fällen der Kontrollgruppe war erwartungsgemäß nur bei ca. einem Viertel der Beteiligten die Straßenoberfläche schlüpfrig, dabei war sie in 10 % der Fälle feucht und in 11,1 % der Fälle nass.

Dabei war die Art der Straßendecke bei der Gruppe der an Auffahrunfällen beteiligten Lkw in allen Fällen Asphalt. Dies war auch bei 84,7 % der Beteiligten der Kontrollgruppe der Fall, hier ereigneten sich zudem noch 11,7 % der Unfälle auf Beton oder anderen Straßendecken (3,6 %).

Der Einfluss des Wetters wurde durch den Niederschlag, die Bewölkung und das Windverhalten ausgewertet. Bei den beteiligten Lkw-Fahrern der Auffahrunfälle ereigneten sich die Unfälle meistens im Regen (9 der 15 Beteiligten), siehe Tabelle 15. Bei 5 Beteiligten gab es keinen Niederschlag. Erwartungsgemäß hatten die Beteiligten der Kontrollgruppe hingegen meistens keinen Niederschlag (86,5 %) und Regen nur in 11,3 % der Fälle. Schneefall oder Eisregen lag bei beiden Gruppen selten vor.

Straßenoberfläche	Auffahrunfall gem. Kriterien	Nicht Auffahrunfall gem. Kriterien
Feucht	26,7 % (n = 4)	10,0 % (n = 169)
Nass	53,3 % (n = 8)	11,1 % (n = 187)
Raureif/Eis	6,7 % (n = 1)	1,9 % (n = 32)
Schnee	6,7 % (n = 1)	1,6 % (n = 27)
Verschmutzt	6,7 % (n = 1)	1,7 % (n = 28)

Tab. 14: Zustand der Straßenoberfläche bei an Auffahrunfällen beteiligten Lkw im Vergleich zur Kontrollgruppe (kein Auffahrunfall)

Niederschlag	Auffahrunfall gem. Kriterien	Nicht Auffahrunfall gem. Kriterien
Nein	33,3 % (n = 5)	86,5 % (n = 1.459)
Regen	60,0 % (n = 9)	11,3 % (n = 190)
Schnee	6,7 % (n = 1)	2,1 % (n = 36)
Eisregen	0,0 % (n = 0)	0,1 % (n = 1)
Unbekannt	0,0 % (n = 0)	0,1 % (n = 1)

Tab. 15: Niederschlag bei an Auffahrunfällen beteiligten Lkw im Vergleich zur Kontrollgruppe (kein Auffahrunfall)

Bewölkung	Auffahrunfall gem. Kriterien	Nicht Auffahrunfall gem. Kriterien
Wolkenlos	0,0 % (n = 0)	17,2 % (n = 289)
Heiter, wenig Wolken	6,7 % (n = 1)	26,8 % (n = 450)
Bewölkt, viele Wolken	6,7 % (n = 1)	15,7 % (n = 264)
Geschlossene Wolkendecke	87,7 % (n = 13)	36,8 % (n = 618)
Nebel	0,0 % (n = 0)	0,7 % (n = 11)
Andere	0,0 % (n = 0)	0,5 % (n = 8)
Unbekannt	0,0 % (n = 0)	2,3 % (n = 39)

Tab. 16: Bewölkung bei an Auffahrunfällen beteiligten Lkw im Vergleich zur Kontrollgruppe (kein Auffahrunfall)

Windverhalten	Auffahrunfall gem. Kriterien	Nicht Auffahrunfall gem. Kriterien
Windstill	6,7 % (n = 1)	28,9 % (n = 484)
Gleichmäßig	60,0 % (n = 9)	51,7 % (n = 867)
Böig	13,3 % (n = 2)	11,7 % (n = 196)
Unbekannt	20,0 % (n = 3)	7,7 % (n = 129)

Tab. 17: Windverhalten bei an Auffahrunfällen beteiligten Lkw im Vergleich zur Kontrollgruppe (kein Auffahrunfall)

Entsprechend des Niederschlags zeigt sich auch die Bewölkung bei den Beteiligten der Auffahrunfälle, in Tabelle 16. Hier war die geschlossene Wolkendecke mit 13 von 15 Beteiligten klar am häufigsten, während diese nur bei 36,8 % der Beteiligten der Kontrollgruppe vorlag. Sichteinschränkungen durch Nebel oder durch Sonnenblendung bei einem wolkenlosen Himmel spielten bei den Auffahrunfällen keine Rolle.

Hinsichtlich des Windverhaltens zeigte sich, dass es bei den meisten Auffahrunfällen (9 von 12 Beteiligte mit bekanntem Windverhalten) gleichmäßig windig war, siehe Tabelle 17. In einem Fall war es windstill und in 2 Fällen war der Wind böig. Auch bei der Kontrollgruppe war gleichmäßiger Wind am häufigsten, bei 51,7 %. Hier wurde windstill für 28,9 % der Beteiligten und böiger Wind für 11,7 % der Beteiligten kodiert, allerdings auch 7,7 % für unbekanntes Windverhalten.

### 3.3 Analyse des Unfallgeschehens bei Fahrurfällen von Lkw

Analog zur Analyse des Unfallgeschehens bei Auffahrunfällen wird das Unfallgeschehen der 18 beteiligten Lkw-Fahrer, die einen Fahrurfall verursacht

UTYP	Auffahrunfall gem. Kriterien	Nicht Auffahrunfall gem. Kriterien
101	5,6 % (n = 1)	0,9 % (n = 15)
102	16,7 % (n = 3)	2,0 % (n = 34)
111	5,6 % (n = 1)	0,1 % (n = 1)
121	0,0 % (n = 0)	0,5 % (n = 8)
122	0,0 % (n = 0)	0,2 % (n = 3)
123	0,0 % (n = 0)	0,2 % (n = 3)
131	5,6 % (n = 1)	0,1 % (n = 2)
132	5,6 % (n = 1)	0,0 % (n = 0)
141	61,1 % (n = 11)	3,2 % (n = 54)
151	0,0 % (n = 0)	0,1 % (n = 1)
152	0,0 % (n = 0)	0,5 % (n = 9)
153	0,0 % (n = 0)	0,1 % (n = 2)
171	0,0 % (n = 0)	0,1 % (n = 0)
173	0,0 % (n = 0)	0,2 % (n = 3)

Tab. 18: Unfalltyp Verteilung bei an Fahrurfällen beteiligten Lkw im Vergleich zur Kontrollgruppe (kein Fahrurfall)

haben, mit der Kontrollgruppe der anderen unfallbeteiligten Lkw-Fahrer verglichen.

Bei den Fahrurfällen wurden nur Unfälle des Unfalltyps 1 (Fahrurfall) analysiert. Dabei waren die meisten Lkw an einem Fahrurfall an einer Geraden beteiligt: 11 von 18 Beteiligten haben den Unfalltyp 141 (siehe Tabelle 18). Weitere 5 Lkw hatten einen Unfall in der Kurve (Unfalltypen 101, 102 und 111) und 2 hatten einen Fahrurfall an einer Fahrbahnverschwengung (Unfalltypen 131 und 132). Von den 1.684 unfallbeteiligten Lkw der Kontrollgruppe (alle Unfälle außer Fahrurfälle) hatten nur 8 % (135 Beteiligte) ebenfalls an einen Fahrurfall. Hiervon waren allerdings Unfälle in Kurven am häufigsten (64 Beteiligte mit den Unfalltypen 101 bis 123), gefolgt von Unfällen auf Geraden (54 Beteiligte mit dem Unfalltyp 141).

Die Analyse der Tageszeit zeigt, dass Lkw-Fahrer Fahrurfälle am häufigsten in der Nacht verursachten (10 von 18 Beteiligten). 7 Beteiligte hatten einen Fahrurfall am Tag und ein Beteiligter hatte einen Fahrurfall während der Dämmerung. Im Gegensatz dazu hatten die Beteiligten der Kontrollgruppe in 76,0 % der Fälle einen Unfall am Tag und nur 17,7 % hatten einen Unfall in der Nacht. Weitere 6,3 % der Beteiligten der Kontrollgruppe hatten einen Unfall während der Dämmerung.

Die meisten Lkw-Fahrer verursachten Fahrurfälle auf Autobahnen (11 von 18, entspricht 61 %), ge-

folgt von 4 Fahrnfällen außerorts ohne Autobahn (22,2 %) und 3 Fahrnfällen innerorts (16,7 %). Bei der Kontrollgruppe waren Unfälle auf Autobahnen auch am häufigsten mit 45,5 % der Unfälle, allerdings hatten hier Unfälle innerorts (38,9 %) einen höheren Anteil. Außerortsunfälle waren in der Kontrollgruppe seltener mit 15,6 %.

Bei den Fahrnfällen waren die Unfallgegner der meisten Lkw-Fahrer keine weiteren Verkehrsteilnehmer, sondern Objekte, wie z. B. Schutzplanken in 2/3 der Fälle (12 von 18 Beteiligten), siehe Tabelle 19. Weitere Unfallgegner waren 3 Pkw, ein weiteres Nutzfahrzeug und 2 andere bzw. unbekannte Gegner. Bei den Lkw-Unfällen der Kontrollgruppe hingegen waren Pkw in ungefähr der Hälfte der Fälle die Unfallgegner, gefolgt von Nutzfahrzeugen mit nahezu 20 %.

Die meisten Fahrnfälle ereigneten sich auf Autobahnen (11 von 18 Beteiligten) gefolgt von Bundes-

Unfallgegner	Auffahrunfall gem. Kriterien	Nicht Auffahrunfall gem. Kriterien
Pkw	16,7 % (n = 3)	49,6 % (n = 835)
Nutzfahrzeug	5,6 % (n = 1)	19,8 % (n = 333)
Mot. Zweirad	0,0 % (n = 0)	3,4 % (n = 57)
Fahrrad	0,0 % (n = 0)	8,1 % (n = 136)
Fußgänger	0,0 % (n = 0)	4,2 % (n = 71)
Objekt	66,7 % (n = 12)	8,3 % (n = 139)
Andere, unbek.	11,1 % (n = 2)	6,7 % (n = 113)

Tab. 19: Verteilung der Unfallgegner bei an Fahrnfällen beteiligten Lkw im Vergleich zur Kontrollgruppe (kein Fahrnfall)

Str.-Klasse	Auffahrunfall gem. Kriterien	Nicht Auffahrunfall gem. Kriterien
Parkplatz	0,0 % (n = 0)	0,1 % (n = 2)
Autobahn	61,1 % (n = 11)	46,2 % (n = 774)
Bundesstr.	22,2 % (n = 4)	16,5 % (n = 276)
Landes-/Staatsstr.	0,0 % (n = 0)	10,4 % (n = 174)
Kreisstr.	5,6 % (n = 1)	3,5 % (n = 59)
Gemeindestr.	11,1 % (n = 2)	22,5 % (n = 377)
Andere	0,0 % (n = 0)	0,8 % (n = 13)
Unbekannt	0,0 % (n = 0)	0,1 % (n = 2)

Tab. 20: Verteilung der Straßenklasse bei an Fahrnfällen beteiligten Lkw im Vergleich zur Kontrollgruppe (kein Fahrnfall)

straßen (4 Beteiligte). Diese Verteilung unterscheidet sich qualitativ nicht von der der Kontrollgruppe. Auch hier waren Unfälle auf Autobahnen am häufigsten (46,2 %) gefolgt von Bundesstraßen (16,5 %).

Tabelle 21 zeigt den Zustand der Straßenoberfläche bei den 18 an einem Fahrnfall beteiligten Lkw. Auch hier ist zu beachten, dass nur Unfälle mit einer Kraftschlussminderung für die Gruppe der Fahrnfälle ausgewählt wurden, daher sind hier keine Fälle auf trockener Straße vorhanden. Bei 10 von 18 Beteiligten war die Straßenoberfläche nass. Bei weiteren 6 Beteiligten lag Schnee und in 2 Fällen war die Straße vereist. Dabei waren 15 der 18 an einem Fahrnfall beteiligten Lkw auf Asphalt unterwegs und 3 fuhren auf Beton.

Zum Zeitpunkt des Unfalls hatte es bei den Fahrnfällen bei 8 von 18 Beteiligten geregnet und bei 6 Beteiligten geschneit (Tabelle 22). Dass es keinen Niederschlag bei nur 4 Beteiligten gab, ist auch auf die Kraftschlussminderung als Voraussetzung in dieser Gruppe zurückzuführen. Bei der Kontrollgruppe gab es bei 86,7 % der Beteiligten keinen Niederschlag. Auch wenn Regen bei den Fahrnfällen am häufigsten ist, zeigt sich, dass Schnee und Eis-Glätte – wie auch bei der Analyse des Zustands

Straßenoberfläche	Auffahrunfall gem. Kriterien	Nicht Auffahrunfall gem. Kriterien
Feucht	0,0 % (n = 0)	10,3 % (n = 173)
Nass	55,6 % (n = 10)	11,0 % (n = 185)
Raureif/Eis	11,1 % (n = 2)	1,8 % (n = 31)
Schnee	33,3 % (n = 6)	1,3 % (n = 22)
Verschmutzt	0,0 % (n = 0)	1,6 % (n = 27)

Tab. 21: Zustand der Straßenoberfläche bei an Fahrnfällen beteiligten Lkw im Vergleich zur Kontrollgruppe (kein Fahrnfall)

Niederschlag	Auffahrunfall gem. Kriterien	Nicht Auffahrunfall gem. Kriterien
Nein	22,2 % (n = 4)	86,7 % (n = 1.460)
Regen	44,4 % (n = 8)	11,3 % (n = 191)
Schnee	33,3 % (n = 6)	1,8 % (n = 31)
Eisregen	0,0 % (n = 0)	0,1 % (n = 1)
Unbekannt	0,0 % (n = 0)	0,1 % (n = 1)

Tab. 22: Niederschlag bei an Fahrnfällen beteiligten Lkw im Vergleich zur Kontrollgruppe (kein Fahrnfall)

der Straßenoberfläche – bei den Fahrnfällen eine besondere Rolle spielen und hinsichtlich der Häufigkeit erkennbar über der der Kontrollgruppe liegen.

Entsprechend dem häufigen Niederschlag bei den Fahrnfällen zeigt Tabelle 23, dass auch eine geschlossene Wolkendecke häufiger (bei 11 von 18 Beteiligten) war als in der Kontrollgruppe bei nur 37 % der Beteiligten.

Das Windverhalten scheint hingegen keinen nennenswerten Einfluss auf die Fahrnfälle zu haben, bei 13 von 18 Beteiligten, die einen Fahrnfall verursachten, war ein gleichmäßiges Windverhalten

Bewölkung	Auffahrunfall gem. Kriterien	Nicht Auffahrunfall gem. Kriterien
Wolkenlos	5,6 % (n = 1)	17,2 % (n = 288)
Heiter, wenig Wolken	11,1 % (n = 2)	26,8 % (n = 449)
Bewölkt, viele Wolken	16,7 % (n = 3)	15,6 % (n = 262)
Geschlossene Wolkendecke	61,1 % (n = 11)	37,0 % (n = 620)
Nebel	0,0 % (n = 0)	0,7 % (n = 11)
Andere	0,0 % (n = 0)	0,5 % (n = 8)
Unbekannt	5,6 % (n = 1)	2,3 % (n = 38)

Tab. 23: Bewölkung bei an Fahrnfällen beteiligten Lkw im Vergleich zur Kontrollgruppe (kein Fahrnfall)

Windverhalten	Auffahrunfall gem. Kriterien	Nicht Auffahrunfall gem. Kriterien
Windstill	5,6 % (n = 1)	28,9 % (n = 484)
Gleichmäßig	72,2 % (n = 13)	51,6 % (n = 863)
Böig	11,1 % (n = 2)	11,7 % (n = 196)
Unbekannt	11,1 % (n = 2)	7,8 % (n = 130)

Tab. 24: Windverhalten bei an Fahrnfällen beteiligten Lkw im Vergleich zur Kontrollgruppe (kein Fahrnfall)

dokumentiert worden und nur bei 2 Beteiligten war der Wind böig. In der Kontrollgruppe war es hingegen häufiger windstill (bei 28,9 % der Beteiligten) als bei den Fahrnfällen, hier war es bei nur einem Beteiligten windstill.

### 3.4 Beispielfälle Auffahrunfälle

Von den 15 relevanten beteiligten Lkw an Auffahrunfällen wurden 11 Fälle als Einzelfallstudien aufbereitet. 4 Fälle wurden dabei nicht berücksichtigt, da sie entweder hinsichtlich der Unfalleigenschaften einem weiteren Fall glichen oder bei diesem Fall nicht genügend Informationen zur Verfügung standen.

Tabelle 25 gibt einen Überblick über wichtige Unfallmerkmale der für die Einzelfallstudien ausgewählten Fälle. Im Anschluss folgen die ersten zwei Beispielfälle für Auffahrunfälle. Die restlichen Beispiele sind analog erarbeitet und im Anhang zu finden.

UTYP	Unfalltyp	Tageszeit	Ortslage	Straßenoberfläche
1	623	Tag	Innerorts	Feucht
2	623	Tag	Innerorts	Nass
3	601	Tag	Innerorts	Verschmutzt
4	601	Tag	Innerorts	Nass
5	611	Dämmerung	Außerorts	Raureif/Eis
6	612	Tag	BAB	Nass
7	623	Tag	Innerorts	Nass
8	623	Tag	Innerorts	Schnee
9	623	Tag	Innerorts	Nass
10	623	Tag	Innerorts	Nass
11	611	Tag	BAB	Nass

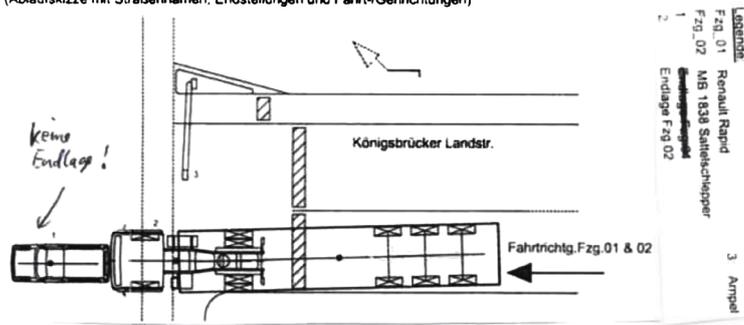
Tab. 25: Übersicht über wichtige Unfallmerkmale bei den als Einzelfallstudien aufbereiteten Auffahrunfällen

**Beschreibung des Unfallablaufes:**

LKW 02 befährt die Königsbrücker Str. in stadtwärtiger Fahrtrichtung, an der LZA Magazinstraße kommt es beim Wechsel der Farbzeichen zu einem Verkehrsunfall mit dem vor dem LKW fahrenden PKW 01. Der Fahrer des PKW 01 wird dabei leicht verletzt, an beiden Fahrzeugen entsteht Sachschaden. Der Fahrzeugführer 02 gibt an, das der vor ihm fahrende PKW beim Wechsel der Farbzeichen von "Grün" zu "Gelb" stark abgebremst hat und er ein Auffahren nicht vermeiden konnte. Der Fahrzeugführer 01 gibt an beim Farbzeichen "Gelb" normal verzögert zu haben.

**Schematische Darstellung des Unfalles:**

(Ablaufskizze mit Straßennamen, Endstellungen und Fahrt-/Gehrichtungenen)



beteiligt sind:	Hersteller und Typ	Baujahr	MAIS
Fahrzeug 1:	Renault Rapid	1996	2
Fahrzeug 2:	MB 1838 Sattelschl.	1995	0



Fall 1 (Auffahrunfall)	
Unfalltyp	623
Tageszeit	Tag
Ortslage	Innerorts
Straßendecke	Asphalt o.n.A.
Kollisionspartner	Pkw
Straßenoberfläche	Feucht
Niederschlag	Regen
Bewölkung	Geschlossene Wolkendecke
Windverhalten	unbekannt
Umgebungstemperatur	11°
Temp. der Fahrbahnoberfläche	unbekannt

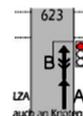


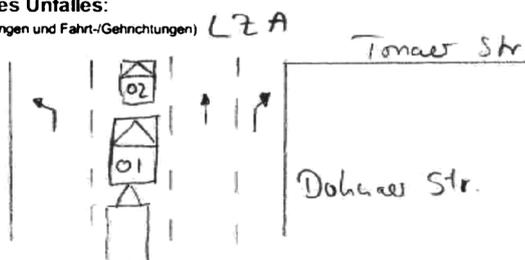
Bild 4: Beispielfall 1 (Auffahrunfall)

**Beschreibung des Unfallablaufes:**

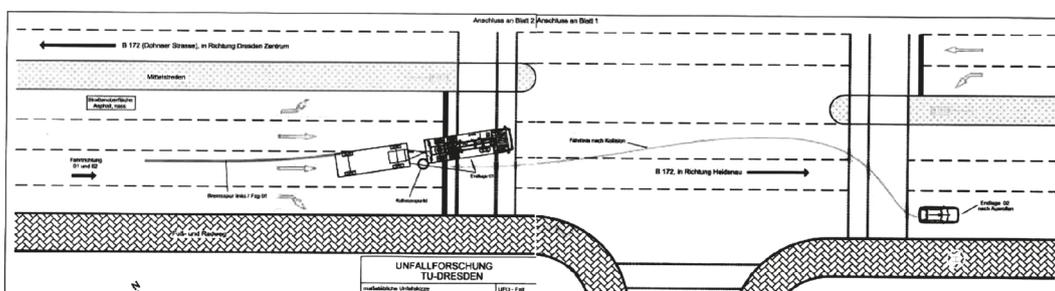
02 befuhr die Dohnaer Str. in Rtg. Tornaer Str und mußte an einer LZA anhalten. Dies bemerkte der hinter 02 fahrende 01 zu spät und fuhr 02 auf. Eine Insassin in 02 wurde am Kopf leicht verletzt.

**Schematische Darstellung des Unfalles:**

(Ablaufskizze mit Straßennamen, Endstellungen und Fahrt-/Gehrichtungen)



beteiligt sind:	Hersteller und Typ	Baujahr	MAIS
Fahrzeug 1:	LKW Daimler-Benz	2000	0
Fahrzeug 2:	Toyota Corolla	1996	1



Fall 2 (Auffahrunfall)	
Unfalltyp	623
Tageszeit	Tag
Ortslage	Innerorts
Straßendecke	Nass
Kollisionspartner	PKW
Straßenoberfläche	Asphalt o.n.A.
Niederschlag	Regen
Bewölkung	Geschlossene Wolkendecke
Windverhalten	Gleichmäßig
Umgebungstemperatur	7°
Temp. der Fahrbahnoberfläche	unbekannt

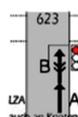


Bild 5: Beispielfall 2 (Auffahrunfall)

### 3.5 Beispielfälle Fahrurfälle

Die Unfälle von 13 beteiligten Lkw-Fahrern wurden aus den 18 Beteiligten, die einen Fahrurfall verursachten, identifiziert und als relevant für Einzelfallstudien erkannt. 5 Fälle wurden hier nicht berücksichtigt, da sie entweder hinsichtlich der Unfallereignisse einem weiteren Fall glichen oder bei diesem Fall nicht genügend Informationen zur Verfügung standen.

Um eine Übersicht der folgenden Einzelfallstudien darzustellen, wurden wichtige Unfallmerkmale dieser 13 Fälle in Tabelle 26 dargestellt.

Analog zu den Auffahrurfällen werden im Folgenden die zwei ersten Fahrurfälle gelistet. Die restlichen Beispiele sind im Anhang wiederzufinden. Ebenfalls ist zur weiteren Aufklärung ein Unfalltypenkatalog verfasst worden, welcher Aufschluss über die verschiedenen Unfalltypen und ihre Untertypen gibt. Dieser kann ebenfalls dem Anhang entnommen werden.

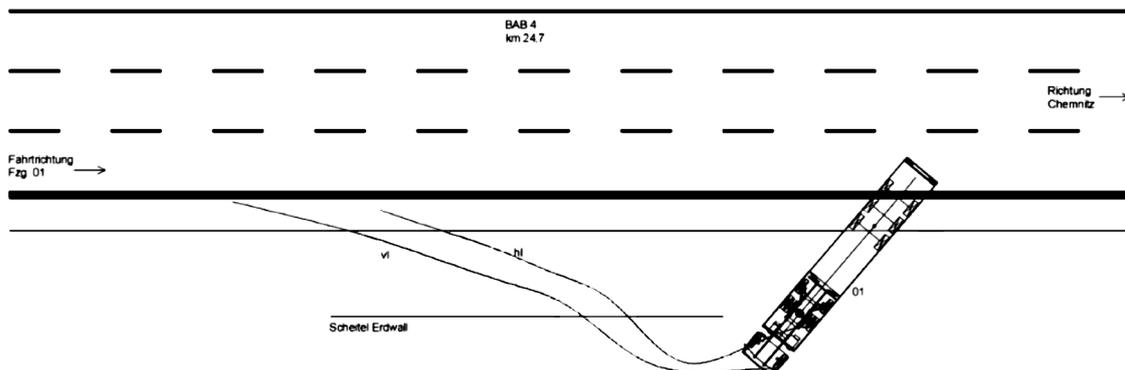
UTYP	Unfalltyp	Tageszeit	Ortslage	Straßenoberfläche
1	141	Nacht	BAB	Schnee
2	141	Nacht	BAB	Schnee
3	111	Tag	Außerorts	Nass
4	102	Tag	Innerorts	Nass
5	141	Nacht	BAB	Schnee
6	181	Nacht	BAB	Nass
7	141	Nacht	BAB	Nass
8	141	Tag	Außerorts	Nass
9	141	Nacht	BAB	Schnee
10	141	Nacht	BAB	Raureif/Eis
11	102	Tag	Innerorts	Nass
12	101	Tag	Außerorts	Schnee
13	102	Tag	Außerorts	Nass

Tab. 26: Übersicht über wichtige Unfallmerkmale bei den als Einzelfallstudien aufbereiteten Fahrurfällen

**Unfallort:** Meißen  
BAB 4  
Richtung Chemnitz

**Beschreibung des Unfallablaufes:**

LKW kommt durch unangepasste Geschwindigkeit aufgrund der verschneiten Fahrbahn ins Schleudern, dreht sich und fährt nach rechts in den Graben. Dabei wird der Fahrer leicht verletzt und im KH Freital ambulant behandelt. Eine Befragung des ungarischen Fahrers war nicht möglich.



Fall 1 (Fahrerfall)	
Unfalltyp	141
Tageszeit	Nacht
Ortslage	BAB
Straßendecke	Beton
Kollisionspartner	Objekt
Straßenoberfläche	Schnee
Niederschlag	Schnee
Windverhalten	gleichmäßig
Bewölkung	Geschlossene Wolkendecke
Umgebungstemperatur	-5°
Temp. der Fahrbahnoberfläche	unbekannt



Bild 6: Beispielfall 1 (Fahrerfall)

**Beschreibung des Unfallablaufes:**

Der Beteiligte 01 befährt mit einem Lkw und Anhänger die BAB 4 von Chemnitz in Richtung Dresden. Auf Grund von unangepasster Geschwindigkeit kommt der Bet. 01 auf der schneebedeckten Fahrbahn ins Schleudern. Das Zugfahrzeug kommt von der Fahrbahn ab und kollidiert mit einem Erdwall. Da der Anhänger viel schwerer beladen ist als das Zugfahrzeug, zieht der schleudernde Anhänger den Lkw wieder zurück auf die Fahrbahn, wo Beide auf die linke Seite kippen. Durch das Umkippen reißt der Anhänger auseinander. Die Deichsel mit Vorderachse verbleibt am Zugfahrzeug, der Rest des Anhängers rutscht ca. 20 Meter auf der Fahrbahn weiter und kommt dann dort zum Liegen. Der Fahrer wird leicht verletzt.



Fall 2 (Fahrerfall)	
Unfalltyp	141
Tageszeit	Nacht
Ortslage	BAB
Straßendecke	Beton
Kollisionspartner	Objekt
Straßenoberfläche	Schnee
Niederschlag	Schnee
Windverhalten	Unbekannt
Bewölkung	Geschlossene Wolkendecke
Umgebungstemperatur	-3°
Temp. der Fahrbahnoberfläche	unbekannt



Bild 7: Beispielfall 2 (Fahrerfall)

## 4 Erarbeitung einer Strategie für Glättewarnungen

Die Ausarbeitung der Warnstrategie gliedert sich in drei Schritte:

- Erste Version des Warnkonzepts und Aufstellen eines Versuchsplans für eine Simulatorstudie,
- Expertenworkshop zum Konzept und zur Simulatorstudie,
- Durchführung der Simulatorstudie.

### 4.1 Erste Version von Warnkonzept und Versuchsplan

Auf Basis der gesammelten Informationen aus der Literaturrecherche und aus der Analyse der Verkehrsunfälle wurde ein erstes Konzept für eine Warnstrategie bei Straßenglätte entwickelt. Dabei wurden die in Kapitel 2.5 dargestellten, ausgewählten Basismerkmale umgesetzt und grafisch dargestellt.

Bild 8 zeigt ein kontinuierliches Warnsignal, das sich bei Näherung des Lkws an die Gefahrenzone

anpasst und durch weitere Informationen ergänzt wird. Diese Informationen in Form von Farbkodierung, einem Warnton und einer Sprachausgabe enthalten Angaben zur Art und Entfernung der Gefährdung, zur Dringlichkeit einer Reaktion durch den Fahrer sowie zu einer passenden Maßnahme der Gefahrenabwehr („Geschwindigkeit anpassen“).

Zur experimentellen Untersuchung des Konzepts wurde eine Simulatorstudie geplant. Grundlage ist ein Kontrollgruppendesign, bei dem eine Gruppe der Versuchspersonen verschiedene Fahrscenarien mit dem System (Versuchsgruppe) und eine Gruppe ohne das System (Kontrollgruppe) absolviert. Beim letzten Versuchsdurchgang erfordert zudem ein plötzlich auftauchendes Hindernis eine Reaktion der Probanden in beiden Gruppen. Dieser Versuchsplan dient zur Beantwortung der Frage, ob sich Probanden, die über das Warnsystem verfügen, angemessener verhalten als Probanden ohne das System, indem sie ihre Geschwindigkeit reduzieren. Der Versuchsdurchgang mit Hindernis soll zudem klären, ob die Experimentalgruppe diese Gefahrensituation besser bewältigt als die Kontrollgruppe.

