

Fahrerassistenzsysteme für die Geschwindigkeits- reduzierung bei schlechten Bedingungen

Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen

Fahrzeugtechnik Heft F 150

bast

Fahrerassistenzsysteme für die Geschwindigkeits- reduzierung bei schlechten Bedingungen

von

Maria Pohle
Susanne T. Günther
Robert Schütze

Fahrzeug- und Verkehrssicherheit
Fraunhofer IVI Dresden

Toralf Trautmann
Dirk Engert

Professur Kraftfahrzeug-Mechatronik
HTW Dresden

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Fahrzeugtechnik Heft F 150

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 82.0744
Fahrerassistenzsysteme für die automatische
Geschwindigkeitsreduzierung bei schlechten Bedingungen

Fachbetreuung
Patrick Seiniger

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

ISSN 0943-9307
ISBN 978-3-95606-723-5

Bergisch Gladbach, Februar 2023

Kurzfassung – Abstract

Fahrerassistenzsysteme für die Geschwindigkeitsreduzierung bei schlechten Bedingungen

Im vorliegenden Bericht wird das Unfallvermeidungspotenzial von Geschwindigkeitsassistenten beleuchtet unter Beachtung des Einflusses schlechter Sicht-, Witterungs- und Straßenbedingungen. Diese Assistenzsysteme sollen Fahrende dabei unterstützen, in solchen Fällen eine sichere angepasste Fahrgeschwindigkeit zu wählen.

Mittels Literaturrecherche wurde zunächst der Kenntnisstand zu Einflussfaktoren auf geschwindigkeitsindizierte Unfälle und der Stand der Technik zu existierenden Geschwindigkeitsassistenten (GAS) recherchiert. Im Fokus stand dabei vor allem die Wirksamkeit und Systemgrenzen aktueller „Intelligent Speed Assist“ (ISA) Systeme, deren Akzeptanz und Wirksamkeit. Darauf basierend wurden polizeiliche und In-Depth-Unfalldaten hinsichtlich dieser Einflüsse und weiterer Auffälligkeiten untersucht und Wirkfelder für verschiedene mögliche Varianten von GAS definiert.

Anhand der herausgearbeiteten Einflussfaktoren, wie Erkennungsraten von unterschiedlichen Verkehrsschildern, der aktuellen Entwicklung geschwindigkeitsindizierter Unfälle oder deren Dunkelziffern, den daraus resultierenden Veränderungen im Wirkfeld und dem Stand der Technik wurden drei exemplarische Systemauslegungen von GAS definiert: Basis-ISA-, ISA+ und unabhängige ISA-Systeme.

Basis-ISA-Systeme sind nur in der Lage, Verkehrszeichen zu erkennen, welche eine maximal zulässige Höchstgeschwindigkeit ohne weitere Bedingungen angeben. Damit repräsentieren Basis-ISA-Systeme den Funktionsumfang, welcher von aktuell existierenden ISA-Systemen verlässlich erreicht wird.

Beschilderte bedingte zulässige Höchstgeschwindigkeiten (z. B. bei Regen) werden durch ISA+-Systeme erkannt und das Vorhandensein der Bedingung geprüft (z. B.: regnet es?) und erst dann vor einer Geschwindigkeitsübertretung gewarnt. ISA+-Systeme repräsentieren damit eine Erweiterung zu den meisten aktuell existierenden ISA-Systemen. Sie sind aber darauf angewiesen, dass notwendige situative Geschwindigkeitsreduktionen be-

schildert werden oder in digitalen Karten vermerkt sind.

Unabhängige ISA-Systeme sind hingegen selbstständig, ohne Beschilderung, in der Lage sicht- und reibwertgeminderte Zustände zu erkennen und selbstständig eine sichere Geschwindigkeit abzuleiten.

Für jede Systemauslegung von GAS wurde bei der Ermittlung des Unfallvermeidungspotenzials davon ausgegangen, dass dieses abhängig ist von:

- dem Wirkfeld des GAS (wie viele und welche Unfälle können potenziell vermieden werden),
- der Effizienz der GAS (wie zuverlässig kann die sichere Geschwindigkeit im Wirkfeld abgeleitet werden),
- der Akzeptanz der GAS (wie gut wird den Hinweisen des GAS vom Fahrzeugführenden gefolgt),
- der Nutzungshäufigkeit des GAS (wie häufig ist das GAS eingeschaltet),
- der aktuellen und zukünftigen Marktentwicklung des GAS (wie viele Fahrzeuge sind in der Fahrzeugflotte zu einem bestimmten Zeitpunkt ausgestattet mit dem System) und
- der generellen Entwicklung des Gesamtunfallgeschehens, insbesondere der geschwindigkeitsindizierten Unfälle.

Für die Quantifizierung dieser Einflüsse wurden Annahmen aus der Literaturrecherche gewonnen und damit Voraussagen für die Entwicklung des Unfallgeschehens abgeleitet sowie das jeweilige Unfallvermeidungspotenzial bis zum Jahr 2050 geschätzt.

Im Ergebnis besaßen Basis-ISA-Systeme erwartungsgemäß das geringste Unfallvermeidungspotenzial. ISA+-Systeme erreichten jedoch nur ein unmerklich größeres Unfallvermeidungspotenzial, da einerseits ein nur geringfügig größeres Wirkfeld adressiert wird und andererseits das System an eine bedingte Beschilderung geknüpft ist, welche jedoch nur in 10 % der geschwindigkeitsindizierten Unfälle aufgestellt war. Das größte Unfallvermeidungspotenzial im betrachteten Zeitraum (bis 2050) erreichen unabhängige ISA-Systeme. Allerdings übersteigt das Unfallvermeidungspotenzial dieser GAS

erst etwa 2048 das Potenzial von ISA+-Systemen, da zuverlässige Systeme mit robuster Erkennung der Umgebungsbedingungen frühestens 2030 auf dem Markt erwartet werden. Das Unfallvermeidungspotenzial ist somit sehr stark von den Annahmen zur Marktdurchdringung abhängig.

Es wird erwartet, dass Basis-ISA-Systeme im Jahr 2050 etwa 11 % des Wirkpotenzials geschwindigkeitsindizierten Unfälle vermeiden können, ISA+-Systeme erreichen hingegen 17 % und „unabhängige ISA-Systeme 24 % (in beiden betrachteten Unfallkategorien). Bei Betrachtung des Anteils vermiedener Unfälle bezogen auf alle Unfälle werden, je nach Art des GAS (Basis-ISA/ISA+/unabhängiges ISA), etwa 0,7-1,0 % der Unfälle mit Personen- und schwerem Sachschaden (im engeren Sinne) vermeidbar sein; bei Unfällen mit Getöteten liegt dieser Anteil zwischen 1,1-2,4 % im Jahr 2050.

Wesentlicher Grund für die geringen erwarteten Effekte auf das Unfallgeschehen ist die Schwierigkeit, aus den Umgebungsbedingungen zuverlässig sinnvolle Geschwindigkeiten abzuleiten. Zu erforschende Sensorik müsste in der Lage sein, sowohl den zur Verfügung stehenden Reibwert bereits vor einem Bremsengriff sehr genau zu messen sowie die Sichtweite robust zu bestimmen.

Driver assistance systems for speed reduction in poor driving conditions

This report highlights the potential of speed assistants especially within poor visibility, weather and surface conditions. These assistance systems shall help drivers to derive safe driving speeds.

By means of a literature analysis, the current state of knowledge on factors influencing speed-related accidents, and the state of the art regarding existing speed assistant systems (SAS) were investigated. The main focus was on the effectiveness and system limitations of current Intelligent Speed Assistance (ISA) systems, their acceptance and effectiveness. Based on this, police and in-depth accident data were examined with regard to these influences and other conspicuous features in order to define possible addressed accidents by different variants of GAS.

Through these influencing factors - such as detection rates of different traffic signs, the current development of speed-indicated accidents or their unknown cases (dark figure) – and the state of the

art as well as the resulting changes in addressed accidents, three exemplary system designs of GAS were defined: Basic ISA-, ISA+- and Independent ISA-systems.

Basic ISA systems are only able to detect traffic signs that indicate a speed limit without further conditions. Basic ISA-systems thereby represent the functional scope, which can be achieved reliably by current ISA-systems.

Signs with conditional speed limits (e.g. when raining) are recognized by ISA+-systems and the systems are able to check if the conditions are met (e.g.: is it raining?) and only then warn the driver of a speeding violation. ISA+ systems thus represent an extension to most currently existing ISA systems. However, they either depend on necessary situational speeds to posted by signs or to be annotated in digital maps.

Independent ISA systems, on the other hand, are able to detect visibility- and friction-reducing conditions independently, without signage, and derive a safe speed on their own.

For each system design of GAS, the accident-avoidance potential was assumed to be dependent on:

- the addressed accident of GAS (how many and which accidents can potentially be avoided),
- the efficiency of GAS (how reliably can the safe speed correctly be determined),
- the acceptance of GAS (how well are the instructions of GAS followed by drivers),
- the frequency of use of GAS (how often is the GAS switched on),
- the current and future market penetration of GAS (how many vehicles in the fleet are equipped with the system at a given time) and
- the general development of share of accidents, especially speed-related accidents.

To quantify these influences, assumptions were made for these influences closely following the findings within literature and used to derive predictions for the development of accidents and to estimate the respective accident-avoidance potential up to the year 2050.

As expected, Basic ISA-systems had the lowest accident-avoidance potential. However, ISA+-systems only achieved an insignificantly greater accident-avoidance potential, since on the one hand only a slightly larger amount of accidents is addressed by these systems and on the other hand the systems are dependent on posted signs with conditional speed limits, which, however, are only set up in 10% near the speed-related accidents. The greatest accident-avoidance potential in the period considered (until 2050) is achieved by Independent ISA-systems. However, the accident-avoidance potential of these GAS does not exceed the potential of ISA+-systems until about 2048, since reliable systems with robust detection of environmental conditions are not expected on the market before 2030. The accident-avoidance potential is thus very strongly dependent on the assumptions regarding their market penetration.

It is expected that Basic ISA-systems will be able to address 11%, ISA+-systems 17% and Independent ISA systems 24% of potentially avoidable speed-related accidents in 2050. When looking at the proportion of avoided accidents in relation to all accidents, about 0.7-1.0% of accidents with personal injury and serious damage to property will be avoidable; for accidents with fatalities, this proportion will be between 1.1-2.4% in 2050 (depending on the system (Basic ISA/ISA+/Independent ISA)).

The main reason for the low expected effects on accidents is the difficulty of reliably deriving correct speeds from the ambient conditions. Research has to be done on sensor technology which is able to estimate friction coefficients before a braking maneuver as well as to robustly determine the range of vision.

Summary

Driver assistance systems for speed reduction in poor driving conditions

Introduction

According to the Federal Statistical Office (Destatis), a total of 2,719 people died due to traffic accidents in 2020. About a quarter of these died in an accident related to an inappropriate speed by one of the accident participants. Consequently, systems that automatically lower the speed to a safe level can help reduce the accident frequency and severity. However, a safe speed level is not only determined by the local speed limit, but also by the driver's condition, the road conditions, and the visibility conditions.

Current regulations of the European Commission in accordance with the revision of the General Safety Regulation (GSR) stipulate that from 2022 onwards, so-called Intelligent Speed Assistance systems (GAS-systems) must be installed in all new vehicles of the EC vehicle class M and N and from 2024 onwards in all newly registered vehicles in the EU. GAS-systems, according to GSR, are driver assistance systems designed to help the driver to determine the speed limits on the current travelled road section. The driver shall be able to easily switch these systems off, but the systems must automatically reactivate themselves with each ignition (European Parliament and Council of the European Union 2019). How GAS-systems are to warn or intervene when the speed limit is exceeded, is currently not regulated. Studies on GAS-systems distinguish advisory systems, supportive/warning systems, and intervening/directing systems. Advisory GAS-systems simply warn the driver when the speed limit is exceeded. When assisting GAS-systems are used, one possibility of an assisting feedback on the exceeded speed limit could be an increased resistance of the accelerator pedal (which can be overridden by applying more pressure) or an optical, acoustic or haptic warning. When intervening or directing GAS-systems are used, any exceeding of the speed limit by the driver is prevented by throttling the engine power of the vehicle (Beratungsstelle für Unfallverhütung (BFU) 2021).

The aim of the project is to estimate the accident-avoidance potential of automatic speed-reducing driver assistance systems (GAS) based on

- the characteristics of speed-induced accidents,
- the efficiency of assistance systems and
- aspects of the use and market penetration of these assistance systems.

Working steps

First, a national and international literature review is conducted to determine the state of knowledge on the characteristics of speed-induced accidents and on existing speed assistance systems (GAS), their acceptance, functionality, and effectiveness. In this way, limiting conditions for the functionality of modern assistance systems are determined, which shall assist the driver with proposing an appropriate speed according to environmental conditions and the driver's level of fatigue. Subsequently, the official accident statistics, police and in-depth accident data are examined regarding these influences and other conspicuous features in order to define the share of avoidable accidents by new GAS exemplary for the situation in Germany. In the further course, possible technologies will be analyzed that could enable a functional extension of existing GAS-systems so that, in addition to the automatic speed adjustment to a static speed limit an adjustment can also be made considering further environmental conditions (e.g., affecting visibility, road conditions) or fatigue. From the analysis of the functionality of current and potential GAS and assumptions on their market penetration, efficiency and addressed accidents, but also the general development of speed-induced accidents, the accident-avoidance potential can finally be determined.

Current state of research

Automatic speed reductions may become useful if the speed limit is being exceeded, or if external conditions, like the driver's condition, make it necessary. Accident studies show that accidents due to fatigue (A_{fat}) occur very rarely, but a considerable number of unreported cases are suspected. Accidents due to inappropriate speed, on the other hand, occur much more frequently, but rather rarely in connection with an actual exceeding of the speed limit. Both accidents are characterized by an increased severity and a concentration on roads outside built-up areas. They occur more frequently at night, early in the morning, and in the dark, respectively. These accidents also happen more frequently when it rains. Young drivers between 18 and 35 years are more often involved,

and they are more often than average under the influence of alcohol. In many cases, the driver leaves the road and hit an obstacle without showing avoiding driving or braking maneuvers.

GAS-systems, which are intended to reduce the risk of the driver exceeding the speed limit, are currently installed at a low rate of approx. 2% and are mainly present in new and premium vehicles. With the current GSR and its obligatory installation of these systems as from 2022 (for new vehicle types) and from 2024 (newly registered vehicles), respectively, the development of the market penetration of GAS-systems mostly depends on the development of new car registrations.

The acceptance of GAS-systems by drivers varies depending on the degree of support (from information to warning to automatic speed reduction) and the intensity of intervention. On the one hand, the more a GAS-system intervenes the driver in his speed behavior, the less it is accepted by the drivers. On the other hand, a strongly intervening GAS-system also has the greatest impact on the speed behavior and on road safety. The current GSR, however, does not specify the type of intervention or the type of warning provided by GAS-systems, but they do specify that GAS-systems, which will be mandatory in new cars from 2022, shall be able to be manually switched off by the driver, but must automatically reactivate themselves with each ignition (characterizing the operational vehicle readiness). Therefore, even if the acceptance of GAS-systems is low, a high frequency of use can still be assumed.

Studies on current GAS-systems show that the systems can detect speed limits using camera-based traffic sign recognition and/or available map information. Camera-based systems, however, show to have difficulties in detecting implied speed limits (e.g., city entrance signs, highway entry/exit signs) or additional signs for conditional speed limits (e.g., when raining, for the next X km). These systems are currently limited to stipulate a safe speed from traffic signs. An extension of the functionality of current GAS-systems would be to include estimations of friction, visibility and weather conditions when deriving a safe target speed in order to recommend speeds even below the current speed limit if the current conditions require it. To estimate the accident-avoidance potential of these systems, the measurement accuracies of current sensors and estimation techniques are crucial. For

this purpose, existing patents or algorithms and sensor technology are investigated.

Studies estimating the accident-avoidance potential of GAS-systems show strong differences and indicate shares of avoided accidents between 1 to 37%. These differences could be explained by the different focus on accident severities, the legal regulations for the installation of GAS-systems (voluntary/mandatory), but also the assumed effectiveness of the systems.

Accident analysis

Within the accident analysis, national accident statistics, police-recorded and in-depth accident data (GIDAS) were used. To identify conspicuous features, the share of accidents due to speeding or fatigue (A_{vel} and A_{fat}) is compared with the corresponding share in other accidents (possible accident features are accident severity, street characteristics or driver age). The aim was to identify significant accident characteristics for A_{vel} and A_{fat} on the one hand, and on the other hand to uncover potential efficiency-reducing influences for GAS.

Many evident features found in the literature review could be confirmed, such as the high similarity of the accident characteristics of A_{vel} and A_{fat} . A_{vel} and A_{fat} occur more frequently at night, during darkness and at weekends. At the time of the accident, the traffic situation was characterized by a low traffic density. A_{vel} and A_{fat} also occur more frequently on rural roads and thus mainly on motorways, federal roads and state roads. The location of the accident is particularly often characterized by uphill or downhill stretches, and curves. Young drivers aged 18-35 are particularly more often involved in A_{fat} and A_{vel} , and show an above-average share of male and drunk drivers. The drivers also have not taken any longer break, and thus have longer driving times prior to the accident. A_{fat} and A_{vel} are also frequently characterized by: a higher accident severity, veering of the road and subsequently hit an obstacle. However, contrary to the findings from the literature, within the analyzed accidents the drivers were accompanied by further occupants at the time of the accident than alone in the vehicle.

Although at a low level, the frequency of fatigue as a cause of accidents with personal injury has risen continuously in the last years, especially among car drivers. However, a continuously decreasing trend of speeding as a cause of accidents can be

observed, which is mainly influenced by motorized road users. For cyclists, in contrast, this cause has been continuously increasing for years.

However, there are clear differences in the accident characteristics between A_{fat} and A_{vel} . The time of the accident show further differences. For example, A_{fat} occur more frequently in the summer months, whereas in the case of A_{vel} this only applies in connection with an actual exceeding of the speed limit. Accidents involving inappropriate speeds, however, occur disproportionately often during winter months.

Furthermore, the analysis of the in-depth accident data showed that there is apparently a high number of unreported cases in A_{vel} : only about 80% of found speeding accidents by accident reconstruction could be classified as such accidents during accident recording.

Functional expansion of existing speed-reducing VAS technologies

In order to categorize the different expendabilities of technologies, a distinction was first made regarding the information source for deriving a safe target speed. Three essential cases for determining external conditions are discussed:

- First case: Determination at the current position of the ego vehicle (e.g., during driving dynamics control).
- Second case: Determination in the visible area in front of the current position of the ego vehicle (e.g., by camera).
- Third case: Determination and transmission by another vehicle (using case 1 or case 2).

The analysis shows that although there are numerous studies and methods for determining relevant parameters, they cannot be used for an active safety-related intervention due to a lack of traceability and comparability as well as an insufficient accuracy and reliability.

So far, only a prototype system of the company Preh GmbH is available for a referenceable visibility estimation. This was able to demonstrate its usability in an extensive investigation. Using such a sensor, a concept was developed in which active support could be possible without driver intervention. However, further improvement in the recognition of traffic signs with additional conditions is needed.

Evaluation of the accident avoidance potential

In order to be able to quantify the accident avoidance potential, three different cases of (future) GAS-systems are considered in order to be able to determine differences in the addressed accidents of GAS. These cases were developed during the creation of the GSR and therefore only partially correspond with the final version of the GSR. The following three cases are distinguished:

- First case: basic ISA: these describe driver assistance systems that obtain the speed limit on the driven road section from a digital map and/or by traffic sign recognition. The research showed that current GAS-systems have problems interpreting conditional speed limits indicated by additional signs, such as “when raining”. For basic ISA-systems, it is therefore initially assumed that they can very reliably detect and implement static speed signs. Therefore, basic ISA-systems prevent accidents caused by exceeding the speed limit. Basic ISA systems thus only partially meet the minimum requirements of the GSR, since they are not able to detect conditional speed limits, but they represent the reliable functional scope of current GAS-systems currently on the market.
- Second case: ISA+: These systems not only take into account static speed limits but also conditional speed limits, such as “when raining” or “for vehicles over 3.5 t”. In some cases, additional signs that increase acceptance, such as “accident risk” or “school” are also recognized. ISA+-systems are additionally able to verify the stated conditions and to intervene, if necessary. They thereby function beyond the regulations by the GSR. For the first part of the functional scope -identification of the current speed limit- either the additional signs have to be accurately recognized from a camera-based traffic sign recognition system and/or taken from highly up-to-date digital maps (analogous to basic ISA systems). For the second part of the functional scope -verifying the current conditions- the vehicle has to be able to check the conditions of the additional signs either autonomously through vehicle sensors or based on infrastructure-bound V2X information. However, it must be noted that the increased functionality has an impact on the efficiency of the systems.
- Third case: independent ISA: it is assumed that these systems independently estimate a safe

speed (which may be below -but never over- the stated speed limit) from external conditions. For this purpose, either the vehicles have to be able to independently estimate weather, road surface or visibility conditions, as well as further parameters such as curve radius in order to be able to derive a safe speed, or the vehicles receive up-to-date information or the direct safe-speed-information via infrastructure-bound V2X information. On the one hand, this would again expand the amount of addressed accidents, but on the other hand, lower efficiencies have to be expected due to the increased functional scope.

For all three cases, it is assumed that their addressed accidents, efficiency, frequency of use and market penetration have an effect on the accident-avoidance potential. For each, assumptions were made or calculated, respectively.

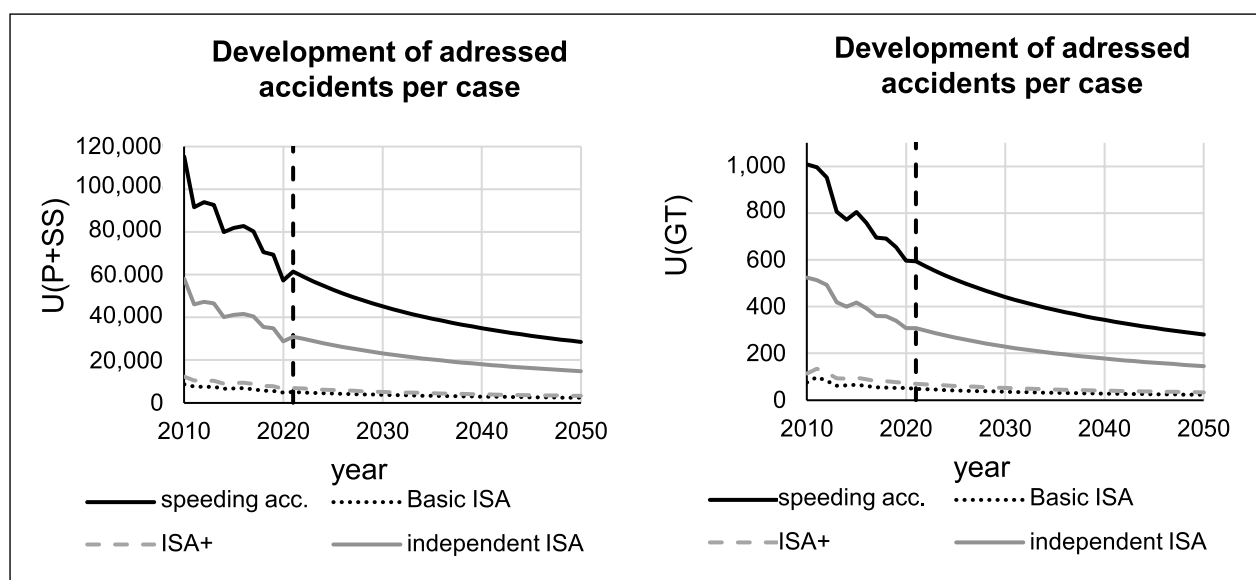
First, the development of speed-related accidents without the effect of new GAS was extrapolated until 2050, taking the proportion of unreported cases (potentially addressed accidents) into account. Subsequently, the case-specific share of avoidable accidents was determined. Regarding the estimation of the addressed accidents, it should be noted that there is hardly any difference between the improved system ISA+ and the Basic ISA, as the additionally addressed accidents by ISA+ systems is only slightly larger and is necessarily linked to corresponding signs or annotations in digital maps. Basic ISA systems cover about 7.5% of speed-related accidents involving casualties and serious material damage U(P+SS) and accidents with fatalities U(GT), respectively. ISA+ systems cover

about 11%. Independent ISA systems address significantly more U(P+SS) or U(GT), respectively, with a coverage of about 50% of speed-related accidents. The following figure shows the development of the case-specific addressed accidents for U(P+SS) and U(GT).

When determining the efficiency, it is important to note that there are clear differences between camera-based and map-based GAS-systems on the one hand, and on the other hand that there are differences in the recognition of traffic signs between the camera-based GAS-systems. Camera-based GAS-systems have a significantly worse recognition of implicit speed signs (such as town entrance signs, the beginning of a traffic-calmed sector or the highway sign). Furthermore, the efficiency of the systems differs between premium class cars and other vehicle classes. However, estimating the development of efficiency over the coming years is only possible by making certain assumptions.

Regarding the usage of the system, the assumption is made that the degree of benefit depends on the frequency of use of the system (system is not switched off) and the acceptance of the system (compliance with the system recommendations).

The estimations of market penetration in the Basic ISA and ISA+ cases are based on the current statistics on the stay of new vehicles in the vehicle fleet, the composition of the vehicle fleet and the mandatory equipment of GAS from 2022 onwards. Independent ISA systems do not currently exist, so market penetration must be based on other assumptions. An optimistic estimate was made that



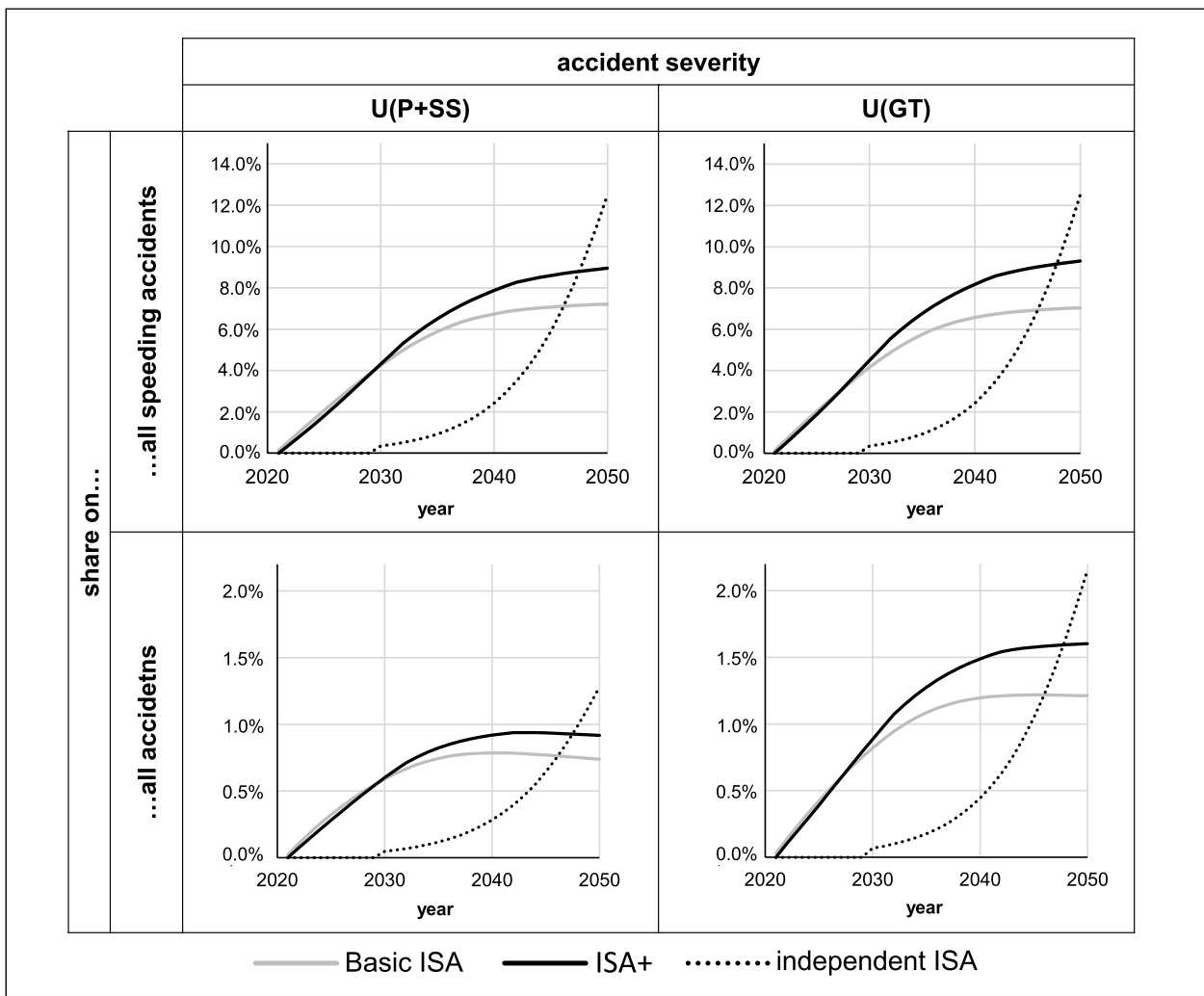
these systems will firstly be installed in vehicles from 2030 onwards and that their market penetration as safety-oriented assistance system will be similar to that of ESP.

Finally, the development of the accident-avoidance potential is calculated as the product of the addressed accidents, the efficiency, system usage and market penetration per year, case (Basic ISA, ISA+, independent ISA) and accident severity (U(P+SS), U(GT)). The following figure presents the accident-avoidance potential in relation to all speed-related accidents (top row) and all accidents (bottom row) for the three cases separately for U(P+SS) (left column) and U(GT) (right column).

However, the benefits provided by ISA+ and independent ISA-systems have to be compared with the required developments and functional adjustments. ISA+-systems on the one hand depend, among other things, on signs stating the static, conditional and dynamic speed limits or on digital maps providing this information. Furthermore,

systems in vehicles need to measure the stated conditions or need external information in order to verify if the stated conditions are met.

Independent ISA systems, on the other hand, require an immense technical effort and infrastructural investments in order to derive safe speeds from visibility, road, and weather conditions not only at separate parts of the road network, but throughout the whole road network. This is linked to various necessary technological developments on the vehicle side, additional up-to-date information in digital maps or a comprehensive and up-to-date provision of information via V2X.



Inhalt

1	Einleitung	13	4.3.1	$U_{Müd}$	43
2	Vorgehensweise	14	4.3.2	U_{Gesch}	45
3	Bisheriger Kenntnisstand	15	4.3.3	Zusammenfassung Analyse In-Depth-Unfalldaten	47
3.1	Geschwindigkeitsinduziertes Unfallgeschehen	15	4.4	Zusammenfassung Unfalldatenanalyse	49
3.1.1	Müdigkeitsunfälle $U_{Müd}$	16	4.5	Fazit im Hinblick auf das Unfallvermeidungspotenzial	49
3.1.2	U_{Gesch} durch nichtangepasste/ überschrittene Geschwindigkeit	19	5	Funktionserweiterung existierender geschwindigkeitsreduzierender FAS-Technologien	50
3.2	Unfallvermeidungspotenzial	22	5.1	Einführung.....	50
3.2.1	Ansätze zur Bestimmung des Unfallvermeidungspotenzials	22	5.2	Systemkonzepte zur Reibwertschätzung	51
3.2.2	Unfallvermeidungspotenziale von GAS	24	5.2.1	Grundlagen zur Reibwertschätzung	51
3.3	Marktdurchdringung	24	5.2.2	Existierende Systeme zur Reibwertschätzung	52
3.3.1	Aktuelle Verbauraten von GAS	24	5.2.3	Eigene Untersuchungen	53
3.3.2	Entwicklungen zur Verbaurate von GAS ...	26	5.3	Systemkonzepte zur Ermittlung von Witterungsbedingungen und Sichtweite....	54
3.4	Funktionalität und Stand der Technik von aktuellen ISA-Systemen.....	27	5.3.1	Grundlagen zur Sichtweitenschätzung	54
3.4.1	Historischer Hintergrund	27	5.3.2	Existierende Systeme zur Sichtweitenschätzung	56
3.4.2	Intelligent Speed Assist.....	27	5.3.3	Fazit Sichtweiten- und Reibwertschätzung	59
3.5	Zusammenfassung Literaturrecherche	28	5.4	Effektivität von GAS	59
3.5.1	Unfallgeschehen	28	5.5	Vorschläge zur Systemrealisierung.....	60
3.5.2	Marktdurchdringung	29	6	Quantifizierung des Unfallvermeidungspotenzials	61
3.5.3	Funktionalität.....	29	6.1	Abschätzung des Wirkfelds.....	63
3.5.4	Nutzungshäufigkeit	29	6.1.1	Allgemeines	63
3.5.5	Unfallvermeidungspotenzial.....	29	6.1.2	Wirkfeld von Basis-ISA.....	66
4	Unfallanalyse	29	6.1.3	Wirkfeld von ISA+	67
4.1	Analyse des nationalen Unfallgeschehens	29	6.1.4	Wirkfeld von unabhängiges ISA+	67
4.1.1	$U_{Müd}$	30	6.1.5	Vergleich der Wirkfelder	67
4.1.2	U_{Gesch}	32	6.2	Abschätzung der Effizienz	69
4.2	Analyse polizeilich erhobener Unfalldaten.....	35			
4.2.1	$U_{Müd}$	36			
4.2.2	U_{Gesch}	39			
4.3	Analyse In-Depth Unfalldaten (GIDAS)....	43			

6.2.1	Effizienz von Basis-ISA.....	70
6.2.2	Effizienz von ISA+.....	71
6.2.3	Effizienz von unabhängigen ISA.....	73
6.2.4	Vergleich vorläufiges Unfallvermeidungspotenzial unter Beachtung von Wirkfeld und Effizienz.....	75
6.3	Abschätzung des Nutzengrads.....	76
6.3.1	Vergleich vorläufiges Unfallvermeidungspotenzial unter Beachtung von Wirkfeld, Effizienz und Nutzengrad.....	77
6.4	Abschätzung der Marktdurchdringung.....	78
6.4.1	Marktdurchdringung von Basis-ISA.....	79
6.4.2	Marktdurchdringung von ISA+.....	79
6.4.3	Marktdurchdringung von unabhängiges ISA.....	80
6.5	Bestimmung des Unfallvermeidungspotenzials.....	80
7	Zusammenfassung.....	82
8	Diskussion.....	85
	Literatur.....	85
	Bilder.....	91
	Tabellen.....	93

Der Anhang zum Bericht ist im elektronischen BAST-Archiv ELBA unter:
<https://bast.opus.hbz-nrw.de> abrufbar.

1 Einleitung

Laut Statistischem Bundesamt (Destatis) sind im Jahr 2020 insgesamt 2.719 Personen bei der Teilnahme im Straßenverkehr gestorben. Davon sind 745 Personen im Straßenverkehr bei einem Unfall gestorben, der aufgrund nicht angepasster Geschwindigkeit eines Beteiligten verursacht worden ist. Diese Unfallursache hat somit einen Anteil von mehr als einem Viertel in Bezug auf die Gesamtzahl aller 2020 im Straßenverkehr getöteter Personen (Statistisches Bundesamt (Destatis) 2021). Um diese gravierenden Auswirkungen der Unfallursache der nicht angepassten Geschwindigkeit zukünftig zu verringern und die Zahl der damit einhergehenden Unfälle zu senken, sollen Fahrerassistenzsysteme, wie Adaptive Cruise Control (ACC) oder Intelligent Speed Assist (ISA), helfen, sichere Geschwindigkeiten zu garantieren. Neben geschwindigkeitsindizierten Unfällen, nachfolgend als U_{Gesch} bezeichnet, werden auch Unfälle betrachtet, die aufgrund von Müdigkeit des Fahrers verursacht werden. Begründet liegt dies darin, dass bei müdigkeitsindizierten Unfällen, nachfolgend als $U_{Müd}$ bezeichnet, pauschal angenommen werden muss, dass die gefahrenen Geschwindigkeiten nicht an das vorhandene temporäre Aktivitätsniveau des Fahrers angepasst sind.

Aktuelle Bestimmungen der Europäischen Kommission sehen gemäß der sogenannten General Safety Regulation (GSR) vor, dass ein assistierender, vom Fahrer übersteuerbarer, intelligenter Geschwindigkeitsassistent (Intelligent Speed Assistance - ISA) für alle Fahrzeuge der Kategorien M und N ab dem Jahr 2022 für alle neuen Fahrzeugtypen in der EU und ab dem Jahr 2024 für alle neuzugelassenen Fahrzeuge in der EU verpflichtend ist. ISA sind nach Verordnung (EU) Nr. 2019/2144 Fahrerassistenzsysteme zur Unterstützung des Fahrers bei der Beachtung der aktuellen Geschwindigkeitslimits auf dem momentan befahrenen Straßenabschnitt. Diese sollen abschaltbar sein, sich jedoch automatisch wieder bei der nächsten Fahrt reaktivieren (Europäisches Parlament und der Rat der Europäischen Union 2019). Wie ISA-Systeme bei Überschreiten der zulässigen Höchstgeschwindigkeit warnen oder eingreifen, wird in der Verordnung nicht geregelt. Studien zu ISA-Systemen unterscheiden beratende Systeme, unterstützende/warnende Systeme sowie eingreifende/dirigierende Systeme. Beratende ISA-Systeme warnen den Fahrer lediglich, wenn er die zulässige Höchstgeschwindigkeit überschreitet. Bei dem Einsatz von unterstützenden und warnenden

ISA-Systemen wird zum Beispiel der Widerstand des Gaspedals bei Geschwindigkeitsüberschreitung erhöht. Das Gaspedal kann jedoch durch stärkeren Druck übersteuert werden. Bei dem Einsatz von eingreifenden ISA-Systemen wird jedwede Überschreitung der zulässigen Geschwindigkeit des Fahrers durch die Drosselung der Motorleistung des Fahrzeuges verhindert (Beratungsstelle für Unfallverhütung (BFU) 2021).