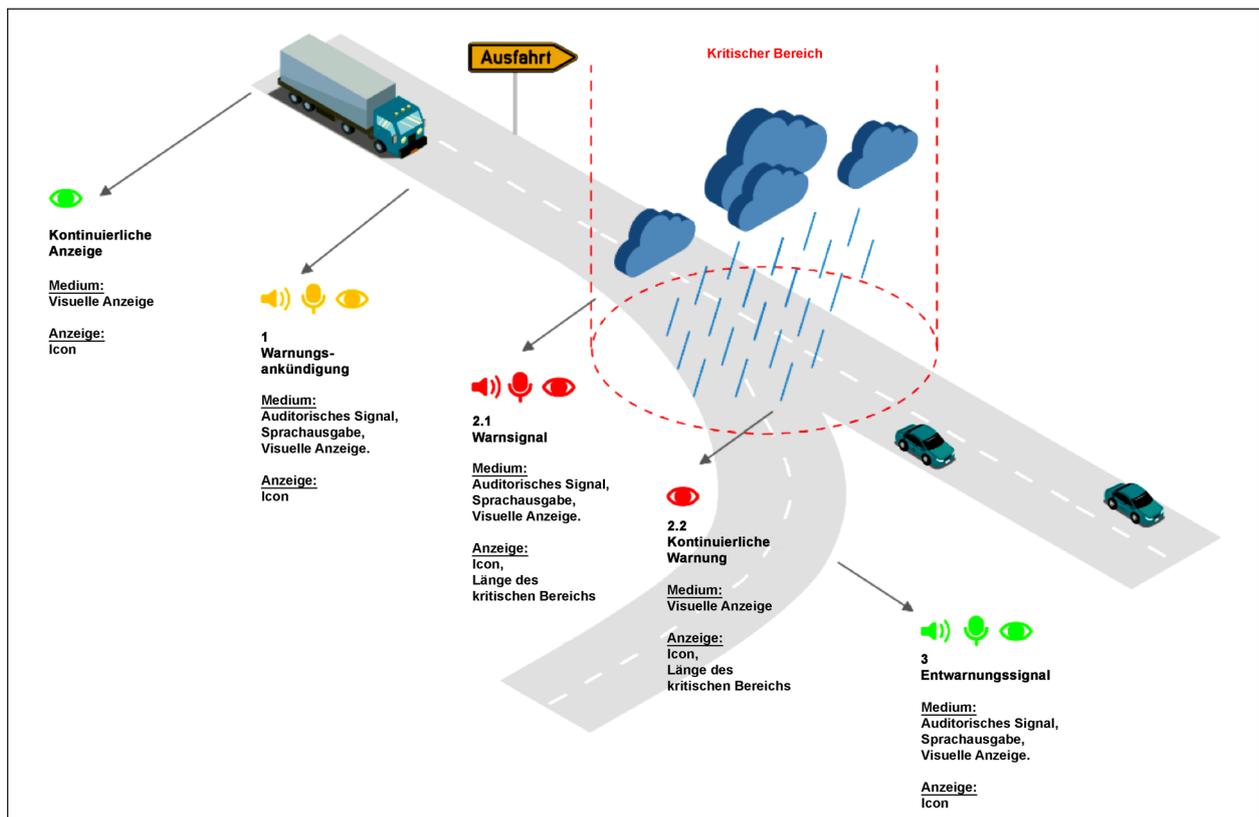


Bild 8: Vorgestellter Prototyp zur Gestaltung des Warnkonzepts mit 3 Phasen (Stand: 22.06.2020)

## 4.2 Expertenworkshop

Ein Fokusgruppentreffen bzw. Expertenworkshop wurde abgehalten mit zwei Hauptzielen. Zum einen sollte die erste Version des Warnkonzept kritisch geprüft und weiterentwickelt werden und zum zweiten sollte die Frage geklärt werden, welche Fahr-szenarien (Gefahrengebiete bzw. Hindernisse) dargestellt werden sollen und wie das Warnkonzept in die Simulatorumgebung eingepflegt werden soll.

Die Teilnehmer setzten sich wie folgt zusammen:

### Organisatoren

- Prof. Dr. Manfred Thüring (Moderator)  
Leiter des Fachgebietes „Kognitionspsychologie und Kognitive Ergonomie“, TU Berlin
- M. Sc. Felix Kretschmer  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter des Fachgebietes „Kognitionspsychologie und Kognitive Ergonomie“, TU Berlin
- B. Sc. Felix Oehring  
Studentischer Mitarbeiter des Fachgebietes „Kognitionspsychologie und Kognitive Ergonomie“, TU Berlin

### Zusätzliche Teilnehmer:

- Prof. Dr. Stefanie Marker  
Leiterin des Fachgebietes „Fahrerverhaltensbeobachtung für energetische Optimierung und Unfallvermeidung“, TU Berlin
- Prof. Dr.-Ing. Steffen Müller  
Leiter des Fachgebietes „Kraftfahrzeuge“, TU Berlin
- Dr.-Ing. Heiko Johannsen  
Leiter der Unfallforschung, PCM Implementierung, MH Hannover
- Dr.-Ing. Gerd Müller  
Oberingenieur am Fachgebiet „Kraftfahrzeuge“, TU Berlin
- M. A. Veronica Hoth  
Wissenschaftliche Mitarbeiterin des Fachgebietes „Kognitionspsychologie und Kognitive Ergonomie“, TU Berlin
- B. Sc. Yann Luca Gottwald  
Studentischer Mitarbeiter des Fachgebietes „Kraftfahrzeuge“, TU Berlin

### 4.2.1 Expertendiskussion zum vorgestellten Warnkonzept

Im Zentrum der Diskussion standen die im Folgenden ausgeführten Punkte.

- Reibwertschätzung: Die reale Reibwert-Analyse wird kleine Unschärfen aufweisen, dennoch wird im Projekt von einer exakten Reibwertmessung ausgegangen. Um eine Realsituation herzustellen, wurde die Verwendung von Schätzwörtern, wie bspw. „circa“ oder „etwa“ vorgeschlagen. Unschärfe Warnmeldungen hätten den Vorteil, dass sie Frustration/Nichtbefolgung (z.B. durch falsch-positive Warnungen) verhindern bzw. abmildern könnten.
- Sprachausgabe: In Bezug auf die Sprachwarn-gestaltung diskutierten die Experten die Länge der vorgestellten Sprachwarnung, da vermutet wurde, dass die Akzeptanz mit zunehmender Länge sinkt. Die Anpassung müsse im Verhältnis zu Häufigkeit der Warnung erfolgen und bei Satzvariierung sollte einem natürlicheren Sprachstil gefolgt werden. Des Weiteren könnte die Sprachausgabe ein zentrales Element des Verstehens und Erlernens der Reibwert-Anzeige darstellen. Dabei kam die Idee auf, neuen Nutzern längere Sätze auszugeben, sodass diese lernen, das System zu verstehen. Bei späteren Warnungen würden dann nur noch kurze Phrasen oder Wörter als Erinnerung dargeboten werden. Innerhalb der Sprachwarnungen sollten Grund und Handlungsalternativen angegeben werden, damit die Warnung befolgt werde (Bspw. „Glätte voraus! Passen Sie Ihre Geschwindigkeit an!“).
- Anzeige: Zuerst wurde die Struktur des Warnkonzepts debattiert, wobei sich ergab, dass die grüne, kontinuierliche Anzeige im nicht-kritischen Bereich wegfallen sollte, sodass die Warnung nur während der Gefahrensituation präsentiert wird, um die Präsenz des Systems auf das Notwendige zu beschränken. Als vorbildhafte, bereits bestehende Warnsysteme wurden ESP und die Frostanzeige genannt. Um dennoch die Geschlossenheit der Warnung zu gewährleisten, sollte das Icon bei der Entwarnung nicht sofort ausgeblendet, sondern in grüner Farbe für kurze Zeit aufrechterhalten werden. Dadurch könnte das Ende des Gefahrengebietes besser wahrgenommen werden. Auch die situative Anpassung der Warnung an die Kritikalität

tät der Situation wurde besprochen, wobei eine stufige Anpassung der Hauptwarnung empfohlen wurde (z. B. trocken, nass, sehr nass).

- Icon: In Bezug auf die Icon-Gestaltung wurde sowohl die Ähnlichkeit zum ESP-Warnsymbols sowie die Icon-Positionierung debattiert. Als Änderungsvorschlag wurde ein Icon benannt, das statt des Pkw-Elementes ein Lkw-Element verwendet und eine reflektierende Fahrbahn mit dem Wort „Glätte“ als weiteres Element beinhaltet könnte. Zur Klärung der Icon-Problematik einigte man sich auf die Durchführung einer Vorstudie.
- Warnton: Der verwendete Warnklang sowie der Verzicht auf die haptische Warnmodalität wurden befürwortet. Es wurde darauf hingewiesen, dass die Warntöne bzw. -klänge fahrzeugherstellerabhängig verwendet werden sollten. Für die Experimente wurde ein unspezifischer Warnton/-klang mit möglicher Ähnlichkeit zu bereits bekannten Warntönen präferiert, da dieser die Aufmerksamkeit auf die Anzeige bzw. die Sprachansage lenken sollte.
- Zeitliche Kriterien: Die Vorwarnung wird zum jetzigen Stand nach Expertenmeinung zu früh angesetzt, weshalb eine kürzere zeitliche Spanne zwischen Vor- und Hauptwarnung empfohlen wurde. Außerdem wurde eine Streckenangabe gegenüber einer Zeitangabe präferiert. Ein weiterer wesentlicher Kritikpunkt bezüglich des Warnkonzepts stellt die Frage dar, inwieweit eine kurze Abfolge von Gefahrengebieten das Warnsystem überlasten könnte. Lösungsvorschläge waren eine Vermeidung der Überlappung durch Aufrechterhaltung der Warnung trotz kurzer Gefahrenlosigkeit sowie ein wiederkehrender, standardisierter Text, der ein neues Gefahrengebiet aufzeigen könnte, während der Fahrer sich bereits in einer Gefahrensituation befindet. Diese Problematik sollte jedoch nicht in der aktuellen Studie untersucht werden, sondern könnte ggf. in einer späteren Studie aufgegriffen werden. Diese sollte prüfen, ob eine Erinnerung an die Bedrohungssituation notwendig ist, wenn diese lange andauert, um die Aufmerksamkeit der Fahrer aufrechtzuerhalten. Als Vorbild wurde die Verwendung von Smileys bei einer längeren Baustelle genannt. Eine Rest-Kilometer-Anzeige, wie vorgestellt, könnte diese Funktion übernehmen.

- Geschwindigkeitsempfehlung: Von einer konkreten Geschwindigkeitsempfehlung wurde aus juristischen Gründen abgeraten.

#### 4.2.2 Experten-Diskussion zur Fahrsimulatorstudie

Die ausgewählten Fahrszenarien für die Simulatorstudie waren die Fahrt über eine Bergkuppe, die Kurvenfahrt und die Abfahrt einer Schnellstraße. Zusätzlich wurden Hindernisse, wie bspw. stehende Autos bei einem Stauende, zur Abstufung der Kritikalität vorgestellt.

In der Diskussion wurden folgende Punkte besprochen:

- Darstellung: Es bestehen zwei Darbietungsmöglichkeiten, wobei die Warnanzeige entweder über ein Head-Up-Display (HUD) in die Simulation oder auf einem Tablet separat integriert werden könnte. Von den Experten wurde darauf hingewiesen, dass dabei das Verhalten der Probanden in der Fahrsimulation dem Verhalten der realen Fahrsituation ähneln sollte. Die Experten sprachen sich für eine Verwendung des HUD aus. Trotz der etwas realitätsferneren Umsetzung hätte die Verwendung eines HUD den Vorteil, dass dadurch eine Steuerung der Warnung durch den Versuchsleiter nach dem Wizard-of-Oz-Paradigma nicht nötig wäre, da diese Steuerung durch den Simulator übernommen würde. Zusätzlich gewährleistet das HUD durch die zentrale Platzierung der Anzeige, dass das System stets gesehen werde. Allerdings sollte den Versuchspersonen erläutert werden, dass das finale System nicht oder nicht zwingend in einem HUD integriert sein würde.
- Fahrszenarien: Bezüglich der Gefahrenszenarien sprachen sich die Experten für die Situation mit unübersichtlicher Kurvenfahrt und Bergfahrt aus und nahmen die vorgestellten Fahrszenarien an. Als besonders geeignete Hindernisse, die eine angemessene Brems- bzw. Ausweichreaktion benötigen, wurden Stauende und kreuzendes Wild genannt.
- Simulator: Beim Auftreten von Hindernissen behalten die Probanden die Entscheidungsfreiheit über ihre Manöver, also über Ausweich- und Bremsverhalten. Um die Situation realitätsnäher zu gestalten, schlugen die Experten vor, die Ge-

gestaltung des eigentlich Pkw-ähnlichen Fahrsimulators an ein Lkw-nahe Fahrsituation anzupassen. Dabei könnte eine Anpassung der Perspektive zur Straße sowie des Innenbereichs des Simulators (bspw. durch die Angleichung des Lenkrads und des Innenrückspiegels) vorteilhaft sein. Zusätzlich wurde die Möglichkeit genannt, dass im HUD eine Wasserfläche die Entfernung zum Gefahrengebiet verdeutlichen könnte. Ein weiterer Aspekt der Studiengestaltung in Bezug auf die Probanden-Planung wurde besprochen, wobei auf die Kinetose-Problematik in Fahrsimulatorstudien sowie auf die Ausarbeitung der jetzigen besonderen Hygienevorschriften hingewiesen wurde.

#### 4.2.3 Ergebnisse und Veränderungen

Die wichtigsten Ergebnisse des Expertenworkshops bezüglich des Warnkonzepts und der Studie sind in der folgenden Übersicht zusammengefasst.

##### Zum Warnkonzept

Reibwertschätzung:

- Unschärfe/Ungenauigkeit berücksichtigen; (keine) Geschwindigkeitsempfehlung

Sprachausgabe:

- Anpassung der Situationsspezifität und Länge (kurze Sprachansagen)
- Verstehen/Erlernen der Reibwert-Anzeige; Telegramm-Stil (Experten)

Anzeige:

- kontinuierlich mit 2 kritischen Abstufungen im Gefahrengebiet
- Icon- & km-Angleichung; „ca.“-Längenanzeige

Icon:

- Vorstudie zu Icon- (und/oder Anzeigen-)Verständnis

Warnton:

- fahrzeugabhängiger (daher bekannter), unspezifischer Warnton/-klang

Zeitliche Kriterien:

- Warnung einer Folgegefahr in kritischer Situation; multiple/veränderliche Bedrohungslage
- zeitlicher Trigger von Anzeige und Sprache, aber Angaben in km
- Ausblenden des (grünen) Icons kurze Zeit nach Verlassen des Gefahrengebiets

##### Zur Fahrsimulatorstudie

Darstellung:

- HUD-ähnliche Darbietung im Simulator

Fahrszenarien:

- Gefahrengebiete (Autobahnabfahrt, Kurve, Hügel) und Hindernisse (Stau und Wild)
- ggf. Warnungen auch vor anderen Gefahren als nur Reibwert nötig (siehe Warnton)

Simulator:

- Anpassung Pkw-Simulator an Lkw-Umgebung; Pretest

## 5 Vorstudien zur Icon-Gestaltung

Die Gestaltung des Icons für die Warnstrategie wurde in der Expertendiskussion nicht abschließend geklärt. Stattdessen wurde entschieden, zwei Vorstudien zur Ermittlung eines geeigneten Glätte-Icons im Lkw-Kontext durchzuführen. Dazu wurde zunächst ein Pool möglicher Glätte-Icons für den Lkw-Kontext erstellt. Diese Icons orientierten sich an Pkw-Icons und Verkehrsschildern aus dem Bereich Glätte (siehe Tabelle 27). In Vorstudie 1 verglichen Probanden diese Glätte-Icons miteinander und ordneten sie in eine Rangreihe bezüglich der Darstellungsgüte von Straßenglätte im Lkw-Kontext. Basierend auf den Ergebnissen von Vorstudie 1 wurde dann eine Teilmenge geeigneter Glätte-Icons ausgewählt, die in Vorstudie 2 weiter untersucht wurde. In Vorstudie 2 wurden diese ausgewählten Glätte-Icons im Kontext mit anderen Icons im Lkw dargeboten. Hierbei wurde untersucht, ob die Bedeutung der Glätte-Icons richtig erkannt wird und ob eine Verwechslungsgefahr mit anderen Icons im Lkw-Cockpit besteht.

### 5.1 Vorstudie 1

#### 5.1.1 Ziel und Durchführung

Ziel der ersten Vorstudie war es zu ermitteln, welche Icons aus dem Icon-Pool bezüglich der Darstellung von Straßenglätte im Lkw-Kontext bevorzugt werden. Dazu wurde eine Online-Studie mit 22 Probanden im Alter von 20 bis 80 Jahren ( $M = 40$ ,  $SD = 14.6$ ) durchgeführt. Unter den Teilnehmern waren

Icongruppe 1: Rückansicht	V2 	V1 	
Icongruppe 2: Seitenansicht mit Schlieren	V3 	V4 	V5 
Icongruppe 3: Seitenansicht mit Strudel	V6 		
Icongruppe 4: Seitenansicht mit Rollspit	V9 	V7 	V8 
Icongruppe 5: Seitenansicht mit Wellen	V10 		

Tab. 27: Vom FG KKE erstellter Pool an Glätte-Icons für die Vorstudien

15 Männer und 6 Frauen. 18 Personen gaben an, einen Führerschein der Klasse B, 5 Personen einen Führerschein der Klasse A und 1 Person einen Führerschein der Klasse C (Lkw) zu besitzen.

Nach einem kurzen Informationstext wurden die Probanden gebeten, die zehn Glätte-Icons aus Tabelle 27 in eine Rangreihe zu bringen bezüglich dessen, wie gut sie Straßenglätte im Lkw-Kontext darstellen („Sortieren Sie die Icons bitte danach, wie gut sie die Gefahr von Straßenglätte darstellen“). Anschließend konnten die Probanden freie Kommentare zu den Icons abgeben und füllten einen kurzen demografischen Fragebogen aus.

#### 5.1.2 Ergebnisse

Aus der Angabe der Rangreihenfolge der Glätte-Icons konnte für jedes Icon ermittelt werden, wie häufig es welchem Rang zugeordnet wurde. Je niedriger der Rang ist, desto besser wurde das Icon bezüglich der Darstellung von Straßenglätte bewertet. In Bild 9 sind die Häufigkeiten der genannten Ränge für die 10 Glätte-Icons dargestellt. Die Icons sind dabei nach ihrem Median-Rang geordnet.

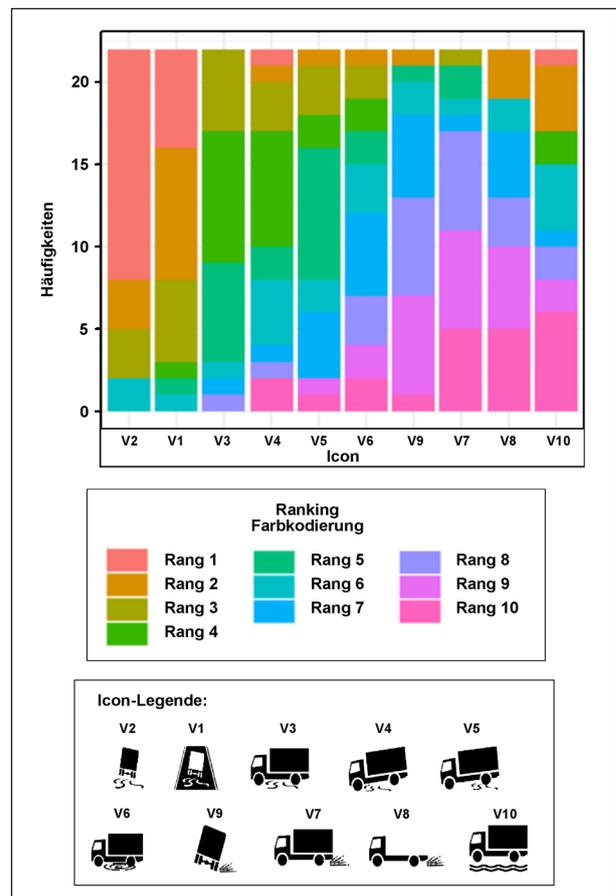
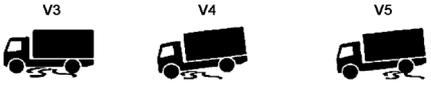


Bild 9: Icons geordnet nach Median-Rängen

Icongruppe 1: Rückansicht		Die Icongruppe 1 wurde als „beste Darstellung“, sowie als „eindeutig glatt“ betitelt. Wobei V1 als schlechter erkennbar bezeichnet wurde.
Icongruppe 2: Seitenansicht mit Schlieren		Die Icongruppe 2 wurde zweifach kommentiert mit dem Vermerk, dass „Flüssigkeit austritt“
Icongruppe 3: Seitenansicht mit Strudel		Für Icongruppe 3 wurde „Strudel auf der Straße“ und „Drehung“ kommentiert.
Icongruppe 4: Seitenansicht mit Rollsplit		Die Icongruppe 4 wurde häufig mit Rollsplit und selten mit Glätte assoziiert.
Icongruppe 5: Seitenansicht mit Wellen		Die Icongruppe 5 wurde dreifach mit Wasser auf der Fahrbahn in Verbindung gebracht.

Tab. 28: Gruppierung der freien Kommentare zu Icons in Vorstudie 1

Folglich sind besser bewertete Icons weiter links dargestellt.

Die Ergebnisse von Vorstudie 1 zeigen, dass Icon V2 am häufigsten auf Rang 1 platziert wurde und den niedrigsten Median-Rang aufweist. Allgemein werden die Icons aus Icongruppe 1 (Rückansicht) in Vorstudie 1 am besten bewertet, gefolgt von Icongruppe 2 (Seitenansicht mit Schlieren). Aus dieser zweiten Icongruppe wird Icon V3 am besten bewertet. Icongruppe 3, 4 und 5 schneiden deutlich schlechter ab. Bei Icon V10 zeigt sich zwar der höchste Median-Rang, aber auch eine hohe Spannweite an Rängen von 1 bis 10.

Neben der Rangreihe wurden auch die freien Kommentare zu den Glätte-Icons erfasst. Es erfolgte eine inhaltliche Gruppierung der Kommentare (siehe Tabelle 28).

Vorstudie 1 zeigt, welche Icons für die Darstellung von Straßenglätte im Lkw-Kontext präferiert werden. Jedoch können hiermit noch keine Aussagen darüber gemacht werden, ob die Icons auch ohne Kontext als Straßenglätte-Icons erkannt werden und ob sie mit anderen Icons im Lkw-Cockpit verwechselt werden. Daher wird noch eine zweite Vorstudie durchgeführt, die sich diesen Fragen widmet. Auf Basis der Ergebnisse von Vorstudie 1 wird nun eine Teilmenge an Glätte-Icons ausgewählt, die in Vorstudie 2 weiter untersucht wird. Dazu werden die bestbewerteten Icons aus vielversprechenden Icongruppen ausgewählt. Allgemein zeigte Icon V2, das an das Verkehrszeichen für Schleuder- und Rutschgefahr angelehnt ist, die beste Bewertung in Vorstudie 1. Dieses Icon ist damit gleichzeitig das

am besten bewertete Icon in Icongruppe 1 (Rückansicht) und wird in Vorstudie 2 aufgenommen. Die Median-Ränge hinter Icongruppe 1 werden von Icongruppe 2 (Seitenansicht mit Schlieren) besetzt. Hierbei wurde Icon V3 am besten bewertet. Daher wird dieses Icon V3 für die Icongruppe 2 in Vorstudie 2 aufgenommen. Kritikpunkt an diesen Icons war laut Kommentaren die Assoziation mit austretenden Flüssigkeiten. Dies soll in Vorstudie 2 genauer untersucht werden. Als drittes Icon wurde V10 für Vorstudie 2 ausgewählt. Es wies zwar den niedrigsten Median-Rang auf, zeigte aber eine große Spannweite an Rängen von 1 bis 10. Außerdem könnte die in den Kommentaren geäußerte Assoziation mit „Wasser auf der Fahrbahn“ auch ein Indiz für Glätte sein und soll in Vorstudie 2 weiter untersucht werden. Icons aus den Gruppen 3 und 4 wurden in Vorstudie 2 nicht weiter betrachtet.

## 5.2 Vorstudie 2

### 5.2.1 Ziel und Durchführung

Ziel von Vorstudie 2 war es, die in Vorstudie 1 ausgewählten Glätte-Icons im Kontext anderer Lkw-Icons zu untersuchen. In Vorstudie 1 wurde deutlich kommuniziert, dass es sich bei den Icons um Glätte-Icons handelt. Doch werden diese Bedeutungen auch erkannt, wenn dieser Bezug fehlt? Und werden die ausgewählten Glätte-Icons mit anderen Icons im Lkw-Dashboard verwechselt? Zur Beantwortung dieser Fragen wurden den Probanden neben den drei Glätte-Icons aus Vorstudie 1 drei Stabilitäts-Distraktoren und 8 andere Lkw-Icons präsentiert (siehe Tabelle 29).

Die Stabilitäts-Distraktoren beziehen sich auf Assistenzsysteme zur Förderung der Fahrzeugstabilität, wie ESP, ABS und ASR. Da diese Funktionen im Falle von Straßenglätte auch aktiv werden können und ihre Symbole daher teilweise einen Bezug zur Straßenglätte aufweisen, wurden sie hier als Distraktoren gewählt. Eine Verwechslungsgefahr mit diesen Icons sollte entweder vermieden werden oder es sollte sichergestellt werden, dass ihre Ähnlichkeit zu keinem unerwünschten Fahrverhalten führt. Die anderen Lkw-Icons wurden verwendet, um keinen zu starken Fokus auf Straßenglätte zu legen, denn die untersuchten Glätte-Icons sollen auch ohne Glätte-Kontext als Glätte-Icons verstanden werden.

Zur Beantwortung der Fragen wurde eine Online-Studie mit 16 Probanden im Alter von 20-68 Jahren ( $M = 40,44$ ,  $SD = 14,72$ ) durchgeführt. Es nahmen 6 weibliche und 10 männliche Probanden an der Untersuchung teil. Alle 16 Teilnehmer gaben an, einen Führerschein der Klasse B zu besitzen. Zusätzlich besaßen 3 Personen einen Führerschein der Klasse A und eine Person einen Führerschein der Klasse C (Lkw).

Nach einem kurzen Informationstext wurden den Probanden die 14 Icons aus Tabelle 3 in randomisierter Reihenfolge dargeboten. Die Aufgabe der

Potenzielle Straßenglätte-Icons	Stabilitäts-Icons im Lkw	Andere Icons im Lkw
		
		
		
		
		
		
		

Tab. 29: Verwendete Icons in Vorstudie 2. Die potenziellen Straßenglätte-Icons stammen aus Vorstudie 1. Die Stabilitäts-Icons und die anderen Icons im Lkw sind angelehnt an Icons aus Scania und MB Actros.

Probanden war es, jedem Icon eine Bedeutung zuzuschreiben („Welche Bedeutung haben die Symbole? Geben Sie bitte für jedes Symbol eine spontane Antwort. Nutzen Sie hierzu möglichst nur ein Stichwort.“). Anschließend wurde ein kurzer demografischer Fragebogen ausgefüllt.

## 5.2.2 Ergebnisse

Die Antworten der Probanden wurden inhaltlich gruppiert. Dazu wurde zunächst nur ein Teil der Datensätze betrachtet und aus den häufigsten Begriffen Begriffskategorien gebildet. Anschließend wurden alle Datensätze auf diesen Begriffskategorien kodiert. Bild 10 zeigt die Häufigkeit der Nennung glättebezogener Begriffe für die potenziellen Glätte-Icons aus Vorstudie 1 und für die Stabilitäts-Distraktoren.

Die Ergebnisse verdeutlichen, dass die Glätte-Icons aus Vorstudie 1 von den meisten Probanden auch mit Glätte in Beziehung gebracht wurden. Am häufigsten wurde Icon V2 mit Glätte assoziiert (in 14 von 16 Fällen). Hierbei wurde eine große Bandbreite verschiedener glättebezogener Begriffe von „Glätte“ über „Rutschgefahr“ und „Schleudergefahr“ bis hin zu „Aquaplaning“ und „Ölspur“ genannt. Damit scheint Icon V2 gut geeignet zu sein, Glätte universell darzustellen. Icon V3 erhielt weniger Glättenennungen (in 12 von 16 Fällen) und wurde häufiger mit „Ölspur“ assoziiert. Dies passt zu den Ergebnissen aus Vorstudie 1. Hier wurde Icon V3 mit einer „austretenden Flüssigkeit“ in Zusammenhang

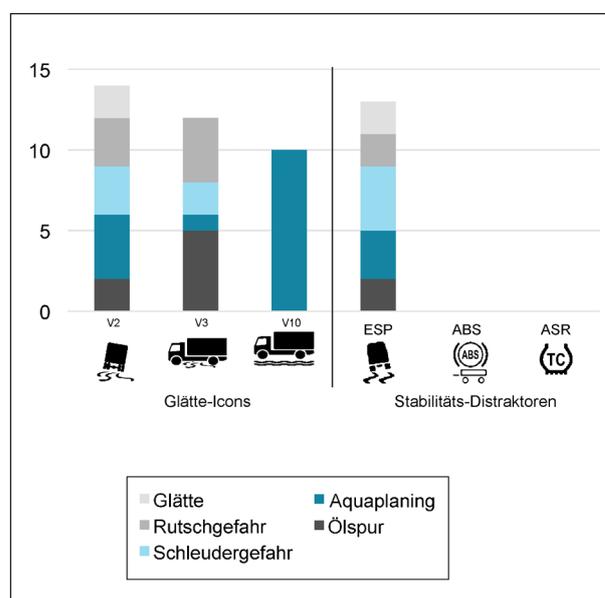


Bild 10: Häufigkeit der Nennung glättebezogener Begriffe

gebracht. Damit scheint Icon V3 Glätte nicht so universell darzustellen wie Icon V2. Icon V10 erhielt am wenigsten Glättenennungen (in 10 von 16 Fällen) und wurde ausschließlich mit Aquaplaning in Verbindung gebracht. Auch in Vorstudie 1 wurde dieses Icon bereits mit „Wasser auf der Fahrbahn“ assoziiert. Durch diese einseitige Verknüpfung mit Aquaplaning ist Icon V10 nicht gut als universelles Glätte-Icon geeignet. Im Kontext anderer Icons im Lkw und ohne expliziten Glätte-Kontext scheint Icon V2 Glätte am besten und universellsten darzustellen. Allerdings besteht eine starke Ähnlichkeit zum ESP-Symbol im Lkw (siehe Stabilitäts-Distraktor ESP, Bild 10). Der Stabilitäts-Distraktor ESP weist auch eine ähnliche Anzahl und Zusammensetzung von Glättenennungen auf. Daher besteht möglicherweise eine Verwechslungsgefahr zwischen den beiden Icons. Jedoch sollte auch betont werden, dass kein einziger Proband „ESP“ als Bedeutung für Icon V2 explizit genannt hat. Daher stellt sich die Frage, ob die Ähnlichkeit zwischen Icon V2 und dem ESP-Symbol zu einem unerwünschten Fahrverhalten führt. Ein leuchtendes ESP-Symbol im Lkw signalisiert dem Fahrer, dass eine möglicherweise gefährliche Situation vorliegt, da das Assistenzsystem einem Ausbrechen des Fahrzeugs aktuell entgegenwirken muss. Daher ist zu erwarten, dass ein Fahrer auf ein leuchtendes ESP-Symbol hin reagiert und die Fahrsituation deeskaliert. Tritt diese Assoziation auch beim Aufleuchten des Glätte-Icons auf, könnte eine unerwünscht starke Aktion des Fahrers resultieren. Ob sich die Ähnlichkeit von Icon V2 zum ESP-Symbol tatsächlich negativ auf das Fahrverhalten auswirkt, kann in dieser Online-Studie nicht abschließend geklärt werden und soll in der folgenden Fahrimulator-Studie (Hauptstudie) genauer untersucht werden.