Aktuelle, sich auf dem Markt befindliche, ISA-Systeme beziehen ihre Informationen aus im Fahrzeug verbauten Kameras und Sensoren, welche die an der Straße aufgestellten Verkehrszeichen erkennen, und/oder aus im Fahrzeug hinterlegtem Kartenmaterial in Kombination mit der aktuellen Fahrzeugposition. Eine Herausforderung für kartenbasierte ISA-Systeme ist die Aktualität des Kartenmaterials (bspw. bei Baustellen, kurzfristigen Straßensperrungen etc.), bei kamerabasierten Systemen die Erkennung und korrekte Interpretation von Verkehrszeichen, vor allem bei impliziten Geschwindigkeitsangaben (z. B. Ortseingangsschild, Autobahn). Darüber hinaus setzen die Systeme voraus, dass Verkehrszeichen jederzeit gut erkennbar (sauber, frei von Schmutz und Schnee sowie ohne Sichtverdeckung) sind, damit sie von den Sensoren ausreichend sicher erkannt werden können. Einschränkungen in der Wirksamkeit dieser ISA-Systeme werden auch erwartet bei verschmutzten Sensoren am Fahrzeug, bei versetzter Fahrweise des Fahrzeuges, bei Spurwechseln, bei Abbiegevorgängen sowie dem Durchfahren von engen Kurven und von Baustellenbereichen, wenn also keine ausreichende Sicht auf die Schilder möglich ist. Auch ungünstige Wetterverhältnisse wie starker Nebel, Regen oder Schneefall reduzieren die Wirksamkeit von ISA-Systemen (Beratungsstelle für Unfallverhütung (BFU) 2021; Allgemeiner Deutscher Automobil-Club (ADAC) 2018; Tomtom 2020).

Aktuelle Studien haben gezeigt, dass ISA-Systeme grundsätzlich wirksam hinsichtlich der Beeinflussung der von den Nutzenden gewählten Geschwindigkeiten sind (EZENWA et al. 2020). Sie stoßen bei den Nutzenden jedoch auf eine unterschiedlich große Akzeptanz, abhängig vom Unterstützungsgrad, der Eingriffsintensität, der Ortslage und vom Fahrertyp. Es wird erwartet, dass die unterschiedlichen Arten von ISA-Systemen unterschiedliche hohe Auswirkungen auf das Fahrverhalten und die Verkehrssicherheit haben werden. Je stärker ein ISA-System eingreift, desto weniger wird es von den Fahrern akzeptiert (Institute for Road Safety

Research SWOV 2015). Dabei zeigen stark eingreifende Systeme allerdings auch die größten Auswirkungen auf die tatsächlich gefahrenen Geschwindigkeiten und auf den Sicherheitseffekt (CARSTEN 2008; VÁRHELYI & MÄKINEN 1998; COMTE 2000; DOECKE et al. 2021; Institute for Road Safety Research SWOV 2015). Es werden stärkere Sicherheitseffekte im Stadtverkehr erwartet als im Außerortsverkehr (Beratungsstelle für Unfallverhütung (BFU) 2021; DOECKE et al. 2021). Bzgl. der Art des Feedbacks wird von Fahrern ein kontinuierliches auditives und visuelles Feedback einem haptischen Feedback vorgezogen.

Innerhalb von Fahrversuchen konnte ungewolltes Kompensationsfahrverhalten der Nutzenden beobachtet werden, indem bei kartenbasierten ISA-Systemen auf Straßenabschnitten ohne Informationen zur zugelassenen Höchstgeschwindigkeit schneller gefahren wurde (PERSSON et al. 1993). Weiterhin wurde beobachtet, dass bei inaktiven ISA-Systemen eine Aufmerksamkeitsreduktion einsetzt. Diese äußert sich einerseits sowohl in vergessenen Geschwindigkeitsreduktionen in den Bereichen der Langsamfahrt als auch in fehlenden Geschwindigkeitserhöhungen in schneller befahrbaren Bereichen. Andererseits wurde die Betätigung des Fahrtrichtungsanzeigers im Fahrzeug häufiger vergessen (VÁRHELYI & MÄKINEN 1998; COMTE 2000).

Es ist zu erwähnen, dass aktuelle ISA-Systeme die Geschwindigkeitswahl nur in Bezug zur maximal zulässigen Geschwindigkeit bewerten und beeinflussen. Allerdings wäre es hinsichtlich der bekannten Charakteristik von untersuchten U_{Gesch} und $U_{Müd}$ sinnvoll, darüber hinaus sichere Geschwindigkeiten unter Beachtung des Fahrbahnzustandes, der Witterung, der Kurvenführung oder der Sichtweite abzuleiten (Deutscher Verkehrssicherheitsrat (DVR) 2018). Zu diskutieren ist des Weiteren, ob das System in der Lage sein sollte, die, bezogen auf die Müdigkeit des Fahrers, unangepasste Geschwindigkeit zu erkennen und regulierend einzugreifen.

An dieser Stelle setzt das Projekt an und leistet die wissenschaftlich notwendige Vorarbeit, indem die Performance sowie das Unfallvermeidungspotenzial von Geschwindigkeitsassistenten, nachfolgend als GAS bezeichnet, analysiert werden. Dazu werden Auswertungen von polizeilichen und In-Depth Unfalldaten durchgeführt, um die Relevanz derartiger Systeme zu quantifizieren. Anhand von Fahrversuchen, Literatur- und Patentrecherchen werden die Toleranzen bei der Reibwert- und Sichtweiten-

bestimmung durch Sensoren in unterschiedlichen Situationen bestimmt und die sich daraus ergebenden Ungenauigkeiten in der Bestimmung sicherer Geschwindigkeiten ermittelt. Daraus lassen sich abschließend das Unfallvermeidungspotenzial der Systeme abschätzen und Empfehlungen zu Anforderungen an die Systeme ableiten.

2 Vorgehensweise

Es existierten 6 Hauptarbeitsschwerpunkte, welche in Bild 2-1 dargestellt werden.

In einer Literaturrecherche werden zunächst der aktuelle Stand in mehreren Themenbereichen erarbeitet, um die Gesamtheit der Einflüsse auf das Unfallvermeidungspotenzial von GAS zu erläutern. Zunächst erfolgt ein umfassender Überblick zur Häufigkeit, Charakteristik und Risikogruppen von U_{Gesch} und $U_{Müd}$. Dadurch soll das Wirkungsfeld von GAS näher beschrieben werden. Anschließend werden Ansätze zur Abschätzung des Vermeidungspotenzials erläutert und erste in der Literatur gefundene Potenziale speziell für GAS erarbeitet. Das Vermeidungspotenzial wird ebenfalls beeinflusst durch die Verbraurate von GAS, sodass das aktuelle Niveau und Entwicklungstendenzen von ISA im Fahrzeugkollektiv präsentiert wird. Daneben erfolgt die Analyse

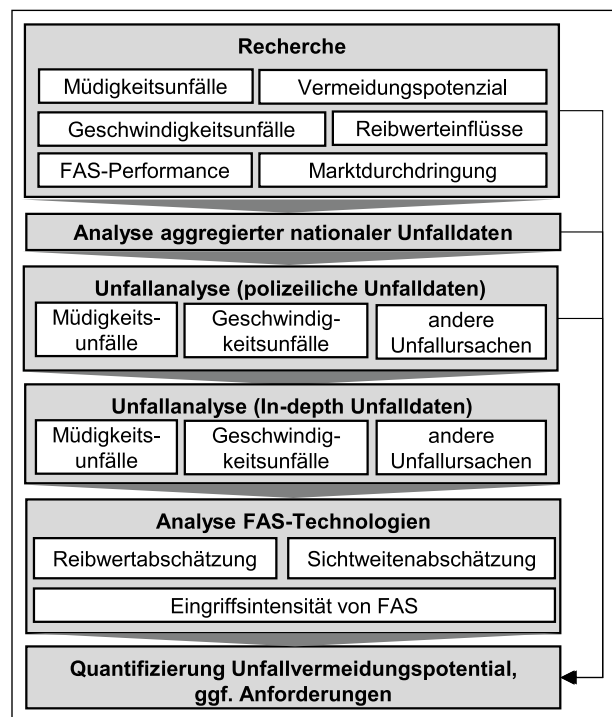


Bild 2-1: Vorgehensweise zur Quantifizierung des Unfallvermeidungspotenzials von GAS

zur Funktionsweise und Performance von GAS. Als Erweiterung zu „klassischen“ ISA soll ebenfalls die Geschwindigkeitsassistenten bei ungünstigen Witterungsverhältnissen und Sichtweiten thematisiert werden. Daher werden ebenfalls aktuelle GAS zur Sichtweitenerkennung und Reibwertabschätzung beleuchtet. Abschließend werden in der Recherche die Einflüsse auf den maximal möglichen Reibwert zusammengefasst.

Nach Abschluss der Recherche wird das Unfallgeschehen zu U_{Gesch} und $U_{Müd}$ in Deutschland beschrieben, um das Wirkfeld von GAS zu charakterisieren. Dabei wird das Unfallgeschehen auf unterschiedlichen Detailstufen analysiert. Zunächst werden die aggregierten nationalen Unfalldaten des Statistischen Bundesamtes analysiert. Dabei werden Daten für einen Zeitraum von 2010 bis 2019 ausgewertet. Die Analysen geben einen ersten Aufschluss zu Anzahl und Charakteristik von U_{Gesch} und $U_{Müd}$ in Deutschland. Darauf aufbauend erfolgt eine tiefergehende Unfallanalyse polizeilicher Einzelunfalldaten, welche durch die fehlende vorherige Aggregation detailliertere Erkenntnisse zum Unfallgeschehen und dessen Entwicklung von U_{Gesch} und $U_{Müd}$ ermöglicht. Dabei werden die Unfalldaten der Bundesländer Sachsen, Brandenburg, Hessen, Sachsen-Anhalt, Hamburg und Bremen für den Zeitraum 2015-2019 ausgewertet. Um die Charakteristik von U_{Gesch} und $U_{Müd}$ noch genauer analysieren zu können, erfolgt eine tiefgehende Analyse von In-Depth-Unfalldaten. Diese besitzen zwar einen deutlich geringeren Stichprobenumfang und sind nicht zwangsläufig repräsentativ bezüglich der Häufigkeit von U_{Gesch} und $U_{Müd}$ im Gesamtunfallgeschehen, ermöglichen jedoch einen tieferen Einblick zu weiteren Einflüssen. Hierzu werden die GIDAS-Unfalldaten für den Zeitraum 2016-2020 in Dresden näher untersucht.

Im weiteren Verlauf erfolgt die Analyse bestehender Technologien von geschwindigkeitsreduzierenden FAS, um die Funktionalitäten und Genauigkeiten der Systeme abschätzen zu können. Daneben werden mögliche zukünftige Funktionserweiterungen von GAS untersucht, sodass sie selbstständig Straßen-, Witterungs- und Reibwertbedingungen sowohl erkennen und interpretieren als auch eine sichere Geschwindigkeit ableiten können. Neben der Charakterisierung des Wirkfelds dient dies als Grundlage zur Definition zukünftiger Funktionsumfänge von GAS innerhalb der Abschätzung des Unfallvermeidungspotenzials.

Abschließend wird genauer analysiert, welche U_{Gesch} durch einzelne GAS-Funktionen adressiert werden können und u. a. abgeschätzt, wie sich GAS zukünftig in ihrer Marktdurchdringung entwickeln werden, um das Unfallvermeidungspotenzial von GAS abschätzen zu können.

3 Bisheriger Kenntnisstand

Zur Bewertung von GAS ist zunächst der Kenntnisstand in unterschiedlichen Themenfeldern zu beleuchten. Einerseits sind die Häufigkeit, Schwere und Charakteristik des geschwindigkeitsinduzierten Unfallgeschehens zu beleuchten, um das Wirkungsfeld von GAS abzugrenzen. Hierzu werden sowohl Unfälle mit überschrittener zulässiger Höchstgeschwindigkeit und mit nichtangepasster Geschwindigkeit (U_{Gesch}) als auch Müdigkeitsunfälle ($U_{Müd}$) betrachtet.

Andererseits müssen zur Abschätzung des Unfallvermeidungspotenzials ebenfalls die Funktionsweise und Leistungsfähigkeit unterschiedlicher GAS und deren Marktdurchdringung und -entwicklung beleuchtet werden.

Im Folgenden werden die bisherigen Kenntnisstände in den genannten Themenfeldern erläutert.

3.1 Geschwindigkeitsinduziertes Unfallgeschehen

Die Betrachtung des geschwindigkeitsinduzierten Unfallgeschehens wird unterteilt in die Betrachtung von Unfällen, welche aufgrund von Müdigkeit des Fahrers verursacht worden sind ($U_{Müd}$), sowie in Unfälle, welche aufgrund von nicht angepasster oder überhöhter Geschwindigkeit des Fahrzeuges verursacht worden sind (U_{Gesch}). Aktuelle GAS verfolgen vor allem den Zweck, zu hohe (aktiv gewünschte) gefahrene Geschwindigkeiten zu vermeiden. Jedoch können Weiterentwicklungen dieser Fahrerassistenzsysteme ebenfalls unterstützend eingreifen, wenn aufgrund von Müdigkeit oder Fehleinschätzung der Fahrsituation seitens des Fahrers unbewusst zu hohe Geschwindigkeiten gefahren werden.

3.1.1 Müdigkeitsunfälle $U_{Müd}$

Der tatsächliche Anteil von $U_{Müd}$ im Unfallgeschehen weist in der Literatur starke Schwankungen auf und liegt in der internationalen Betrachtung bei ca. 5 % bis maximal 50 % (DAWSON et al. 2018). Experten gehen jedoch von einer hohen Dunkelziffer für $U_{Müd}$ und einer überproportionalen Unfallschwere aus. Allein die AAA Foundation for Traffic Safety vermutet im Jahr 2011, dass jeder 6. Unfall mit Toten müdigkeitsbedingt entstanden ist (AAA Foundation for Traffic Safety 2010). Die Deutsche Gesellschaft für Schlafforschung und Schlafmedizin (DGSM) gibt sogar noch drastischere Zahlen an und sagt, dass jeder 4. Unfalltote auf deutschen Autobahnen aufgrund der Unfallursache Sekundenschlaf verunfallt ist (Deutsche Gesellschaft für Schlafforschung und Schlafmedizin (DGSM) 2016). Andere Expertenmeinungen gehen davon aus, dass ca. 16 % der Unfälle mit Toten aufgrund von Übermüdung verursacht worden sind (DOBBIE 2002). Nach einer Studie des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) ist fast jeder fünfte selbstverschuldete Unfall (18,5 %) im Innenstadtbereich müdigkeitsbedingt entstanden (THOREN & GUNDEL 2003). Nachts sollen sogar mehr als vier von zehn Unfällen (42 %) ihre Ursache darin haben, dass mindestens ein Unfallteilnehmer ermüdet war (Deutsche Gesellschaft für Schlafforschung und Schlafmedizin (DGSM) 2016). $U_{Müd}$ sind dabei sowohl für Fahrer von Pkw als auch von Lkw ein nicht unerhebliches Verkehrssicherheitsproblem (GANDER et al. 2004). Dabei gehen die Schätzungen über den Einfluss von Müdigkeit als Ursache für Unfälle mit schweren Fahrzeugen weit auseinander, werden jedoch im Allgemeinen als zu gering eingeschätzt (GANDER et al. 2003; KNIPLING & SHELTON 1999; MAYCOCK 1995; National Road Transport Commission 2001; SUMMALA & MIKKOLA 1994; Truck and Bus Safety Summit 1995; WILLIAMSON et al. 1996; GANDER et al. 2003). So geht die amerikanische NTSB davon aus, dass Übermüdung bei 30-40 % aller LKW-Unfälle die Unfallursache ist (National Transportation Safety Board 1990; National Transportation Safety Board 1995). Mithilfe der durchgeführten vertieften Müdigkeitsforschung einer Studie der NTSB (National Transportation Safety Board 1994) kam eine Untersuchung in Neuseeland zu dem Ergebnis, dass Übermüdung für 18 % der Lkw-Unfälle die Ursache ist (GANDER et al. 2003). Mehrere Länder haben daher Expertengremien einberufen, um regulatorische Optionen zur Verringerung der Müdigkeit von Lkw-Fahrern zu prüfen (National Road Transport Commission 2001;

Transport Development Centre, Transport Canada 1998; University of Michigan Transportation Research Centre 1998).

Andere Studien gehen davon aus, dass Müdigkeit und Schläfrigkeit als mitwirkender Faktor für 6-30 % der untersuchten Pkw-Unfälle identifiziert werden können. Die Schätzungen variieren dabei in Abhängigkeit einer Reihe von Faktoren wie z.B. Straßenart, Unfallschwere und Art der Erhebung der Unfallursache Müdigkeit (GARBARINO et al. 2001; HORNE & REYNER 1999; MAYCOCK 1997; MITLER et al. 2000; MONDINI et al. 2000; PACK et al. 1995).