### 5.3 Fazit

Zur Auswahl eines geeigneten Glätte-Icons für die Warnstrategie wurden zwei Vorstudien durchgeführt. Sie zeigten, dass Icon V2 sowohl am stärksten als Glätte-Icon präferiert wurde (Vorstudie 1, siehe Bild 9) als auch am häufigsten und universellsten mit Glätte assoziiert wurde, wenn kein Glätte-Kontext gegeben war (Vorstudie 2, siehe Bild 10). Es besteht ggf. eine Verwechslungsgefahr mit dem ESP-Symbol im Lkw, ob diese sich allerdings negativ auf das Fahrverhalten auswirken könnte, bleibt zu prüfen. In der hier entwickelten Warnstrategie wird das Icon nicht isoliert, sondern stets zusammen mit einer Sprachausgabe dargeboten. Diese

Sprachausgabe spezifiziert die Bedeutung des Glätte-Icons und sollte einer Verwechslungsgefahr vorbeugen. Entsprechend wird Icon V2 für die finale Warnstrategie verwendet.

## 6 Finale Warnstrategie

Auf Grundlage der Literaturrecherche, der Fokusgruppe mit Domänenexperten und der Icon-Vorstudien wurde eine ganzheitliche Glätte-Warnstrategie für Lkw entwickelt (siehe Bild 11). Die Warnstrategie besteht aus drei Komponenten: einem akustischen Signal, einer Sprachausgabe und einem Glätte-Icon. Das akustische Signal soll dabei die Aufmerksamkeit auf die Warnung lenken, die Sprachausgabe soll den Grund für die Warnung und Handlungsempfehlungen nennen und das Glätte-Icon soll eine persistente Information über den aktuellen Glättestatus (Farbe und aktualisierende Meterangabe) bieten. Die Warnstrategie besteht außerdem aus drei unterschiedlichen Phasen. Die Vorwarnung wird 500 m vor dem Glättegebiet dargeboten und soll den Fahrer auf die bevorstehende Straßenglätte vorbereiten. Die eigentliche Warnung erfolgt zu Beginn des Glättegebiets und informiert über die akute Glätte. Die Entwarnung wird präsentiert, sobald das Glättegebiet durchquert wurde. Diese Eskalation und Deeskalation der Glättesituation von Vorwarnung über Warnung hin zu Entwarnung wird auch durch die Farbe der Icons (gelb, rot, grün) und durch die Signalwörter in der Sprachausgabe („Vorsicht!“) widerspiegelt. Während der Warnton und die Sprachausgabe nur zu Beginn einer neuen Phase erscheinen, bleibt das Icon als persistente Information während der gesamten Vorwarnungs- und Warnungsphase bestehen, verschwindet aber 200 m nach Verlassen des Gefahrengebiets.

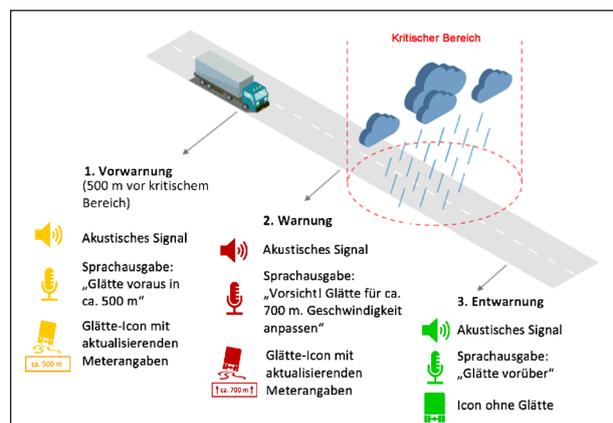


Bild 11: Finale Glätte-Warnstrategie

## 7 Fahrsimulator-Studie

Die Wirksamkeit der finalen Warnstrategie wurde in einer Probandenstudie mit Lkw-Fahrern im Fahrsimulator untersucht. Dazu durchfuhren die Probanden unterschiedliche, kritische Strecken (S-Kurve, 90°-Kurve im Nebel, Bergkuppe, Bergkuppe mit Stauende). Außerdem wurde das Wetter und damit der Straßenzustand bzw. der Reibwert  $\mu$  variiert. Im Rahmen der Fahrsimulator-Studie sollten folgende Forschungsfragen beantwortet werden:

- Passen Fahrer mit dem Warnsystem ihr Verhalten (insbes. ihre Geschwindigkeit) besser an den aktuellen Zustand der Fahrbahn an als Fahrer ohne das Warnsystem?
- Zeigen Fahrer mit dem Warnsystem bessere Fahrleistung als Fahrer ohne das Warnsystem, wenn sie mit einer Gefahrensituation (Stauende hinter einer Bergkuppe) konfrontiert sind?
- Wie schätzen Fahrer die Kritikalität der Fahrsituation in Abhängigkeit von den Wetterbedingungen und dem Vorhandensein bzw. Fehlen der Warnstrategie ein?
- Wie fallen Fahrerbewertungen der Warnstrategie bzgl. Zufriedenheit und Nützlichkeit aus?

### 7.1 Methode

#### 7.1.1 Versuchspersonen

Insgesamt nahmen  $N = 20$  Lkw-Fahrer an der Untersuchung teil (1 weiblich, 19 männlich). Diese Stichprobengröße lag unter der geplanten Stichprobengröße von  $N = 40$ , da aufgrund der Corona-Pandemie die Erhebung mit Probanden abgebrochen werden musste. Das Durchschnittsalter der Probanden betrug  $M = 40,65$  Jahre ( $SD = 11,41$  Jahre) und die Altersspannweite reichte von 22 bis 60 Jahre. Alle Teilnehmer waren im Besitz eines Lkw-Führerscheins (C, C1, C1E oder CE). 18 der 20 Probanden waren zur Zeit der Studie Berufskraftfahrer. Die gefahrenen Lkw-Kilometer pro Jahr betragen im Mittel 41.933 km ( $SD = 3.758$  km). 18 der 20 Probanden gaben an, regelmäßig mit Lkw mit einer zulässigen Gesamtmasse von über 12 t (N3) zu fahren. Lediglich 2 Probanden fuhren regelmäßig einen Lkw mit einer zulässigen Gesamtmasse zwischen 3,5 t und 12 t (N2). Keine der Versuchspersonen wies fahrrelevante Einschränkungen auf. Die Probanden erhielten für ihre Teilnahme 50 Euro pro

begonnene Stunde als Aufwandsentschädigung. Die Ethikkommission des Instituts für Psychologie und Arbeitswissenschaft (IPA) der TU Berlin begutachtete die Studie vor der Durchführung und beurteilte sie als positiv bezüglich Forschungsvorhaben, Versuchsmaterialien, Umgang mit Daten, Information der Teilnehmenden etc.

#### 7.1.2 Fahrsimulator und Simulationsumgebung

Ein Fahrzeugsimulator bietet nicht nur die Möglichkeit, die Fahrdynamik eines Fahrzeugs und das Fahrverhalten eines Fahrers zu untersuchen, sondern auch die Gelegenheit, Fahrerassistenzsysteme zu testen. Assistenzsysteme, seien sie zur Erhöhung der Sicherheit oder des Komforts, können nach Wunsch implementiert und in immer gleichbleibenden Umgebungsbedingungen getestet werden.

#### Technische Aspekte des Fahrsimulators

Der Fahrsimulator befindet sich am Fachgebiet Kraftfahrzeuge des Instituts für Land- und Seeverkehr. Die gesamte Simulationsumgebung teilt sich in zwei Räumen auf. Zum einen die Versuchsleitwarte und zum anderen der Simulationsraum an sich, indem die Probanden die Versuche durchführen können. In der Versuchsleitwarte haben die Versuchsleiter Zugang zu den Rechnern, mit denen sie die jeweiligen Simulationen steuern und beaufsichtigen können.

Als Fahrzeug-Mockup dient ein Audi A4, der zur besseren Immersion unverändert im Simulationsraum steht. Lediglich der Motor wurde entfernt und durch Elektronik und andere Komponenten ausgewechselt, die für dessen neue Funktion als Simulationsfahrzeug dienen. Im Innenraum ist das Kombiinstrument intakt und zeigt realitätsgetreu Motordrehzahl und Geschwindigkeit an. Der linke Seitenspiegel sowie die Fensterheber, der Automatik-Ganghebel und die Sitze lassen sich weiterhin einstellen, alle anderen Hebel und Knöpfe, zum Beispiel die Scheinwerfer oder die Scheibenwischer sind vorhanden, jedoch nur Attrappen. Der Gangwahlhebel des Audi A4 ist als Automatikgetriebe implementiert und ist ebenfalls in der Fahrdynamiksimulation integriert.

Weitere wichtige Komponenten im Auto sind das Lenkrad und die Pedaleinheit. Das Lenkrad ist ein speziell für Fahrsimulatoren konzipiertes aktives

Lenkrad. Mithilfe eines Gleichstrommotor, kann es die Lenkraddrehmomente und Lenkradwinkel während der virtuellen Fahrt simulieren. Die Einstellung über die Leichtgängigkeit des Lenkrads erhält dieses vom Echtzeitrechner während es diesem gleichzeitig die Lenkbewegungen übermittelt. Die Funktionalität der Pedaleinheit ähnelt der des Lenkrads. Auch diese sind aktiv und in der Lage, verschiedene Pedal-Kennlinien nachzuempfinden. Die Charakteristiken der Pedale werden mittels Riementriebes und mit einem Gleichstrommotor übermittelt und so lassen sich Gas- sowie Bremspedalweg, aber auch der Bremsdruck des Pedals regulieren.

Die Visualisierung der Simulationsumgebung findet über vier Projektoren statt. Diese projizieren die bewegten Bilder auf zwei Leinwände. Drei Projektoren bilden ein zusammengesetztes Bild auf eine große und gekrümmte 180°-Leinwand mit einem Durchmesser von 7 Metern ab, die sich unmittelbar vor dem Mockup-Fahrzeug befindet. Ein weiteres Bild wird hinter dem Fahrzeug projiziert, um die Nutzung der Rück- und Seitenspiegel zu ermöglichen. Die darzustellenden Bilder werden aus der Umgebungssoftware SILAB übermittelt. Um den gesundheitlichen Zustand des Probanden jederzeit überprüfen zu können, ist eine kleine Webcam im Innenraum installiert, die eine Liveansicht des Fahrers ermöglicht.

Für die Geräuschsimulation werden Stereolautsprecher und Verstärker genutzt. Diese spiegeln die Geräuschkulisse wider und sind im Simulatorraum sowie im Fahrzeug positioniert. Die Tonausgaben stammen aus der Sound-Bibliothek von SILAB und die Motorgeräusche werden variabel, in Abhängigkeit der Geschwindigkeit wiedergegeben. Auch die Lautstärke der Fahr- und Umgebungsgeräusche kann individuell eingestellt werden. Zusätzlich ist unter dem Fahrersitz ein Körperschallwandler eingebaut, der die Frequenzinhalte des Motorgeräuschs in Abhängigkeit der Motordrehzahl in Vibrationen wiedergibt. Damit Probanden mit der Leitwarte kommunizieren können, ist ein kleines Mikrophon im Fahrerbereich installiert. Ausgaben eines Mikrofons in der Leitwarte werden aus den Lautsprechern im Innenraum ausgegeben, sodass eine wechselseitige Interaktion möglich ist.

Grundlegend für das Zusammenspiel der Simulatorkomponenten sind die Softwareprogramme. Zum einen wird die Umgebungssimulationssoftware SILAB genutzt, die das Erstellen der visuellen und auditiven Darstellung von jeglichen Verkehrsszena-

rien ermöglicht. Eine eigene Programmiersprache wird dazu verwendet, vorgefertigte Bausteine aus Bibliotheken zusammenzufügen und somit ein einheitliches Fahrscenario zu erstellen. Dabei besitzt der Programmierer unter anderem die Möglichkeit, die Umwelt, die Fahrbahneigenschaften, das Streckendesign, den Verkehr oder das Wetter und die Tageszeit zu bestimmen. Weitere Funktionen wie das Integrieren von Assistenzsystemen via Head-Up-Display können über das Programm eingebettet werden. Verkehrssituationen können gezielt erzwungen werden und sehen für jeden Probanden immer gleich aus.

Ein weiteres Programm ist CarMaker der Firma IPG Automotive GmbH, welches die Quelle für die Fahrdynamiksimulation darstellt. Die Fahrleistung und das Fahrverhalten kann hier vorgegeben und angepasst werden. Zur Steuerung der Simulationsläufe wird die Software ControlDesk genutzt. Es handelt sich hierbei um eine Instrumentier-Software, die es ermöglicht, Experimente mit Anzeigefenstern, virtuelle Schalter, Schieber und Regler zu erstellen, mit denen der Simulator oder einzelne Komponenten kontrolliert und angesteuert werden können.



Bild 12: Fahrsimulator des KFZB

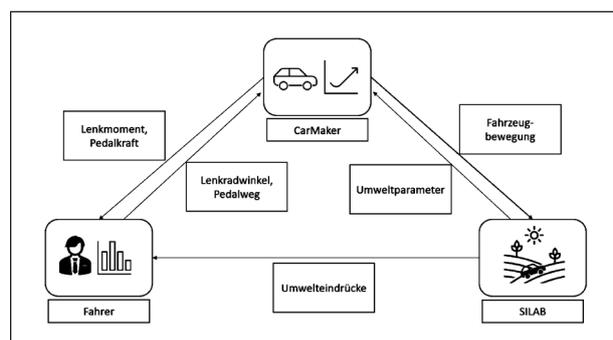


Bild 13: Schematische Darstellung der Funktion des Simulators

Vereinfacht dargestellt besteht der gesamte Fahr-Simulator aus einem Echtfahrzeug als Mockup, einer echtzeitfähigen Fahrdynamiksimulation und einer Visualisierungssoftware, welche die Fahrbilder auf mehreren Leinwänden projiziert. Der Fahrer reagiert auf die Umwelteindrücke der Visualisierung und betätigt Lenkrad und Pedalerie. Diese Reaktionen werden von dem Fahrdynamikmodell in Form von Fahrzeugreaktionen an den Fahrer zurückgegeben und als Fahrzeugbewegung SILAB weitergegeben, welches wiederum die aktuellen Umweltparameter zurückgibt.

Die Pedalerie, das Kombiinstrument mit den Geschwindigkeits- und Motordrehzahlangaben sowie der Motionseat, das Bewegungssystem und das aktive Lenkrad sind mit dem Echtzeitrechner verbunden, der die vorprogrammierte Fahrdynamiksimulation enthält. Das Kombiinstrument erhält Informationen von der Fahrdynamik, während die Pedalerie und das Lenkrad zusätzlich auch Fahrereingaben (Lenkwinkel und Pedalweg) an den Echtzeitrechner weitergeben. Die Fahrereingaben werden hier in Fahrzeugreaktionen umgerechnet. Diese Fahrzeugreaktionen werden dem Fahrer über das Lenkmoment und die Pedalkraft zurückgegeben.

### Simulationsumgebung

Die simulierte Strecke bestand aus einer zweispurigen Kraffahrstraße mit Gegenverkehr. Simuliert wurden drei verschiedene kritische Streckentypen: S-Kurve (Kurvenradius von 380 m auf 200 m Streckenlänge), Bergkuppe (Steigung: 4 %) und 90°-Kurve mit Nebel (Kurvenradius von 330 m auf 400 m Streckenlänge). Letztere wurde gewählt, da sich die Autobahnzufahrt, die ursprünglich ausgewählt worden war, nicht adäquat im Simulator reali-

sieren ließ. Außerdem wurde die Wetterbedingung und damit Straßenzustand sowie Reibwert in drei Stufen variiert. Bei trockener Fahrbahn lag ein Reibwert von  $\mu_{\text{trocken}} = 1$  vor. Bei Regen war die Fahrbahn sichtbar nass, es waren Regentropfen zu sehen und zu hören und der Reibwert lag bei  $\mu_{\text{Regen}} = 0,5$ . Bei Starkregen war die sichtbare Fahrbahn nasser stärker ausgeprägt als in der Regenbedingung. Auch hier waren Regentropfen sichtbar und hörbar; der Reibwert lag bei  $\mu_{\text{Starkregen}} = 0,3$ . Die Unterschiede in den Wetterbedingungen waren sowohl visuell und akustisch wahrnehmbar als auch in der Fahrdynamik spürbar. Bei niedrigerem Reibwert geriet das Fahrzeug leichter ins Rutschen als bei hohem Reibwert.

### Fahrsituationen und Umsetzung der Warnstrategie im Fahr-Simulator

Die simulierte Fahrstrecke wurde in drei Durchgängen aufgeteilt. In jedem Durchgang wurden drei Fahrsituationen dargeboten, die alle die gleiche Struktur aufwiesen (siehe Bild 14). Jede Fahrsituation begann mit einem leicht kurvigen Verbindungsstraßenstück, das als Filler fungierte und die Vorhersehbarkeit von kritischen Ereignissen reduzieren sollte. Anschließend folgte ein 500 m langer gerader Streckenabschnitt, in dem in der Gruppe mit Warnstrategie die Vorwarnung präsentiert wurde. Dann folgte ein insgesamt 700 m langer Abschnitt, in dem die Wetterbedingung variiert wurde und zu dessen Beginn die Warnung dargeboten wurde, wenn Straßenglätte bestand. Dieser Abschnitt begann mit einer 150 m langen, geraden Strecke, gefolgt von dem kritischen Streckentyp (z. B. S-Kurve) und einer erneut 150 m langen, geraden Strecke. Daran schloss sich eine 800 m lange gerade, trockene Strecke an, zu deren Beginn in der Gruppe

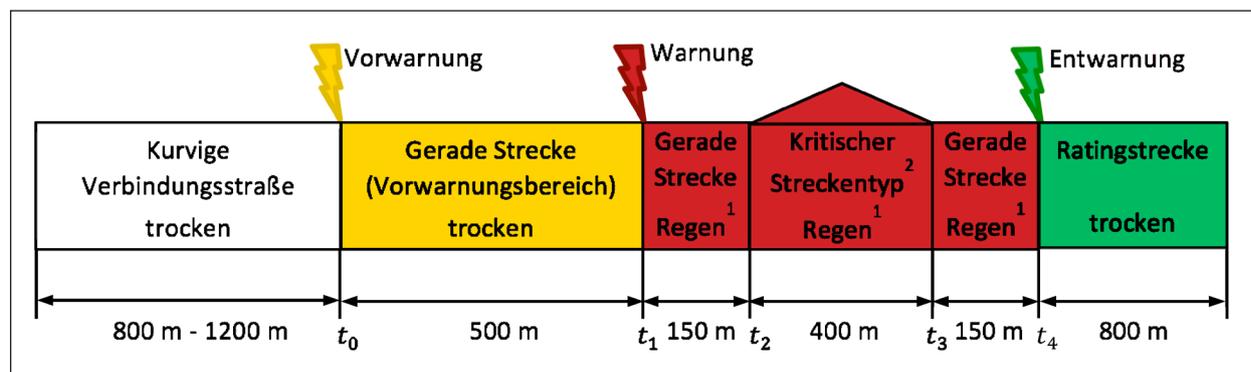


Bild 14: Schematische Darstellung einer Fahrsituation in der Gruppe mit Warnung und mit Straßenzustand Regen. 1: Variation der Wetterbedingung (trocken  $\mu = 1$ , Regen  $\mu = 0,5$  oder Starkregen  $\mu = 0,3$ ). 2: Variation des kritischen Streckentyps (S-Kurve, Bergkuppe oder 90°-Kurve im Nebel).

mit Warnung die Entwarnung präsentiert wurde und deren Dauer genutzt wurde, um die Kritikalität der Fahrsituation von den Probanden raten zu lassen (Ratingstrecke).

Am Ende eines jeden Durchgangs bremsten die Probanden zum Stillstand ab, ehe der nächste begann. Zum Schluss des letzten Durchgangs wurde noch eine vierte Fahrsituation dargeboten. Hierbei handelte es sich um eine zusätzliche Bergkuppe mit Starkregen, hinter der sich ein Stauende befand. Für diesen Durchgang bestand durch das Hindernis ein erhöhtes Unfallrisiko.

Die auditorischen Anteile der Warnstrategie (Warn-ton und Sprachausgabe) wurden über Lautsprecher im Fahrzeug dargeboten. Das Glätte-Icon wurde in der Form eines Head-Up-Displays kurz über dem Lenkrad auf der Leinwand eingeblendet. Dabei wurde die Meterangabe alle 200 m aktualisiert.

### 7.1.3 Versuchsdesign

In dieser Studie wurden drei unabhängige Variablen (vgl. Bild 13) variiert:

- Warnungsbedingung  
(mit Warnung vs. ohne Warnung, Between-Subjects)
- Kritischer Streckentyp  
(S-Kurve vs. Bergkuppe vs. 90°-Kurve mit Nebel, Within-Subjects)
- Wetterbedingung  
(trocken/ $\mu_{\text{trocken}} = 1$  vs. Regen/ $\mu_{\text{Regen}} = 0,5$  vs. Starkregen/ $\mu_{\text{Starkregen}} = 0,3$ , Within-Subjects)

Außerdem erlebten alle Probanden am Ende der Studie die Fahrsituation mit erhöhtem Unfallrisiko (Bergkuppe mit Stauende), die zwar im Versuchs-

design aufgeführt ist, aber separat statistisch ausgewertet wurde.

Als abhängige Variablen wurden sowohl objektive als auch subjektive Messgrößen eingesetzt. Als objektives Maß für das Fahrverhalten diente die Geschwindigkeitsreduktion, als objektive Maße für die Fahrleistung wurden die Unfallhäufigkeit, die Häufigkeit von Notausweichmanövern und die minimale Time-to-Collision zum Stauende verwendet. Subjektive Maße waren die subjektive Kritikalität, die über ein Single-Item nach jeder Fahrsituation erfasst wurde, und die Bewertung der Warnstrategie hinsichtlich Zufriedenheit und Nützlichkeit mithilfe des Akzeptanz-Fragebogens von VAN DER LAAN [1997].

### 7.1.4 Fragebogen

#### Subjektive Kritikalität

Die subjektive Kritikalität wurde verbal nach jeder kritischen Fahrsituation auf der dafür vorgesehenen geraden Ratingstrecke erhoben. Dazu diente ein Single-Item mit einer 10-Punkte-Likert-Skala von 1 (gar nicht kritisch) bis 10 (sehr kritisch). Die Probanden erhielten folgende Frage: „Wie kritisch empfanden Sie die eben erlebte Fahrsituation auf einer Skala von 1 (gar nicht kritisch) bis 10 (sehr kritisch)?“ und gaben ihre Antwort verbal. Der Versuchsleiter vermerkte die Antwort auf einem Tablet-PC.

#### Zufriedenheit und Nützlichkeit der Warnstrategie

Die subjektive Beurteilung der Warnstrategie hinsichtlich Zufriedenheit und Nützlichkeit wurde mit dem Akzeptanz-Fragebogen von VAN DER LAAN [1997] durchgeführt. Dieser Fragebogen liegt in

Warnung \ Kritischer Streckentyp	Mit Warnung			Ohne Warnung		
	Wetterbedingung			Wetterbedingung		
	trocken $\mu = 1$	Regen $\mu = 0,5$	Starkregen $\mu = 0,3$	trocken $\mu = 1$	Regen $\mu = 0,5$	Starkregen $\mu = 0,3$
S-Kurve						
Bergkuppe		EG			KG	
90°-Kurve mit Nebel						
Bergkuppe mit Stauende und Starkregen		EG			KG	

Tab. 30: Versuchsdesign

Form eines semantischen Differenzials vor, bei dem die Probanden ihre Zustimmung zu 9 Wortpaaren durch Ankreuzen auf einer Skala von -2 bis +2 zum Ausdruck bringen.

### 7.1.5 Versuchsablauf

Zu Beginn der Untersuchung wurden die Versuchspersonen durch den Versuchsleiter begrüßt und über die Corona-Hygieneregeln belehrt. Anschließend wurden sie mit den Zielen und den Vorgehensweisen der Studie vertraut gemacht und füllten die Einverständniserklärung zur Teilnahme am Versuch aus. Danach machten sie sich zunächst im Rahmen eines Fahrtrainings mit dem Fahrsimulator vertraut. Hier übten die Probanden die Steuerung des simulierten Fahrzeugs in Längs- und Querrichtung für einen Zeitraum von 5 Minuten.

In der anschließenden Testphase wurden die Probanden instruiert, dass sie nun auf einer simulierten Kraftfahrstraße fahren werden, auf der sie als Lkw-Fahrer 80 km/h fahren dürfen. Es erfolgte keine Instruktion zu den Wetterbedingungen oder zur Warnstrategie. Die Testphase bestand aus drei Durchgängen mit je 3 kritischen Fahrsituationen (Kombination aus kritischem Streckentyp und Wetterbedingung). Die Struktur der Fahrsituationen zeigt Bild 14. Kritische Streckentypen und Wetterbedingungen wurden randomisiert dargeboten. Eine Warnung erhielt nur die Experimentalgruppe (EG) und nur wenn es regnete. Alle Probanden beantworteten nach den Fahraufgaben einen demografischen Fragebogen und absolvierten ein Interview. Beim Interview erhielt die Gruppe ohne Warnung lediglich eine Frage zur Geschwindigkeitsreduktion während der Fahrt und eine Frage zur Bewertung von Glätte-Icons. Die Gruppe mit Warnung erhielt weitere sieben Fragen zur Bewertung des Warnsystems. Das Interview bestand aus Fragen, die offen beantwortet werden sollten. Abschließend wurden die Teilnehmer beider Gruppen vollständig über die Ziele der Studie informiert, vergütet und verabschiedet.

## 7.2 Auswertung

Die folgenden Analysen gliedern sich nach unseren vier Fragestellungen (siehe Kapitel 7). Zuerst wird der Einfluss der Warnstrategie auf die Geschwindigkeitsreduktion untersucht. Zur Vereinfachung der inferenzstatistischen Auswertung werden die Analysen zur Geschwindigkeitsreduktion für die

verschiedenen kritischen Streckentypen und für die verschiedenen Abschnitte innerhalb einer Fahrsituation getrennt durchgeführt. Betrachtete Abschnitte sind die gerade Strecke vor dem Wetterwechsel (ggf. Vorwarnungsstrecke;  $t_0-t_1$ ), die gerade Strecke nach dem Wetterwechsel ( $t_1-t_2$ ), der kritische Streckentyp selbst ( $t_2-t_3$ ) und die gerade Strecke nach dem kritischen Streckentyp ( $t_3-t_4$ ; siehe Bild 14). Durch diese Aufteilung der Analysen in Streckenbereiche können Effekte besser linear approximiert werden. Innerhalb jeder der Teilanalysen wird ein Linear-Mixed-Effects-Modell berechnet ('lme4' Package [BATES, 2012]). Als Kriterium dient die Geschwindigkeitsdifferenz im Vergleich zur Trockenbedingung (Baseline):

$$\begin{aligned} \Delta v_{i,Regen}(x) &= v_{i,trocken}(x) - v_{i,Regen}(x), & i: \text{Proband} \\ \Delta v_{i,Starkregen}(x) &= v_{i,trocken}(x) - v_{i,Starkregen}(x) & x: \text{Position} \\ & & v: \text{Geschwindigkeit} \end{aligned}$$

Dadurch wird gewährleistet, dass die Effekte als Geschwindigkeitsreduktion im Vergleich zum Fall ohne Glätte interpretiert werden können. Außerdem vereinfacht sich die Auswertung des Faktors Wetterbedingung deutlich. Als Prädiktoren dienen die Warnungsbedingung (Warnung vs. keine Warnung), die Wetterbedingung (Regen vs. Starkregen) und die gefahrenen Streckenmeter.

Anschließend wird der Einfluss der Warnstrategie auf die Fahrleistung untersucht. Dafür wird die letzte Fahrsituation (Stauende hinter Bergkuppe bei Starkregen) betrachtet. Die Fahrleistung wird über die minimale Time-to-Collision zum Stauende, die Häufigkeit von Notausweichmanövern auf die Gegenspur und die Kollisionshäufigkeit operationalisiert. Vergleiche werden per einseitigem t-Test für unabhängige Stichproben zwischen der Experimental- und der Kontrollgruppe vorgenommen.

Die dritte Fragestellung adressiert den Einfluss der Warnstrategie und der Wetterbedingungen auf die erlebte Kritikalität, die die Probanden nach jeder Fahrsituation beurteilt haben. Hierzu wird ein Linear-Mixed-Effects-Modell mit den Kritikalitätsratings als Kriterium und Wetterbedingung sowie Warnungsbedingung als Prädiktoren durchgeführt.

Zuletzt wird die Bewertung der Warnstrategie durch die Lkw-Fahrer untersucht. Dazu werden die Ratings der Lkw-Fahrer im Akzeptanzfragebogen [VAN DER LAAN, 1997] und die Angaben im Interview verwendet. Für die Analyse der Interviewdaten wurde eine qualitative Inhaltsanalyse nach Mayring durchgeführt, um die Antworten zu kategorisieren.

## 7.3 Ergebnisse

### 7.3.1 Deskriptive Ergebnisse – Geschwindigkeitsverläufe

Im Folgenden sind die gemittelten Geschwindigkeitsverläufe für die verschiedenen kritischen Streckentypen S-Kurve (Bild 15), Bergkuppe (Bild 16) und 90°-Kurve mit Nebel (Bild 17) dargestellt. Diese unterteilen sich wiederum in einzelne Plots für die verschiedenen Wetterbedingungen. Außerdem sind die Teilabschnitte durch vertikale Linien gekennzeichnet. Dabei stellt die gelbe vertikale Linie den Beginn der Vorwarnung ( $t_0$ ), die rote Linie den Wetterwechsel und damit ggf. den Beginn der Warnung ( $t_1$ ) und die grüne Linie das Ende des Regengebiets und ggf. die Entwarnung ( $t_4$ ) dar. Die roten gestrichelten Linien umrahmen die kritischen Streckentypen ( $t_2$ - $t_3$ ). Die Linien sind zur Orientierung in allen Plots enthalten. Es ist aber zu beachten, dass es in Trockenbedingung der Experimentalgruppe keine Warnung gab und dass die Kontrollgruppe zu keinem Zeitpunkt eine Warnung erhielt. In diesen Bildern ist die gemittelte Geschwindigkeit und nicht die Geschwindigkeitsdifferenz dargestellt, damit ein erster Eindruck vom Fahrverhalten und der absoluten Geschwindigkeitwahl der Probanden in den verschiedenen Wetterbedingungen gewonnen werden kann. Für die inferenzstatistischen Untersuchungen wird dann die Geschwindigkeitsdifferenz im Vergleich zur Trockenbedingung (Baseline) betrachtet.

Deskriptiv zeigt sich, dass die Probanden in Regen- gebieten eine geringere Geschwindigkeit wählen

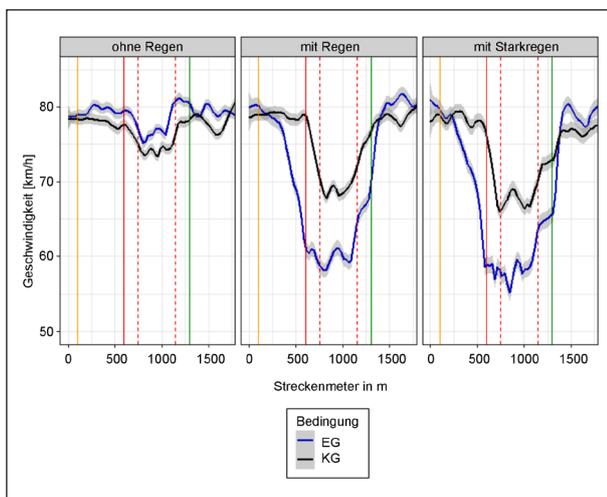


Bild 15: Gemittelte Geschwindigkeitsverläufe für den kritischen Streckentypen S-Kurve, getrennt nach Wetterbedingungen. Die graue Schattierung stellt das 95%-Konfidenzintervall dar.

als in trockenen Streckenbereichen. Innerhalb der Regengebiete fährt die Gruppe mit Warnung (EG) mit einer geringeren Geschwindigkeit als die Gruppe ohne Warnung (KG). Außerdem reduziert die Gruppe mit Warnung bereits im Vorwarnungsabschnitt und damit früher als die Gruppe ohne Warnung ihre Geschwindigkeit. Bei Streckentyp 90°-Kurve mit Nebel zeigt sich ein etwas anderes Bild. Hier ist die Geschwindigkeitsreduktion auch in der Trockenbedingung und in der Gruppe ohne Warnung stark ausgeprägt (siehe Bild 15). Dies kann auf die Behinderung der Sicht durch den Nebel zurückgeführt werden, die alle Probanden unabhängig von ihrer Warnungs- und Wetterbedingung bei diesem Streckentyp erleben.

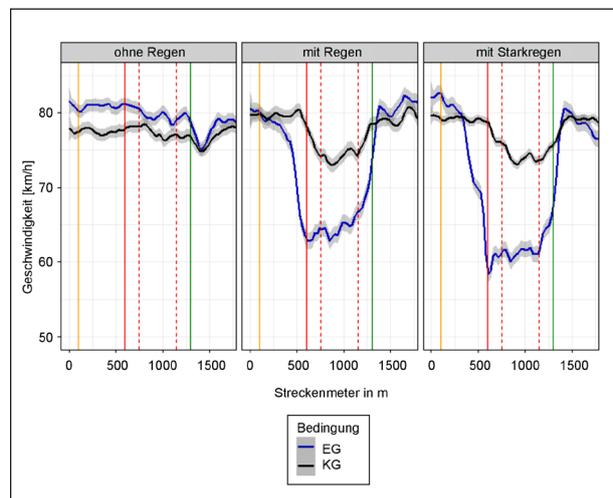


Bild 16: Gemittelte Geschwindigkeitsverläufe für den kritischen Streckentypen Bergkuppe, getrennt nach Wetterbedingungen. Die graue Schattierung stellt das 95%-Konfidenzintervall dar.

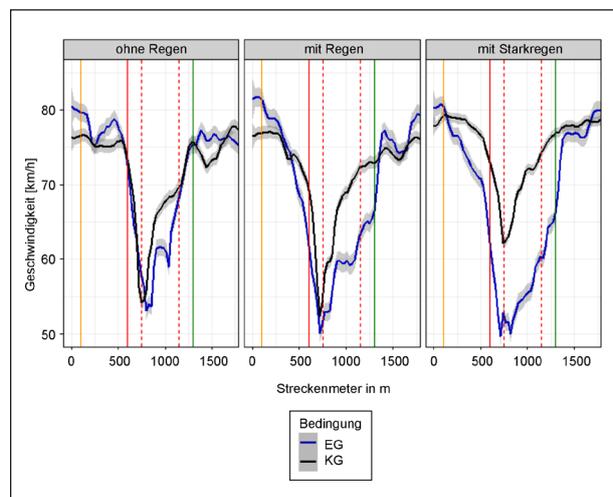


Bild 17: Gemittelte Geschwindigkeitsverläufe für den kritischen Streckentypen 90°-Kurve mit Nebel, getrennt nach Wetterbedingungen. Die graue Schattierung stellt das 95%-Konfidenzintervall dar.

### 7.3.2 Inferenzstatistische Ergebnisse

#### Vorwarnungsbereich (S-Kurve)

Das Linear-Mixed-Effects-Modell zeigt einen Einfluss der Warnungsbedingung und des Streckenmeters auf die Geschwindigkeitsdifferenz zur Baseline (siehe Tabelle 31 und Bild 18). In der Gruppe mit Warnung (EG) war die Geschwindigkeitsreduktion stärker als in der Gruppe ohne Warnung (KG). Die Geschwindigkeit wurde mit zunehmendem Streckenmeter stärker reduziert. Es gab eine signifikante Interaktion zwischen Warnungsbedingung und Streckenmeter, d. h. in der Gruppe mit Warnung wurde die Geschwindigkeit über die Streckenmeter hinweg stärker reduziert als in der Gruppe ohne Warnung.

#### Gerade Strecke nach Wetterwechsel (S-Kurve)

Das Linear-Mixed-Effects-Modell zeigt einen Einfluss der Warnungsbedingung auf die Geschwindigkeitsdifferenz zur Baseline (siehe Tabelle 32 und Bild 19). In der Gruppe mit Warnung (EG) war die Geschwindigkeitsreduktion stärker ausgeprägt als in der Gruppe ohne Warnung (KG). Der Strecken-

	<i>b</i>	SE	<i>t</i>	<i>p</i>
Intercept	-2,382	0,590	4,04	< 0,001
Warnungsbedingung	6,097	1,179	5,17	< 0,001
Streckenmeter	-0,867	0,072	11,99	< 0,001
Warnungsbedingung : Streckenmeter	1,776	0,145	12,29	< 0,001

Tab. 31: Ergebnisse des Linear-Mixed-Effects-Modells für den Vorwarnungsbereich des kritischen Streckentyps S-Kurve

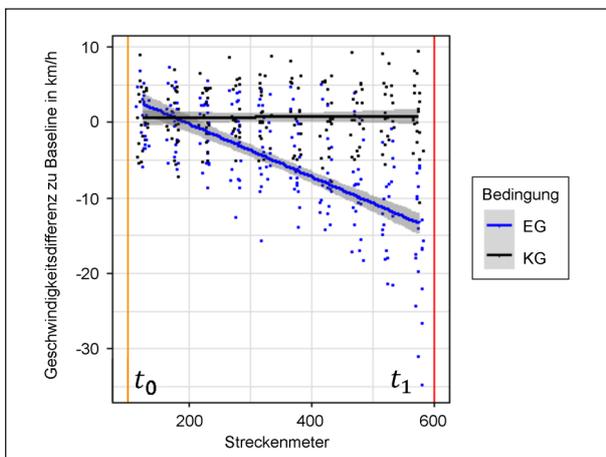


Bild 18: Geschwindigkeitsdifferenzen im Vorwarnungsbereich des Streckentyps S-Kurve. Zusammenhänge wurden linear approximiert.

meter hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Geschwindigkeitsdifferenz. Dagegen zeigte sich ein signifikanter Einfluss der Wetterbedingung auf die Geschwindigkeitsdifferenz. In der Starkregenbedingung kam es zu einer stärkeren Geschwindigkeitsreduktion im Vergleich zur Trockenbedingung (Baseline) als in der Regenbedingung. Keine der Interaktionen wurde signifikant. Bei der Interaktion zwischen Warnungsbedingung und Wetterbedingung lag jedoch ein Trend vor, nach dem der Unterschied in der Geschwindigkeitsreduktion zwischen der Gruppe mit Warnung und ohne Warnung in der Regenbedingung größer war als in der Starkregenbedingung.

	<i>b</i>	SE	<i>t</i>	<i>p</i>
Intercept	-9,605	1,256	7,645	< 0,001
Warnungsbedingung	16,155	2,513	6,429	< 0,001
Streckenmeter	-0,934	0,654	1,429	0,156
Wetterbedingung	-2,152	0,755	2,851	0,005
Warnungsbedingung : Streckenmeter	-2,198	1,308	1,681	0,096
Warnungsbedingung : Wetterbedingung	-2,981	1,510	1,975	0,051
Streckenmeter : Wetterbedingung	0,047	0,925	0,051	0,959

Tab. 32: Ergebnisse des Linear-Mixed-Effects-Modells für die gerade Strecke nach dem Wetterwechsel des kritischen Streckentyps S-Kurve

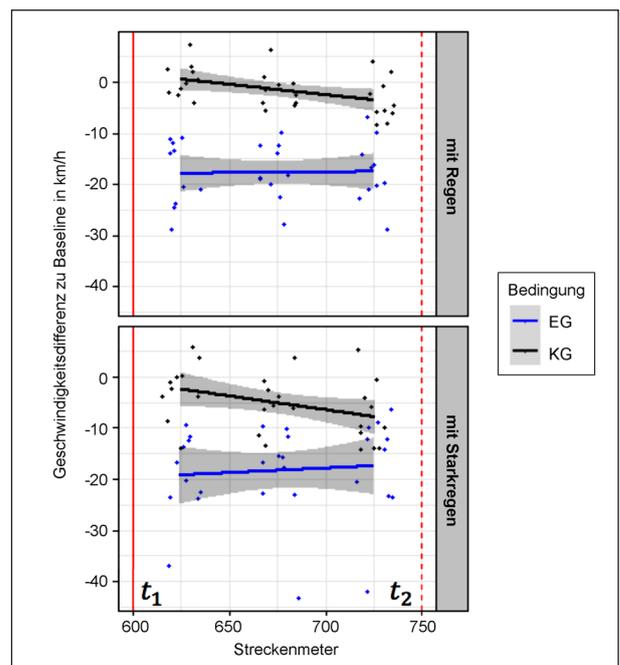


Bild 19: Geschwindigkeitsdifferenzen für den Abschnitt „Gerade Strecke nach Wetterwechsel“ des Streckentyps S-Kurve. Zusammenhänge wurden linear approximiert.

**Abschnitt mit kritischem Streckentyp (S-Kurve)**

Im Abschnitt mit dem kritischen Streckentyp (S-Kurve) zeigte das Linear-Mixed-Effects-Modell erneut einen Einfluss der Warnungsbedingung auf die Geschwindigkeitsreduktion (siehe Tabelle 33 und Bild 20). In der Gruppe mit Warnung (EG) war die Reduktion stärker ausgeprägt als in der Gruppe ohne Warnung (KG). Der Streckenmeter hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Geschwindigkeitsdifferenz.

Dagegen hatte die Wetterbedingung einen signifikanten Einfluss auf die Geschwindigkeitsdifferenz. In der Starkregenbedingung kam es zu einer stärkeren Geschwindigkeitsreduktion im Vergleich zur Trockenbedingung (Baseline) als in der Regenbedingung. Keine der Interaktionen wurde signifikant.

	<i>b</i>	SE	<i>t</i>	<i>p</i>
Intercept	-10,578	1,182	8,953	< 0,001
Warnungsbedingung	11,193	2,363	4,737	0,001
Streckenmeter	-0,002	0,145	0,016	0,987
Wetterbedingung	-1,078	0,468	2,300	0,022
Warnungsbedingung : Streckenmeter	0,208	0,289	0,719	0,473
Warnungsbedingung : Wetterbedingung	-0,174	0,937	0,186	0,852
Streckenmeter : Wetterbedingung	-0,031	0,204	0,152	0,879

Tab. 33: Ergebnisse des Linear-Mixed-Effects-Modells für den Abschnitt mit kritischem Streckentyp S-Kurve

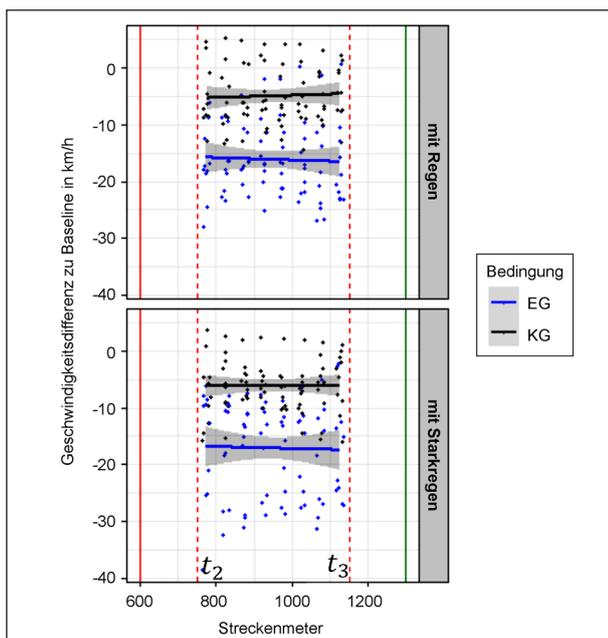


Bild 20: Geschwindigkeitsdifferenzen für den Abschnitt mit kritischem Streckentyp S-Kurve

**Gerade Strecke nach kritischem Streckentyp (S-Kurve)**

Auf der geraden Strecke nach dem kritischen Streckentyp (S-Kurve) zeigte das Linear-Mixed-Effects-Modell erneut einen Einfluss der Warnungsbedingung auf die Geschwindigkeitsreduktion (siehe Tabelle 34 und Bild 21). In der Gruppe mit Warnung (EG) war die Geschwindigkeitsreduktion stärker ausgeprägt als in der Gruppe ohne Warnung (KG). Auch der Streckenmeter hatte einen signifikanten Einfluss auf die Geschwindigkeitsdifferenz. In diesem Abschnitt kam es – trotz noch anhaltenden Regens – bereits zu einer Erhöhung der Geschwindigkeit. Außerdem gab es einen signifikanten Effekt

	<i>b</i>	SE	<i>t</i>	<i>p</i>
Intercept	-7,820	1,473	5,309	< 0,001
Warnungsbedingung	10,035	2,946	3,406	0,003
Streckenmeter	1,474	0,636	2,318	0,023
Wetterbedingung	-1,643	0,734	2,238	0,028
Warnungsbedingung : Streckenmeter	-0,381	1,274	0,299	0,765
Warnungsbedingung : Wetterbedingung	-0,769	1,468	0,524	0,602
Streckenmeter : Wetterbedingung	-0,852	0,899	0,948	0,346

Tab. 34: Ergebnisse des Linear-Mixed-Effects-Modells für die gerade Strecke nach dem kritischem Streckentyp S-Kurve

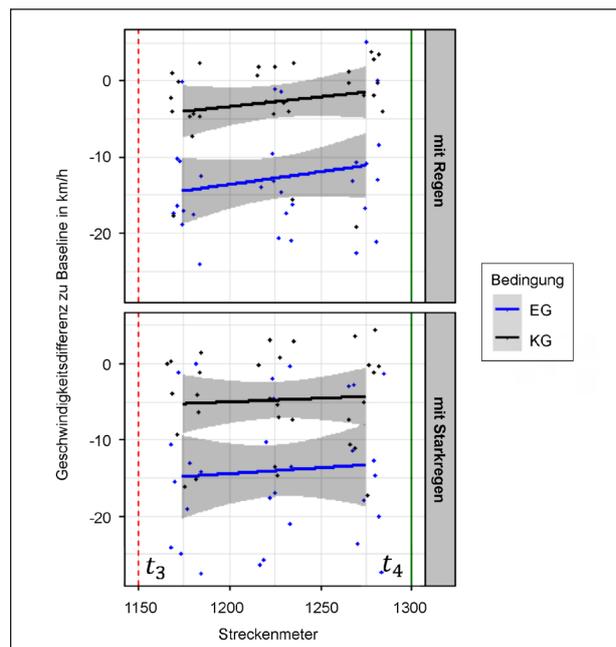


Bild 21: Geschwindigkeitsdifferenzen für die gerade Strecke nach dem kritischem Streckentyp S-Kurve

der Wetterbedingung auf die Geschwindigkeitsdifferenz. In der Starkregenbedingung kam es zu einer stärkeren Geschwindigkeitsreduktion im Vergleich zur Trockenbedingung (Baseline) als in der Regenbedingung. Keine der Interaktionen wurde signifikant.

**Vorwarnungsbereich (Bergkuppe)**

Für den kritischen Streckentypen Bergkuppe finden sich in der Vorwarnungsphase ähnliche Effekte wie bei der S-Kurve. Das Linear-Mixed-Effects-Modell zeigt einen Einfluss der Warnungsbedingung und des Streckenmeters auf die Geschwindigkeitsdifferenz zur Baseline (siehe Tabelle 35 und Bild 22). In der Gruppe mit Warnung (EG) war die Geschwindigkeitsreduktion stärker ausgeprägt als in der Gruppe ohne Warnung (KG). Die Geschwindigkeit wurde mit zunehmendem Streckenmeter stärker reduziert. Es gab eine signifikante Interaktion zwischen Warnungsbedingung und Streckenmeter. In der Gruppe mit Warnung wurde die Geschwindigkeit über die Streckenmeter hinweg stärker reduziert als in der Gruppe ohne Warnung.

	<i>b</i>	SE	<i>t</i>	<i>p</i>
Intercept	-1,595	0,775	2,058	0,054
Warnungsbedingung	7,018	1,550	4,528	< 0,001
Streckenmeter	-0,827	0,073	11,365	< 0,001
Warnungsbedingung : Streckenmeter	1,707	0,146	11,724	< 0,001

Tab. 35: Ergebnisse des Linear-Mixed-Effects-Modells für den Vorwarnungsbereich des kritischen Streckentyps Bergkuppe

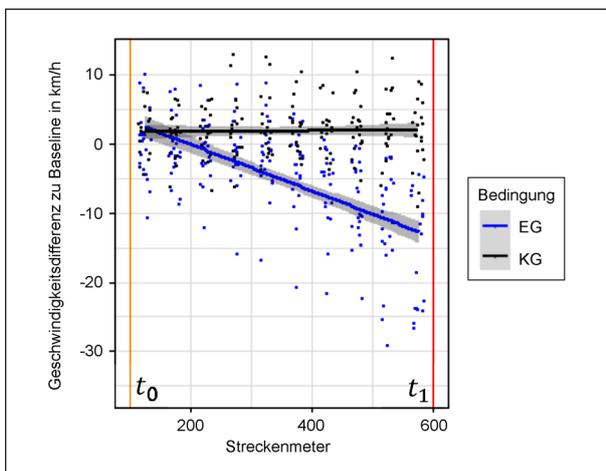


Bild 22: Geschwindigkeitsdifferenzen im Vorwarnungsbereich des Streckentyps Bergkuppe

**Gerade Strecke nach Wetterwechsel (Bergkuppe)**

Das Linear-Mixed-Effects-Modell zeigt einen Einfluss der Warnungsbedingung auf die Geschwindigkeitsdifferenz zur Baseline (siehe Tabelle 36 und Bild 23). In der Gruppe mit Warnung (EG) war die Geschwindigkeitsreduktion stärker ausgeprägt als in der Gruppe ohne Warnung (KG). Der Streckenmeter und die Wetterbedingung hatten keinen signifikanten Einfluss auf die Geschwindigkeitsdifferenz. Es zeigte sich jedoch eine signifikante Interaktion zwischen Warnungsbedingung und Wetterbedingung. Der Unterschied in der Geschwindigkeitsre-

	<i>b</i>	SE	<i>t</i>	<i>p</i>
Intercept	-8,823	1,579	5,587	< 0,001
Warnungsbedingung	14,179	3,158	4,490	< 0,001
Streckenmeter	-0,367	0,539	0,680	0,498
Wetterbedingung	-1,098	,638	1,719	0,089
Warnungsbedingung : Streckenmeter	-1,898	1,077	1,761	0,082
Warnungsbedingung : Wetterbedingung	4,175	1,277	3,269	0,002
Streckenmeter : Wetterbedingung	0,415	0,772	0,538	0,592

Tab. 36: Ergebnisse des Linear-Mixed-Effects-Modells für die gerade Strecke vor dem Wetterwechsel des kritischen Streckentyps Bergkuppe

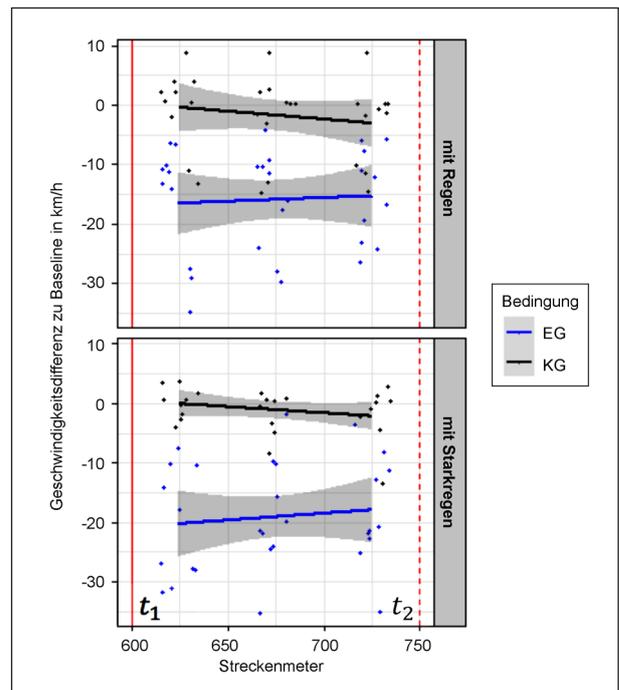


Bild 23: Geschwindigkeitsdifferenzen für den Abschnitt „Gerade Strecke nach Wetterwechsel“ des Streckentyps Bergkuppe

duktion zwischen der Gruppe mit Warnung und ohne Warnung war in der Starkregenbedingung größer als in der Regenbedingung.

**Abschnitt mit kritischem Streckentyp (Bergkuppe)**

Ähnlich wie bei der S-Kurve zeigte sich auch bei der Bergkuppe im Abschnitt mit dem kritischen Streckentyp ein signifikanter Effekt der Warnungsbedingung auf die Geschwindigkeitsreduktion (siehe Tabelle 37 und Bild 24). In der Gruppe mit Warnung (EG) war die Geschwindigkeitsreduktion stärker ausgeprägt als in der Gruppe ohne Warnung (KG).

	<i>b</i>	SE	<i>t</i>	<i>p</i>
Intercept	-8,155	1,585	5,144	< 0,001
Warnungsbedingung	10,759	3,171	3,393	0,003
Streckenmeter	0,438	0,124	3,531	< 0,001
Wetterbedingung	-1,659	0,413	4,016	< 0,001
Warnungsbedingung : Streckenmeter	-0,007	0,248	0,027	0,978
Warnungsbedingung : Wetterbedingung	3,124	0,826	3,780	< 0,001
Streckenmeter : Wetterbedingung	-0,283	0,178	1,592	0,112

Tab. 37: Ergebnisse des Linear-Mixed-Effects-Modells für den Abschnitt mit kritischem Streckentyp Bergkuppe

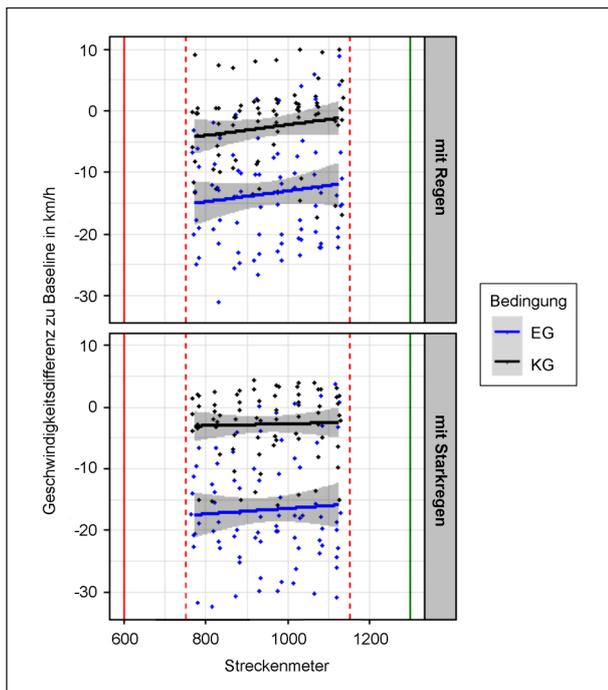


Bild 24: Geschwindigkeitsdifferenzen für den Abschnitt mit kritischem Streckentyp Bergkuppe

Im Gegensatz zur S-Kurve zeigte sich bei der Bergkuppe in diesem Abschnitt aber auch ein signifikanter Einfluss des Streckenmeters auf die Geschwindigkeitsdifferenz. Mit voranschreitendem Streckenmeter kam es bei der Bergkuppe in diesem kritischen Straßenabschnitt bereits wieder zu einer Zunahme der Geschwindigkeit. Auch die Wetterbedingung hatte einen signifikanten Einfluss auf die Geschwindigkeitsdifferenz. In der Starkregenbedingung kam es zu einer stärkeren Geschwindigkeitsreduktion. Außerdem gab es eine signifikante Interaktion zwischen der Warnungsbedingung und der Wetterbedingung. Der Unterschied in der Geschwindigkeitsdifferenz zwischen den Warnungsbedingungen war für Starkregen ausgeprägter als in der Regenbedingung.

**Gerade Strecke nach kritischem Streckentyp (Bergkuppe)**

Auf der geraden Strecke nach dem kritischen Streckentyp (Bergkuppe) zeigte das Linear-Mixed-Effects-Modell erneut einen Einfluss der Warnungsbedingung auf die Geschwindigkeitsreduktion (siehe Tabelle 38 und Bild 25). In der Gruppe mit Warnung (EG) war die Geschwindigkeitsreduktion stärker ausgeprägt als in der Gruppe ohne Warnung (KG). Auch der Streckenmeter hatte einen signifikanten Einfluss auf die Geschwindigkeitsdifferenz. In diesem Abschnitt kam es, trotz noch anhaltendem Regengebiet, bereits zu einer Erhöhung der Geschwindigkeit. Außerdem gab es einen signifikanten Effekt der Wetterbedingung auf die Geschwindigkeitsdifferenz. In der Starkregenbedingung kam es zu einer stärkeren Geschwindigkeitsreduktion im Vergleich zur Trocken-Baseline als in der Regenbedingung. Keine der Interaktionen wur-

	<i>b</i>	SE	<i>t</i>	<i>p</i>
Intercept	-4,691	1,988	2,359	0,029
Warnungsbedingung	9,723	3,976	2,445	0,025
Streckenmeter	1,561	0,516	3,024	0,003
Wetterbedingung	-2,593	0,612	4,236	< 0,001
Warnungsbedingung : Streckenmeter	-0,399	1,032	,386	0,700
Warnungsbedingung : Wetterbedingung	2,425	1,224	1,981	0,051
Streckenmeter : Wetterbedingung	-0,490	0,740	0,661	0,510

Tab. 38: Ergebnisse des Linear-Mixed-Effects-Modells für die gerade Strecke nach dem kritischem Streckentyp Bergkuppe

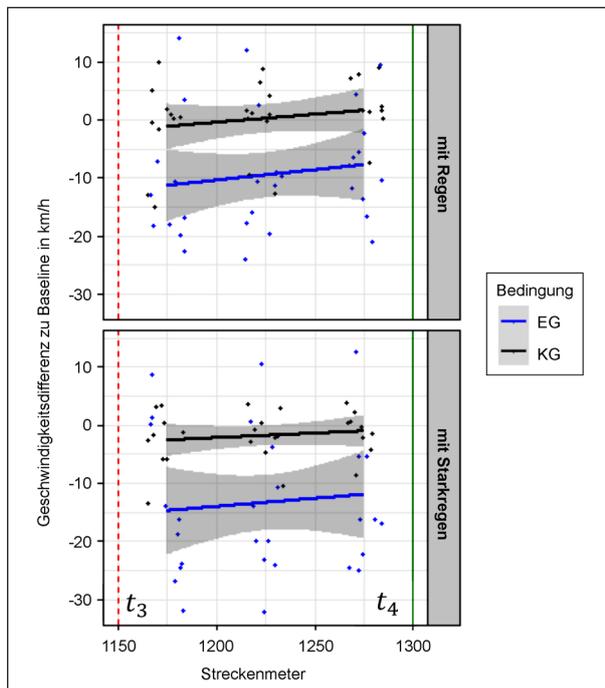


Bild 25: Geschwindigkeitsdifferenzen für die gerade Strecke nach dem kritischen Streckentyp Bergkuppe

de signifikant. Bei der Interaktion zwischen Warnungsbedingung und Wetterbedingung lag jedoch ein Trend vor, nach dem der Unterschied in der Geschwindigkeitsreduktion zwischen der Gruppe mit Warnung und ohne Warnung in der Starkregenbedingung größer war als in der Regenbedingung.

Für die Bergkuppe und die S-Kurve ergab sich ein recht einheitliches Befundmuster bezüglich des Einflusses von Warnungsbedingung und Wetterbedingung auf die Geschwindigkeitsdifferenz in den verschiedenen Abschnitten. Bei der 90°-Kurve mit Nebel zeigte sich ein anderes Bild. Wie auch schon bei der Betrachtung der deskriptiven Ergebnisse deutlich wurde, kam es bei der 90°-Kurve mit Nebel auch in der Gruppe ohne Warnstrategie und in den Durchgängen ohne Regen zu deutlichen Geschwindigkeitsreduktionen.

### Vorwarnungsbereich (90°-Kurve mit Nebel)

Das Linear-Mixed-Effects-Modell zeigte keinen signifikanten Haupteffekt der Warnungsbedingung auf die Geschwindigkeitsdifferenz zur Baseline (siehe Tabelle 39 und Bild 26). Daher ließ sich bei einer mittleren Ausprägung des Streckenmeters kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen mit und ohne Warnung finden. Es lag jedoch ein signifikanter Effekt des Streckenmeters und eine signifikante Interaktion vor. Beide Gruppen reduzierten

	<i>b</i>	SE	<i>t</i>	<i>p</i>
Intercept	-1,203	1,132	1,062	0,302
Warnungsbedingung	3,688	2,264	1,629	0,121
Streckenmeter	-0,842	0,083	10,196	< 0,001
Warnungsbedingung : Streckenmeter	0,799	0,165	4,840	< 0,001

Tab. 39: Ergebnisse des Linear-Mixed-Effects-Modells für den kritischen Streckentyp 90°-Kurve mit Nebel im Abschnitt Vorwarnungsbereich

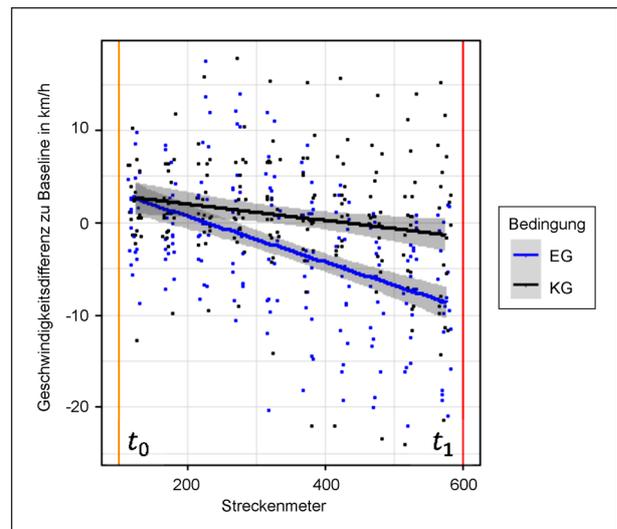


Bild 26: Geschwindigkeitsdifferenzen im Vorwarnungsbereich des Streckentyps 90°-Kurve mit Nebel

auf dieser geraden Strecke vor dem Wetterwechsel bereits ihre Geschwindigkeit. Die Geschwindigkeitsreduktion über die Streckenmeter hinweg war in der Gruppe mit Warnung (EG) aber stärker ausgeprägt als in der Gruppe ohne Warnung (KG).