Eine mögliche Ursache für die beschriebenen Schwankungen ist eine fehlende einheitliche Definition von Müdigkeit. Aus psychologischer Sicht handelt es sich bei Müdigkeit um eine Folge von Fehlbeanspruchung. Diese kann mehrfach verursacht sein. Einerseits kann Müdigkeit durch psychische Ermüdung entstehen, wie beispielsweise durch lange Tätigkeit oder erhöhter Aufgabenschwierigkeit. Andererseits kann Müdigkeit durch Monotonie entstehen infolge von Reizmangel aber auch durch eine Minderung der Vigilanz bei unregelmäßigen oder selten erforderlichen Reaktionen (RICHTER 2000; RICHTER & HACKER 1998; Deutsches Institut für Normung 2018). Die Müdigkeit des Fahrers umfasst zudem auch die erweiterten Definitionen Schläfrigkeit, Kurzschläfe (micro naps), verminderte Aufmerksamkeitsspannen und Handlungsmotivation, verminderte Wachsamkeit, Leistungsveränderungen und die Neigung zu Fehlern. Die Müdigkeit eines Fahrers resultiert dabei aus seiner Aktivität im Straßenverkehr in einer Umgebung mit 5 elementaren Säulen: Fahrer, Fahrzeug, Straßenverkehr, Straße und ihre Umgebung (KAZIMIERZ & SMO-LAREK 2015)

Eine weitere mögliche Ursache ist die fehlende genaue Messbarkeit von Müdigkeit im Gegensatz zu Größen wie der Blutalkoholkonzentration oder der gefahrenen Geschwindigkeit. Aussagen zur Müdigkeit entstehen aus der subjektiven Sicht des aufnehmenden Beamten oder werden indirekt aus vorliegenden Stellvertretergrößen getroffen, wobei die Vergabe der Unfallursache "Müdigkeit" durch den Beamten meist auf Stereotypen von Fahrern, Unfalltypen und Straßenzustand basiert (LI et al. 2018). In englischsprachigen Ländern (USA, Vereinigtes Königreich und Australien) wurden daher Indikatoren wie „Abkommen von der Fahrbahn“, „fehlende Bremsspuren“ oder „fehlende weitere

Fahrzeuginsassen“ definiert, welche für die Zuordnung eines Unfalls als „müdigkeitsbedingt“ erfüllt sein müssen. Aber auch diese Indikatoren basieren auf stereotypischen Annahmen (DAWSON et al. 2018). Infolge einer fehlenden klaren Definition von Müdigkeit sind starke regionale Unterschiede im Anteil von $U_{Müd}$ am Unfallgeschehen zu erkennen.

Zudem tendieren viele Fahrer, welche $U_{Müd}$ verursacht haben, dazu die genaue Unfallursache zu verneinen (REYNER & HORNE 1997). Ein Grund liegt einerseits darin, dass sie nicht als verantwortungslose Fahrer wahrgenommen werden wollen. Andererseits gehen die rechtlichen Regelungen in Deutschland davon aus, dass ein Fahrer seine eigene Müdigkeit bemerkt und somit im Falle eines Unfalls der müde Fahrer automatisch als Hauptunfallverursacher gilt (THOREN & GUNDEL 2003). Somit wird eine Bestimmung des tatsächlichen Anteils von $U_{Müd}$ weiter erschwert.

Im Jahr 2019 sind nach Statistischem Bundesamt 2.037 Unfälle mit Personenschäden (U(P)) und 3.303 Verletzte aufgrund von Übermüdung des Fahrers verursacht worden (Statistisches Bundesamt (Destatis) 2020). Diese Unfälle zeichnen sich durch eine hohe Unfallschwere aus. Seit dem Jahr 1975 bleiben dabei die Zahlen der $U_{Müd}$ auf einem annähernd gleich hohen Niveau. Seit dem Jahr 2013 ist jedoch ein leichter Anstieg der Unfallzahlen von 1.685 U(P) auf 2.037 U(P) im Jahr 2019 zu verzeichnen. Der Höchstwert wurde dabei aktuell im Jahr 2018 mit einem Wert von 2.124 U(P) erreicht. Bei den aufgrund von Müdigkeit verursachten schwerwiegenden Unfällen mit Sachschäden (U(SS)) konnte keine unmittelbare Trendentwicklung festgestellt werden. 2019 wurden aufgrund von Übermüdung 1.488 U(SS) verursacht. Der Anteil von U(P), die durch Müdigkeit verursacht worden sind, liegt für das Jahr 2019 bei einem Wert von 0,7 % (insgesamt 300.143 polizeilich erfasste U(P)). Für durch Müdigkeit verursachte U(SS) liegt der Anteil im Jahr 2019 bei 2,15 % (insgesamt 69.189 polizeilich erfasste U(SS)) (Statistisches Bundesamt (Destatis) 2021).

Dass diese Zahlen für Deutschland unter den tatsächlich auf Müdigkeit zurückzuführende Unfallzahlen liegen, zeigen die Untersuchungen zu $U_{Müd}$ unter Beachtung semantischer Hinweise aus den Unfallhergangstexten. Demnach können etwa die

Hälfte aller $U_{Müd}$ nur über die Unfallursache “03” – Übermüdung erkannt werden. Bei ca. 35 % der $U_{Müd}$ können diese sowohl anhand der Unfallursache als auch des Unfallhergangstextes identifiziert werden. Jedoch verbleiben etwa 15 % an $U_{Müd}$, welche nur rein semantisch aus den Unfallhergangstexten ermittelt werden können und somit nicht in der Statistik als $U_{Müd}$ auftauchen (ERBSMEHL 2015).

Unfallcharakteristik

Studien zeigen, dass die Wahrscheinlichkeit für die Verursachung eines Unfalls bei Müdigkeit oder Aufmerksamkeitsreduzierung ca. um den Faktor sechs größer als unter normalen Umständen ist (HERMANN et al. 2014).

$U_{Müd}$ sind von einer auffällig höheren Unfallschwere gekennzeichnet. So werden meist sehr schwere Unfälle verursacht. Als Unfallursache tritt Übermüdung verstärkt bei Unfällen mit Getöteten auf. Häufig passieren $U_{Müd}$ auf Autobahnen. Meist ist dabei der Fahrer allein im Fahrzeug auf Strecken mit einer hohen zulässigen Geschwindigkeit unterwegs. Oft treten durch Übermüdung des Fahrers verursachte Unfälle in den frühen Morgenstunden oder auch am späten Abend auf. Auch die morgendliche Rush-Hour stellt eine auffällige Zeit im Tagesverlauf dar. Bei $U_{Müd}$ kommt das verunfallte Fahrzeug meist von der Fahrbahn ab. Oft prallt das verunfallte Fahrzeug auf ein Hindernis und es gibt keine Anzeichen für einen Ausweichversuch. Diese Unfälle treten ebenfalls verstärkt bei Dunkelheit und Regen auf (ERBSMEHL 2015; ARMSTRONG & STEINHARDT 2008; National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) Expert Panel on Driver Fatigue And Sleepiness 2016; SAGBERG 1999; ZHANG & LI 2016).

Risikogruppen

Müdigkeit eines Fahrers am Steuer eines Fahrzeuges wird vor allem verursacht durch Schlafdefizite, einem nicht an den üblichen Tag-/Nachtverlauf angepassten zirkadianen Rhythmus¹, Dauerbeanspruchung, Schlafstörungen, Substanzeinfluss oder andere besondere Umstände während der Fahrt (Österreichischer Verkehrssicherheitsfonds 2014). Bild 3-1 zeigt, wie zu wenig Schlaf das Unfallrisiko deutlich erhöhen kann.

¹ Biologischer Rhythmus der physiologischen Prozesse (Blutdruck, Gehirnaktivität, Hormonproduktion, Körpertemperatur, Puls, Schlaf und Anderes) von zirka einem Tag

Studien zeigen deutlich, dass häufig Personen mit wenig und unregelmäßigem Schlaf und sowohl bei starker Fahrtätigkeit aber auch bei fehlender Fahrerfahrung zu den Risikogruppen für $U_{Müd}$ gehören. Als Vielfahrer zählen vor allem Lkw-Fahrer als besonders gefährdete Risikogruppe, wenn diese nachts fahren (ZHANG & LI 2016). Als Risikogruppe mit fehlender Fahrerfahrung sind Fahrer in der Altersgruppe zwischen 17 und 24 Jahren und Alleinfahrer betroffen (ARMSTRONG & STEINHARDT 2008). Zu den Risikogruppen werden in den Studien Personen mit wenig oder unregelmäßigem Schlaf sowie Schichtarbeiter, Vielfahrer und Menschen, die unter unbehandelter Schlafapnoe leiden, gezählt (National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) Expert Panel on Driver Fatigue And Sleepiness 2016; SAGBERG 1999; STUTTS et al. 2003; TERÁN-SANTOS et al. 1999). Gefährdet sind zudem Fahrer, die bereits mehr als 150 km Fahrt zurückgelegt haben. Auch Fahrer mit einem höheren Bildungsniveau, die ihr eigenes Fahrzeug nutzen, oder nicht jeden Tag regelmäßig fahren, haben ein erhöhtes Risiko für einen $U_{Müd}$. Es ist zu vermuten, dass dies keinen kausalen Zusammenhang darstellt, sondern das höhere Bildungsniveau nur als Stellvertretergröße für das

Kaufverhalten bzgl. höherklassiger Fahrzeugsegmente oder für das Mobilitätsverhalten fungiert.

Männer sind stärker gefährdet als Frauen, wobei dies mitunter an der höheren Fahrleistung im Vergleich zu Frauen liegen kann (SAGBERG 1999).

Das Meinungsforschungsinstitut Kantar Emnid führte im Oktober 2016 im Auftrag des Deutschen Verkehrssicherheitsrates (DVR) eine telefonische Umfrage unter 1.000 Pkw-Fahrer/innen und im Juli 2017 im Auftrag von DVR und DGSM unter 353 Lkw-Fahrer/innen (Lkw ab 3,5 t) durch (Deutscher Verkehrssicherheitsrat (DVR) 2018). Dabei gaben 26 % der befragten Pkw-Fahrer/innen an, schon mindestens einmal und 6 % schon mehr als einmal am Steuer eingeschlafen zu sein. Von den befragten Lkw-Fahrer/innen gaben sogar 46 % an, schon mindestens einmal bzw. 22 % mehr als einmal am Steuer eingeschlafen zu sein.

Neben wenig Schlaf führt auch die Einnahme von Medikamenten mit schläfrig machender Wirkung und Alkoholkonsum zu einem erhöhten Risiko, durch Übermüdung einen Unfall zu verursachen (STUTTS et al. 2003). Laut der Deutschen Gesellschaft für Schlafforschung und Schlafmedizin (DGSM) können 15 bis 20 % der auf dem deutschen Markt verfügbaren Medikamente schläfrig machen. Die DGSM warnt daher explizit vor Tages schläfrigkeit und Sekundenschlaf als hohes Risiko für die Verursachung von Verkehrsunfällen (Deutsche Gesellschaft für Schlafforschung und Schlafmedizin (DGSM) 2016).

Vergleich in Europa

Im Jahr 2013 führte die European Sleep and Research Society eine Online-Umfrage unter 12.434 Teilnehmern in 19 europäischen Ländern durch. Die Teilnehmer sollten angeben, ob sie in den letzten

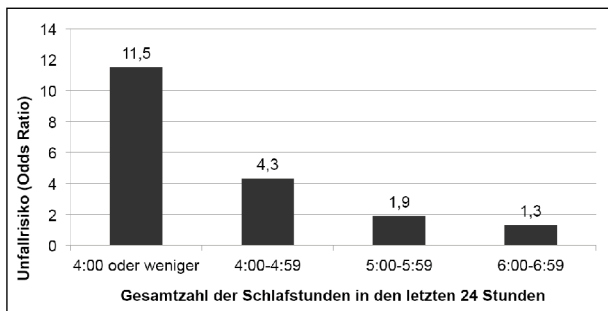


Bild 3-1: Erhöhung des Unfallrisikos durch Schlafmangel (Deutscher Verkehrssicherheitsrat (DVR) 2018; AAA Foundation for Traffic Safety 2016)

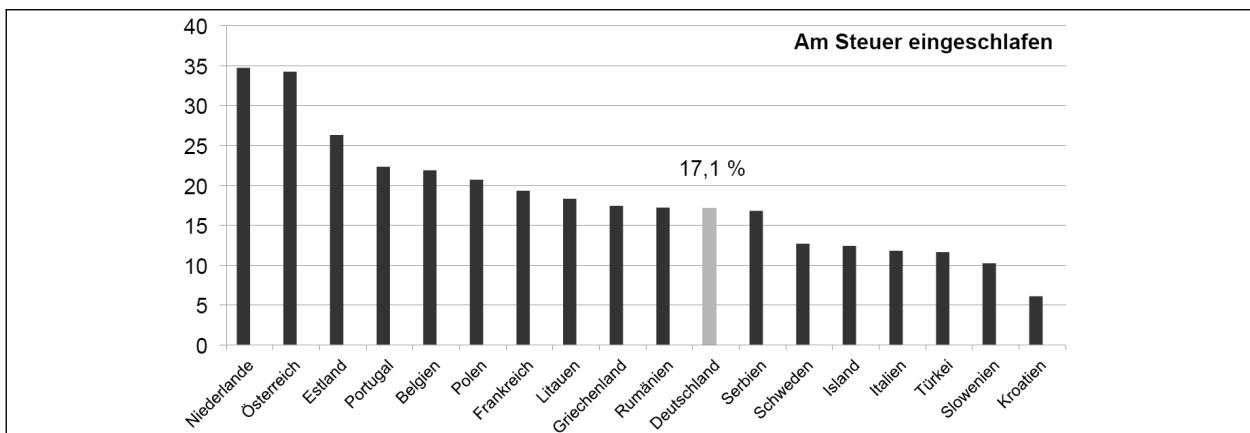


Bild 3-2: Europäischer Vergleich zur Übermüdung des Fahrers am Steuer (European Sleep and Research Society 2015)

zwei Jahren am Steuer eingeschlafen waren. Das Ergebnis der Umfrage ist in Bild 3-2 dargestellt. Dabei fallen die starken Schwankungen zwischen den verschiedenen europäischen Ländern auf. Im europäischen Vergleich belegt Deutschland mit 17,1 % einen Platz im vorderen Mittelfeld.

Die Beschreibungen der Unfallcharakteristika zu $U_{Müd}$ zeigen somit, dass diese Unfälle eher seltene Ereignisse sind, aber aufgrund von Übermüdung verursachte Unfälle durch eine auffällig hohe Unfallschwere gekennzeichnet sind. Diese ist vermutlich ursächlich auf die fehlenden korrigierenden Reaktionen und Manöver durch die Fahrer zurückzuführen. Müdigkeit ist somit ein Fahrzustand, bei dem die Fahrtauglichkeit nicht mehr gegeben ist.

3.1.2 U_{Gesch} durch nichtangepasste/überschrittene Geschwindigkeit

Aus der fahrdynamischen Betrachtungsperspektive heraus zieht die Änderung der Fahrgeschwindigkeit eine Reihe von direkten Effekten für den Fahrer und andere Verkehrsteilnehmer nach sich. Zum einen ändert sich der Bremsweg und zum anderen der vorher zurückgelegte Weg bei unverminderter Geschwindigkeit, bis eine Handlung seitens des Fahrers einsetzt und sich die Bremskraft aufbaut – zusammen ergeben diese Strecken den Anhalteweg. Des Weiteren ändert sich bei Änderung der Fahrgeschwindigkeit auch die Kollisionsgeschwindigkeit, damit einhergehend die Kräfteinwirkung auf die menschlichen Organe bei einem Unfall und daraus resultierend die Unfallschwere (NILSSON 2004).

Somit zeigt sich in den Unfallanalysen der direkte Einfluss der Geschwindigkeit eines Fahrzeuges auf die Unfallhäufigkeit und die Unfallschwere. Mit höheren Fahrgeschwindigkeiten steigen sowohl Anzahl als auch Schwere von Unfällen überproportional stark an. Dieser Zusammenhang wurde bereits in einer Vielzahl von Modellen dargestellt, das bekannteste ist das „Power Model“ von Nilsson. Dieses beschreibt, dass bei einem Anstieg der Durchschnittsgeschwindigkeit um 1 % die Häufigkeit für Unfälle mit Verletzten um 2 % steigt. Analog ergab sich ein Anstieg um 3 % bzw. 4 % für Unfälle mit Schwerverletzten bzw. Getöteten (International Traffic Data and Safety Group (IRTARD) 2018). Ähnliche Studien in Deutschland haben gezeigt, dass auf Stadtstraßen (je nach betrachteten Unfallkollektiv) die Zunahme der mittleren Geschwindigkeit um 1 % einen Anstieg der Unfallhäufigkeit von Unfällen mit Personenschaden um 4-6 % erhöht (SCHÜLLER 2010).

Die Anwendung des „Power Models“ zeigt in Bild 3-3 die Verletzungsrisikofunktion für einen tödlichen Unfall in Abhängigkeit der Aufprallgeschwindigkeit eines Fahrzeuges. Dabei wird deutlich, dass die Wahrscheinlichkeit für einen tödlichen Unfall mit Erhöhung der Aufprallgeschwindigkeit stark ansteigt, insbesondere für Fußgänger ohne schützende Hülle (Norwegian Centre for Transport Research 2009).

Im Jahr 2019 wurden 41.173 Unfälle mit Personenschaden aufgrund der Unfallursache „nicht angepasste Geschwindigkeit“ registriert. Davon starben im deutschen Straßenverkehr laut Statistischem Bundesamt 977 Menschen. Das ist bei insgesamt

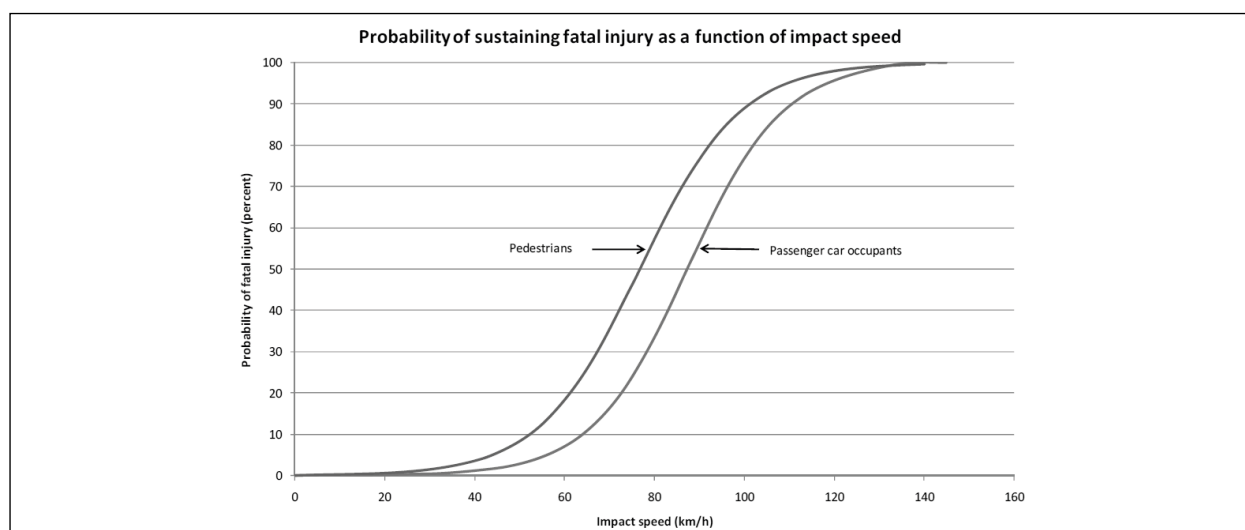


Bild 3-3: Zusammenhang zwischen Aufprallgeschwindigkeit und der daraus resultierenden Wahrscheinlichkeit für einen tödlichen Unfall (Norwegian Centre for Transport Research 2009)

3.046 getöteten Personen im Straßenverkehr 2019 fast jeder dritte Verkehrstote in Deutschland. Berücksichtigt werden in dieser Übersicht alle Verkehrsteilnehmerarten. Dabei bedeutet nicht angepasste Geschwindigkeit nicht zwangsläufig eine Überschreitung der maximal zulässigen Höchstgeschwindigkeit. Die maximal zulässige Höchstgeschwindigkeit gilt nur bei idealen Bedingungen auf der Straße. In allen anderen Fällen muss die Geschwindigkeit an die örtlich vorherrschenden Bedingungen angepasst werden, ansonsten sind die Fahrer auch in diesen Fällen mit nicht angepasster Geschwindigkeit unterwegs. In der deutschen Unfallstatistik werden daher nach dem Unfallursachenverzeichnis (Statistisches Bundesamt (Destatis) 2021) zwei Arten von „nicht angepasster Geschwindigkeit“ als Unfallursachen unterschieden – die nicht angepasste Geschwindigkeit in anderen Fällen (Ursache 13) und das Überschreiten der zulässigen Höchstgeschwindigkeit (Ursache 12).