### Gerade Strecke nach Wetterwechsel (90°-Kurve mit Nebel)

Auf der geraden Strecke nach dem Wetterwechsel zeigte sich ebenfalls kein Haupteffekt der Warnungsbedingung auf die Geschwindigkeitsreduktion (siehe Tabelle 40 und Bild 27). Bei einer mittleren Ausprägung des Streckenmeters reduzierte die Gruppe ohne Warnung ihre Geschwindigkeit ähnlich stark wie die Gruppe mit Warnung. In Bild 27 wird außerdem sichtbar, dass die Geschwindigkeitsdifferenz zur Baseline, die auf der y-Achse abgetragen ist, viel näher bei null liegt als bei der S-Kurve und der Bergkuppe. Dies weist darauf hin, dass auch bereits auf trockener Fahrbahn eine deutliche Geschwindigkeitsreduktion bei Nebel vor-

lag. Dies lässt sich auch in den deskriptiven Geschwindigkeitsverläufen in Bild 15 erkennen.

Das Linear-Mixed-Effects-Modell zeigte außerdem einen signifikanten Einfluss der Wetterbedingung auf die Geschwindigkeitsdifferenz. Bei Regen kam es zu einer stärkeren Geschwindigkeitsreduktion als bei Starkregen. Außerdem lag eine signifikante Interaktion zwischen Warnungsbedingung und Wetterbedingung vor. Bei Starkregen gab es einen größeren Unterschied in der Geschwindigkeitsdifferenz zwischen der Gruppe mit Warnung und ohne Warnung als in der Regenbedingung.

	<i>b</i>	SE	<i>t</i>	<i>p</i>
Intercept	-6,348	1,459	4,352	< 0,001
Warnungsbedingung	5,529	2,917	1,895	0,071
Streckenmeter	0,650	0,810	0,802	0,425
Wetterbedingung	4,485	,935	4,797	< 0,001
Warnungsbedingung : Streckenmeter	0,112	1,619	0,069	0,945
Warnungsbedingung : Wetterbedingung	6,354	1,870	3,398	< 0,001
Streckenmeter : Wetterbedingung	1,720	1,145	1,502	0,136

Tab. 40: Ergebnisse des Linear-Mixed-Effects-Modells für die gerade Strecke nach dem Wetterwechsel des kritischen Streckentyps 90°-Kurve mit Nebel

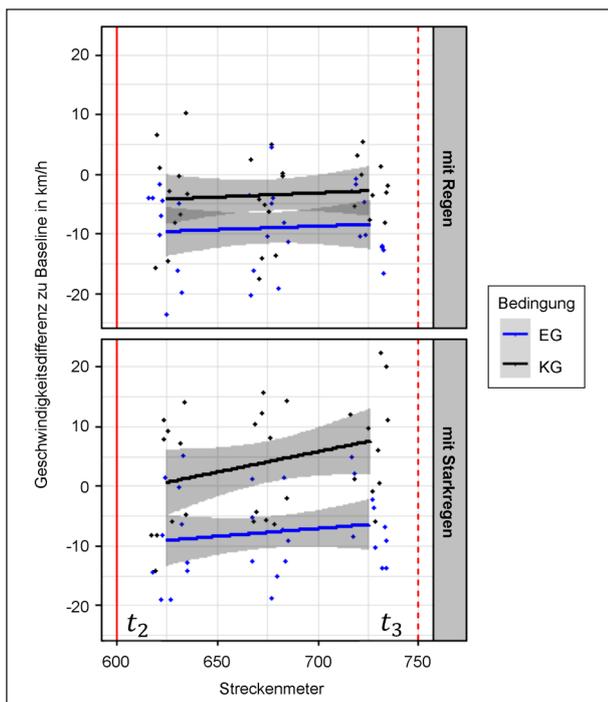


Bild 27: Geschwindigkeitsdifferenzen für den Abschnitt „Gerade Strecke nach Wetterwechsel“ des Streckentyps 90°-Kurve mit Nebel

**Abschnitt mit kritischem Streckentyp (90°-Kurve mit Nebel)**

Im Abschnitt mit dem kritischen Streckentyp 90°-Kurve mit Nebel zeigte sich erneut kein signifikanter Haupteffekt der Warnungsbedingung auf die Geschwindigkeitsreduktion (siehe Tabelle 41 und Bild 28). Es lag aber eine signifikante Interaktion zwischen der Warnungsbedingung und der Wetterbedingung vor. In der Starkregenbedingung war der Unterschied zwischen der Warnungsgruppe und der Gruppe ohne Warnung stärker ausgeprägt als in der Regenbedingung. Alle anderen Effekte waren nicht signifikant.

	<i>b</i>	SE	<i>t</i>	<i>p</i>
Intercept	-0,534	2,263	0,236	0,816
Warnungsbedingung	3,355	4,527	0,741	0,468
Streckenmeter	-0,009	0,120	0,043	0,966
Wetterbedingung	-0,027	0,647	0,042	0,966
Warnungsbedingung : Streckenmeter	0,321	0,399	0,805	0,422
Warnungsbedingung : Wetterbedingung	5,468	1,293	4,228	< 0,001
Streckenmeter : Wetterbedingung	-0,216	0,282	0,765	0,445

Tab. 41: Ergebnisse des Linear-Mixed-Effects-Modells für den Abschnitt mit kritischem Streckentyp 90°-Kurve mit Nebel

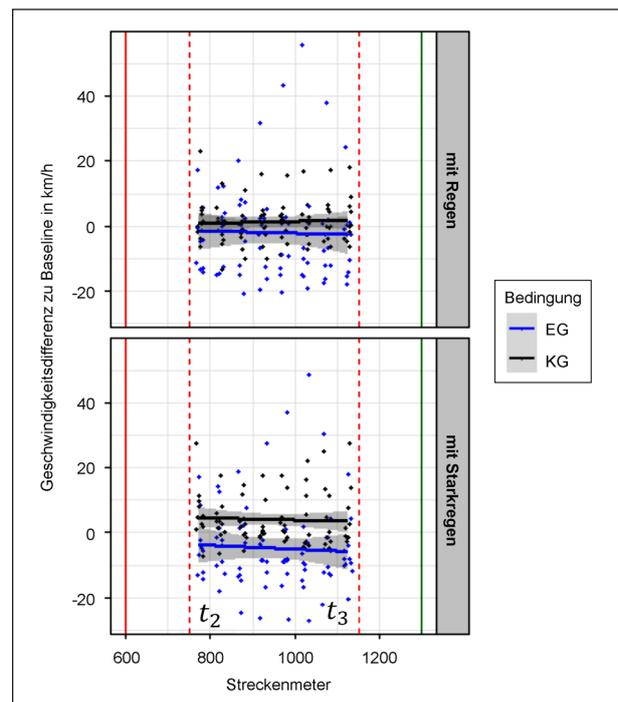


Bild 28: Geschwindigkeitsdifferenzen für den Abschnitt mit kritischem Streckentyp 90°-Kurve mit Nebel

### Gerade Strecke nach kritischem Streckentyp (90°-Kurve mit Nebel)

Auf der geraden Strecke nach dem kritischen Streckentyp zeigte sich weiterhin kein signifikanter Haupteffekt der Warnungsbedingung (siehe Tabelle 42 und Bild 29). Es lag aber eine signifikante Interaktion zwischen Warnungsbedingung und Wetterbedingung vor. Demnach war der Unterschied zwischen der Gruppe mit Warnung und ohne Warnung in der Starkregenbedingung stärker ausgeprägt als in der Regenbedingung. Außerdem gab es einen signifikanten Effekt des Streckenmeters. Auch wenn die Probanden sich noch im Regengebiet befanden, erhöhten sie mit zunehmendem Streckenmeter bereits wieder ihre Geschwindigkeit.

	<i>b</i>	SE	<i>t</i>	<i>p</i>
Intercept	-3,670	1,725	2,128	0,045
Warnungsbedingung	6,067	3,449	1,759	0,094
Streckenmeter	-2,008	,628	3,198	0,002
Wetterbedingung	0,849	0,725	1,172	0,244
Warnungsbedingung : Streckenmeter	-0,408	1,256	,325	0,746
Warnungsbedingung : Wetterbedingung	4,705	1,450	3,245	0,002
Streckenmeter : Wetterbedingung	0,725	0,888	,817	0,416

Tab. 42: Ergebnisse des Linear-Mixed-Effects-Modells für die gerade Strecke nach dem kritischem Streckentyp 90°-Kurve mit Nebel

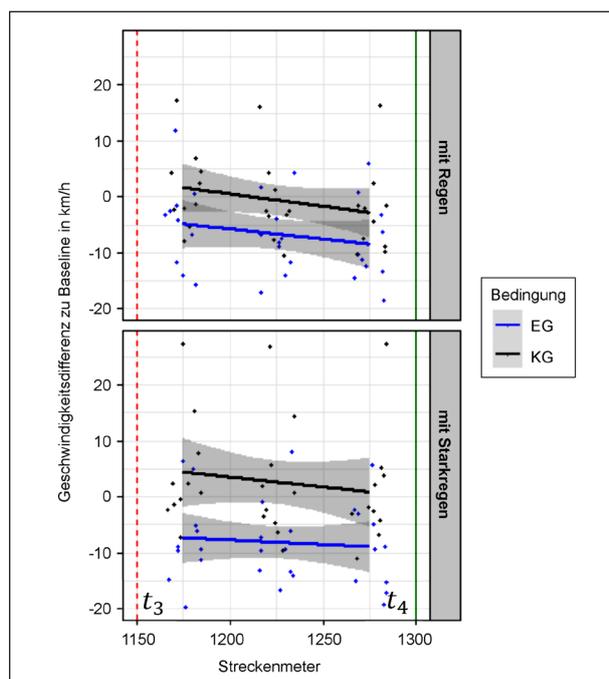


Bild 29: Geschwindigkeitsdifferenzen für den Abschnitt mit kritischem Streckentyp 90°-Kurve mit Nebel

### Zusammenfassung und Zwischendiskussion der Ergebnisse zu Fragestellung 1

Fragestellung 1 adressierte den Einfluss der Warnstrategie auf das Fahrverhalten in Form einer angemesseneren Geschwindigkeitsanpassung. Die statistischen Analysen zeigen, dass im Fall der S-Kurve und der Bergkuppe tatsächlich eine bessere Anpassung der Geschwindigkeit an die Wetterlage stattfindet. In der Gruppe mit Warnung wird die Geschwindigkeit bereits früher reduziert. Damit ist die Geschwindigkeit bei Einfahrt in das Regengebiet bereits stärker vermindert. Im gesamten Regengebiet fahren die Probanden mit Warnung dann mit einer geringeren Geschwindigkeit als die Probanden ohne Warnung. Außerdem kam es bei Starkregen zu einer größeren Geschwindigkeitsreduktion im Vergleich zur Trockenbedingung als in der Regenbedingung.

Ein etwas anderes Befundmuster zeigt sich bei der 90°-Kurve mit Nebel. Hier reduzieren die Probanden beider Gruppen bereits früh die Geschwindigkeit. Dies lässt sich dadurch erklären, dass der Nebel schon von Weitem sichtbar war und vermutlich auch der Gruppe ohne Warnstrategie als Hinweisreiz für potenziell gefährliche Streckenverhältnisse diente. Jedoch war die Geschwindigkeitsreduktion über die Streckenmeter hinweg vor dem Regengebiet in der Gruppe mit Warnung stärker ausgeprägt als in der Gruppe ohne Warnung. Daher zeigte sich auch bei der 90°-Kurve mit Nebel vor dem Regengebiet bereits eine deutlichere Abnahme der Geschwindigkeit über die Streckenmeter hinweg. Im Regengebiet war die Geschwindigkeitsreduktion beider Gruppen ähnlich stark ausgeprägt. Auch in den Trockenbedingungen kam es in diesem Bereich zu einer starken Geschwindigkeitsreduktion. Dies kann erneut auf den Nebel zurückgeführt werden, der in diesem Streckenabschnitt die Sicht einschränkte und somit auch ohne das Vorliegen von Regen eine Gefahr darstellte. Eine signifikante Interaktion zwischen Warnungsbedingung und Wetterbedingung zeigte außerdem, dass bei Starkregen die Geschwindigkeit in der Gruppe mit Warnung stärker reduziert wurde als in der Gruppe ohne Warnung. Die Starkregenbedingung stellt mit einem niedrigen Reibwert von 0,3 eine besonders kritische Situation dar, in der eine angemessene Geschwindigkeitsanpassung besonders wichtig ist. Diese Geschwindigkeitsanpassung an die kritischste Wetterbedingung Starkregen ist in der Gruppe mit Warnung stärker ausgeprägt als ohne Warnung.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Warnstrategie zu einer angemesseneren Geschwindigkeitswahl unter den verschiedenen Wetterbedingungen führt. Die Geschwindigkeit wird bereits früher angepasst und stärker reduziert als ohne Warnung. Bei Vorliegen anderer Gefahren in der Umgebung, wie der Sichteinschränkung durch Nebel, reduzieren Fahrer auch ohne Glättewarnung ihre Geschwindigkeit angemessen.

**Zu Fragestellung 2: Einfluss der Warnstrategie auf die Fahrleistung**

Zur Untersuchung des Einflusses der Warnstrategie auf die Fahrleistung wurde zum einen die minimale Time-to-Collision (TTC) zum Stauende hinter der Bergkuppe herangezogen. Geringere TTC-Werte stehen für ein höheres Gefahrenpotenzial und damit für eine schlechtere Fahrleistung. Die Fahrleistung beschreibt an dieser Stelle das Ausmaß, zu dem der Fahrer das Handlungsziel einer sicheren und fehlerfreien Fahrt erreichen konnte und ist u. a. abhängig vom Fahrverhalten und der jeweiligen Fahrsituation. Die Mittelwerte und Standardfehler für beide Gruppen sind in Bild 30 dargestellt. TTC-Unterschiede wurden mit einem t-Test für unabhängige Gruppen analysiert. Dabei zeigte sich zwar ein Trend in Richtung niedrigerer (kritischerer) Werte in der Gruppe ohne Warnung im Vergleich zur Gruppe mit Warnung, doch verfehlte der Unterschied das vordefinierte Alpha-Niveau von 5 % ( $t(17) = 1.422, p = .087$ ).

Als weitere Maße für die Fahrleistung dienten die Häufigkeit von Kollisionen mit dem Stauende und

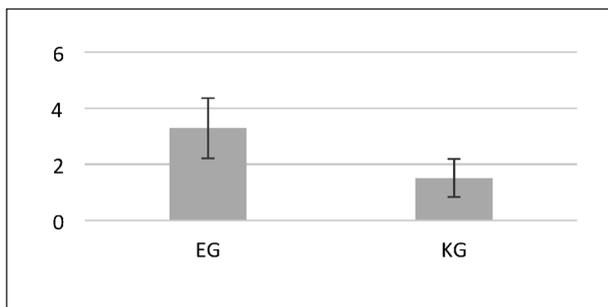


Bild 30: Minimal TTC nach Warnungsbedingung. Die Fehlerbalken stellen die Standardfehler dar.

	EG	KG
Anzahl Ausweichen auf Gegenspur	2 von 10	4 von 10
Prozentual	20 %	40 %

Tab. 43: Ausweichen auf Gegenspur

die Häufigkeit von Ausweichmanövern auf die Gegenfahrbahn. Kollisionen traten in der gesamten Studie kein einziges Mal auf. Falls die Fahrer nicht mehr rechtzeitig zum Stillstand abbremsen konnten, wechselten Sie auf die Gegenspur. Aufgrund des Gegenverkehrs waren Ausweichmanöver potenziell gefährlich. In 6 von 20 Durchgängen wechselten die Fahrer auf die Gegenspur. Dies trat deskriptiv häufiger in der Gruppe ohne Warnung auf als in der Gruppe mit Warnung (siehe Tabelle 43). Aufgrund der geringen Fallzahl wurde auf eine statistische Analyse verzichtet.

Im Gegensatz zur Verbesserung der Geschwindigkeitsreduktion durch das Warnsystem zeigte sich eine positive Auswirkung auf die Maße der Fahrleistung lediglich als Trend in der vermuteten Richtung. Das Verfehlen des Signifikanzniveaus von 5 % ist mit hoher Wahrscheinlichkeit auf die Halbierung der ursprünglich geplanten Stichprobengröße zurückzuführen. Zukünftigen Studien bleibt es vorbehalten zu untersuchen, ob sich dieser Trend zu einem signifikanten Effekt entwickelt, wenn die Stichprobengröße angehoben wird.

**Zu Fragestellung 3: Einfluss der Warnstrategie auf die subjektive Kritikalität**

Die dritte Fragestellung bezog sich auf den Einfluss der Warnstrategie und der Wetterbedingungen auf die Kritikalitätsbewertung der Fahrsituationen. Die Mittelwerte und Standardfehler der verschiedenen Bedingungen sind in Bild 31 dargestellt. Ein Linear-Mixed-Effects-Modell zeigte keinen signifikanten Einfluss der Warnungsbedingung auf die Einschätzung der Kritikalität, die Wetterbedingung jedoch

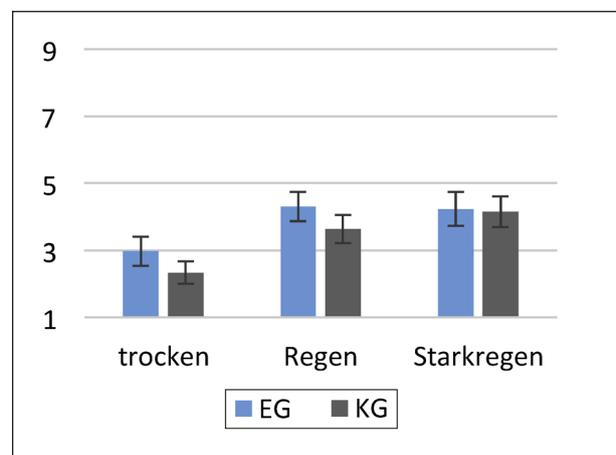


Bild 31: Subjektive Kritikalitäts-Ratings. Die Fehlerbalken stellen die Standardfehler dar.

	<i>b</i>	SE	<i>t</i>	<i>p</i>
Intercept	3,833	0,568	6,746	< 0,001
Warnungsbedingung	-0,488	0,804	0,607	0,551
Wetterbedingung [trocken vs. Regen]	1,333	0,449	2,968	0,003
Wetterbedingung [trocken vs. Stark- regen]	1,267	0,449	2,820	0,005

Tab. 44: Linear-Mixed-Effects-Modell zum Einfluss der Warnungsbedingung und der Wetterbedingungen auf die subjektiven Kritikalitätsratings nach jeder Fahrsituation.

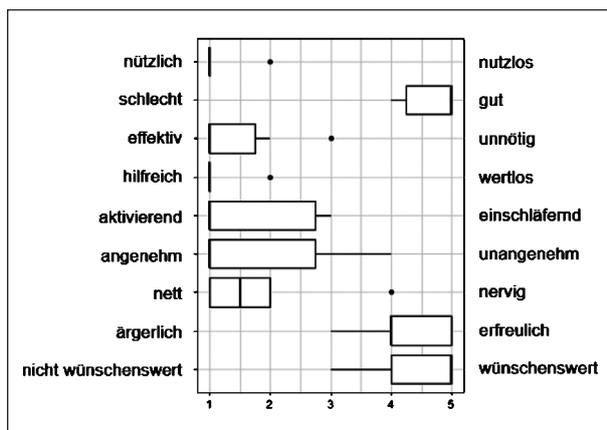


Bild 32: Box-Plot für die Ergebnisse des Van-der-Laan-Fragebogens. Innerhalb der Box befinden sich 50 % der Werte. Die vertikale Linie mit größerer Linienstärke stellt den Median dar.

hatte einen solchen Einfluss (siehe Tabelle 44). In den Bedingungen mit Regen und Starkregen waren die Kritikalitätsratings höher als in der Trockenbedingung.

Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass die Probanden Fahrsituationen mit Regen oder Starkregen kritischer empfinden als dieselben Fahrsituationen mit trockener Fahrbahn. Ein Unterschied der Kritikalitätseinschätzung in Abhängigkeit der Warnung konnte aber nicht gefunden werden.

#### Zu Fragestellung 4: Bewertung der Warnstrategie

Zuletzt sollte die Warnstrategie von denjenigen Lkw-Fahrern, die in der Warnungsbedingung waren, bewertet werden. Dazu wurde zum einen der Akzeptanzfragebogen [VAN DER LAAN, 1997] eingesetzt. Die Ergebnisse sind in Bild 32 dargestellt. Es zeigen sich durchweg positive Ratings auf allen Items von nützlich über effektiv bis hin zu wünschenswert. Ein Item mit größerer Streuung stellt

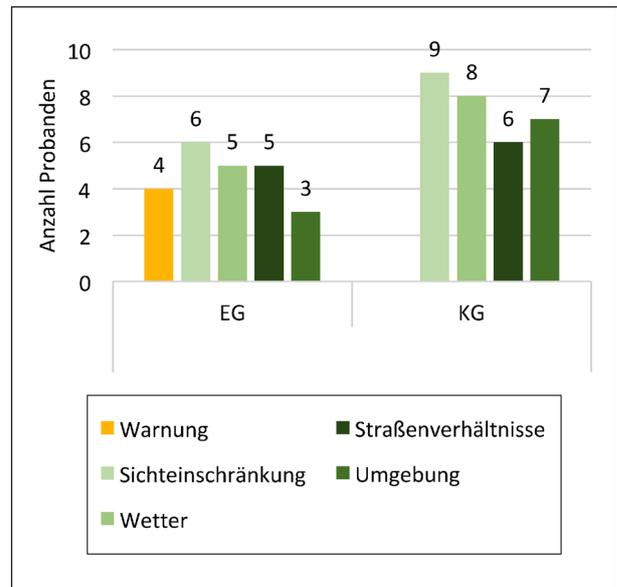


Bild 33: Gründe der Geschwindigkeitsanpassung (Mehrfachnennungen möglich)

das Differenzial angenehm-unangenehm dar. Möglicherweise hat der laute Warnton zu einer Tendenz in Richtung der Bewertung unangenehm geführt. Eine ausführlichere Diskussion solcher Punkte fand im Interview statt.

### 7.3.3 Ergebnisse des Interviews

Zum Verständnis der Interviewergebnisse ist darauf hinzuweisen, dass Mehrfachantworten bei jeder offenen Frage möglich waren. Außerdem konnten die Probanden auch keine Antwort geben, wenn sie dies wünschten.

Im Interview gaben alle 20 Probanden unabhängig von ihrer Gruppenzugehörigkeit an, ihre Geschwindigkeit an die Fahrsituation angepasst zu haben. In einer Folgefrage wurden die Gründe für diese Geschwindigkeitsanpassung ermittelt. Die Antworten sind in Bild 33 veranschaulicht. Vier der zehn Probanden der Experimentalgruppe nannten explizit die Warnung als Grund, der Großteil der Gruppe gab wetterbezogene Faktoren an. Da die Warnung auf eine Verschlechterung der Wetterverhältnisse hinweist, stellt dies allerdings kein Indiz dafür dar, dass sie nicht auch bei den anderen 6 Probanden zur Geschwindigkeitsanpassung beigetragen hat. Auffällig ist außerdem die hohe Anzahl an Probanden der Kontrollgruppe ( $n = 9$ ), die Sichteinschränkungen als Grund ihrer Geschwindigkeitsreduktion nannten. Dies ist wahrscheinlich darauf zurückzuführen, dass der Nebel in der Gruppe ohne Warnung der deutlichste Hinweisreiz auf eine Gefahr

war. Im Gegensatz dazu konnten sich die Probanden der Experimentalgruppe in allen Situationen an der Warnung orientieren.

Hinsichtlich der Nützlichkeit der Warnstrategie gaben alle 10 Probanden der Experimentalgruppe an, dass sie das System als hilfreich empfunden hätten. Die Gründe für dieses Urteil finden sich in Bild 34.

Als Begründung für die Nützlichkeit wurde vor allem die Handlungsunterstützung genannt. Die Warnung gibt deutliche Anweisungen zum angemessenen Umgang mit der wetterbedingten Gefahrensituation. Außerdem wird durch die Warnung eine bessere und frühzeitige Geschwindigkeitsanpassung erzielt. Die Probanden gaben außerdem an, dass ihre Aufmerksamkeit auf die Gefahr und die angemessene Bewältigung dieser Gefahr gelenkt worden sei, sodass sie ihre Geschwindigkeit bereits vor dem Eintritt in das Regengebiet anpassen konnten.

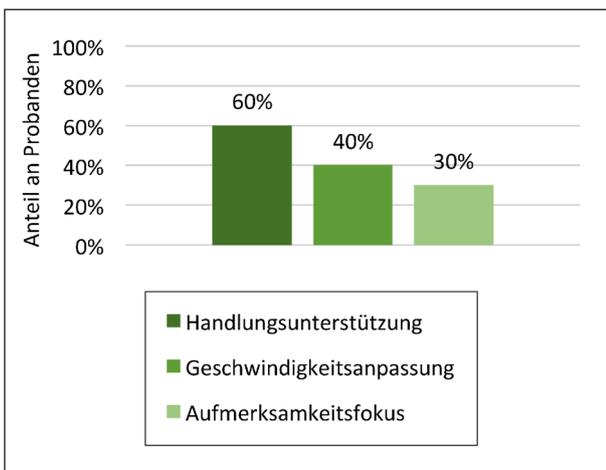


Bild 34: Gründe für die Bewertung des Warnsystems als hilfreich (Mehrfachnennungen möglich)

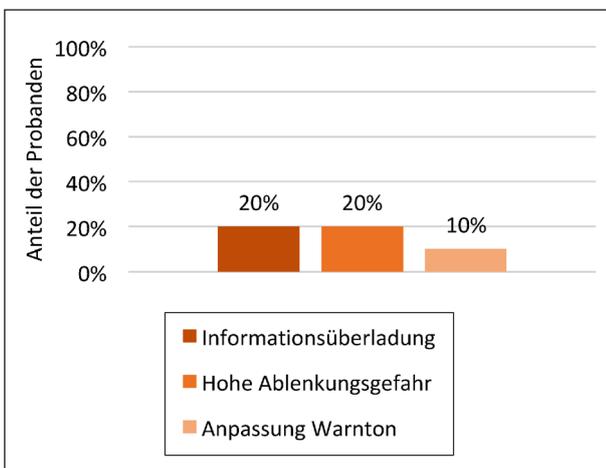


Bild 35: Gründe für die Bewertung des Warnsystems als störend

Bei der Frage nach möglicherweise störenden Merkmalen des Warnsystems wurden eine potenzielle Informationsüberladung und Ablenkungsgefahr genannt (Bild 35). Dies könnte sowohl auf die verschiedenen Phasen (Vorwarnung, Warnung, Entwarnung) als auch auf die drei Komponenten der Warnstrategie (Sprachausgabe, Warnton und Icon) zurückzuführen sein. Ein Proband nannte explizit den Warnton als störend und begründete dies mit dessen Lautstärke.

Bei der Frage nach der Akzeptanz der drei Warnkomponenten (Sprachausgabe, Warnton und Icon) erklärten acht Probanden die Verwendung aller drei Komponenten als sinnvoll (siehe Bild 36). Begründet wurde dies damit, dass sie eine Handlungsunterstützung und Aufmerksamkeitserhöhung bewirken würden und dass durch ihre Kombination die Warnung eindeutig zu verstehen sei. Drei Probanden äußerten außerdem, dass sie mit der Darbietung des Icons in einem Head-Up-Display (HUD) sehr zufrieden seien. Lediglich zwei Probanden beurteilten die Zusammensetzung der Warnstrategie als nicht sinnvoll (siehe Bild 36), da dies zu einer Informationsüberladung führen könne.

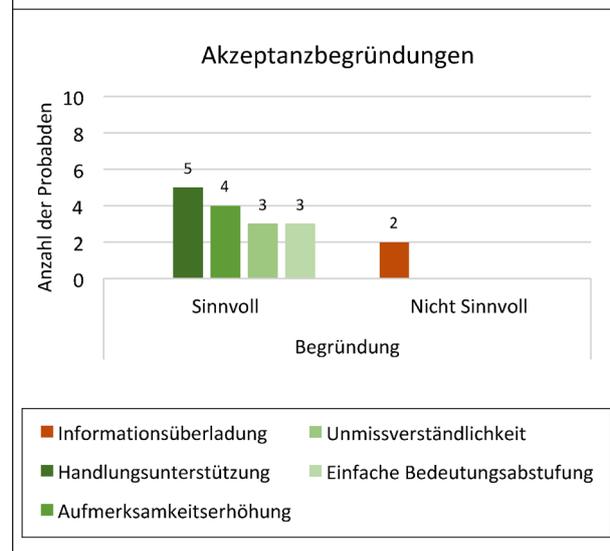
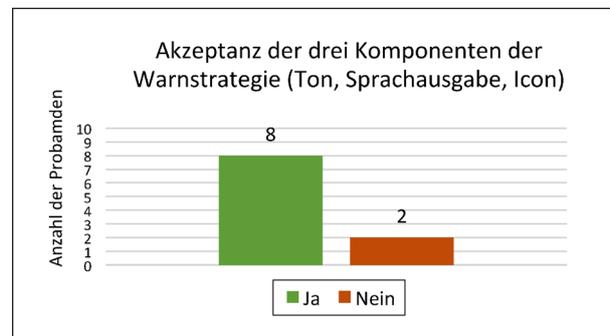


Bild 36: Empfundene Akzeptanz und Begründungen (Mehrfachnennungen möglich)

Um die Bedeutung der drei Komponenten untereinander zu vergleichen, wurden die Probanden gefragt, auf welche Komponente der Warnstrategie sie besonders geachtet hätten. Wie aus Bild 37 zu erkennen ist, lag der Fokus auf der visuellen Anzeige. Dies kann daran liegen, dass das Icon per Head-Up-Display (HUD) präsentiert wurde, sodass die Probanden es jederzeit sehen konnten, ohne den Blick von der Straße zu nehmen.

Anschließend wurden die Probanden gefragt, welche Aspekte des Warnsystems sie verbessern würden (siehe Bild 38). Zwei Probanden hatten keine Verbesserungsvorschläge. Fünf von ihnen machten generelle Vorschläge, die komponentenübergrei-

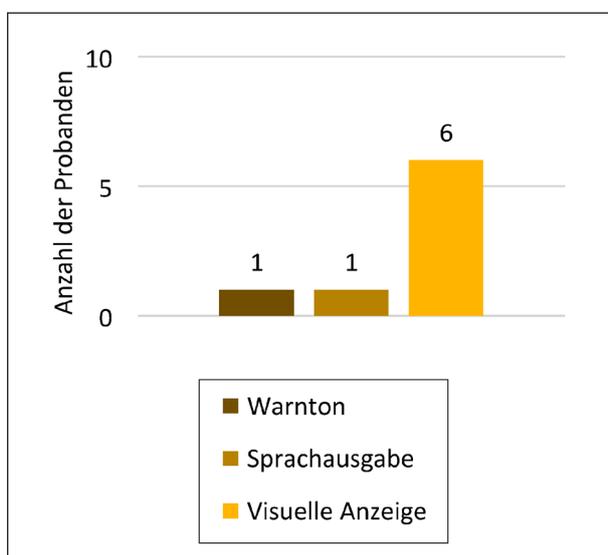


Bild 37: Vergleich der Komponenten der Warnstrategie bezüglich des Aufmerksamkeitsfokus; auf welche Komponente wurde besonders geachtet?