Nur in knapp 5 % der U_{Gesch} mit Personenschaden wird tatsächlich die zulässige Höchstgeschwindigkeit überschritten, jedoch zeigen sich bei diesen Unfällen auch deutlich höhere Verletzungsschweren: etwa 38 % der Verunglückten bei Unfällen mit Überschreiten der zulässigen Höchstgeschwindigkeit sterben oder werden schwerverletzt. Bei U_{Gesch} mit nicht angepasster Geschwindigkeit in anderen Fällen sind es nur 26 %. Dennoch liegt bei beiden Arten der nicht angepassten Geschwindigkeit die Verletzungsschwere über dem allgemeinen Durchschnitt von anteilig 17 % Getöteten und Schwerverletzten bezogen auf alle Verunglückten (Statistisches Bundesamt (Destatis) 2020).

Die persönliche Fähigkeit des Fahrers, auf veränderte Fahrbahneigenschaften zu reagieren, ist unterschiedlich ausgeprägt und von verschiedenen potenziellen Einflussfaktoren wie Alter oder Geschlecht des Fahrers abhängig. So zeigt eine in den USA durchgeführte Studie deutliche Unterschiede in den Alters und Geschlechtsklassen in Bezug auf unterschiedliche Fahrbahneigenschaften. Ergebnis der Studie ist bspw., dass die Unfallschwere für Frauen und ältere Männer bei nasser oder schneebedeckter Fahrbahn zunimmt – im Vergleich zu untersuchten Unfällen bei trockener Fahrbahn. Für jüngere Männer unter 45 Jahren hingegen sinkt die Unfallschwere bei nasser und schneebedeckter Fahrbahn im Vergleich zu in dieser Altersgruppe untersuchten Unfällen bei trockener Fahrbahn. Diese Unterschiede zwischen den Altersgruppen und Geschlechtern zeigen deutlich, dass Fahrer die Fahr-

bahnbedingungen unterschiedlich wahrnehmen und verschieden darauf reagieren. (MORGAN & MANNERING 2011).

Unfallcharakteristik

U_{Gesch} , also Unfälle mit nichtangepasster Geschwindigkeit als Unfallursache, ereignen sich gehäuft auf Außerortsstraßen (AA Foundation for Road Safety Research 2000). Laut Statistischem Bundesamt kamen 2019 bei Verkehrsunfällen außerorts 1.759 und auf Autobahnen 383 Menschen ums Leben (Statistisches Bundesamt (Destatis) 2020). Diese beiden Werte zusammengenommen ergeben etwa 70 % aller Verkehrstoten dieses Jahres in diesen Ortslagen. Damit liegt dieser Anteil deutlich über dem Gesamtanteil von etwa einem Drittel der Getöteten bei Betrachtung aller Getöteten im Jahr 2019. Ein Grund für diesen hohen Anteil liegt u. a. in der hohen Geschwindigkeit, mit welcher Fahrzeuge außerorts unterwegs sind (HEINRICH et al. 2010; OTTE 2001). Auf Innerortsstraßen als auch auf Strecken mit niedrigen zulässigen Höchstgeschwindigkeiten zeigen Studien, dass U_{Gesch} aufgrund unangepasster Geschwindigkeit häufig in Zusammenhang mit breiten, geraden Straßen stehen (AA Foundation for Road Safety Research 2000).

Risikogruppen

Besonders gefährdet für die Verursachung eines U_{Gesch} sind Fahranfänger und junge Menschen im Alter von 18 bis 24 Jahren. Laut Statistischem Bundesamt wurden 2019 von Fahrern der Altersgruppe von 18 bis 24 Jahren 11.116 Fehlverhalten verursacht, die zu Unfällen mit Personenschaden aufgrund nicht angepasster Geschwindigkeit geführt haben. (Statistisches Bundesamt (Destatis) 2020). Jedoch zeigen Studien auch eine Häufung der U_{Gesch} bei älteren Verkehrsteilnehmern (TSENG 2013). Diese Aussage kann jedoch mit den bei Destatis veröffentlichten Unfalldaten aus dem Jahr 2019 so nicht bestätigt werden. So wurden im Jahr 2019 für die Altersgruppe von 65 bis 75 Jahren 1.893 Fehlverhalten erfasst, die zu Unfällen mit Personenschäden geführt haben. Für die Altersgruppe ab 75 Jahren waren es 1.663 Fehlverhalten (Statistisches Bundesamt (Destatis) 2021).

Fahrer, die schnell fahren, sind überdurchschnittlich oft jung, mit einem überdurchschnittlich motorisierten Fahrzeug unterwegs, Vielfahrer mit einer hohen Jahresfahrleistung, beruflich und/oder alleine unterwegs (FILDES et al. 1991; HERBERG 1978; QUIMBY et al. 1999a; QUIMBY et al. 1999b; MAYCOCK

et al. 1998; BLIERSBACH et al. 2002; STRADLING et al. 2003). Der Einfluss des Geschlechts auf die Geschwindigkeitswahl ist nicht eindeutig definiert. Es existieren hierbei Schwankungen von „kein Einfluss“ (FILDES et al. 1991) zu „männliche Fahrer neigen eher zu hohen Geschwindigkeiten“ (STRADLING et al. 2003). Bei der Annahme, dass höhere Geschwindigkeiten auch zu höheren Unfallrisiken führen, wurde die Wirkung des Geschlechts des Beifahrers festgestellt. So wurden bei einer weiblichen Beifahrerin niedrigere Risikokennwerte als bei Alleinfahrten oder mit zusätzlichem männlichem Beifahrer nachgewiesen (SCHLAG & SCHUPP 1998).

Anhand der Analyse weiterer Unfallursachen konnte festgestellt werden, dass die Ursache der nicht angepassten Geschwindigkeit gehäuft in Kombination mit Alkoholeinfluss auftritt (OTTE 2001; YADAV & VELAGA 2020).

Eine Umfrage der AA Foundation for Road Safety Research kam zu dem Ergebnis, dass das Fahren mit unangepasster Geschwindigkeit häufig unbeabsichtigt, aufgrund von Eile oder wegen drängelnden Fahrzeugen von hinten stattfindet (AA Foundation for Road Safety Research 2000). Ebenso hängen Geschwindigkeitsüberschreitungen von den vorwiegenden Wegezwecken bei der Autofahrt ab (TSENG 2013). Viele Fahrer überschätzen zudem ihr Fahrkönnen und die technischen Möglichkeiten ihres Fahrzeugs. Statistische Analysen von Befragungen zu Geschwindigkeitsüberschreitungen zeigen zudem Einflüsse des Bildungsniveaus, des Einkommens und der Jahresfahrleistung der Befragten auf die berichteten Geschwindigkeitsüberschreitungen (TSENG 2013). Hinzu kommt die Einstellung vieler Fahrer, die schnelles Fahren als eine aufregende und angenehme Erfahrung beschreiben. Dies wird durch Medienbilder zusätzlich verstärkt, die schnelles Fahren als etwas Positives suggerieren. Auch der Druck von Arbeitgebern an ihre Angestellten, vorgegebene Zeitpläne einzuhalten, kann zu Geschwindigkeitsüberschreitungen während Dienstfahrten führen (AA Foundation for Road Safety Research 2000).

Auch zeitliche Veränderungen haben Einfluss auf die Geschwindigkeitswahl (SCHÜLLER 2010). Die mittleren Geschwindigkeiten unterliegen zeitlichen Veränderungen wie Tagesverlauf, Lichtverhältnisse und Nässe.

Während der Nachtstunden wurde eine Erhöhung der freien Geschwindigkeiten, also der Geschwindigkeiten, die nicht durch ein vorausfahrendes Fahrzeug vorgegeben werden, um 5-10 km/h festgestellt (THOMA 1993; RETZKO & KORDA 1991; SCHLEICHER-JESTER 1995; LIPPHARD & MEEWES 1994; THE EUROPEAN CONFERENCE OF MINISTERS OF TRANSPORT – ECMT 1996). Diese Unterschiede sind dabei unabhängig von der Straßenkategorie. Laut (LIPPHARD & MEEWES 1994) sind für Außerortsstraßen mit vergleichsweise geringem Geschwindigkeitsniveau keine Änderungen des Geschwindigkeitsverhaltens zwischen Tag und Nacht feststellbar. Somit müssen andere Einflussfaktoren eine Rolle spielen wie z. B. eine geringere stündliche Verkehrsstärke oder der Einfluss des Fahrerkollektivs, das zu dieser Zeit unterwegs ist. Auch im Vergleich der Wochentage wurden keine großen Veränderungen festgestellt. Am Wochenende gibt es innerorts eine etwas niedrigere mittlere Geschwindigkeit (HERBERG 1978). Sonntags wurde auf Autobahnen eine um 2-4 km/h erhöhte Geschwindigkeit festgestellt (THOMA 1993). Eine Untersuchung von Nässe als temporär beeinflussender Faktor hat ergeben, dass eine Reduzierung der Geschwindigkeit als Reaktion auf Nässe auf Landstraßen erst bei starken Niederschlagsintensitäten ab 3 mm/h stattfindet (THOMA 1993). Die Geschwindigkeitsreduzierung liegt dabei im Bereich bis -6 km/h Geschwindigkeitsreduzierung. Bei Nacht findet schon bei leichtem Regen eine Reaktion statt (SCHÜLLER 2010). Für Stadtstraßen wurde nur eine Reduzierung von 1,7 km/h nachgewiesen (ELLINGHAUS & STEINBRECHER 1997). (LIPPHARD & MEEWES 1994) konnten sogar einen umgekehrten Einfluss feststellen. Demnach finden bei Nässe keine Geschwindigkeitsreduzierungen statt, sondern teilweise Erhöhungen der Geschwindigkeit um bis zu 4 km/h. Dabei wurde die Vermutung geäußert, dass die Zusammensetzung des Fahrerkollektivs eine Rolle spielen könnte und bei solchen Witterungsbedingungen bestimmte Fahrertypen nicht mehr unterwegs sind (SCHÜLLER 2010).

Die Analyse der Unfallcharakteristika von U_{Gesch} zeigt, dass aufgrund von Geschwindigkeit verursachte Unfälle ebenfalls von einer hohen Unfallschwere gekennzeichnet sind. U_{Gesch} ereignen sich gehäuft auf Außerortsstraßen sowie auf Autobahnen. Begründet liegt dies in den teils hohen gefahrenen Geschwindigkeiten im Außerortsbereich. Dies gilt sowohl für U_{Gesch} aufgrund nichtangepas-

ter Geschwindigkeit sowie für U_{Gesch} aufgrund überschrittener Geschwindigkeit.

3.2 Unfallvermeidungspotenzial

3.2.1 Ansätze zur Bestimmung des Unfallvermeidungspotenzials

Der Grundgedanke einer Bewertung des Unfallvermeidungspotenzials ist die Abschätzung des Effekts eines sicherheitsorientierten Assistenzsystems auf die Verkehrssicherheit. Bei der Abschätzung des Effekts wird allgemein zwischen retrospektiven und prospektiven Ansätzen unterschieden.

Retrospektive Ansätze

Retrospektive Ansätze werden genutzt, wenn ein System nach seiner Markteinführung mit einer ausreichenden Häufigkeit in der Fahrzeugflotte vertreten ist, sodass das Unfallgeschehen der Fahrzeuge mit System zu dem der Fahrzeuge ohne System verglichen werden kann. Da GAS derzeit noch eine geringe Marktdurchdringung aufweisen, werden retrospektive Ansätze nur kurz erläutert.

Im einfachsten Falle werden bei retrospektive Ansätzen Odds-Ratio Werte berechnet (vgl. Studien von (GRÖMPING et al. 2004; PAGE & CUNY 2004; LI et al. 2018)). Dabei wird zunächst das Wirkfeld des betrachteten Assistenzsystems definiert. Im Fall von GAS könnten dies vereinfacht Unfälle im Zusammenhang mit nicht angepasster oder überschrittener Geschwindigkeit sein. Anschließend wird für beide Gruppen (Fahrzeuge mit und ohne betrachtetes System) die Häufigkeit der Unfälle des definierten Wirkfelds in Verhältnis zu den übrigen Unfällen gesetzt (odds). Abschließend kann die Effektivität des Systems abgeleitet werden, indem die zuvor berechneten odds für die Fahrzeuge mit und ohne System in Relation zueinander gesetzt wer-

den (odds ratio - OR). Eine hohe Wirksamkeit des Systems drückt sich demnach anhand geringer OR-Werte aus. Häufig wird daher auch der OR-Wert von 1 abgezogen, um die Effektivität des Systems zu beschreiben (vgl. Bild 3-4).

Neben einer ausreichenden Marktdurchdringung der Systeme setzt dieser Ansatz voraus, dass lediglich ein Einflussfaktor – der Verbau des Systems – einen Einfluss auf das Unfallgeschehen besitzt. Sollen weitere Einflussfaktoren beachtet werden, wie beispielsweise das Alter der Beteiligten oder die Verursachung, kann dieser Ansatz nicht genutzt werden. Hierbei wird bei der Berechnung der odds auf die logistische Regression übergegangen, welche mehrere Einflussfaktoren beinhalten kann. OR und Effektivität werden anschließend analog berechnet.

Retrospektive Methoden bedürfen demnach zunächst einer gewissen Zeit und einer gewissen Zahl an Unfällen, bis ein Assistenzsystem bewertet werden kann. Zudem sind die ermittelten Effekte in der Regel überlagert von anderen Auswirkungen verschiedener Maßnahmen aus den Bereichen der aktiven oder passiven Systeme, der Infrastruktur oder der Gesetzgebung. Eine singuläre Abschätzung des Effekts eines Systems wird somit erschwert.

Prospektive Ansätze

Im Gegensatz zu retrospektiven Ansätzen versuchen prospektive Ansätze den zukünftigen Sicherheitseffekt eines Assistenzsystems abzuschätzen. Dies hilft den Entscheidungsträgern, bessere Systeme zu priorisieren und den Entwicklungsabteilungen ihre Systeme an das reale Verkehrsgeschehen anzupassen. Jedoch basieren diese Ansätze häufig auf vereinfachten Entwicklungs- und Funktionsannahmen.

	Fahrzeuge mit System	Fahrzeuge ohne System
Unfälle des definierten Wirkfelds	A	B
Andere Unfälle	C	D
$odds_{mit} = \frac{A}{C}$	$odds_{ohne} = \frac{B}{D}$	$OR = \frac{odds_{mit}}{odds_{ohne}} = \frac{A/C}{B/D}$
$Effektivität = 1 - OR = 1 - \frac{odds_{mit}}{odds_{ohne}} = 1 - \frac{A/C}{B/D}$		

Bild 3-4: Ermittlung der Effektivität eines Assistenzsystems anhand von Odds-ratio

Innerhalb der prospektiven Ansätze variieren die Detaillierungsebenen, um die Wirksamkeit und das Unfallvermeidungspotenzial zu bewerten, deutlich. Gemein ist allen Ansätzen, dass zunächst ein Wirkfeld an adressierten Unfällen durch ein Assistenzsystem definiert wird. Im einfachsten Fall der prospektiven Ansätze wird angenommen, dass alle Unfälle des Wirkfelds durch das System vermieden werden - das Wirkfeld ist demnach identisch zum Vermeidungspotenzial (z. B. (FARMER 2008; CARSTEN & TATE 2005)).

Diese Annahmen setzen voraus, dass alle Fahrzeuge mit dem Assistenzsystem ausgestattet sind. Gerade bei prospektiven Ansätzen ist bei den hier betrachteten Assistenzsystemen von einer geringen Marktdurchdringung der Systeme in der Fahrzeugflotte auszugehen. Die Marktdurchdringung eines Assistenzsystems über die Zeit folgt einem sogenannten sigmoiden oder s-förmigen Verlauf. Dieser Verlauf ist charakterisiert durch einen nur sehr schwachen Anstieg der Marktdurchdringung während der Phase der Markteinführung, gefolgt von einem steilen Anstieg der Marktdurchdringung während der Etablierung eines Systems und einer abschließenden Sättigungsphase, während der die Marktdurchdringung immer weniger ansteigt. In der Folge ergeben sich gerade in der Anfangszeit nach Markteinführung nur geringe Unfallvermeidungspotenziale durch ein System. Somit beinhalten viele prospektive Ansätze ebenfalls Annahmen zur Entwicklung der Verbaurrate des Assistenzsystems, wobei häufig mehrere Entwicklungsannahmen getroffen werden (HØYE et al. 2015).

In einem weiteren Detaillierungsschritt beziehen Studien (u. a. (JERMAKIAN 2011; Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft (GDV) 2017; SCHULTE et al. 2013; Synchrone Mobilität 2023 2020)) zudem die Effektivität des Systems mit ein. Einerseits können durch Witterung, fehlende Sichtbeziehungen, fehlende Markierungen oder gar Fehlfunktionen der Fahrzeugdetektoren keine oder falsche Objekte identifiziert werden. Andererseits können Unfälle auch bei Eingriff des Assistenzsystems aufgrund der fahrdynamischen Randbedingungen (Unfallvermeidbarkeit) nicht vermieden werden, sodass in beiden Fällen von der pauschalen Annahme abgewichen werden muss, dass die Systeme alle Unfälle des Wirkfelds vermeiden können. Um den Anteil des Wirkfelds, welches wirklich durch ein Assistenzsystem adressiert wird, zu bestimmen, werden unterschiedliche Ansätze genutzt. Anhand von Feldversuchen können bspw. Situatio-

nen ermittelt werden, in denen die Systeme eingeschränkt wirken. Diese Situationen können wiederum im Wirkfeld ausgeklammert werden (z. B. (FABER et al. 2011)). Dieser Ansatz benötigt wiederum zahlreiche Fahrversuche, weshalb zunehmend simulative Ansätze zur Schätzung der Effizienz genutzt werden. Ein simulativer Ansatz besteht darin, in Simulationen von Unfällen des Wirkfeldes (Unfall-Resimulation) die Veränderung der Fahrdynamik durch das Wirken der Assistenzsysteme auf die Unfallvermeidbarkeit (z. B. (SCHULTE et al. 2013; DOBBERSTEIN et al. 2014; SCHUBERT & ERBSMEHL 2013)) oder durch Variation der Fahrparameter (z. B. (Synchrone Mobilität 2023 2020; EICHORN 1994)) zu prüfen. Andere simulative Ansätze definieren nicht zuvor das Wirkfeld, sondern simulieren das Wirken der Assistenzsysteme in einem repräsentativen Satz von Fahrscenarien (z. B. (PAGE et al. 2015)).

Ein weiterer in den Studien betrachtete Einfluss auf das Vermeidungspotenzial ist die Nutzungshäufigkeit. Dabei wird davon ausgegangen, dass Systeme aufgrund ihrer Funktionalität, der Einschränkung des Fahrspaßes oder deren fehlender rechtlich-verpflichtende Einsatz dazu führt, dass Systeme mitunter abgeschaltet werden (z. B. (OSTERMAIER et al. 2019; Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft (GDV) 2017; CARSTEN & TATE 2005)).

Neben der reinen Vermeidbarkeit von Unfällen betrachten einige Studien darüber hinaus die Unfallmitigation. Im Zusammenhang mit dem Vermeidungspotenzial wird darunter vor allem die Verschiebung der Unfallschwere durch die Vermeidung von Unfällen mit Schwerverletzten und Getöteten zu Gunsten von Unfällen mit maximal Leichtverletzten (z. B. (SCHULTE et al. 2013; CARSTEN & TATE 2005)) verstanden.

Mittels der multiplikativen Verknüpfung der Einflüsse (Wirkfeld, Effektivität, Unfallvermeidbarkeit, Marktdurchdringung, Nutzungshäufigkeit und Mitigation) ergibt sich letztlich das Unfallvermeidungspotenzial (vgl. Formel 6-3).

$$UVP = WF \cdot U_{\text{verm}} \cdot Eff \cdot MD \cdot Nutz \cdot Mit \quad \text{Formel 3-1}$$

<i>UVP</i>	Unfallvermeidungspotenzial
<i>WF</i>	Wirkfeld
<i>Eff</i>	Effektivität
<i>U_{verm}</i>	Unfallvermeidbarkeit
<i>MD</i>	Marktdurchdringung

Nutz Nutzungshäufigkeit
Mit Mitigation (Unfallfolgenminderung)

3.2.2 Unfallvermeidungspotenziale von GAS

Studien zu prospektiven Ansätzen speziell zum Unfallvermeidungspotenzial von GAS beschreiben neben dem Wirkfeld den Einfluss durch die Marktdurchdringung, die Effektivität und die Unfallfolgenminderung.

Zur Bestimmung des Wirkfelds wurden u. a.

- die Verkehrsteilnehmerart (z. B. (WILKIE & TATE 2003)),
- die Straßenklasse (z. B. (OEI & POLAK 2002)),
- die maximal zulässige Geschwindigkeit (z. B. (TATE et al. 1997)) und
- die Unfallursache (z. B. (TRL, CEESAR, ACEA 2018))

genutzt, um relevante Unfälle einzugrenzen.

Den Studien lässt sich entnehmen, dass das Vermeidungspotenzial starke Schwankungen in Abhängigkeit der gesetzlichen Regelungen zum Verbau von geschwindigkeitsreduzierenden Systemen

(freiwillig/verbindlich) und der betrachteten Unfall-schweren aufweist. Demnach werden höhere Vermeidungspotenziale bei einem verpflichtenden Einsatz von GAS und bei besonders schweren Unfällen, bei denen bspw. Unfallbeteiligte schwerverletzt oder getötet wurden, gesehen.

Tabelle 3-1 fasst die Studien zum Vermeidungspotenzial von GAS zusammen und gibt an welche der Einflüsse auf das Unfallvermeidungspotenzial (Effektivität, Marktdurchdringung, Unfallmitigation und Nutzungshäufigkeit) dabei betrachtet wurden.

3.3 Marktdurchdringung

Das höchste Unfallvermeidungspotenzial durch GAS stellt sich bei einer 100%-igen Marktdurchdringung der Fahrzeugflotte mit derartigen FAS ein. Daher wirkt sich die zeitliche Entwicklung der Marktdurchdringung wesentlich auf die Entwicklung des Unfallvermeidungspotenzials aus.

3.3.1 Aktuelle Verbauraten von GAS

Aktuell existieren nur wenige Informationen zur aktuellen Marktdurchdringung von GAS. Eine mögliche Ursache hierfür könnte die bisher sehr geringe Ausstattungsrate sein.

Anhand von Haushaltsbefragungen im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) wurden gezielt in Deutschland 2013, 2015 und 2017 die Ausstattung von Fahrzeugen erhoben (GRUSCHWITZ et al. 2017; GRUSCHWITZ et al. 2020; FOLLMER et al. 2015). Am häufigsten waren dabei FAS verbaut, welche die Geschwindigkeit lediglich begrenzen auf eine zuvor vom Fahrer angegebene Maximalgeschwindigkeit (Geschwindigkeitsbegrenzer). Im Rahmen der letzten Befragungsrunde (2017) war dieses FAS bereits in jedem vierten Pkw verbaut.

Nur in etwa jedem 8. Pkw war hingegen ein FAS verbaut, welches vor einem Überschreiten der zulässigen Höchstgeschwindigkeit warnt (Geschwindigkeitswarner).

Als weiteres GAS wurde die Abstandsregelautomatik (Adaptive Cruise Control - ACC) betrachtet, welche anhand einer vom Fahrer vorgegebenen Maximalgeschwindigkeit und dem Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug eine sichere Geschwindigkeit

Quelle	Effektivität	Marktdurchdringung	Unfallmitigation	Nutzungshäufigkeit	Unfallvermeidungspotenzial
(HØYE et al. 2015)		X		X	- 7,5 % Pkw-Unfälle (Kat 1+2) (Informative ISA) - 9,3 % Pkw-Unfälle (Kat 1+2) (übersteuerbare ISA) - 16,2 % Pkw-Unfälle (Kat 1+2) (verpflichtende ISA)
(CARSTEN & TATE 2005)		X	X		- 2 bis - 27 % Unfälle (Informative ISA) - 5 bis - 27 % Unfälle (freiwillige ISA) - 11 bis - 50 % Unfälle (freiwillige ISA)
(TRL, CEESAR, ACEA 2018)	X				- 5,2 bis - 8,7 % Unfälle (Kat 1) - 1,6 bis - 3,6 % Unfälle (Kat 2) - 1,3 bis - 2,4 % Unfälle (Kat 3)
(BARROW et al. 2017)	X				- 1,9 bis - 37 % Unfälle (Kat 1)
(OEI & POLAK 2002)				X	- 25 bis -30 % Unfälle (Kat 1-3)

Tab. 3-1: Unfallvermeidungspotenziale durch GAS

wählt. Dieses System ist aktuell in etwa 8 % der Fahrzeuge verbaut.

Einem ISA-System am nächsten kommt das erweiterte ACC, welches bei der Abstandregelung die maximal zulässige Geschwindigkeit mit einbezieht. Dieses FAS wurde bei der Umfrage 2017 das erste Mal erfasst und war bei 2 % der Pkw von Befragten eingebaut.

Neben der Recherche zu Verbauraten von GAS ist im Fokus der ab 2022 verpflichtend in Neuwagen zu verbauenden ISA-Systeme ebenfalls relevant, ob dem Fahrer Informationen zur maximal zulässigen Geschwindigkeit vorliegen könnten. Als quasistatische Informationen könnten Streckeninformationen der digitalen Karten von Navigationsgeräten genutzt werden, welche bestenfalls für jeden Streckenzug hinterlegt sind und bei Änderungen aktualisiert werden. Navigationssysteme als festverbautes System oder als mobiles System auf dem Handy wurden 2017 von 81 % der Befragten genutzt. Dynamische Informationen zur maximal zulässigen Geschwindigkeit können mithilfe von FAS zur Verkehrszeichenerkennung erfasst werden. Zum Erkennen der maximal zulässigen Geschwindigkeit können einerseits digitale Karten genutzt werden oder eine kamerabasierte Verkehrszeichenerken-

nung, welche bei 8 % der Pkw erfasst wurden bei der letzten Befragung (vgl. Tabelle 3-2).

Daneben existieren Angaben zur Fahrzeugausstattung von der Deutschen Automobil Treuhand (DAT) in den jährlichen DAT-Reporten (Deutsche Automobil Treuhand (DAT) 2000-2018). Diese geben ebenfalls Informationen zur Marktdurchdringung der zuvor genannten Systeme und liegen auf demselben Niveau der Befragungen der BASt. Ausnahme bilden nur Angaben zu Navigationssystemen, da diese bei den DAT-Befragungen nur als im Fahrzeug verbaute Navigationssysteme erhoben werden. Darüber hinaus führen die Reporte auch den Verbau von Regensensoren auf. Diese besitzen im Kontext von GAS Relevanz, da so abgeschätzt werden kann, ob zumindest die notwendige Sensorik verbaut ist, um Witterungsbedingungen zu erkennen, die zu einer Änderung des Reibwerts führen und so eine notwendige Geschwindigkeitsreduktion erfordern könnten. Regensensoren werden aktuell nahezu in jedem zweiten Fahrzeug verbaut (vgl. Tabelle 3-3).

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass Systeme, welche vor der Überschreitung der maximal zulässigen Geschwindigkeit warnen oder sogar daraufhin automatisch die Geschwindigkeit anpassen, noch sehr selten im Fahrzeugkollektiv vertre-

Funktionalität	Assistenzsystem	Anteil an Fahrzeugen [%]		
		2013	2015	2017
Geschwindigkeitsbeeinflussende FAS	Geschwindigkeitsbegrenzer	14	17	23
	Geschwindigkeitswarner	3	6	12
	ACC	3	5	8
	Erweitertes ACC	-	-	2
Bestimmung zulässige Maximalgeschwindigkeit (v_{zul})	Mobiles/fest verbautes Navigationssystem (quasistatische v_{zul} -Informationen)	71	75	81
	Verkehrszeichenerkennung (dynamische v_{zul} -Informationen)	1	5	8

Tab. 3-2: FAS zur Geschwindigkeitsbeeinflussung und Bestimmung der maximal zulässigen Geschwindigkeit basierend auf (GRUSCHWITZ et al. 2017; GRUSCHWITZ et al. 2020; FOLLMER et al. 2015)

Funktionalität	Assistenzsystem	Anteil an Fahrzeugen [%]							
		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Geschwindigkeitsbeeinflussende FAS	ACC	-	1	1	2	2	5	9	10
Bestimmung zulässige Maximalgeschwindigkeit (v_{zul})	fest verbautes Navigationssystem (quasistatische v_{zul} -Informationen)	22	21	23	27	30	30	39	40
	Verkehrszeichenerkennung (dynamische v_{zul} -Informationen)	-	-	-	-	2	4	7	9
Bestimmung Witterung	Regensensor	28	28	34	37	40	41	47	49

Tab. 3-3: FAS zur Geschwindigkeitsbeeinflussung, Bestimmung der maximal zulässigen Geschwindigkeit und Bestimmung der Witterungsbedingungen basierend auf (Deutsche Automobil Treuhand (DAT) 2000-2018)

ten sind. Allerdings kann bei einer aktuellen Ausstattung von 50 % der Fahrzeuge mit einem festen/mobilem Navigationssystem bereits davon ausgegangen werden, dass deutlich mehr Fahrern bereits Informationen zur maximal zulässigen Geschwindigkeit vorliegen. Allerdings verfügt etwa jedes zweite Fahrzeug über einen Regensensor, sodass witterungsbedingte Änderungen des Reibwerts zumindest rudimentär geschätzt werden könnten zum Zwecke des Einsatzes von GAS bei schlechten Sichtbedingungen.

3.3.2 Entwicklungen zur Verbaurate von GAS

Abschließend werden zur Recherche der Marktdurchdringung von GAS speziell die Entwicklung der ab 2022 in Neuwagen verpflichtend zu verbauenden ISA-Systeme betrachtet. In Modellen zur Bestimmung der zukünftigen Marktdurchdringung dieser Systeme wurden von (LAI et al. 2012) vier verschiedene Annahmen zugrunde gelegt:

- die höchste Anzahl von Neuwagen mit ISA wird 2022 erreicht
- die Neuzulassungen von Fahrzeugen geht leicht zurück
- das Durchschnittsalter der Fahrzeugflotte steigt um 0,1 Jahre pro Jahr und
- ein Fahrzeugmodell bleibt maximal 40 Jahre im Fahrzeugbestand

Der modellierte Anteil von neuzugelassenen Fahrzeugen mit FAS wird anhand historischer Daten unter Berücksichtigung der Fahrzeugsegmente bestimmt. Die dritte Annahme beruht auf einer Diffe-

renzierung nach der Fahrleistung. Dabei wird allerdings angenommen, dass es keine Veränderung der aktuellen Rechtslage gibt. Bezüglich der Markteinführung neuer FAS wird der sogenannte Top-Down-Ansatz verfolgt. Das heißt, man geht davon aus, dass das neue FAS erst in den Oberklassensegmenten eingeführt wird und dann das Kompaktsegment erreicht (KRAUSE & MOTAMEDIDEHKORDI 2014; Highway Loss Data Institute 2017).

Für die Entwicklung der Marktdurchdringung wird von zwei verschiedenen Szenarien ausgegangen, welche in Bild 3-5 für Großbritannien dargestellt sind. Szenario 1 zeigt die Entwicklung der Marktdurchdringung abhängig von der Marktlage und Szenario 2 berücksichtigt die beschlossene verpflichtende Einführung von ISA-Systemen. Basierend auf den damaligen Annahmen zeigt Szenario 1 unter Berücksichtigung des Einflusses der Marktlage bspw., dass im Jahr 2010 noch 90 % der untersuchten Fahrzeugflotte über kein ISA-System verfügen, jedoch aber 10 % eine Information zur maximal zulässigen Geschwindigkeit erhalten (informierendes ISA). Im Jahr 2020 hingegen besitzen bereits ca. 95 % der Fahrzeuge ein informierendes ISA-System und 5 % ein ISA-System, welches eingreifend wirkt, aber noch durch den Fahrer übersteuerbar ist. Tendenzen gehen davon aus, dass im Jahr 2050 ein Anteil von 65 % informierender ISA und 35 % eingreifender, aber übersteuerbarer ISA erreicht wird.

Das Szenario 2, welches die verpflichtende Einführung der ISA-Systeme beachtet, geht von einer gleichen Entwicklung der Verbauraten zwischen den Jahren 2010 – 2022, wie im Szenario 1 aus. Im Jahr

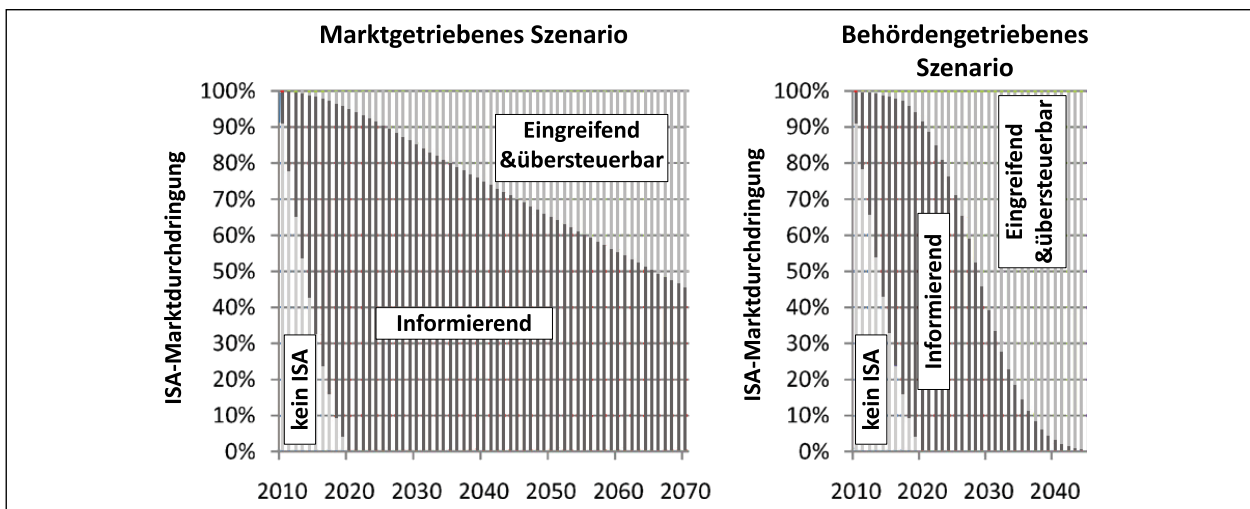


Bild 3-5: Entwicklung der Marktdurchdringung von ISA unter Berücksichtigung verschiedener Einsatzszenarien (nach (LAI et al. 2012))

2030 liegt der Anteil eingreifender, aber übersteuerbarer ISA-Systeme jedoch schon bei 70 %; der Anteil von informierenden ISA-Systemen hingegen nur noch bei 30 %. Der Anteil eingreifender, aber übersteuerbarer ISA-Systeme wird sich laut diesem Szenario die nächsten Jahre kontinuierlich erhöhen und bis zum Jahr 2045 eine Marktdurchdringung von 100 % erreichen (vgl. Bild 3-5).

Die beschriebenen Ansätze verdeutlichen, dass eine Reihe von Annahmen getroffen werden müssen, um die zukünftige Entwicklung der Verbaurate von GAS abschätzen zu können. Innerhalb der späteren Berechnung des Unfallvermeidungspotenzials sind daher Angaben zum Fahrzeugkollektiv hinsichtlich der typischen Verteilung und Entwicklung des Fahrzeugalters nach unterschiedlichen Fahrzeugklassen notwendig. Aufgrund des verpflichtenden Verbaus von GAS in Neuwagen ab 2022 müssen hingegen nicht mehrere Szenarien entwickelt werden, da die jährliche Zunahme an Fahrzeugen mit GAS durch die Anzahl der jährlichen Neuwagen in der Fahrzeugflotte definiert wird (sofern keine nachträgliche Ausrüstung bei Gebrauchtwagen erfolgt). Entsprechend den Angaben zu aktuellen Verbauraten von GAS in 3.3.1 sollte bei der Abschätzung der zukünftigen Entwicklung der Marktdurchdringung von GAS von einem Startwert von 2 % in 2022 ausgegangen werden.