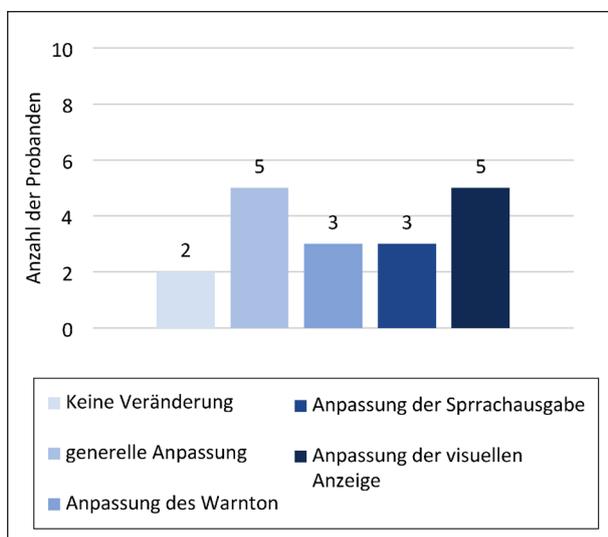


Bild 38: Verbesserungsvorschläge zur Glättewarnstrategie

end waren, wie z. B. ergänzende Informationen zur Art der Glätte (Aquaplaning, Glatteis, Ölspur etc.). Ein weiterer Vorschlag bestand in der Kombination der Warnung mit einem automatischen Bremssystem, das eine Entschleunigung initiiert, sobald die Warnung ertönt.

Neben diesen generellen Verbesserungsideen wurden Vorschläge zur Verbesserung einzelner Komponenten gemacht. Bei der Sprachausgabe wurde beispielsweise eine angenehmere Stimme und ein kürzerer Zeitabstand zwischen Sprachausgabe und dem Erreichen des Gefahrengebiets gewünscht. Bezüglich des Warntons wurde vorgeschlagen diesen abzuschwächen oder ganz wegzulassen. Bezogen auf die visuelle Anzeige wurde vor allem der Wunsch nach zusätzlichen Informationen zum Grund und zur Art der Glätte geäußert.

Anschließend wurden die Probanden gefragt, inwieweit das Glätte-Icon mit anderen Icons im Lkw verwechselt werden könnte. Sieben Probanden erwähnten eine Verwechslungsgefahr mit dem ESP- oder ABS-Symbol. Eine solche Gefahr hatte sich bereits in den Vorstudien abgezeichnet. Es stellt sich aber die Frage, ob die Sprachausgabe einer Verwechslung entgegenwirken kann und ob es tatsächlich zu negativem Fahrverhalten aufgrund einer Verwechslung kommt. Ein extremes Fahrverhalten aufgrund der Warnung (z. B. plötzliches starkes Bremsen) war im Experiment nicht zu beobachten und auch die Präferenz der Lkw-Fahrer für dieses Icon scheint durch die Verwechslungsgefahr nicht negativ beeinflusst worden zu sein.

Dies wird auch durch den letzten Punkt des Interviews unterstützt, bei dem alle zwanzig Probanden gebeten wurden, die Eignung der drei Icons aus Vorstudie 2 als Glättewarnung zu beurteilen, indem sie sie in eine Rangreihe bringen. Zur Auswertung wurden die Ränge in ein Punktesystem übersetzt. Eine Platzierung auf Rang 1 wurde mit drei Punkten bewertet, auf Rang 2 mit zwei Punkten und auf Rang 3 mit einem Punkt. Die Punkte wurden getrennt über alle Probanden der Experimental- und der Kontrollgruppe aufsummiert, sodass der maximal erreichbare Wert in jeder Gruppe 30 beträgt.

Die Ergebnisse sind in Bild 39 dargestellt. Es zeigt sich, dass das im Experiment verwendete Icon in beiden Gruppen auf Platz 1 gesetzt wird. Es wird also trotz einer möglichen Verwechslungsgefahr mit dem ESP-Symbol von der großen Mehrheit der Probanden präferiert.

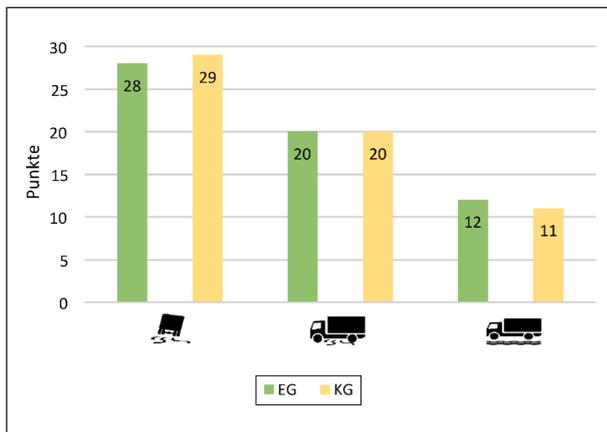


Bild 39: Rangreihe der Glätte-Icons übersetzt in ein Punktesystem. Mehr Punkte stehen für eine bessere Eignung des Icons bezüglich der Darstellung von Straßenglätte im Lkw.

## 7.4 Diskussion, Limitationen und Fazit

In einer Probandenstudie mit Lkw-Fahrern im Fahr-simulator wurde die Wirkung einer Warnstrategie bei Glätte auf das Fahrverhalten, die Fahrleistung und die Einschätzung der Kritikalität der Fahrsituation untersucht sowie die entwickelte Warnstrategie hinsichtlich Nützlichkeit und Akzeptanz bewertet.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Probanden in der Gruppe mit Warnung ihr Fahrverhalten besser an die Glättesituationen anpassten als Probanden in der Gruppe ohne Warnung. In der Experimentalgruppe wurde die Geschwindigkeit früher und deutlich stärker reduziert als in der Kontrollgruppe. Bezogen auf die Fahrleistung zeigte sich ein Trend in Richtung einer Verbesserung durch die Warnstrategie. Da vermutlich aufgrund der reduzierten Stichprobengröße das erforderliche Alphaniveau allerdings nicht erreicht wurde, sollte diese potenzielle Verbesserung in zukünftigen Studien genauer mit einer höheren Anzahl an Probanden untersucht werden.

Bezüglich der subjektiven Kritikalitätsbewertung der Fahrsituationen zeigte sich kein Unterschied zwischen den Gruppen. Dies deutet darauf hin, dass alle Probanden die Glättesituationen ernst nahmen, dass also die Möglichkeit einer früheren und angemesseneren Reaktion in der Experimentalgruppe nicht dazu führte, dass gewarnte Personen die Gefährdung unterschätzten. Auch Anzeichen für Verhaltensweisen im Sinne einer Risikohomöostase ließen sich in Verbindung mit der Warnstrategie nicht beobachten.

Die aus dem Fragebogen und dem Interview gewonnenen Daten belegen, dass die Warnstrategie als sehr nützlich, hilfreich und zufriedenstellend bewertet wurde. Bezüglich der visuellen Komponente äußerten mehrere Probanden, dass die Darstellung des Icons in einem Head-Up-Display sehr sinnvoll war, da keine Aufmerksamkeitsabkehr von der Straße nötig war, um das Symbol wahrzunehmen. Dies ist bei heutigen Lkw möglicherweise nicht umsetzbar, spricht aber für das Potenzial dieser Displays für Warnungen in zukünftigen Fahrzeugen. Die Kombination der drei Komponenten Sprachausgabe, Warnton und Icon wurde von der großen Mehrheit der Probanden als sinnvoll erachtet. Eine mögliche Einschränkung der Nützlichkeit könnte in einer potenziellen Informationsüberladung und Ablenkungsgefahr bestehen. Insbesondere in Anbetracht der vielen anderen Icons, mit denen Lkw-Fahrer im Lkw-Cockpit konfrontiert sind, ist dies ein ernstzunehmender Hinweis. Diesem Hinweis könnte in zukünftigen Studien, in denen ein realistisches Lkw-Cockpit zum Einsatz kommt, nachgegangen werden, um die Warnstrategie im Spannungsfeld zwischen detailreicher Informationsdarbietung und Informationsüberladung noch weiter zu optimieren.

Mögliche Limitationen der Studie sind der Fahr-simulator und die Stichprobengröße. Leider stand für diese Untersuchung kein Lkw-Fahrsimulator zur Verfügung, sodass das Experiment in einem Pkw-Fahrsimulator stattfand. Die Lkw-Fahrer wurden aber instruiert, sich so zu verhalten, als ob sie in einem Lkw unterwegs seien. Durch Anpassungen des Simulators wurde außerdem versucht, Fahrgefühl und Optik im Lkw zu approximieren. Trotzdem entsprachen diese Aspekte nicht denen einer wirklichen Lkw-Fahrt. Dies sollte bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden. Zukünftige Studien könnten an den erzielten Resultaten anknüpfen und Glättewarnungen im tatsächlichen Lkw bzw. einem entsprechenden Simulator untersuchen.

Wie bereits erwähnt, war die Stichprobengröße der Untersuchung geringer als ursprünglich geplant. Dies lag an verschärften Corona-Regeln der TU-Berlin, die dazu zwangen, die Studie vorzeitig zu beenden. Die geringe Stichprobengröße wirkte sich vor allem auf die Ergebnisse zur Fahrleistung aus. Mit einer größeren Stichprobe hätten eventuell weitere positive Auswirkungen der Warnstrategie, die sich nur im Trend zeigten, statistisch signifikant belegt werden können.

Zusammenfassend hat die Studie gezeigt, dass die entwickelte Warnstrategie zu angemessenerem Fahrverhalten in Glättesituationen führt und von Lkw-Fahrern als positiv und hilfreich bewertet wird. Glättewarnungen haben also das Potenzial, auch außerhalb des Labors akzeptiert und genutzt zu werden und die Sicherheit im Verkehr zu erhöhen.

## 8 Analyse des Nutzens von Glättewarnsystemen bei schweren Lkw in Bezug auf das Unfallgeschehen

Im Rahmen dieses Arbeitspaketes wird der Nutzen eines Glättewarnsystems bei schweren Lkw hinsichtlich der Vermeidung von Unfällen bzw. der Minderung der Unfallschwere analysiert. Dabei eignen sich die Fälle der GIDAS Datenbank, da jeder Fall rekonstruiert wurde, um den zeitlichen Ablauf auch vor der 1. Kollision zu ermitteln. Mit der Kenntnis der Auswirkung eines Glättewarnsystems auf das Fahrverhalten der Lkw-Fahrer (z. B. Reduktion der Fahrgeschwindigkeit) können die vorhandenen Lkw-Unfälle durch eine Vorwärtsrekonstruktion neu simuliert werden, um zu ermitteln welchen Einfluss das Glättewarnsystem auf den Unfall gehabt hätte. Dabei kann es sein, dass der Unfall ganz vermieden worden wäre, dass die Verletzungsschwere der Unfallbeteiligten reduziert worden wäre oder dass ein Einfluss auf die Unfallschwere bzw. die Verletzungsschwere nicht erkennbar wäre.

### 8.1 Fallauswahl

Als Basis für die Fallauswahl wurden die 444 unfallbeteiligten, schweren Lkw aus den GIDAS-Jahrgängen 1999-2019 verwendet, bei denen eine Kraftschlussminderung vorhanden war (siehe Kapitel 3).

Eine Warnung des Fahrers bezüglich Fahrbahnglätte kann nur bei einem Teil der Unfälle einen Einfluss haben. So gibt es z. B. bei Unfällen, die auf Übersehen eines Unfallbeteiligten zurückzuführen sind, kein Vermeidungspotenzial durch eine Glättewarnung. Allerdings kann die Unfallschwere durch eine geringere Geschwindigkeit auch dann verringert werden, wenn der Lkw-Fahrer den Unfall nicht ausgelöst hat, sondern der Konfliktpartner. Als Beispiel

sei hier ein linksabbiegender Pkw (Auslöser) genannt, der einen Konflikt mit einem entgegenkommenden Lkw hatte.

Um die relevanten Unfälle zu erhalten, bei denen eine Glättewarnung einen Einfluss haben könnte, wurde die Stichprobe der Unfälle mit den 444 unfallbeteiligten schweren Lkw mithilfe des Unfalltyps<sup>2</sup> und der in GIDAS vorhandenen Zuordnung der Beteiligten bei den jeweiligen Unfalltypen gefiltert. Die in der Tabelle 45 aufgeführten Unfalltypen wurden als relevant erachtet.

Von den 444 beteiligten Lkw standen 393 Unfälle für Auswertung zur Verfügung. Gemäß der Auswahl von Unfällen nach den vorstehenden Unfalltypen verbleiben 175 Unfälle, bei denen davon ausgegangen werden kann, dass eine Glättewarnung einen Einfluss auf das Unfallgeschehen haben kann. Da die Unfallforschung der MHH nur die GIDAS-Fälle neu simulieren kann, die durch die MHH erhoben wurden, GIDAS Fälle der VUFO aus Dresden fallen hier heraus, verbleiben 108 Fälle der MHH, die für eine Analyse des Nutzens einer Glättewarnung zur Verfügung standen.

<sup>2</sup> Unfalltypenkatalog gem. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V. Siehe Anhang.

Fahrnfälle
Alle Fahrnfälle (1xx); Lkw ist Unfallauslöser
Abbiegeunfälle
20x Lkw ist Unfallauslöser
21x Lkw ist nicht Unfallauslöser
22x nicht relevant (übersehen wahrscheinlich)
231 Lkw ist Unfallauslöser; 232 u. 233 Lkw ist nicht Unfallauslöser
24x nicht relevant (übersehen wahrscheinlich)
25x Lkw ist Unfallauslöser
261 nicht relevant; 262 Lkw ist nicht Unfallauslöser
271 Lkw ist Unfallauslöser; 272 – 279 nicht relevant
281 Lkw ist nicht Unfallauslöser; 282-285 nicht relevant; 286 ist Unfallauslöser
29x nicht relevant
Einbiegen/Kreuzen-Unfälle
30x Lkw ist nicht Unfallauslöser
31x Lkw ist nicht Unfallauslöser
32x Lkw ist nicht Unfallauslöser
33x Lkw ist nicht Unfallauslöser
34x nicht relevant
35x Lkw ist nicht Unfallauslöser
36x nicht relevant
35x Lkw ist Unfallauslöser
Überschreitenunfälle
4x Lkw ist Unfallgegner des Fußgängers
Ruhender Verkehr
50x nicht relevant
51x Lkw ist nicht Unfallauslöser
52x Lkw ist nicht Unfallauslöser
53x nicht relevant
541-542 Lkw ist Unfallauslöser; 543 Lkw ist nicht Unfallauslöser
55x Lkw ist nicht Unfallauslöser
56x Lkw ist nicht Unfallauslöser
57x Lkw ist nicht Unfallauslöser
58x nicht relevant
59x nicht relevant
Längsverkehr
60x Lkw ist Unfallauslöser
61x Lkw ist Unfallauslöser
62x Lkw ist Unfallauslöser
63x Lkw ist nicht Unfallauslöser
64x Lkw ist nicht Unfallauslöser
65x nicht relevant
661 Lkw ist nicht Unfallauslöser; 662-669 nicht relevant
67x Lkw ist Unfallauslöser
68x Lkw ist einer der Beteiligten
69x nicht relevant
Sonstige Unfälle
70x nicht relevant
71x nicht relevant
721-723 Lkw ist nicht Unfallauslöser; 724-729 nicht relevant
73x Lkw ist Unfallauslöser
74x Lkw ist Unfallauslöser
75x Lkw ist Unfallauslöser
76x nicht relevant
77x nicht relevant
79x nicht relevant

Tab. 45: Relevante Unfalltypen für die Analyse des Nutzens eines Glättewarnsystems bei Lkw

## 8.2 Analyse des Nutzens einer Glättewarnung bei Lkw-Unfällen

Für die Analyse des Nutzens einer Glättewarnung bei Lkw-Unfällen wurde auf die Ergebnisse des Projektpartners TU Berlin zurückgegriffen, welche mittels Fahrsimulatorversuchen ermittelt haben, wie Lkw-Fahrer auf eine Glättewarnung reagiert haben.

Von den simulierten Szenarien wurde auf das Szenario S-Kurve bei Starkregen zurückgegriffen, da dieses Szenario die Unfälle am besten repräsentiert. Die S-Kurve konnte durch die Probanden im Gegensatz z. B. zum Szenario Kuppe besser überblickt werden.

Bild 40 zeigt den gewählten Geschwindigkeitsverlauf der Lkw-Fahrer bei der Anfahrt auf die S-Kurve mit Starkregen für die Experimentalgruppe (EG) und für die Kontrollgruppe (KG). 100 m nach Messbeginn wurde eine Glättewarnung angekündigt und 500 m nach der Ankündigung wurde die Glättewarnung mit Einfahrt in den Bereich mit Starkregen gegeben. Um eine charakteristische Geschwindigkeitsreduktion für die Unfallsimulation zu ermitteln, wurden zwei Geschwindigkeitsreduktionen ermittelt: Zum einen die größte Differenz der Geschwindigkeiten zwischen der Experimentalgruppe und der Kontrollgruppe, dies war zum Zeitpunkt der Glättewarnung, 600 m nach Messbeginn (Redukti-

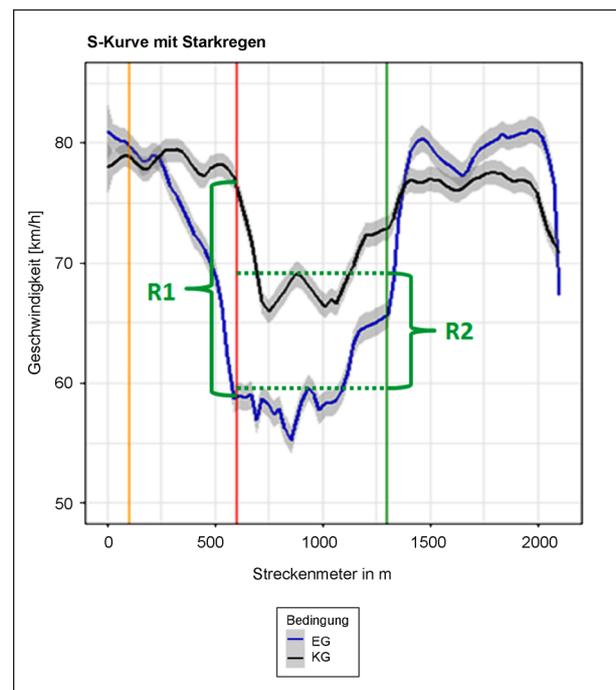


Bild 40: Geschwindigkeitsverläufe bei Probanden mit und ohne Glättewarnung sowie gewählte repräsentative Reduktionen R1 und R2 für die Unfallsimulation

on R1) der Fall. Zum anderen dient die durchschnittliche Reduktion der Geschwindigkeit der Experimentalgruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe im Verlauf des Glättebereichs (Reduktion R2) als sinnvolle Größe zur Darstellung des durchschnittlichen Effektes einer Glättewarnung.

Es ergibt sich somit eine maximale Reduktion von  $\text{Reduktion}_{\text{max}} = 18,4 \text{ km/h}$ , die den maximalen Effekt einer Glättewarnung beschreibt, und eine mittlere Reduktion von  $\text{Reduktion}_{\text{mittel}} = 9,6 \text{ km/h}$ , die den durchschnittlich zu erwartenden Effekt einer Glättewarnung beschreibt.

Die ermittelte Geschwindigkeitsreduktion aufgrund der Glättewarnung bezieht sich dabei auf eine Ausgangsgeschwindigkeit von  $80 \text{ km/h}$ . Bei den Realunfällen hatten die Lkw allerdings Fahrgeschwindigkeiten zwischen  $10$  und  $95 \text{ km/h}$ , sodass eine konstante Reduktion um  $9,6$  bzw.  $18,4 \text{ km/h}$  für die Analyse wenig sinnvoll erscheint. Aus diesem Grund wurde angenommen, dass sich die maximale und die mittlere Reduktion relativ auf die Ausgangsgeschwindigkeit  $v_0$  bezieht. Somit errechnet sich die bei der Analyse angewandte maximale und mittlere Geschwindigkeitsreduktion aufgrund der Glättewarnung wie folgt:

$$\text{Reduktion}_{\text{mittel}}(v_0) = \text{Reduktion}_{\text{mittel}} * v_0 / 80 \text{ km/h}$$

$$\text{Reduktion}_{\text{max}}(v_0) = \text{Reduktion}_{\text{max}} * v_0 / 80 \text{ km/h.}$$

Mit diesen angenommenen maximalen und mittleren Geschwindigkeitsreduktionen, welche für jeden Fall spezifisch sind, wurde jeder der vorhandenen 108 relevanten Lkw-Unfälle der MHH neu rekonstruiert, um zu errechnen, wie sich die geringere Fahrgeschwindigkeit des Lkws zum Zeitpunkt der Reaktion auf den Unfall ausgewirkt hätte (siehe Bild 41).

Von den 108 Unfällen konnte bei 91 Unfällen ein Einfluss ermittelt werden; bei 17 Unfällen war dies aufgrund fehlender Fallinformationen nicht möglich. Unter den 91 Unfällen waren 9 Unfälle mit Fußgängern. Diese wurden getrennt betrachtet, da hier die resultierende Änderung der Kollisionsgeschwindigkeit ( $v_k$ ) des Lkw ausschlaggebend für die Verletzungsschwere des Fußgängers ist. Bei den 82 Unfällen mit Beteiligung eines anderen Fahrzeugs oder Alleinunfällen ist die mit der Reduktion der Kollisionsgeschwindigkeit in Folge der Geschwindigkeitsreduktionen zum Reaktionszeitpunkt einhergehende Änderung von stoßbedingten Geschwindigkeitsänderungen (Delta-v) ausschlaggebend für ei-

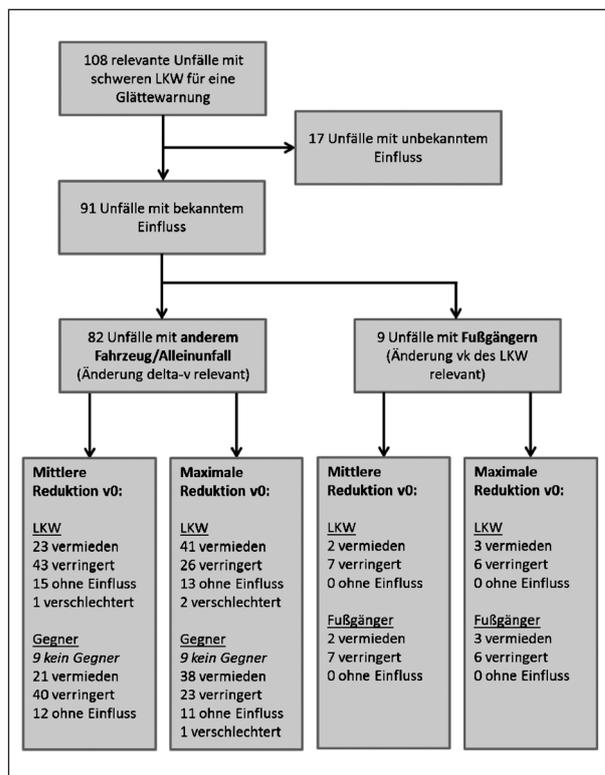


Bild 41: Analyse des Nutzens von Glättewarnungen bei ausgewählten (relevanten) Lkw-Unfällen

ne Änderung der Unfallschwere bzw. Verletzungsschwere.

### **Einfluss der mittleren Geschwindigkeitsreduktion auf die Unfallschwere bei Lkw-Unfällen mit anderen Fahrzeugen bzw. Lkw-Alleinunfällen**

Es zeigt sich, dass bei der mittleren Geschwindigkeitsreduktion 23 der 82 Lkw nicht mehr kollidiert wären. Bei 43 Lkw hätte sich die Stoßschwere (Delta-v) verringert. Bei 15 Lkw hätte die mittlere Geschwindigkeitsreduktion aufgrund der Glättewarnung keinen Einfluss auf Schwere des ersten Stoßes gehabt. In einem Fall hat Stoßschwere sogar leicht zugenommen, da hier härtere Fahrzeugteile miteinander interagiert hätten.

Bei den 73 Unfallgegnern der ersten Kollision wären 21 Kollisionen durch die mittlere Geschwindigkeitsreduktion des Lkw vermieden worden, 40 Unfallgegner hätten eine geringere Stoßschwere (Delta-v) und bei 12 Unfallgegnern hätte die mittlere Geschwindigkeitsreduktion aufgrund der Glättewarnung keinen Einfluss auf Schwere des ersten Stoßes gehabt.

### **Einfluss der mittleren Geschwindigkeitsreduktion auf die Unfallschwere bei Lkw-Unfällen mit Fußgängern**

Bei den 9 Fußgängern, die an den Lkw-Unfällen beteiligt waren, wären 2 Kollisionen vermieden worden und bei 7 Kollisionen hätte der Lkw eine geringere Kollisionsgeschwindigkeit gehabt.

### **Einfluss der maximalen Geschwindigkeitsreduktion auf die Unfallschwere bei Lkw-Unfällen**

Aufgrund der geringeren Fahrgeschwindigkeit, die aus der maximalen Geschwindigkeitsreduktion resultiert, käme es sogar bei der Hälfte der Lkw (41 von 82 Lkw) nicht mehr zu einer Kollision. Sechszwanzig Unfälle hätten eine geringere Stoßschwere der Lkw zur Folge. Auf 13 der 82 Unfälle hätte auch die maximale Geschwindigkeitsreduktion keinen Einfluss gehabt und in 2 Fällen hätte die Stoßschwere leicht zugenommen.

Auch bei den Unfallgegnern wären über die Hälfte der Kollisionen (38 von 73 Gegnern) vermieden worden. Bei 23 Gegnern wäre die Schwere des Stoßes bei der Kollision zumindest verhindert worden. Bei 11 Unfallgegnern hätte die maximale Geschwindigkeitsreduktion keinen Einfluss gehabt. Auch hier hätte es einen Fall gegeben, bei dem sich die Stoßschwere leicht erhöht hätte.

Mit der maximalen Geschwindigkeitsreduktion des Lkws bei Fußgängerunfällen wären 3 Kollisionen vermieden worden und entsprechend bei 6 Kollisionen hätte der Lkw eine geringere Kollisionsgeschwindigkeit gehabt.

In Summe wurden insgesamt 173 Unfallbeteiligte (82 Lkw bei Kollision mit anderen Fahrzeugen bzw. Alleinunfall, 73 Kollisionsgegner der Lkw (Fahrzeuge), 9 Lkw bei Kollisionen mit Fußgängern und 9 beteiligte Fußgänger) bei der ersten Kollision analysiert. Der Einfluss auf die Unfallschwere ist in Tabelle 46 für die mittlere Geschwindigkeitsreduktion und in Tabelle 47 für die maximale Geschwindigkeitsreduktion dargestellt.

Es zeigt sich, dass bei einer mittleren Reduktion der Geschwindigkeit bei den 173 Beteiligten 48 Kollisionen (28 %) vermieden wurden und 97 Kollisionen (56 %) hinsichtlich der Stoßstärke vermindert wurden. Die Erhöhung der Kollisionsschwere bei den Lkw überstieg in keinem Fall ein Delta-v von 2 km/h und kann an dieser Stelle vernachlässigt werden. Die Erhöhung der Kollisionsschwere bei dem Kollisionsgegner (Pkw) betrug ein nicht zu vernachlässigendes Delta-v von 6,7 km/h.

Neben der Unfallvermeidung ergibt sich bei den Fällen mit verringerter Kollisionsschwere ein Potenzial die Verletzungsschwere der Fahrzeuginsassen bzw. der Fußgänger zu verringern. Dabei wird die

	Lkw bei Kollisionen mit anderen Fahrzeugen bzw. Alleinunfall	Kollisionsgegner des Lkw (Fahrzeuge)	Lkw bei Kollisionen mit Fußgängern	Fußgänger	Summe
Unfall vermieden	23	21	2	2	48
Kollisionsschwere verringert	43	40	7	7	97
Ohne Einfluss	15	12	0	0	27
Kollisionsschwere erhöht	1	0	0	0	1

Tab. 46: Einfluss der mittleren Geschwindigkeitsreduktion auf die Unfallschwere

	Lkw bei Kollisionen mit anderen Fahrzeugen bzw. Alleinunfall	Kollisionsgegner des Lkw (Fahrzeuge)	Lkw bei Kollisionen mit Fußgängern	Fußgänger	Summe
Unfall vermieden	41	38	3	3	85
Kollisionsschwere verringert	26	23	6	6	61
Ohne Einfluss	13	11	0	0	24
Kollisionsschwere erhöht	2	1	0	0	3

Tab. 47: Einfluss der maximalen Geschwindigkeitsreduktion auf die Unfallschwere

maximale Verletzungsschwere MAIS des am schwersten verletzten Fahrzeuginsassen der jeweiligen Beteiligten ausgewertet. Die Analyse basiert auf der Verletzungsschwereklassifikation AIS (Abbreviated Injury Scale)<sup>3</sup>, Version 2008, welche eine wissenschaftliche Bewertungsskala für die Letalität von Einzelverletzungen ist.

Die Skala hat folgende Ausprägungen:

- AIS 0 (unverletzt)
- AIS 1 (geringe Verletzungen, wie z. B. Schürfwunden und Prellungen)
- AIS 2 (ernsthafte Verletzungen, wie z. B. Knochenbrüche)
- AIS 3 (schwere Verletzungen, wie z. B. offene Brüche, Amputation der Hand)
- AIS 4 (sehr schwere Verletzungen, wie z. B. offene Schädeldachfraktur, Amputation einer Extremität)
- AIS 5 (kritische Verletzungen, wie z. B. multiple Gehirnkontusion)
- AIS 6 (maximale Verletzungsschwere – nicht behandelbar, wie z. B. Aortenruptur)

In Tabelle 48 ist die Verletzungsschwereverteilung der Beteiligten, bei denen die Kollisionsschwere durch eine mittlere Geschwindigkeitsreduktion verringert werden könnte, dargestellt. Für die folgende Bewertung der potenziellen Verletzungsminderung durch eine verringerte Kollisionsschwere wird davon ausgegangen, dass Beteiligte mit MAIS 1 Verletzungen auch nach einer Kollision mit verringerter Kollisionsschwere verletzt wären. Dies wird damit begründet, dass leichte Verletzungen schon bei sehr geringen Geschwindigkeitsänderungen auftreten und daher keine Grenze für die Wahrscheinlichkeit des Eintretens von MAIS 1 Verletzungen festgelegt werden kann. Daher fallen die Beteiligten mit einer Verletzungsschwere von MAIS 2 oder höher in die Gruppe, bei denen eine Verletzungsminderung möglich ist. Dies sind 8 Lkw bei Kollisionen mit anderen Fahrzeugen bzw. bei Alleinunfällen, 4 Fahrzeuge aus der Gruppe der Kollisionsgegner des Lkw und 5 Fußgänger.

Bei der maximalen Reduktion der Geschwindigkeit wurden bei den 173 Beteiligten mit 85 Kollisionen (49 %) knapp die Hälfte vermieden und 61 Kollisionen (35 %) hinsichtlich der Stoßstärke vermindert. Die Auswertung der Verletzungsschwere der Fälle mit verminderter Kollisionsschwere ist in Tabelle 49 dargestellt. Bei Kollisionen mit anderen Fahrzeugen bzw. bei Alleinunfällen haben 4 beteiligte Lkw eine Verletzungsschwere von MAIS 2 oder höher, so dass hier eine Verletzungsminderung möglich wäre. Bei den Fahrzeugen aus der Gruppe der Kollisionsgegner des Lkw ist dies in 4 Fällen der Fall und bei den Fußgängern als Kollisionsgegner ist dies ebenfalls in 4 Fällen der Fall.

<sup>3</sup> Association for the advancement of automotive medicine (1998). The Abbreviated Injury Scale – AIS, version 90 revision, update 1998, Des Plaines, USA.