3.4 Funktionalität und Stand der Technik von aktuellen ISA-Systemen

3.4.1 Historischer Hintergrund

Um den aktuellen Stand der ISA-Systeme einordnen zu können, soll kurz auf wichtige Entwicklungsschritte eingegangen werden. Eine erste Umsetzung eines intelligenten Assistenten ist in einer Gebrauchsmusterschrift aus dem Jahr 1995 aufgeführt. Dort wird eine Geschwindigkeitsreduzierung für Lkw und Schwertransporter bei Nebelbildung vorgeschlagen (MIELKE 1995). Dabei werden jedoch nur wenige technische Details genannt und für die Nebelerkennung wird nur allgemein auf einen optischen Sensor verwiesen. Es zeigt sich aber damit schon die Notwendigkeit für eine solche automatisierte Unterstützung.

Eine Weiterentwicklung zeigt sich in einer Offenlegungsschrift der SIEMENS AG aus dem Jahr 2008. Es wird ein System zur Geschwindigkeitsvorgabe vorgestellt, bei dem sowohl der Beladungszustand

des Fahrzeugs als auch Umgebungsbedingungen berücksichtigt werden. Dabei sind sowohl direkte Sensorinformationen (Radar, Lidar, Temperatur) als auch indirekte Karteninformationen als Eingangsgrößen vorgesehen (SIEMENS AG 2008). Die eingesetzten Sensoren entsprechen der aktuellen Serienausstattung eines Ober- oder Mittelklassefahrzeugs.

In der Offenlegungsschrift (BOSCH GMBH 2007) wird neben der direkten statischen Berücksichtigung von Umfeldinformationen für die Geschwindigkeitswarnung die Nutzung einer individuellen Anpassung vorgeschlagen. Danach erlernt das System das typische Fahrverhalten des Nutzers insbesondere in Kurven und gibt dann eine Warnung aus, wenn diese typische Geschwindigkeit aufgrund der aktuellen Situation nicht angemessen ist. Dieser sehr weitreichende Vorschlag der Robert-Bosch GmbH aus dem Jahr 2006 zeigt sehr gut das damals gesehene Potenzial in individueller Assistenz. Aufgrund des sehr hohen technischen Aufwands und der Unsicherheit bei der Bestimmung der individuellen Fahrerleistungsfähigkeit erfolgte noch kein Einsatz.

3.4.2 Intelligent Speed Assist

Im Fokus von GAS stehen aktuell die zukünftig verbindlich einzuführenden Systeme der „intelligenten Geschwindigkeitsassistenten“ (Intelligent Speed Assist - ISA). Die Europäische Kommission hat 2019 die „General Safety Regulation“ vorgestellt, nach welcher bestimmte FAS ab 2022/2024 verpflichtend werden. Dabei wurden auch Minimum-Spezifikationen an ISA-Systeme festgelegt. Hierzu zählen, dass die Systeme leicht abschaltbar sein sollen, sich aber bei jedem neuen Start reaktivieren müssen. Weiterhin muss das System jederzeit durch den Fahrer übersteuerbar sein (Europäisches Parlament und der Rat der Europäischen Union 2019).

Aktuelle ISA-Automatiken erhalten Information zur zulässigen Geschwindigkeit aus Karteninformationen oder der Verkehrszeichenerkennung. Damit kamerabasierte ISA-Systeme europaweit einsetzbar sind, muss einerseits die Verkehrszeichenerkennung technisch hoch entwickelt sein und andererseits ist darauf zu achten, dass einheitliche Standards für Verkehrszeichen sowie Markierungen in Europa eingeführt werden (European Commission. Directorate General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs. & Transport Research Labora-

Kriterium	Modell				
	Audi A4	BMW 7er	Ford Galaxy	Mercedes S-Klasse	VW Arteon
Geschwindigkeit wird an Kurvenverlauf angepasst	+	-	-	+	+
Fahrmodi (Sport, Komfort) beeinflussen die Regelung	+	-	-	+	+
Fahrtrichtungsanzeiger (Blinken) wird berücksichtigt	-	-	-	+	-
Beschränkungen (z. B. „bei Nässe“) werden erkannt und umgesetzt	+	+	+	+	+
Vorfahrtsregelungen werden beachtet (Warnung)	-	+	-	-	-
Ampeln werden berücksichtigt	-	-	-	-	-
Kreisverkehrsplätze und Kreuzungen werden berücksichtigt	+	-	-	+	+

Tab. 3-4: Gegenüberstellung verschiedener ISA-Systeme (Allgemeiner Deutscher Automobil-Club (ADAC) 2018)

tory (TRL) 2015). Kartenbasierte Systeme bedürfen wiederum stets aktuelle und akkurate digitale Karten als Grundlage für zulässige Höchstgeschwindigkeiten auf einzelnen Streckenabschnitten (DR. EICHENDORF 2018; European Commission. Directorate General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs. & Transport Research Laboratory (TRL) 2015).

In vielen Fahrzeugen werden durch die ISA-Systeme häufig die bereits serienmäßig vorhandene Geschwindigkeits-Begrenzungsfunktion (Speed-Limiter) einbezogen. Der Grad der Einbeziehung hängt vom jeweiligen Systemanbieter ab. In einer Übersicht aus dem Jahr 2018 hat der ADAC 5 ausgewählte Systeme untersucht (Allgemeiner Deutscher Automobil-Club (ADAC) 2018). Der Grad an Automatisierung wurde dabei nach 7 Kriterien bewertet (vgl. Tabelle 3-4).

Die notwendigen Informationen werden bei den Systemen primär aus der GPS-Position und der digitalen Karte gewonnen, eine Unterstützung durch das Kamerasystem ist dabei integriert. Der Publikation zufolge kommt es in etwa 10 % der Einsatzfälle zu einer Fehldetektion. Dies deckt sich mit eigenen Untersuchungen². Aktuelle Systeme sind daher derzeit nicht in der Lage, einen hoch- oder vollautomatischen Eingriff durchzuführen.

Fahrzeugmodell	Punkte Speed Assistance	Bewertung
Audi Q8	24.9 / 25	gut
BMW 3er	21.5 / 25	gut
Ford Kuga	10.8 / 25	gering
Mercedes-Benz GLE	23.0 / 25	gut
Nissan Juke	8.9 / 25	gering
Peugeot 2008	10.9 / 25	gering
Renault Clio	15.4 / 25	adäquat
Tesla Model 3	16.7 / 25	adäquat
Volvo V60	21.0 / 25	gut
VW Passat	21.3 / 25	gut

Tab. 3-5: Bewertung von ISA-Systemen (Euro NCAP 2020)

Eine Untersuchung durch Euro NCAP ergab für das Jahr 2020 die folgenden Ergebnisse beim Test der verfügbaren ISA-Systeme (Euro NCAP 2020), dargestellt in Tabelle 3-5.

3.5 Zusammenfassung Literaturrecherche

Um das Vermeidungspotenzial eines GAS abzuschätzen, zeigt die Literatur, dass neben dem Wirkungsfeld (anvisierte Unfälle) auch die Verbaurate von GAS, die zukünftigen Entwicklungen, die Nutzungshäufigkeit, die Performance und die Unfallvermeidbarkeit zu betrachten sind.

3.5.1 Unfallgeschehen

Bezüglich des Wirkungsfeldes lässt sich festhalten, dass $U_{Müd}$ in Deutschland nur etwa 1 % und U_{Gesch} etwa 12 % der Unfälle mit Personenschaden bilden. Beide Unfallursachen weisen jedoch eine erhöhte Unfallschwere auf. Diese Unfälle passieren häufiger in den Nachtstunden und frühen Morgenstunden und somit verstärkt bei Dunkelheit. Auch bei Regen konnte eine Erhöhung der $U_{Müd}$ und U_{Gesch} beobachtet werden. Zudem finden diese Unfälle zumeist außerorts sowie auf Autobahnen statt. Insbesondere junge Fahrer zwischen 18-24 Jahren sind oft in $U_{Müd}$ und U_{Gesch} verwickelt. In vielen Fällen kommt ein Fahrer bei $U_{Müd}$ von der Fahrbahn ab und prallt ohne einen vorherigen Ausweichversuch oder vorheriges Bremsmanöver auf ein Hindernis. Sowohl bei $U_{Müd}$ und U_{Gesch} waren die beteiligten Fahrer überdurchschnittlich oft alkoholisiert.

² VW Passat (Modelljahr 2016) und Tesla Models S (Modelljahr 2015 & Funktionsupdates)

Mit Blick auf die abschließende Unfallanalyse sind die gefundenen Charakteristika und Entwicklungen zunächst im deutschen Unfallgeschehen zu prüfen und deren mögliche Einschränkungen auf das Wirkfeld von GAS abzuschätzen. Insbesondere der überdurchschnittliche Anteil alkoholisierter Fahrer und bei Regen verringert das Wirkfeld von GAS.

3.5.2 Marktdurchdringung

Bezüglich der Verbaurate von GAS lässt sich festhalten, dass diese aktuell noch sehr gering ist. So liegt die Verbaurate aktuell bei nur ca. 2 % und vor allem Neuwagen der höherklassigen Fahrzeugsegmente sind mit GAS ausgerüstet.

Die Entwicklung der Marktdurchdringung von GAS wird daher im Wesentlichen von der Entwicklung der Neuwagenzulassung ab 2022 und dem Anteil von Premiumklassefahrzeugen in der Fahrzeugflotte abhängen.

3.5.3 Funktionalität

Bezüglich der Funktionalität von GAS werden aktuell besonders die ab 2022 verpflichtenden ISA-Systeme fokussiert. Die Recherche zu existierenden GAS (Abschnitt 3.4) hat dabei gezeigt, dass bzgl. der Geschwindigkeitsregelung bei schlechten Bedingungen reduzierte Geschwindigkeiten nur umgesetzt werden, wenn diese explizit beschildert sind.

Um die aktuelle Funktionalität von GAS zur erweitern, wäre es demnach notwendig die statische Erkennung zulässiger Geschwindigkeiten mittels Karteninformationen oder Verkehrszeichenerkennung um die Aspekte der aktuellen und örtlichen Reibwert- und/oder der Sichtweitschätzung zu ergänzen. Die Kenntnis der Reibwertverhältnisse ist dabei die ausschlaggebende Basis für aktive Eingriffe im Falle einer Geschwindigkeitsreduzierung. Einen wesentlichen Einfluss auf den vorherrschenden Reibwert besitzen die Umweltbedingungen und die Straßenoberfläche. Abschnitt 5 widmet sich daher der Recherche bereits existierender FAS, welche sich der Erfassung und Aufbereitung von Wetterinformationen, der Abschätzung des Reibwerts der Straßenoberfläche und der sicheren Bestimmung von Sichtweiten widmen.

3.5.4 Nutzungshäufigkeit

GAS stoßen auf unterschiedlich große Akzeptanz, abhängig vom Unterstützungsgrad und der Eingriffsintensität. Je stärker ein ISA-System eingreift, desto weniger wird es von den Fahrern akzeptiert, obwohl diesen Systemen die größten Auswirkungen auf die tatsächlich gefahrenen Geschwindigkeiten und auf die Verkehrssicherheit zugeschrieben werden. Jedoch sehen die aktuellen Bestimmungen der Verordnung 2019/2144 des europäischen Parlaments und des Rates vor, dass die ab 2022 verpflichtend in Neuwagen zu verbauenden ISA-Systeme zwar händisch ausgeschaltet werden können, jedoch beim nächsten Fahrtantritt automatisch wieder aktiviert sind (Europäisches Parlament und der Rat der Europäischen Union 2019). Daher ist selbst bei einer geringen Akzeptanz der Systeme von einer sehr hohen Nutzungshäufigkeit auszugehen.

3.5.5 Unfallvermeidungspotenzial

Die Angaben zum Unfallvermeidungspotenzial der einzelnen Studien zeigen starke Schwankungen in ihren Werten in Abhängigkeit der gesetzlichen Regelungen zum Verbau von geschwindigkeitsreduzierenden Systemen (freiwillig/verbindlich) und der betrachteten Unfallschweren. Die höchsten Vermeidungspotenziale werden bei einem verpflichtenden Einsatz von GAS und bei besonders schweren Unfällen gesehen.

4 Unfallanalyse

4.1 Analyse des nationalen Unfallgeschehens

In der Auswertung nationaler Unfalldaten wurden die U_{Gesch} und $U_{Müd}$ für den Zeitraum von 2010 bis 2019 des Statistischen Bundesamtes (Destatis) analysiert. Dazu werden die von Destatis veröffentlichten Monatsberichte und Jahresberichte herangezogen. Die Zahlen ermöglichen es, sowohl die Entwicklung des Unfallgeschehens der letzten 10 Jahre als auch allgemeine auffällige Anteile einzelner Gruppen (Verkehrsteilnehmerarten, Altersgruppen, Monate etc.) der letzten 5 Jahre auszuwerten.

Während Müdigkeit als eine Ursache für einen Unfall angegeben wird, lassen sich geschwindigkeitsindizierte Unfälle weiter unterteilen nach „Überschreiten der zulässigen Höchstgeschwindigkeit“

und „nicht angepasste Geschwindigkeit in anderen Fällen“. Ob ein Fahrer eine nicht angepasste oder überhöhte Geschwindigkeit gewählt hat, basiert dabei auf den Angaben und Einschätzungen des unfallaufnehmenden Polizisten. Diese Angaben können jedoch nicht zweifelsfrei vor Ort verifiziert werden und werden daher lediglich als Indizien für einen Geschwindigkeitseinfluss gewertet („geschwindigkeitsindiziert“).

Zu beachten ist jedoch, dass die Destatis-Daten die Häufigkeit von Fehlverhalten der an einem Unfall beteiligten Personen angeben und nicht die Anzahl an Unfällen, bei denen die Ursachen auftraten.

4.1.1 U_{Müd}

Allgemein

Die Destatis-Daten zu Fehlverhaltenszahlen der Unfallursache 03 Übermüdung nach Unfallursachenverzeichnisses (Statistisches Bundesamt (Destatis) 2021) erlauben eine getrennte Analyse der Unfallkategorien „Unfall mit Personenschaden“ - U(P), „Unfälle mit schwerem Sachschaden im engeren Sinne“ - U(SS) und „Unfälle mit Getöteten“ - U(GT)“. U(P) umfassen dabei alle Unfälle mit Getöteten, Schwer- oder Leichtverletzten; U(SS) beschreiben Unfälle, bei denen die Unfallursache ein Straftatbestand (auch Einwirkung von Alkohol oder anderen berauschenden Mitteln) oder eine Ordnungswidrigkeit darstellt, für die die Ahndung mit einem Bußgeld vorgesehen ist. Darüber hinaus muss gleichzeitig mindestens ein Kfz aufgrund des Unfallschadens nicht mehr fahrbereit sein (Statistisches Bundesamt (Destatis) 2021).

Generell wird die Unfallursache Übermüdung sehr selten vergeben: bei U(SS) liegt der Anteil bei 1,5 %, bei U(P) bei etwa 0,5 % und bei U(GT) bei etwa 1 %. Das Fehlverhalten Übermüdung wird vorwiegend bei U(P) vergeben – zwischen U(SS) und U(P) wurden in den letzten 10 Jahren 95 % der Ursache bei U(P) vergeben, nur 5 % bei U(SS). Bei allen aufgezeichneten Fehlverhalten waren es 83 % aller Fehlverhalten bei U(P).

Tabelle 4-1 gibt einen Überblick über die Entwicklung der Fehlverhaltenszahlen für U(P), U(GT) und U(SS) für die Unfallursache Übermüdung über den Zeitraum 2010 bis 2019.

Eine weitere Auffälligkeit ist in der Entwicklung des Fehlverhaltens Müdigkeit bei Unfällen in den letzten 10 Jahren zu finden. Während die Anzahl der aufgenommenen Fehlverhalten bei U(P) annähernd auf gleichem Niveau geblieben ist, ist die Anzahl der Unfallursache Übermüdung um etwa 20 % angestiegen. Noch deutlicher wird die gegenläufige Entwicklung bei U(SS): bei einem Rückgang der verzeichneten Unfallursachen um 20 %, nahm im gleichen Zeitraum die Übermüdung als Unfallursache um 30 % zu (vgl. Bild 4-1). Die Fallzahlen für U(GT) sind für eine Auswertung zu gering.

Verkehrsteilnehmerart

Die Destatis-Daten erlauben zudem eine verkehrsteilnehmerfeine Analyse der Unfallursachen. Auffällig sind hierbei Güterkraftfahrzeuge (GKFZ). Bei GKFZ liegt der Anteil des Fehlverhaltens Übermüdung an allen Fehlverhalten bei etwa 3 % bei U(SS), 1,0 % bei U(P) und 2 % bei U(GT). Somit liegt der Anteil dieses Fehlverhaltens auf einem etwa doppelt so hohen Niveau im Vergleich zu allen Verkehrsteilnehmern (1,5 % / 0,5 % / 1,0 %).