Fälle mit verringerter Kollisionsschwere bei mittlerer Geschwindigkeitsreduktion				
Verletzungsschwere	Lkw bei Kollisionen mit anderen Fahrzeugen bzw. Alleinunfall (n = 43)	Kollisionsgegner des Lkw (Fahrzeuge) (n = 40)	Lkw bei Kollisionen mit Fußgängern (n = 7)	Fußgänger (n = 7)
MAIS 0 (unverletzt)	25	9	7	1
MAIS 1	10	27	-	1
MAIS 2	5	3	-	1
MAIS 3	1	1	-	2
MAIS 4	2	-	-	-
MAIS 5	-	-	-	2
MAIS 6	-	-	-	-

Tab. 48: Verletzungsschwere von Beteiligten an Lkw-Unfällen, bei denen die Kollisionsschwere durch eine mittlere Geschwindigkeitsreduktion verringert werden könnte.

Fälle mit verringerter Kollisionsschwere bei maximaler Geschwindigkeitsreduktion				
Verletzungsschwere	Lkw bei Kollisionen mit anderen Fahrzeugen bzw. Alleinunfall (n = 26)	Kollisionsgegner des Lkw (Fahrzeuge) (n = 23)	Lkw bei Kollisionen mit Fußgängern (n = 6)	Fußgänger (n = 6)
MAIS 0 (unverletzt)	16	4	6	1
MAIS 1	5	14	-	1
MAIS 2	3	3	-	1
MAIS 3	1	1	-	1
MAIS 4	1	-	-	-
MAIS 5	-	-	-	2
MAIS 6	-	-	-	-

Tab. 49: Verletzungsschwere von Beteiligten an Lkw-Unfällen, bei denen die Kollisionsschwere durch die maximale Geschwindigkeitsreduktion verringert werden könnte.

### 8.3 Analyse der Verletzungsminderung

Mithilfe von Verletzungsrisikokurven kann bei einem bestimmten Unfallszenario die Wahrscheinlichkeit, Verletzungen verschiedener Schweregrade zu erleiden, in Abhängigkeit von Unfallschwereparametern (wie z. B. Delta-v, Kollisionsgeschwindigkeit) errechnet werden.

Für die beteiligten Lkw kann in 8 Fällen (Verletzungsschwere über MAIS 1) für die mittlere Geschwindigkeitsreduktion und in 5 Fällen für die maximale Geschwindigkeitsreduktion mittels einer Verletzungsrisikokurve eine mögliche Reduktion der Verletzungsschwere ermittelt werden. In Tabelle 49 sind diese Fälle der beteiligten Lkw dargestellt. Für den ersten und den dritten Fall lässt sich keine Verminderung der Verletzungsschwere mittels Verletzungsrisikokurve ermitteln, da es sich hier nicht um Frontalkollisionen (für andere Aufpralltypen war es nicht möglich, eine Verletzungsrisikofunktion für Lkw-Insassen zu ermitteln) handelt. Die restlichen Fälle sind Auffahrunfälle auf vorausfahrende Lkw. Bei der maximalen Geschwindigkeitsreduktion werden die Fälle 7 und 8 vermieden, sodass hier keine Verletzungen zu erwarten sind. Die entsprechende Verletzungsrisikokurve für die Auffahrunfälle ist in Bild 42 für die Wahrscheinlichkeiten einer ernsthaften Verletzung oder schwerer (MAIS 2+), einer schweren Verletzung oder schwerer (MAIS 3+) und einer sehr schweren Verletzung oder schwerer (MAIS 4+) in Abhängigkeit des Delta-v dargestellt. Es zeigt sich, dass die Wahrscheinlichkeit für Lkw-Insassen, eine ernsthafte oder schwerere Verletzung zu erleiden, ab einem Delta-v von ca. 35 km/h

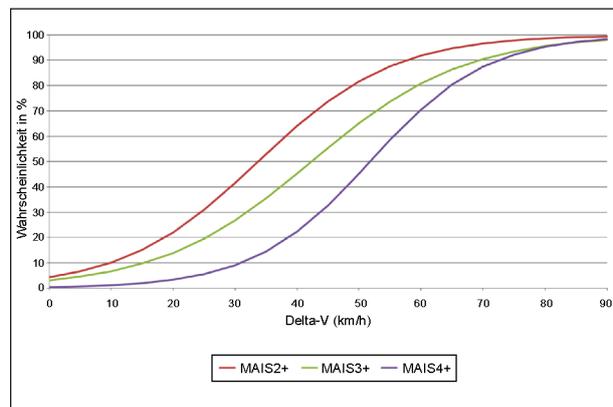


Bild 42: Verletzungsrisikokurve für Insassen schwerer Lkw bei Auffahrunfällen auf Lkw (GIDAS Abzug Dez. 2019; Insassen von N3-Fahrzeugen; Richtung der Krafteinleitung von vorn, VD11 = 11, 12 oder 1 Uhr; Der Einfluss von Delta-v auf die Verletzungsschweren war für MAIS 2+ und MAIS 3+ hoch signifikant mit  $p < 0,001$  und für MAIS 4+ signifikant mit  $p < 0,01$ ).

über 50 % steigt. Entsprechend sind maximal geringe Verletzungen unter einem Delta-v von 35 km/h wahrscheinlich. Für die vorliegenden Fälle bedeutet dies, dass im Fall 2 auch bei der mittleren Reduktion von Delta-v MAIS 2+ Verletzungen wahrscheinlich wären (Tabelle 51). In allen anderen Fällen hätte die glättewarungsbedingte Reduktion der Fahrgeschwindigkeit das Delta-v so weit reduziert, dass eine maximale Verletzungsschwere unter MAIS 2+ wahrscheinlich wäre.

Bei den 4 Fahrzeugen der Unfallgegner der Lkw waren 3 Pkw und ein Motorrad (Tabelle 52). Bei dem Motorrad ist eine Ermittlung der Verminderung mittels Verletzungsrisikokurve nicht sinnvoll durchführbar, da für die Verletzungsrisikokurve bei die-

Fall	Unfallgegner	Richtung der Kräfteinleitung durch die Kollision	Maximale Verletzungsschwere der Lkw-Insassen	Delta-v ursprünglich (in km/h)	Delta-v bei mittlerer Reduktion (in km/h)	Delta-v bei maximaler Reduktion (in km/h)
1	keiner	0 (entfällt)				
2	Lkw	Von vorn (12 Uhr)	MAIS 2	50	39	25
3	keiner	0 (entfällt)				
4	Lkw	Von vorn (12 Uhr)	MAIS 3	16,9	15	13
5	Lkw	Von vorn (12 Uhr)	MAIS 2	29	19	13
6	Lkw	Von vorn (12 Uhr)	MAIS 4	20	17	15
7	Lkw	Von vorn (12 Uhr)	MAIS 4	29	21	vermieden
8	Lkw	Von vorn (12 Uhr)	MAIS 2	23	9	vermieden

Tab. 50: Fälle mit einer potenziellen Verletzungsschwerereduktion bei beteiligten Lkw durch eine Glättewarnung

Fall	Tatsächliche Verletzungsschwere der Lkw-Insassen	Wahrscheinliche Verletzungsschwere bei mittlerer Reduktion von Delta-v	Wahrscheinliche Verletzungsschwere bei maximaler Reduktion von Delta-v
1	Entfällt		
2	MAIS 2	< MAIS 3+	< MAIS 2+
3	Entfällt		
4	MAIS 3	< MAIS 2+	< MAIS 2+
5	MAIS 2	< MAIS 2+	< MAIS 2+
6	MAIS 4	< MAIS 2+	< MAIS 2+
7	MAIS 4	< MAIS 2+	vermieden
8	MAIS 2	< MAIS 2+	vermieden

Tab. 51: Analyse der wahrscheinlichen Verletzungsschwere bei Reduktion von Delta-v

Fall	Unfallgegner	Richtung der Kräfteinleitung durch die Kollision beim Gegner	Maximale Verletzungsschwere der Unfallgegner	Delta-v ursprünglich (in km/h)	Delta-v bei mittlerer Reduktion (in km/h)	Delta-v bei maximaler Reduktion (in km/h)
1	Pkw	Von vorn (12 Uhr)	MAIS 3	74	54	27
2	Pkw	Genauere Kollision nicht bekannt (entfällt)				
3	Pkw	Von rechts	MAIS 2	36	30	24
4	Motorisiertes Zweirad	Von rechts	MAIS	19	16	16

Tab. 52: Fälle mit einer potenziellen Verletzungsschwerereduktion bei Fahrzeugen der Unfallgegner durch eine Glättewarnung für Lkw

sem Szenario in GIDAS nicht ausreichend Fälle zur Verfügung stehen. In Fall 2 ist die genaue Kollision nicht bekannt und in Fall 3 kam es an einer Kreuzung zu einer Kollision mit der vorderen rechten Seite eines Pkws gegen die vordere linke Ecke des von rechts kommenden Lkws. Auch für dieses Szenario stehen in GIDAS nicht ausreichend Fälle zur

Verfügung. Für den Fall 1 (eine Frontalkollision eines Pkws gegen einen entgegenkommenden, linksabbiegenden Lkw) wurde eine Verletzungsrisikokurve erstellt, siehe Bild 43. Hier erlitten die Insassen eine Verletzungsschwere von MAIS 3 bei einem Delta-v ihres Fahrzeugs von 74 km/h. Bei mittlerer Reduktion des Delta-v auf 54 km/h wäre gemäß der

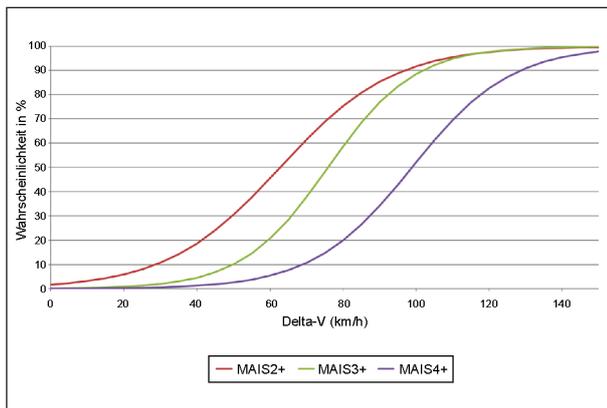


Bild 43: Verletzungsrisikokurve für Insassen von Pkw bei Frontalkollisionen bei voller Überdeckung (GIDAS Abzug Dez. 2019; Insassen von Pkw; Richtung der Krafteinleitung von vorn, VDI1 = 11, 12 oder 1 Uhr; Der Einfluss von Delta-v auf die Verletzungsschweren ist für die dargestellten Verletzungsschweren hoch signifikant mit  $p < 0,001$ )

Verletzungsrisikofunktion eine maximale Verletzungsschwere von MAIS 1 am wahrscheinlichsten: Nur 38 % der Insassen hatten in diesem Szenario eine Verletzungsschwere vom MAIS 2 oder höher. Noch wahrscheinlicher wäre eine maximale Verletzungsschwere von nur MAIS 1 (geringe Verletzung) bei der maximalen Reduktion von Delta-v auf 27 km/h. Hier hatten weniger als 10 % der Insassen eine Verletzungsschwere von MAIS 2 oder höher.

Bei den Unfällen mit Fußgängern ist, im Gegensatz zu Delta-v bei Fahrzeugunfällen, die Kollisionsgeschwindigkeit  $v_K$  des Lkws ausschlaggebend für die Unfallschwere. Hier zeigte sich allerdings, dass eine Bewertung der Verletzungsminderung mittels Verletzungsrisikokurve keine sinnvollen Werte lieferte. Die Anzahl der vorhandenen Unfälle in GIDAS sind hier zu gering und die Abhängigkeit der Verletzungsschwere von der Kollisionsgeschwindigkeit scheint nicht ausreichend stark ausgeprägt zu sein, so können sich Fußgänger bei geringen Kollisionsgeschwindigkeiten von Lkw bereits schwer verletzen. Dennoch kann gesagt werden, dass bei 4 der 5 Fußgänger, die eine Verletzungsschwere von MAIS 2 oder höher hatten, es sich um eine Frontalkollision mit einem vor dem Lkw querenden Fußgänger handelte. Hier kann eine geringere Verletzungsschwere der Fußgänger angenommen werden, bei einer geringeren Kollisionsgeschwindigkeit des Lkw. In dem anderen Fall lief der Fußgänger in die Seite des fahrenden Lkw, wobei der Fuß überrollt wurde. Hier ist eine Verminderung der Verletzungsschwere bei geringerer Geschwindigkeit des Lkw nicht wahrscheinlich.

## 8.4 Zusammenfassung

Die Analyse des Nutzens einer Glättewarnung erfolgt mithilfe der 444 schweren Lkw (N3-Fahrzeuge oder Sattelzugmaschinen), die an 393 Unfällen beteiligt waren, bei denen eine Kraftschlussminderung vorhanden war. Diese machen einen Anteil von 26,4 % an allen 1.486 Unfällen mit Beteiligung von schweren Lkw der GIDAS Datenbank der Jahre 1999-2019 aus. Durch eine Auswahl von relevanten Unfalltypen, bei denen eine Glättewarnung – und die damit einhergehende Verringerung der Fahrgeschwindigkeit – einen positiven Einfluss auf die Unfallschwere haben kann, verbleiben 175 Unfälle. Damit haben 12 % aller Unfälle mit schweren Lkw das Potenzial, durch eine Glättewarnung positiv beeinflusst zu werden.

Durch die Fahrsimulatorversuche der TU Berlin wurden 2 Reduktionen der Fahrgeschwindigkeiten der Probanden als Reaktion auf eine Glättewarnung bei einer Ausgangsgeschwindigkeit von ca. 80 km/h ermittelt: Die maximale Geschwindigkeitsdifferenz der Experimentalgruppe zur Kontrollgruppe (18,4 km/h) und die durchschnittliche Geschwindigkeitsdifferenz der Experimentalgruppe zur Kontrollgruppe im Glättbereich (9,6 km/h). Diese Geschwindigkeitsdifferenzen wurden relativ zur Ausgangsgeschwindigkeit benutzt, um mittels an die Situation mit Glättewarnung angepasster Unfallsimulation den Einfluss auf das Unfallgeschehen auszuwerten.

Hierzu wurden 91 Fälle der MHH-Unfallforschung mit der Annahme, dass die Fahrzeugführer der Lkw vor dem Unfall ihre Fahrgeschwindigkeit entsprechend der maximalen und der durchschnittlichen Geschwindigkeitsreduktion verringert hätten, neu simuliert. Davon waren 82 Unfälle Alleinunfälle oder Unfälle mit einem anderen Fahrzeug, dieses Szenario ist demnach bei 11 % aller Unfälle mit Beteiligung von schweren Lkw zu erwarten. Neun Unfälle waren Unfälle mit einem Fußgänger (ca. 1 % der Unfälle mit Beteiligung von schweren Lkw).

Bei der mittleren Reduktion hätten bei Alleinunfällen bzw. Unfällen mit einem anderen Fahrzeug:

- 28 % (23 der 82 beteiligten Lkw) keine Kollision mehr gehabt (Kollision vermieden).
- 52 % (43 der 82 beteiligten Lkw) eine verringerte Kollisionsschwere (Delta-v).
- 20 % (16 der 82 beteiligten Lkw) eine gleich starke oder stärkere Kollision gehabt.

- 29 % (21 der 73 Unfallgegner) keine Kollision mehr gehabt (Kollision vermieden).
- 55 % (40 der 73 Unfallgegner) eine verringerte Kollisionsschwere (Delta-v) gehabt.
- 16 % (12 der 73 Unfallgegner) eine gleich starke oder stärkere Kollision gehabt.

Bei der mittleren Reduktion hätten bei Unfällen mit Fußgängern:

- 22 % (2 der 9 beteiligten Lkw) keine Kollision mehr gehabt (Kollision vermieden)
- 78 % (7 der 9 beteiligten Lkw) eine verringerte Kollisionsschwere (Kollisionsgeschwindigkeit des Lkw) gehabt.
- 22 % (2 der 9 beteiligten Fußgänger) keine Kollision mehr gehabt (Kollision vermieden)
- 78 % (7 der 9 beteiligten Fußgänger) eine verringerte Kollisionsschwere (Kollisionsgeschwindigkeit des Lkw) gehabt.

Bei der maximalen Reduktion hätten bei Alleinunfällen bzw. Unfällen mit einem anderen Fahrzeug:

- 50 % (41 der 82 beteiligten Lkw) keine Kollision mehr gehabt (Kollision vermieden).
- 32 % (26 der 82 beteiligten Lkw) eine verringerte Kollisionsschwere (Delta-v) gehabt.
- 18 % (15 der 82 beteiligten Lkw) eine gleich starke oder stärkere Kollision gehabt.
- 52 % (38 der 73 Unfallgegner) keine Kollision mehr gehabt (Kollision vermieden)
- 32 % (23 der 73 beteiligten Lkw) eine verringerte Kollisionsschwere (Delta-v) gehabt.
- 16 % (12 der 73 beteiligten Lkw) eine gleich starke oder stärkere Kollision gehabt.

Bei der maximalen Reduktion hätten bei Unfällen mit Fußgängern:

- 33 % (3 der 9 beteiligten Lkw) keine Kollision mehr gehabt (Kollision vermieden).
- 67 % (6 der 9 beteiligten Lkw) eine verringerte Kollisionsschwere (Kollisionsgeschwindigkeit des Lkw) gehabt.
- 33 % (3 der 9 beteiligten Fußgänger) keine Kollision mehr gehabt (Kollision vermieden).

- 67 % (6 der 9 beteiligten Fußgänger) eine verringerte Kollisionsschwere (Kollisionsgeschwindigkeit des Lkw) gehabt.

Bei den Alleinunfällen bzw. Unfällen mit einem anderen Fahrzeug wurde bei angenommener mittlerer Reduktion der Fahrgeschwindigkeit ca. 28 % bzw. 29 % der Kollisionen der Lkw und der Unfallgegner vermieden, wobei 52 % bzw. 55 % der Kollisionen hinsichtlich der Kollisionsschwere vermindert wurden. Bei angenommener maximaler Reduktion der Fahrgeschwindigkeit steigt der Anteil der vermiedenen Kollisionen auf 50 % bzw. 52 % bei den Beteiligten, während noch 32 % der Kollisionen hinsichtlich der Kollisionsschwere vermindert wurden. Bei den verbliebenen Fällen wurde keine nennenswerte Verminderung der Kollisionsschwere festgestellt. In einem bzw. 2 Fällen hatten die Lkw sogar vernachlässigbar höhere Kollisionsschweren. Bei einem Pkw hingegen stieg die Kollisionsschwere um ein nicht zu vernachlässigendes Delta-v von 6,7 km/h.

Bei den Unfällen mit Fußgängern wurden 22 % der Kollisionen (mittlere Reduktion) bzw. 33 % der Kollisionen (maximale Reduktion) vermieden. Die verbliebenen Kollisionen wurden zumindest hinsichtlich der Kollisionsschwere (Kollisionsgeschwindigkeit des Fahrzeugs bei Fußgängerunfällen) reduziert.

Im nächsten Schritt wurde bei den Beteiligten, bei denen sich die Kollisionsschwere verringerte, mittels Verletzungsrisikokurven ermittelt, wie sich die maximale Verletzungsschwere der Fahrzeuginsassen verringerte. In Betracht gezogen wurden nur Beteiligte der Alleinunfälle bzw. der Unfälle mit einem anderen Fahrzeug, die ernsthafte oder schwerere Verletzungen (MAIS 2+) erlitten. Die 8 Unfallbeteiligten Lkw in dieser Gruppe hatten in den meisten Fällen Auffahrunfälle auf andere Lkw. Bei diesen Auffahrunfällen zeigte sich, dass selbst die mittlere Reduktion der Fahrgeschwindigkeit auch bei den Fällen mit schweren Verletzungen meistens keine ernsthaften Verletzungen (< MAIS 2) zur Folge gehabt hätte. Unter den Unfallgegnern der Lkw, die ernsthaft oder schwerer verletzt waren (MAIS 2+), befanden sich 3 Pkw und 1 Motorrad. Bei einer Pkw-Frontalkollision mit einem Lkw erlitten die Insassen schwere Verletzungen (MAIS 3). Auch hier bei diesem Szenario hätte eine Reduktion der Geschwindigkeit des Lkws ein deutliches Potenzial zur Minderung der Verletzungsschwere: Bei mittlerer Reduktion lag die Wahrscheinlichkeit, MAIS 2+ Ver-

letzungen zu erleiden, bei 38 % und bei maximaler Reduktion fiel die Wahrscheinlichkeit, MAIS 2+ Verletzungen zu erleiden, auf unter 10 %. Bei den Fußgängerunfällen konnte aufgrund unzureichender Daten keine sinnvolle Analyse der Verletzungsreduzierung der Fußgänger durchgeführt werden. Die an Fußgängerunfällen beteiligten Lkw-Fahrer wurden in keinem der ausgewerteten Fälle verletzt.

Die Analyse zeigt, dass eine Glättewarnung für Lkw bei 12 % aller Unfälle zum Einsatz kommen könnte. Bei einer angenommenen mittleren Reduktion der Fahrgeschwindigkeit der Lkw-Fahrer (um 9,6 km/h bei Tempo 80) aufgrund der Glättewarnung wären nahezu 30 % der Kollisionen bei Alleinunfällen oder Unfällen mit Beteiligung eines anderen Fahrzeugs sowohl bei den Lkw als auch bei den Kollisionsgegnern vermieden worden. Ferner hätten mehr als die Hälfte der Lkw und der Kollisionsgegner geringere Kollisionsschweren (Delta-v) gehabt. Mittels Verletzungsrisikokurven konnte gezeigt werden, dass durch die geringeren Kollisionsschweren das Risiko, ernsthafte oder schwerere Verletzungen zu erleiden, deutlich gesunken ist. Bei den Lkw-Unfällen mit Fußgängern wären von 9 analysierten Unfällen 2 vermieden worden und 7 Unfälle hätten aufgrund der geringeren Kollisionsgeschwindigkeit des Lkws das Potenzial, die Verletzungsschwere der Fußgänger zu verringern.

## 9 Gesamtzusammenfassung

Im Laufe dieses Projektes wurde untersucht, welcher Nutzen eine Reibwertwarnung für Güterkraftfahrzeuge darstellt. Mittels einer Probandenstudie im Fahrsimulator der technischen Universität Berlin ließen sich Fahrverhalten feststellen, die positive Auswirkungen im Falle eines glättebedingten Unfalles hätten.

Die Grundlage bildete zunächst die Literaturrecherche, die sowohl Erkenntnisse über den Stand der Technik von Fahrerassistenzsysteme sowie auch Einblicke in die Forschung zur Gestaltung von Warnungen aufzeigte. Folglich war es möglich, zusammen mit einer Expertenrunde und Vorstudien zur Gestaltung der unterschiedlichen Glätte-Icons, eine wissenschaftlich fundierte Warnstrategie herauszuarbeiten, die aus akustischen Signalen, Sprachangaben und grafischen Anzeigen auf einem Head-Up-Display besteht.

Parallel dazu wurde mittels einer Analyse von Unfällen von schweren Lkw mit vermindertem Kraftschluss ein Überblick über die Unfallsituation von N3-Lkw verschafft. Dazu wurden die Daten der GIDAS-Unfalldatenbank untersucht und eine repräsentative Zufallsstichprobe der Unfälle, bei denen Kraftschlussminderung eine Rolle gespielt haben könnte, erstellt. Zwei Szenarien wurden hierbei betrachtet: Auffahrunfälle, bei denen der Lkw auf ein weiteres Fahrzeug auffährt, sowie Fahrnfälle, bei denen der Lkw-Fahrer die Kontrolle über sein Fahrzeug verliert.

Diese Unfallanalyse bildete dann die Basis für die Szenariengestaltung der Probandenstudie. Kritische Fahrscenarien, unübersichtliche Kurven- und Bergfahrten und ein Stauende hinter einer Kuppel jeweils gepaart mit Regen, Starkregen oder Nebel wurden samt der Warnstrategie im Fahrsimulator einprogrammiert. In der Probandenstudie durchfuhren Kraftfahrzeugfahrer die Simulationen, wobei die Experimentalgruppe die Glättewarnung erhielt und die Kontrollgruppe die gleiche Simulation ohne Warnung durchfuhr. Zusammenfassend zeigte die Studie, dass die Probanden mit Warnung ihr Fahrverhalten besser an die Glättesituation anpassten als Probanden ohne Warnung, sie senkten ihre Geschwindigkeit deutlich früher und stärker. Die entwickelte Warnstrategie wurde als positiv und hilfreich bewertet und wurde mit einer hohen Akzeptanz von den Probanden angenommen. Durch die Coronapandemie fiel die Stichprobengröße der Probanden geringer aus als ursprünglich geplant, was für die Ergebnisse miteinzuberechnen ist.

Im Schlussteil dieses Projektes wurde der Nutzen von Glättewarnsystemen bei Lkw in Bezug auf das Unfallgeschehen analysiert. Mit der Kenntnis der Auswirkung eines Glättewarnsystems auf das Fahrverhalten der Lkw-Fahrer konnten die Lkw-Unfälle aus der GIDAS-Datenbank durch eine Vorwärtsrekonstruktion neu simuliert werden, um zu ermitteln, welchen Einfluss das Glättewarnsystem auf den Unfall gehabt hätte. Die Analyse zeigt unter anderem, dass eine Glättewarnung bei Lkw bei rund 12 % aller Unfälle zum Einsatz kommen könnte und bei einer mittleren Reduktion der Fahrgeschwindigkeit etwa 30 % der Kollisionen vermieden werden könnten. Die Ergebnisse deuten auf starke positive Auswirkungen einer Glättewarnung hin.

## Literatur

- [ADAC, 2017] ADAC Deutschland: ADAC Test Lkw-Notbremsassistenten. <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/tests/assistenzsysteme/Lkw-notbremsassistenten/>, Stand: 30.06.2020
- [ASCHENBRENNER, 1992]: ASCHENBRENNER, K. M., BIEHL, B., & WURM, G. W. (1992). Mehr Verkehrssicherheit durch bessere Technik? Felduntersuchungen zur Risikokompensation am Beispiel des Antiblockiersystems (ABS). Forschungsberichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (BaSt), Bd. 246.
- [BACHEM, 2014] BACHEM, H. K.; DOBBERTSTEIN, J.: Fahrzeugsicherheit bei schweren Nutzfahrzeugen. Wolfsburg: Ostfalia – Hochschule für angewandte Wissenschaften, Lehr- und Forschungsgebiet Fahrzeugsicherheit, 2014
- [BACHMANN, 1995] BACHMANN, T.: The importance of the integration of road, tyre and vehicle technologies. FISITA XXth World Congress, Montreal, Canada, September 1995
- [BACHMANN, 1998]: BACHMANN, Th.: „Wechselwirkungen im Prozeß der Reibung zwischen Reifen und Fahrbahn“, VDI Verlag GmbH, Düsseldorf, 1998
- [BATES, 2012] BATES, D. et al.: Package ‘lme4’. CRAN. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2012.
- [BAUMANN, 2008] BAUMANN, M. R. et al.: The effect of cognitive tasks on predicting events in traffic. In: Proceedings of the European Conference on Human Centred Design for Intelligent Transport Systems. Humanist: Lyon, France, 2008. S. 3-11.
- [BECHERER, 2000] BECHERER, Th. et al.: Der Seitenwandtorsionssensor SWT. In: ATZ Automobiltechnische Zeitschrift 102 (2000), 11, S. 946
- [BELLA, 2011] BELLA, F.; RUSSO, R.: A collision warning system for rear-end collision: a driving simulator study. Procedia-social and behavioral sciences, 2011, 20. Jg., S. 676-686.
- [BEN-YAACOV, 2002] BEN-YAACOV, A.; MALTZ, M.; SHINAR, D.: Effects of an in-vehicle collision avoidance warning system on short- and long-term driving performance. Human Factors, 2002, 44. Jg., Nr. 2, S. 335-342.
- [Benz, 2020] Mercedes Benz Trucks: Übersicht der Assistenzsysteme. [https://www.mercedes-benz-trucks.com/de\\_DE/models/new-actros/greater-safety.html](https://www.mercedes-benz-trucks.com/de_DE/models/new-actros/greater-safety.html) , Stand: 30.06.2020
- [BIRRELL, 2012] BIRRELL, S. A. et al.: Cognitive Work Analysis for safe and efficient driving. Theoretical Issues in Ergonomics Science, 2012, 13. Jg., Nr. 4, S. 430-449.
- [BMVI, 2020] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur: UN-Regelungen. <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/StV/Strassenverkehr/un-ece-regelungen.html> , Stand: 30.06.2020
- [BREUER, 1992] BREUER, B., EICHHORN, U. and ROTH, J.: Measurement of tyre/road friction ahead of the car and inside the tyre. Proceedings of AVEC'92 (International Symposium on Advanced Vehicle Control), pages 347-353, 1992
- [BREUER, 2000] BREUER, B., BARTZ, M., KARLHEINZ, B., GRUBER S., SEMSCH, M., STROTHJOHANN, T. and XIE, C.: The mechatronic vehicle corner of Darmstadt University of Technology – Interaction and cooperation of a sensor tire, new low-energy disc brake and smart wheel suspension. Proceedings of FISITA 2000, Seoul, Korea, June 12-15 2000
- [Bundestag, 2016] Deutscher Bundestag: Vermeidung von Lkw-Auffahrunfällen auf Bundesautobahnen durch Notbremssysteme. <https://www.bundestag.de/resource/blob/477598/fe909742f0b8e21a7a43d69eddd888cb/WD-5-069-16-pdf-data.pdf> , Stand: 30.06.2020
- [CHENG, 2002] CHENG, B.; HASHIMOTO, M.; SUETOMI, T.: Analysis of driver response to collision warning during car following. JSAE review, 2002, 23. Jg., Nr. 2, S. 231-237.
- [Continental, 2018] Continental Technologie: Wie funktioniert eigentlich der Notbremsassistent? <https://www.continental-reifen.de/autoreifen/ueber-continental/media-services/visionzero-world/technologie/2018-09-24-notbremsassistent> , Stand: 30.06.2020
- [DAF, 2020] DAF Trucks: Sicherheit und Komfort der Extraklasse. <https://www.daftrucks.de/de->

- de/Lkw/daf-xf/sicherheit-und-komfort-daf-xf , Stand: 30.06.2020
- [Daimler, 2020] Daimler Media: Sicherheit: Neue Assistenzsysteme: Notbremsassistent Active Brake: Assist 4 mit Fußgängererkennung und Abbiege-Assistent. <https://media.daimler.com/marsMediaSite/de/instance/ko/Mercedes-Benz-Lkw-Sicherheit-Neue-Assistenzsysteme-Notbremsassistent-Active-Brake-Assist-4-mit-Fußgängererkennung-und-Abbiege-Assistent.xhtml?oid=12367326> , Stand: 30.06.2020
- [DeLUCIA, 2009] DeLUCIA, P. R.; THARANA-THAN, A.: Responses to deceleration during car following: Roles of optic flow, warnings, expectations, and interruptions. *Journal of experimental psychology: applied*, 2009, 15. Jg., Nr. 4, S. 334.
- [Destatis, 2019] Statistisches Bundesamt: Unfälle von Güterkraftfahrzeugen im Straßenverkehr 2018. [https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Verkehrsunfaelle/Publikationen/Downloads-Verkehrsunfaelle/unfaelle-gueterkraefffahrzeuge-5462410187004.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Verkehrsunfaelle/Publikationen/Downloads-Verkehrsunfaelle/unfaelle-gueterkraefffahrzeuge-5462410187004.pdf?__blob=publicationFile) , Seite 100, Stand: 30.06.2020
- [DIECKMANN, 1992] DIECKMANN, T.: Assessment of road grip by way of measured wheel variables. *Proceedings of FISITA '92 Congress*, London, GB, 2:75-81, June 7-11 1992. "Safety of the Vehicle and the Road"
- [DONMEZ, 2008] DONMEZ, B.; BOYLE, L. N.; LEE, J. D.: Mitigating driver distraction with retrospective and concurrent feedback. *Accident Analysis & Prevention*, 2008, 40. Jg., Nr. 2, S. 776-786.
- [DRESSLER, 2015] DRESSLER, A.: Verhaltenswirksame Gestaltung von Müdigkeitswarnungen im Fahrzeug (Dissertation), 2015
- [DUFFY, 1995] DUFFY, R. R.; KALSHER, M. J.; WOGALTER, M. S.: Increased effectiveness of an interactive warning in a realistic incidental product-use situation. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 1995, 15. Jg., Nr. 3, S. 159-166.
- [DVR, 2006] Deutscher Verkehrssicherheitsrat e. V.: Beschluss des Gesamtvorstands vom 03. November 2006 auf der Basis der Empfehlung des Ausschusses für Fahrzeugtechnik. <https://www.dvr.de/dvr/beschluesse/2006-fahrerassistenzsysteme.html> , Stand: 30.06.2020
- [DVR, 2017] Deutscher Verkehrssicherheitsrat e. V.: Die 5 Phasen eines Unfalls – und wie Fahrerassistenzsysteme helfen können. <https://www.dvr.de/presse/informationen/4863.html> , Stand: 30.06.2020
- [DWD, 2018]: Stadtklimamessungen – die städtische Wärmeinsel. [https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaforschung/klimawirk/stadtprojekt\\_waermeinseln/startseite\\_projekt\\_waermeinseln.html](https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaforschung/klimawirk/stadtprojekt_waermeinseln/startseite_projekt_waermeinseln.html). Stand: 08.10.2018.
- [EHRENFORDT, 2008] EHRENFORDT, I.; KULLACK, A.; EGGERT, F.: ReflektAS–Usage of reflexive driver reactions in ADAS-development. In: *Proceedings of European Conference on Human Centred Design for Intelligent Transport Systems*. Humanist publications, 2008. S. 321.
- [EICHHORN, 1992]: EICHHORN, U. and ROTH, J.: Prediction and monitoring of tyre/road Friction. XXIV FISITA Congress, London, GB, 2:67-74, June 7-11 1992. "Safety of the Vehicle and the Road"
- [EU, 2009] Europäische Kommission: Verordnung (EG) Nr. 661/2009 vom 13. Juli 2009 über die Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen, Kraftfahrzeuganhängern und von Systemen, Bauteilen und selbstständigen technischen Einheiten für diese Fahrzeuge hinsichtlich ihrer allgemeinen Sicherheit. <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:200:0001:0024:DE:PDF> , Stand: 30.06.2020
- [EU, 2012] Europäische Kommission: Verordnung (EU) Nr. 347/2012 zur Durchführung der Verordnung (EG) Nr. 661/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates über die Typgenehmigung von Notbremsassistentensystemen für bestimmte Kraftfahrzeugklassen. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012R0347&from=DE> , Stand: 30.06.2020
- [EU, 2019] Europäische Kommission: Verordnung (EU) 2019/2144 vom 27. November 2019 über die Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern sowie von Systemen, Bauteilen und selbstständigen technischen Einheiten für diese Fahrzeuge im Hinblick auf

- ihre allgemeine Sicherheit und den Schutz der Fahrzeuginsassen und von ungeschützten Verkehrsteilnehmern, zur Änderung der Verordnung (EU) 2018/858 des Europäischen Parlaments und des Rates und zur Aufhebung der Verordnungen (EG) Nr. 78/2009, (EG) Nr. 79/2009 und (EG) Nr. 661/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates sowie der Verordnungen (EG) Nr. 631/2009, (EU) Nr. 406/2010 (...) der Kommission. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R2144&from=DE> , Stand: 30.06.2020
- [EU-Commission, 2008] The european parliament and of the council: Concerning type-approval requirements for the general safety of motor vehicles. [https://www.europarl.europa.eu/registre/docs\\_autres\\_institutions/commission\\_europeenne/sec/2008/1908/COM\\_SEC\(2008\)1908\\_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/registre/docs_autres_institutions/commission_europeenne/sec/2008/1908/COM_SEC(2008)1908_EN.pdf) , Stand: 30.06.2020
- [FAUL, 2007] FAUL, F., ERDFELDER, E., LANG, A.-G., & BUCHNER, A.: G\*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods*, 39, 175-191
- [FRICKE, 2009] FRICKE, N.: Gestaltung zeit- und sicherheitskritischer Warnungen im Fahrzeug (Dissertation), 2005
- [FULLER, 2005] FULLER, R.: Towards a general theory of driver behavior. *Accident Analysis & Prevention*, 2005, 37, p. 461-472
- [GRAHAM, 1999] GRAHAM, R.: Use of auditory icons as emergency warnings: evaluation within a vehicle collision avoidance application. *Ergonomics*, 1999, 42. Jg., Nr. 9, S. 1233-1248.
- [GUSTAFSSON, 1997]: GUSTAFSSON, F.: Slip-based tire-road friction estimation. *Automatica*, 33(6):1087-1099, June 1997
- [HALGAMUGE, 1993]: HALGAMUGE, S. K., HERPEL, H.-J. and GLESNER, M.: Echtzeit Fahrbahnzustandserkennung mit Fuzzy-Neuronalen Netzen. In: Reusch, B. (Hg.): *Fuzzy-Logic – Theorie und Praxis*, 3. Dortmunder Fuzzy-Tage Dortmund, 7.–9. Juni 1993. *Informatik Aktuell*, Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, S. 204-211
- [Hella, 2020] Hella: Fahrerassistenzsysteme – eine Übersicht. <https://www.hella.com/techworld/de/Technik/Elektrik-Elektronik/Fahrerassistenzsysteme-Uebersicht-45184/>, Stand: 30.06.2020
- [HELLIER, 2002] HELLIER, E. et al.: The perceived urgency of speech warnings: Semantics versus acoustics. *Human Factors*, 2002, 44. Jg., Nr. 1, S. 1-17.
- [HO, 2007] HO, C.; REED, N.; SPENCE, C.: Multisensory in-car warning signals for collision avoidance. *Human factors*, 2007, 49. Jg., Nr. 6, S. 1107-1114.
- [HO, 2005] HO, C.; SPENCE, C.; TAN, H. Z.: Warning signals go multisensory. In: *Proceedings of HCI International*. 2005. S. 1-10.
- [HOROWITZ, 1992] HOROWITZ, A. D.; DINGUS, T. A.: Warning signal design: A key human factors issue in an in-vehicle front-to-rear-end collision warning system. In: *Proceedings of the Human Factors Society Annual Meeting*. Sage CA: Los Angeles, CA: SAGE Publications, 1992. S. 1011-1013.
- [IFS, 1998] Institut für Straßenverkehr: "Unfalltypenkatalog". Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V., Cologne, 1998
- [JOHANNSEN, 2017]: JOHANNSEN, H., KRETTEK, C., HANNAWALD, L., SCHASER, K. D.: Consideration of Accident Avoidance Technology within GIDAS, 25th ESV Conference, Detroit, 2017
- [JOSHI, 2008] JOSHI, S. et al.: Perceptions of risk and control understanding acceptance of advanced driver assistance systems. In: *European Conference on Human Centred Design for Intelligent Transport Systems*, Lyon, France. 2008.
- [KAUFMANN, 2008] KAUFMANN, C. et al.: Effects of simultaneous multi-modal warnings and traffic information on driver behaviour. In: *Proceedings of European Conference on Human Centred Design for Intelligent Transport Systems*. 2008. S. 33-42.
- [KIENCKE, 1994]: KIENCKE, U. and DAIß, A.: Estimation of tyre friction for enhanced ABS systems. *Proceedings of AVEC'94*, 1994
- [LAUGHERY, 2006] LAUGHERY, K. R.; WOGALTER, M. S.: Designing effective warnings. *Reviews of human factors and ergonomics*, 2006, 2. Jg., Nr. 1, S. 241-271.

- [LEX, 2015]: LEX, C., EICHBERGER, A. and HIRSCHBERG, W.: On-board determination of the friction coefficient between tire and road using standard-application vehicle dynamics sensors. Graz University of Technology, Austria, 24th international Symposium on Dynamics of Vehicles on Roads and Tracks, August 17-21, 2015, Graz, Austria
- [MAN, 2020] MAN Lkw Deutschland: MAN Assistenzsysteme. <https://www.truck.man.eu/de/de/Lkw/Lkw-assistenzsysteme/uebersicht.html> , Stand: 30.06.2020
- [MÜLLER, 2001]: MÜLLER, S., UCHANSKI, M. and HEDRICK, J. K.: Slip-based tire-road friction estimation during braking. Proceedings of IMECE'01 (2001 ASME International Engineering Congress and Exposition), November 11-16 2001
- [NAVARRO, 2007] NAVARRO, J.; MARS, F.; HOC, J.-M.: Lateral control assistance for car drivers: a comparison of motor priming and warning systems. Human Factors, 2007, 49. Jg., Nr. 5, S. 950-960.
- [Pasterkamp1, 1997]: PASTERKAMP, W. and PACEJKA, H.: Application of Neural Networks in the Estimation of Tire/Road Friction Using the Tire as Sensor. SAE Technical Paper 971122, 1997, DOI: 10.4271/971122
- [Pasterkamp2, 1997]: PASTERKAMP, W. and PACEJKA, H.: The Tyre as a Sensor to Estimate Friction. In: Vehicle System Dynamics, 1997, Vol. 27, No. 5-6, pp. 409-422, DOI: 10.1080/00423119708969339
- [PETERSEN, 2012]: Fahrerassistenzsysteme für Nutzfahrzeuge zur Erhöhung der Verkehrssicherheit. Stand der Technik und Anforderungen Europäischer Vorschriften – Forderungen an Gesetzgeber, Hersteller und Betreiber
- [Renault, 2020] Renault Trucks Deutschland: Renault Trucks T High Complet. <https://www.renault-trucks.de/aktuelles/renault-trucks-t-high-complet.html> , Stand: 30.06.2020
- [SAE, 2016] SAE International: Levels of driving automation. <https://www.sae.org/news/2019/01/sae-updates-j3016-automated-driving-graphic> , Stand: 30.06.2020
- [Scania, 2020] Scania Deutschland: Sicherheit. <https://www.scania.com/de/de/home/products-and-services/trucks/safety.html> , Stand: 30.06.2020
- [SCOTT, 2008] SCOTT, J. J.; GRAY, R.: A comparison of tactile, visual, and auditory warnings for rear-end collision prevention in simulated driving. Human factors, 2008, 50. Jg., Nr. 2, S. 264-275.
- [SHNEIDERMAN , 2016] SHNEIDERMAN, B. et al.: Designing the user interface: strategies for effective human-computer interaction. Pearson, 2016.
- [Statista, 2021]: Durchschnittliches Alter der Lastkraftwagen in Deutschland von 2011 bis 2021; <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/154528/umfrage/durchschnittliches-alter-der-lkw-in-deutschland/>; Stand: 26. Oktober 2021
- [UNECE, 2013] Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa: Regelung Nr. 130 der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (UNECE) – Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung der Kraftfahrzeuge hinsichtlich ihres Spurhaltewarnsystems. [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:42014X0618\(01\)&from=EN](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:42014X0618(01)&from=EN) , Stand: 30.06.2020
- [UNECE, 2014] Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa: Regelung Nr. 131 – Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung von Kraftfahrzeugen hinsichtlich des Notbremsassistenzsystems (AEBS). [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:42014X0719\(01\)&from=EN](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:42014X0719(01)&from=EN) , Stand: 30.06.2020
- [UNECE, 2017] Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa: Regelung Nr. 141 der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (UNECE) – Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung von Kraftfahrzeugen hinsichtlich ihrer Reifendruckkontrollsysteme (RDKS) [2018/1593]. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:42018X1593&from=EN> , Stand: 30.06.2020

- [UNECE, 2020] Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa: Working Documents (February session). <https://www.unece.org/trans/main/wp29/wp29wgs/wp29grva/grva2020.html> , Stand: 30.06.2020
- [VAN DER LAAN, 1997] VAN DER LAAN, J.D.; HEINO, A.; De WAARD, D.: A simple procedure for the assessment of acceptance of advanced transport telematics. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 1997, 5. Jg., Nr. 1, S. 1-10.
- [VÁRHELYI, 2015] VÁRHELYI, A.; KAUFMANN, C.; PERSSON, A.: User-related assessment of a Driver Assistance System for Continuous Support – A field trial. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 2015, 30. Jg., S. 128-144.
- [Volvo, 2020] Volvo Trucks Deutschland: Intelligente Sicherheitssysteme zur Verringerung der Gefahr von Verkehrsunfällen. <https://www.volvotrucks.de/de-de/trucks/features/driver-support-systems.html> , Stand: 30.06.2020
- [WERNEKE, 2013] WERNEKE, J.; VOLLRATH, M.: How to present collision warnings at intersections? – A comparison of different approaches. *Accident analysis & prevention*, 2013, 52. Jg., S. 91-99.
- [Wetterdienst 2018] Numerische Wettervorhersage – ein weltumspannendes Spinnennetz. [https://www.wetterdienst.de/Deutschlandwetter/Thema\\_des\\_Tages/3244/numerische-wettervorhersage-ein-weltumspannendes-spinnennetz](https://www.wetterdienst.de/Deutschlandwetter/Thema_des_Tages/3244/numerische-wettervorhersage-ein-weltumspannendes-spinnennetz). Stand: 08.10.2018.
- [WILLIAMS, 2007] WILLIAMS, D. J.; NOYES, J. M.: How does our perception of risk influence decision-making? Implications for the design of risk information. *Theoretical issues in ergonomics science*, 2007, 8. Jg., Nr. 1, S. 1-35.
- [WILSON, 2007] WILSON, B. et al.: Evaluation of a Road-Departure Crash Warning System. United States. National Highway Safety Bureau, 2007.
- [WOGALTER, 2006] WOGALTER, M. S. (Hg.): *Handbook of warnings*. CRC Press, 2006.
- [ZHANG, 2019] ZHANG, Z. et al.: The impact of cognitive distraction on driver perception response time under different levels of situational urgency. *IEEE Access*, 2019, 7. Jg., S. 184572-184580.
- [ZHAO, 2012] ZHAO, G.; WU, C.: The effects of driver identity on driving safety in a retrospective feedback system. *Accident Analysis & Prevention*, 2012, 45. Jg., S. 354-365.

## Bilder

- Bild 1: Fünf Phasen des Unfallgeschehens [DVR, 2017]
- Bild 2: C-HIP-Modell [WOGALTER, 2006]
- Bild 3: Grundlegende Merkmale von Warnungen
- Bild 4: Beispielfall 1 (Auffahrunfall)
- Bild 5: Beispielfall 2 (Auffahrunfall)
- Bild 6: Beispielfall 1 (Fahrerunfall)
- Bild 7: Beispielfall 2 (Fahrerunfall)
- Bild 8: Vorgestellter Prototyp zur Gestaltung des Warnkonzepts mit 3 Phasen (Stand: 22.06.2020)
- Bild 9: Icons geordnet nach Median-Rängen
- Bild 10: Häufigkeit der Nennung glättebezogener Begriffe
- Bild 11: Finale Glätte-Warnstrategie
- Bild 12: Fahrsimulator des KFZB
- Bild 13: Schematische Darstellung der Funktion des Simulators
- Bild 14: Schematische Darstellung einer Fahr-situation in der Gruppe mit Warnung und mit Straßenzustand Regen. 1: Variation der Wetterbedingung (trocken  $\mu = 1$ , Regen  $\mu = 0,5$  oder Starkregen  $\mu = 0,3$ ). 2: Variation des kritischen Streckentyps (S-Kurve, Bergkuppe oder 90°-Kurve im Nebel).
- Bild 15: Gemittelte Geschwindigkeitsverläufe für den kritischen Streckentypen S-Kurve, getrennt nach Wetterbedingungen. Die graue Schattierung stellt das 95%-Konfidenzintervall dar.

- Bild 16: Gemittelte Geschwindigkeitsverläufe für den kritischen Streckentypen Bergkuppe, getrennt nach Wetterbedingungen. Die graue Schattierung stellt das 95%-Konfidenzintervall dar.
- Bild 17: Gemittelte Geschwindigkeitsverläufe für den kritischen Streckentypen 90°-Kurve mit Nebel, getrennt nach Wetterbedingungen. Die graue Schattierung stellt das 95%-Konfidenzintervall dar.
- Bild 18: Geschwindigkeitsdifferenzen im Vorwarnungsbereich des Streckentyps S-Kurve. Zusammenhänge wurden linear approximiert.
- Bild 19: Geschwindigkeitsdifferenzen für den Abschnitt „Gerade Strecke nach Wetterwechsel“ des Streckentyps S-Kurve. Zusammenhänge wurden linear approximiert.
- Bild 20: Geschwindigkeitsdifferenzen für den Abschnitt mit kritischem Streckentyp S-Kurve
- Bild 21: Geschwindigkeitsdifferenzen für die gerade Strecke nach dem kritischem Streckentyp S-Kurve
- Bild 22: Geschwindigkeitsdifferenzen im Vorwarnungsbereich des Streckentyps Bergkuppe
- Bild 23: Geschwindigkeitsdifferenzen für den Abschnitt „Gerade Strecke nach Wetterwechsel“ des Streckentyps Bergkuppe
- Bild 24: Geschwindigkeitsdifferenzen für den Abschnitt mit kritischem Streckentyp Bergkuppe
- Bild 25: Geschwindigkeitsdifferenzen für die gerade Strecke nach dem kritischem Streckentyp Bergkuppe
- Bild 26: Geschwindigkeitsdifferenzen im Vorwarnungsbereich des Streckentyps 90°-Kurve mit Nebel
- Bild 27: Geschwindigkeitsdifferenzen für den Abschnitt „Gerade Strecke nach Wetterwechsel“ des Streckentyps 90°-Kurve mit Nebel
- Bild 28: Geschwindigkeitsdifferenzen für den Abschnitt mit kritischem Streckentyp 90°-Kurve mit Nebel
- Bild 29: Geschwindigkeitsdifferenzen für den Abschnitt mit kritischem Streckentyp 90°-Kurve mit Nebel
- Bild 30: Minimal TTC (in s) nach Warnungsbedingung. Die Fehlerbalken stellen die Standardfehler dar.
- Bild 31: Subjektive Kritikalitäts-Ratings. Die Fehlerbalken stellen die Standardfehler dar.
- Bild 32: Box-Plot für die Ergebnisse des Van-der-Laan-Fragebogens. Innerhalb der Box befinden sich 50 % der Werte. Die vertikale Linie mit größerer Linienstärke stellt den Median dar.
- Bild 33: Gründe der Geschwindigkeitsanpassung (Mehrfachnennungen möglich)
- Bild 34: Gründe für die Bewertung des Warnsystems als hilfreich (Mehrfachnennungen möglich)
- Bild 35: Gründe für die Bewertung des Warnsystems als störend
- Bild 36: Empfundene Akzeptanz und Begründungen (Mehrfachnennungen möglich)
- Bild 37: Vergleich der Komponenten der Warnstrategie bezüglich des Aufmerksamkeitsfokus; auf welche Komponente wurde besonders geachtet?
- Bild 38: Verbesserungsvorschläge zur Glättewarnstrategie
- Bild 39: Rangreihe der Glätte-Icons übersetzt in ein Punktesystem. Mehr Punkte stehen für eine bessere Eignung des Icons bezüglich der Darstellung von Straßenglätte im Lkw.
- Bild 40: Geschwindigkeitsverläufe bei Probanden mit und ohne Glättewarnung sowie gewählte repräsentative Reduktionen R1 und R2 für die Unfallsimulation
- Bild 41: Analyse des Nutzens von Glättewarnungen bei ausgewählten (relevanten) Lkw-Unfällen

Bild 42: Verletzungsrisikokurve für Insassen schwerer Lkw bei Auffahrunfällen auf Lkw (GIDAS Abzug Dez. 2019; Insassen von N3-Fahrzeugen; Richtung der Kräfteinleitung von vorn, VDI1 = 11, 12 oder 1 Uhr; Der Einfluss von Delta-v auf die Verletzungsschweren war für MAIS 2+ und MAIS 3+ hoch signifikant mit  $p < 0,001$  und für MAIS 4+ signifikant mit  $p < 0,01$ )

Bild 43: Verletzungsrisikokurve für Insassen von Pkw bei Frontalkollisionen bei voller Überdeckung (GIDAS Abzug Dez. 2019; Insassen von Pkw; Richtung der Kräfteinleitung von vorn, VDI1 = 11, 12 oder 1 Uhr; Der Einfluss von Delta-v auf die Verletzungsschweren ist für die dargestellten Verletzungsschweren hoch signifikant mit  $p < 0,001$ )

## Tabellen

- |   |   |
|---|---|
| <p>Tab. 1: Die wichtigsten Assistenzsysteme</p> <p>Tab. 2: Gesamtes Sicherheitspotenzial nach [Bundestag, 2016]</p> <p>Tab. 3: Sicherheitspotenziale aufgeteilt in FAS und Kraftfahrzeug nach [Bundestag, 2016]</p> <p>Tab. 4: FAS Angebot bezogen auf Hersteller</p> <p>Tab. 5: Ergebnisse der AEBS-Tests des ADAC</p> <p>Tab. 6: Genehmigungsstufe 1: Anforderungen für die Warn- und Aktivierungsprüfung – Werte für Bestehen/Nichtbestehen aus [EU, 2012]</p> <p>Tab. 7: Genehmigungsstufe 2: Anforderungen für die Warn- und Aktivierungsprüfung – Werte für Bestehen/Nichtbestehen aus [EU, 2012]</p> <p>Tab. 8: Zeitpunkte der Warnmodi aus [UNECE, 2014]</p> <p>Tab. 9: Ergebnisse für die Vermeidung von Todesfällen und Break-Even-Kosten laut [EU-Commission, 2008]</p> <p>Tab. 10: Ergebnisse bezüglich Einsparungen hinsichtlich verschiedener FAS aus [EU-Commission, 2008]</p> | <p>Tab. 11: Unfalltyp-Verteilung bei an Auffahrunfällen beteiligten Lkw im Vergleich zur Kontrollgruppe (kein Auffahrunfall)</p> <p>Tab. 12: Verteilung der Unfallgegner bei an Auffahrunfällen beteiligten Lkw im Vergleich zur Kontrollgruppe (kein Auffahrunfall)</p> <p>Tab. 13: Verteilung der Straßenklasse bei an Auffahrunfällen beteiligten Lkw im Vergleich zur Kontrollgruppe (kein Auffahrunfall)</p> <p>Tab. 14: Zustand der Straßenoberfläche bei an Auffahrunfällen beteiligten Lkw im Vergleich zur Kontrollgruppe (kein Auffahrunfall)</p> <p>Tab. 15: Niederschlag bei an Auffahrunfällen beteiligten Lkw im Vergleich zur Kontrollgruppe (kein Auffahrunfall)</p> <p>Tab. 16: Bewölkung bei an Auffahrunfällen beteiligten Lkw im Vergleich zur Kontrollgruppe (kein Auffahrunfall)</p> <p>Tab. 17: Windverhalten bei an Auffahrunfällen beteiligten Lkw im Vergleich zur Kontrollgruppe (kein Auffahrunfall)</p> <p>Tab. 18: Unfalltyp Verteilung bei an Fahrunfällen beteiligten Lkw im Vergleich zur Kontrollgruppe (kein Fahrunfall)</p> <p>Tab. 19: Verteilung der Unfallgegner bei an Fahrunfällen beteiligten Lkw im Vergleich zur Kontrollgruppe (kein Fahrunfall)</p> <p>Tab. 20: Verteilung der Straßenklasse bei an Fahrunfällen beteiligten Lkw im Vergleich zur Kontrollgruppe (kein Fahrunfall)</p> <p>Tab. 21: Zustand der Straßenoberfläche bei an Fahrunfällen beteiligten Lkw im Vergleich zur Kontrollgruppe (kein Fahrunfall)</p> <p>Tab. 22: Niederschlag bei an Fahrunfällen beteiligten Lkw im Vergleich zur Kontrollgruppe (kein Fahrunfall)</p> <p>Tab. 23: Bewölkung bei an Fahrunfällen beteiligten Lkw im Vergleich zur Kontrollgruppe (kein Fahrunfall)</p> |
|---|---|

- Tab. 24: Windverhalten bei an Fahrnfällen beteiligten Lkw im Vergleich zur Kontrollgruppe (kein Fahrnfall)
- Tab. 25: Übersicht über wichtige Unfallmerkmale bei den als Einzelfallstudien aufbereiteten Auffahrnfällen
- Tab. 26: Übersicht über wichtige Unfallmerkmale bei den als Einzelfallstudien aufbereiteten Fahrnfällen
- Tab. 27: Vom FG KKE erstellter Pool an Glätte-Icons für die Vorstudien
- Tab. 28: Gruppierung der freien Kommentare zu Icons in Vorstudie 1
- Tab. 29: Verwendete Icons in Vorstudie 2. Die potenziellen Straßenglätte-Icons stammen aus Vorstudie 1. Die Stabilitäts-Icons und die anderen Icons im Lkw sind angelehnt an Icons aus Scania und MB Actros.
- Tab. 30: Versuchsdesign
- Tab. 31: Ergebnisse des Linear Mixed-Effects-Modells für den Vorwarnungsbereich des kritischen Streckentyps S-Kurve
- Tab. 32: Ergebnisse des Linear-Mixed-Effects-Modells für die gerade Strecke nach dem Wetterwechsel des kritischen Streckentyps S-Kurve
- Tab. 33: Ergebnisse des Linear-Mixed-Effects-Modells für die gerade Strecke nach dem Wetterwechsel des kritischen Streckentyps S-Kurve
- Tab. 34: Ergebnisse des Linear-Mixed-Effects-Modells für die gerade Strecke nach dem kritischen Streckentyp S-Kurve
- Tab. 35: Ergebnisse des Linear-Mixed-Effects-Modells für den Vorwarnungsbereich des kritischen Streckentyps Bergkuppe
- Tab. 36: Ergebnisse des Linear-Mixed-Effects-Modells für die gerade Strecke vor dem Wetterwechsel des kritischen Streckentyps Bergkuppe
- Tab. 37: Ergebnisse des Linear-Mixed-Effects-Modells für den Abschnitt mit kritischem Streckentyp Bergkuppe
- Tab. 38: Ergebnisse des Linear-Mixed-Effects-Modells für die gerade Strecke nach dem kritischen Streckentyp Bergkuppe
- Tab. 39: Ergebnisse des Linear-Mixed-Effects-Modells für den kritischen Streckentyp 90°-Kurve mit Nebel im Abschnitt Vorwarnungsbereich
- Tab. 40: Ergebnisse des Linear-Mixed-Effects-Modells für die gerade Strecke nach dem Wetterwechsel des kritischen Streckentyps 90°-Kurve mit Nebel
- Tab. 41: Ergebnisse des Linear-Mixed-Effects-Modells für den Abschnitt mit kritischem Streckentyp 90°-Kurve mit Nebel
- Tab. 42: Ergebnisse des Linear-Mixed-Effects-Modells für die gerade Strecke nach dem kritischen Streckentyp 90°-Kurve mit Nebel
- Tab. 43: Ausweichen auf Gegenspur
- Tab. 44: Linear-Mixed-Effects-Modell zum Einfluss der Warnungsbedingung und der Wetterbedingungen auf die subjektiven Kritikalitätsratings nach jeder Fahrsituation
- Tab. 45: Relevante Unfalltypen für die Analyse des Nutzens eines Glättewarnsystems bei Lkw
- Tab. 46: Einfluss der mittleren Geschwindigkeitsreduktion auf die Unfallschwere
- Tab. 47: Einfluss der maximalen Geschwindigkeitsreduktion auf die Unfallschwere
- Tab. 48: Verletzungsschwere von Beteiligten an Lkw-Unfällen, bei denen die Kollisionsschwere durch eine mittlere Geschwindigkeitsreduktion verringert werden könnte.
- Tab. 49: Verletzungsschwere von Beteiligten an Lkw-Unfällen, bei denen die Kollisionsschwere durch die maximale Geschwindigkeitsreduktion verringert werden könnte.

Tab. 50: Fälle mit einer potenziellen Verletzungsschwerereduktion bei beteiligten Lkw durch eine Glättewarnung

Tab. 51: Analyse der wahrscheinlichen Verletzungsschwere bei Reduktion von  $\Delta v$

Tab. 52: Fälle mit einer potenziellen Verletzungsschwerereduktion bei Fahrzeugen der Unfallgegner durch eine Glättewarnung für Lkw

## Schriftenreihe

### Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

#### Unterreihe „Fahrzeugtechnik“

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

F 121: **Leistungsabhängige 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: **Motorradhelme – 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 Leuchtweitenregelung 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-Notbremsassistentensysteme**  
Seiniger, Heidl, 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

## 2021

### F 136: Kamera-Monitor-Systeme als Fahrerinformationsquelle

Leitner, Oehme, de Silva, Blum, Berberich, Böhm  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

### F 137: Konzept für die Erzeugung eines ISO-konformen UML-Modells und Generierung eines GML-Applikationsschemas für DATEX II zur Verbesserung der Interoperabilität

Lauber, Steiger, Kopka, Lapolla, Freudenstein, Kaltwasser  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

### F 138: Grundlagen zur Kommunikation zwischen automatisierten Kraftfahrzeugen und Verkehrsteilnehmern

Schaarschmidt, Yen, Bosch, Zwicket, Schade, Petzold € 16,50

### F 139: Einfluss von Notbremsystemen auf die Entwicklung von Lkw-Auffahrunfällen auf Bundesautobahnen

Straßgütl, Sander € 14,50

### F 140: Reibwertprognose als Assistenzsystem

Leschik, Sieron, Gregull, Müller, Trapp, Brandenburg, Haalman, Terpstra  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

### F 141: Methoden für die Bewertung der Mensch-Maschine-Interaktion beim teilautomatisierten Fahren

Schömgig, Wiedemann, Julier, Neukum, Wiggerich, Hoffmann € 18,00

### F 142: Schräglagenangst

Scherer, Winner, Pleß, Will, Neukum, Stanglmayr, Bäumler, Siebke, Prokop € 14,50

## 2022

### F 143: Unfallverletzungen in Fahrzeugen mit Airbags

Holtz, Heidt, Müller, Johannsen, Jänsch, Hammer, Büchner  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

### F 144: Entwicklung eines Verfahrens zur Generierung eines Safety Performance Indikators aus der Bewertung von Euro NCAP

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

### F 145: Regeneration von Partikelfiltern bei Benzin- und Dieselmotorkraftfahrzeugen

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

### F 146: Analysis of options for the creation of safety-related traffic information based on vehicle-generated data

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

### F 147: Automatische Notbremsysteme für Motorräder

Merkel, Pleß, Winner, Hammer, Schneider, Will  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

### F 148: Analyse glättebedingter Unfälle von Güterkraftfahrzeugen mit mehr als 12 t zulässigem Gesamtgewicht

Müller, Thüning, Jänsch, Epple, Kretschmer, Gottwald, Oehring, Winkenbach  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

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

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

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

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