Jahr	Fehlverhalten bei U(P)	Urs. 03 bei U(P)	Fehlverhalten bei U(GT)	Urs. 03 bei U(GT)	Fehlverhalten bei U(SS)	Urs. 03 bei U(GT)
2010	350.323	1.693	4.541	53	116.057	1.163
2011	371.821	1.874	5.042	58	103.962	1.248
2012	362.993	1.753	4.539	49	104.634	1.186
2013	350.381	1.683	4.087	48	102.360	1.293
2014	361.935	1.774	4.144	33	89.860	1.188
2015	366.448	1.836	4.379	50	88.193	1.322
2016	369.242	1.871	3.991	30	91.116	1.310
2017	360.736	1.940	3.906	44	94.301	1.420
2018	368.559	2.124	4.082	37	87.815	1.379
2019	355.084	2.037	3.732	44	87.834	1.488

Tab. 4-1: Entwicklung der Fehlverhaltenszahlen für U(P), U(GT) und U(SS) für die Unfallursache Übermüdung über den Zeitraum 2010 bis 2019

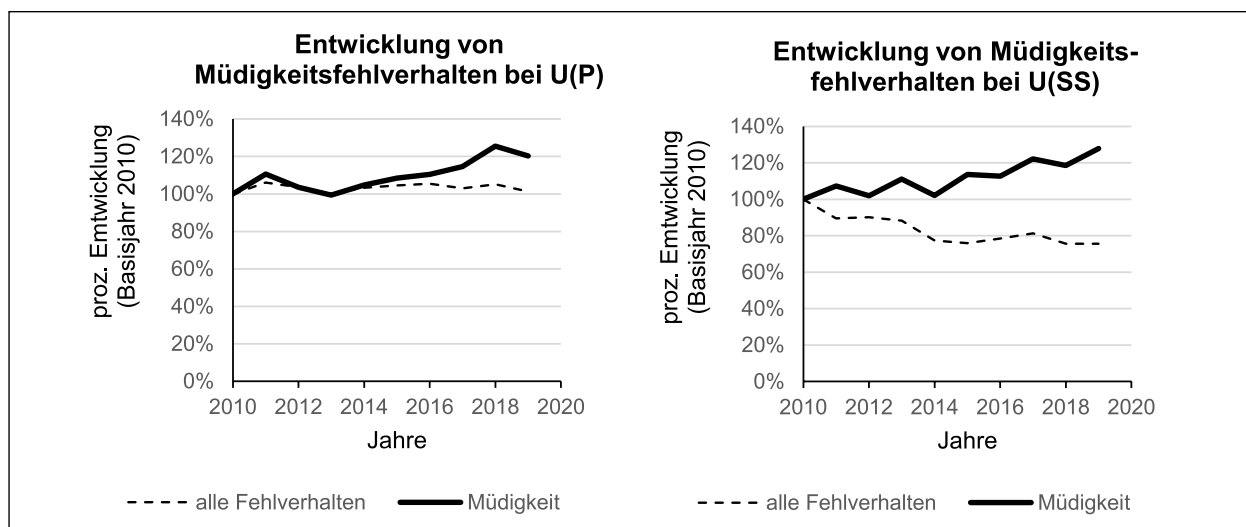


Bild 4-1: Entwicklung der Unfallursache Übermüdung zwischen 2010-2019

Jahr	Fehlerverhalten bei U(P)	Urs. 03 bei U(P)	Urs. 03 bei U(P) mit Pkw	Urs. 03 bei U(P) mit GKFZ	Urs. 03 bei U(P) mit anderen Verkehrsteilnehmern
2010	350.323	1.693	1.423	236	18
2011	371.821	1.874	1.564	275	20
2012	362.993	1.753	1.530	207	5
2013	350.381	1.683	1.432	231	15
2014	361.935	1.774	1.545	198	16
2015	366.448	1.836	1.579	223	20
2016	369.242	1.871	1.630	214	19
2017	360.736	1.940	1.673	237	14
2018	368.559	2.124	1.881	210	18
2019	355.084	2.037	1.786	219	15

Tab. 4-2: Verteilung der Fehlerverhalten und der Unfallursache Übermüdung bei U(P) nach Verkehrsteilnehmerart und Jahr (Statistisches Bundesamt (Destatis) 2011-2021)

Tabelle 4-2 zeigt die Verteilung des Fehlerhaltens bei U(P) für die Verkehrsteilnehmerarten über die Jahre 2010 bis 2019.

Dahingegen fällt die zeitliche Entwicklung der Unfallursache Übermüdung bei GKFZ positiv aus. Bild 4-2 zeigt die Entwicklung der verzeichneten Unfallursache Übermüdung bei U(P), getrennt für Pkw-Fahrer und Fahrer von GKFZ. Es wird deutlich, dass eher eine rückläufige Tendenz bei GKFZ stattfindet, während die starke Zunahme der verzeichneten Unfallursache Übermüdung auf Pkw-Fahrer zurückzuführen ist.

Ortslage

Die Unfallursache Übermüdung konzentriert sich stark auf den Außerortsbereich (auch Autobahnen) und verstärkt sich bei steigender Unfallschwere: bei U(SS) liegt der Außerortsanteil bei etwa 69 %, er-

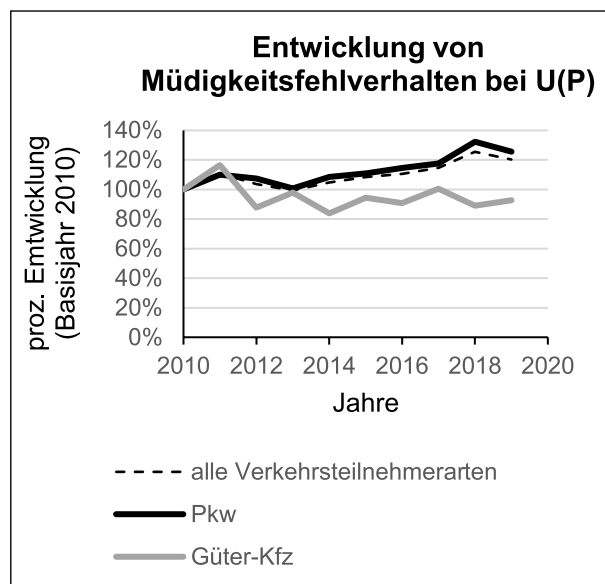


Bild 4-2: Entwicklung der Unfallursache Übermüdung nach Verkehrsteilnehmerart zwischen 2010-2019 (Statistisches Bundesamt (Destatis) 2011-2021)

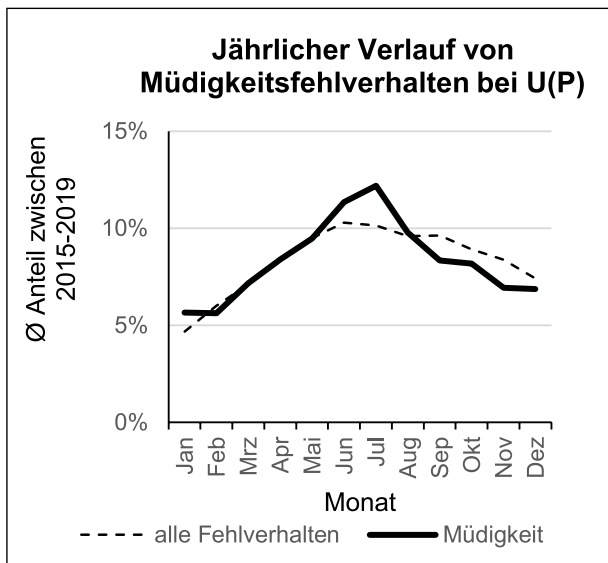


Bild 4-3: Jährlicher Verlauf der Unfallursache Übermüdung (durchschnittliche Werte zwischen 2015-2019) (Statistisches Bundesamt (Destatis) 2011-2021)

hört sich bei U(P) auf 73 % und erreicht bei U(GT) einen Anteil von 95 %. Die Anteilswerte blieben über die letzten 10 Jahre konstant.

Jahreszeitlicher Verlauf

Die Gegenüberstellung der Unfallursache Übermüdung zu allen Fehlverhalten im jährlichen Verlauf zeigt erhöhte Monatsanteile im Januar und in den Sommermonaten von Juni – August (vgl. Bild 4-3).

4.1.2 U_{Gesch}

Allgemein

Fehlverhalten (im Folgenden mit dem Zeichen „F“ gegenüber dem bisherigen „U“ für Unfall), die als erhöhte oder nicht angepasste Geschwindigkeit eingeschätzt worden sind, werden nach Unfallursachenverzeichnisses (Statistisches Bundesamt (Destatis) 2021)) aufgeteilt in die zwei Unfallursachen „Nicht angepasste Geschwindigkeit mit gleichzeitigem Überschreiten der zulässigen Höchstgeschwindigkeit“ ($F_{Gesch-Ü}$) und „Nicht angepasste Geschwindigkeit in anderen Fällen“ ($F_{Gesch-NA}$).

Dabei fällt auf, dass von allen verzeichneten Fehlverhalten bei U(P) nur 0,7 % $F_{Gesch-Ü}$ sind, wohingegen 12 % aller Fehlverhalten $F_{Gesch-NA}$ sind. Innerhalb der Fehlverhalten mit Geschwindigkeitsbezug besitzen $F_{Gesch-Ü}$ einen Anteil von 6 % und $F_{Gesch-NA}$ einen Anteil von 94 %.

Tabelle 4-3 gibt einen Überblick über die Verteilung der Fehlverhalten nach $F_{Gesch-Ü}$ und $F_{Gesch-NA}$ bei U(P).

Jahr	Fehlverhalten bei U(P)	Fehlverhalten $F_{Gesch-Ü}$ und $F_{Gesch-NA}$ bei U(P)	$F_{Gesch-Ü}$ bei U(P)	$F_{Gesch-NA}$ bei U(P)
2010	350.323	55.610	3.071	52.539
2011	371.821	49.659	3.239	46.420
2012	362.993	49.274	2.933	46.341
2013	350.381	48.730	2.870	45.860
2014	361.935	45.888	2.650	43.238
2015	366.448	47.024	2.659	44.365
2016	369.242	47.023	2.717	44.306
2017	360.736	45.058	2.318	42.740
2018	368.559	42.146	2.456	39.690
2019	355.084	41.173	2.130	39.043

Tab. 4-3: Verteilung des Fehlverhaltens der Unfallursachen $F_{Gesch-Ü}$ und $F_{Gesch-NA}$ bei U(P) (Statistisches Bundesamt (Destatis) 2011-2021)

Jahr	Fehlverhalten bei U(SS)	Fehlverhalten $F_{Gesch-Ü}$ und $F_{Gesch-NA}$ bei U(SS)	$F_{Gesch-Ü}$ bei U(SS)	$F_{Gesch-NA}$ bei U(SS)
2010	116.057	31.032	1.265	29.767
2011	103.962	21.143	1.315	19.828
2012	104.634	22.763	1.218	21.545
2013	102.360	22.441	1.241	21.200
2014	89.860	17.359	940	16.419
2015	88.193	17.020	980	16.040
2016	91.116	17.981	972	17.009
2017	94.301	18.861	865	17.996
2018	87.815	15.886	774	15.112
2019	87.834	16.234	795	15.439

Tab. 4-4: Verteilung des Fehlverhaltens der Unfallursachen $F_{Gesch-Ü}$ und $F_{Gesch-NA}$ bei U(SS) (Statistisches Bundesamt (Destatis) 2011-2021)

Auch bei U(SS) sind für nur 1 % $F_{Gesch-Ü}$ als Unfallursache vergeben worden, wohingegen 20 % $F_{Gesch-NA}$ als Ursache bei U(SS) vertreten sind. Geschwindigkeitsbezogene Fehlverhalten werden demnach tendenziell eher bei U(SS) vergeben als bei U(P). Innerhalb der Fehlverhalten mit Geschwindigkeitsbezug verteilen sich $F_{Gesch-Ü}$ und $F_{Gesch-NA}$ bei U(SS) ähnlich wie bei U(P) auf (5 % / 95 % $F_{Gesch-NA}$).

Tabelle 4-4 gibt einen analogen Überblick über die Verteilung von $F_{Gesch-Ü}$ und $F_{Gesch-NA}$ bei U(SS).

Bei Betrachtung der U(GT) fällt auf, dass von allen dabei verzeichneten Fehlverhalten 5 % auf $F_{Gesch-Ü}$ und 22 % auf $F_{Gesch-NA}$ entfallen. Die Ursachen werden demnach häufiger bei den schweren Unfällen

Jahr	Fehlverhalten bei U(GT)	Fehlverhalten $F_{Gesch-Ü}$ und $F_{Gesch-NA}$ bei U(GT)	$F_{Gesch-Ü}$ bei U(GT)	$F_{Gesch-NA}$ bei U(GT)
2010	4.541	1.362	257	1.105
2011	5.042	1.437	306	1.131
2012	4.539	1.250	256	994
2013	4.087	1.104	201	903
2014	4.144	1.093	219	874
2015	4.379	1.144	235	909
2016	3.991	1.030	202	828
2017	3.906	993	189	804
2018	4.082	1012	191	821
2019	3.732	921	163	758

Tab. 4-5: Verteilung des Fehlverhaltens der Unfallursachen $F_{Gesch-Ü}$ und $F_{Gesch-NA}$ bei U(GT) (Statistisches Bundesamt (Destatis) 2011-2021)

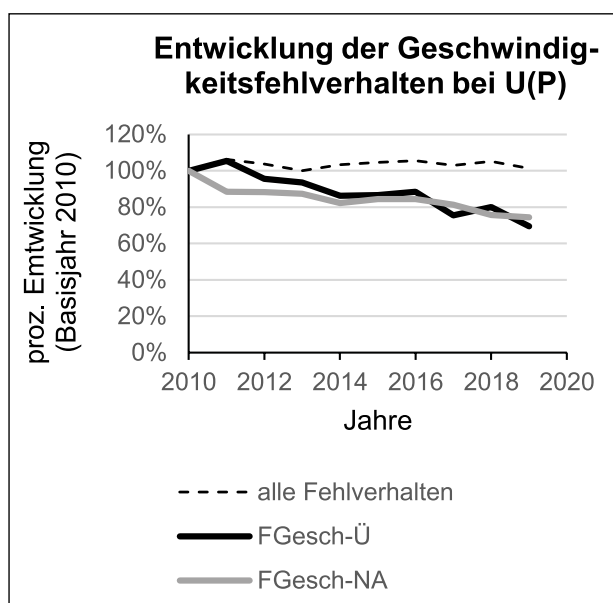


Bild 4-4: Entwicklung der geschwindigkeitsbezogenen Unfallursachen zwischen 2010-2019 (Statistisches Bundesamt (Destatis) 2011-2021)

Jahr	F_{Gesch} bei U(P)	F_{Gesch} bei U(P) mit Moped/Mofa	F_{Gesch} bei U(P) mit Motorrädern	F_{Gesch} bei U(P) mit Pkw	F_{Gesch} bei U(P) mit GKFZ	F_{Gesch} bei U(P) mit Fahrrad
2010	55.610	2.085	5.694	39.719	4.024	3.296
2011	49.659	2.190	6.197	34.104	2.797	3.731
2012	49.274	2.052	5.655	34.328	2.834	3.773
2013	48.730	1.852	5.932	33.817	2.749	3.783
2014	45.888	1.931	6.758	30.489	2.254	3.885
2015	47.024	1.857	6.801	31.559	2.335	3.900
2016	47.023	1.897	6.446	31.514	2.372	4.265
2017	45.058	1.738	6.448	29.755	2.352	4.245
2018	42.146	1.692	6.634	26.361	2.176	4.728
2019	41.173	1.751	6.174	25.759	1.976	4.868

Tab. 4-6: Verteilung der Fehlverhalten und der geschwindigkeitsbezogenen Fehlverhalten bei U(P) nach Verkehrsteilnehmerart und Jahr (Statistisches Bundesamt (Destatis) 2011-2021)

U(GT) als bei U(P) vergeben. Es ist ein deutlich höherer Anteil von $F_{Gesch-Ü}$ innerhalb der U(GT) mit Geschwindigkeitsbezug zu finden, als bei den anderen Unfallkategorien. Bei U(GT) sind 20 % der Fehlverhalten mit Geschwindigkeitsbezug $F_{Gesch-Ü}$, wohingegen der Anteil bei U(SS) oder U(P) nur 5 % innerhalb der Fehlverhalten mit Geschwindigkeitsbezug beträgt.

Tabelle 4-5 gibt einen Überblick über die $F_{Gesch-Ü}$ und $F_{Gesch-NA}$ bei U(GT).

Im Gegensatz zur Unfallursache Übermüdung sind die geschwindigkeitsbasierten Unfallursachen über die letzten 10 Jahre rückläufig. Sowohl $F_{Gesch-Ü}$ als auch $F_{Gesch-NA}$ sind im Vergleich zu 2010 um 25-30 % sowohl bei den U(SS), U(P) und U(GT) zurückgegangen. Bild 4-4 stellt dies beispielhaft für die geschwindigkeitsbezogenen Fehlverhalten bei U(P) dar.

Verkehrsteilnehmerart

Tabelle 4-6 gibt einen Überblick über die Verteilung der Fehlverhalten mit Geschwindigkeitsbezug F_{Gesch} bei U(P) für unterschiedliche Verkehrsteilnehmerarten von 2010 bis 2019.

Nicht nur bei U(P) sondern auch bei U(SS) und U(GT) liegt der Anteil von F_{Gesch} bei Motorrädern deutlich über den durchschnittlichen Werten anderer Verkehrsteilnehmerarten. Während bspw. bei U(P) etwa jedes achte Fehlverhalten einen Geschwindigkeitsbezug besitzt, ist es bei Motorrädern jedes dritte Fehlverhalten.

Darüber hinaus nehmen die F_{Gesch} über die vergangenen 10 Jahre bei Motorradfahrern zu. Noch höhere Anstiege sind nur bei Radfahrern festzustellen (+ 48 %). Güterkraftfahrzeuge und Pkw zeigen

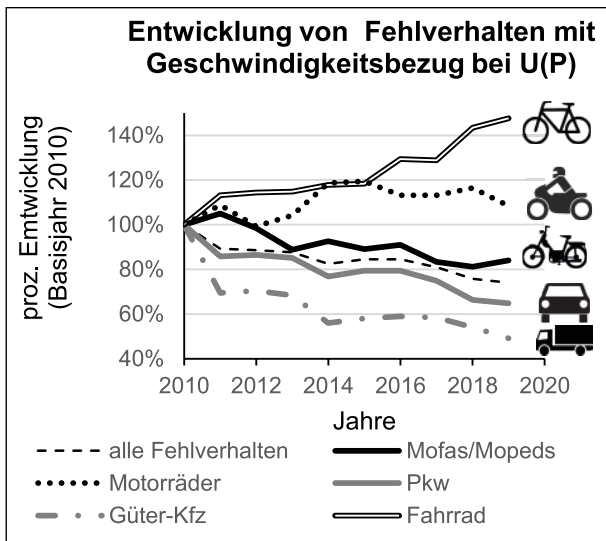


Bild 4-5: Entwicklung der geschwindigkeitsbezogenen Unfallursachen bei U(P) nach Verkehrsteilnehmerart zwischen 2010-2019 (Statistisches Bundesamt (Destatis) 2011-2021)

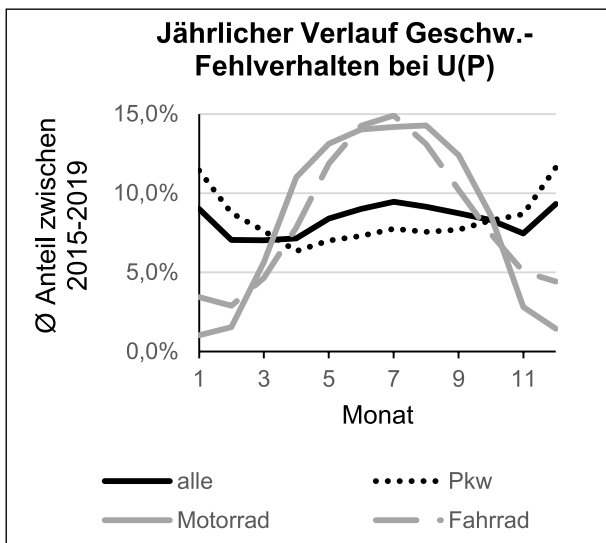


Bild 4-6: Jährlicher Verlauf der geschwindigkeitsbezogenen Unfallursachen nach Verkehrsteilnehmerart (durchschnittliche Werte zwischen 2015-2019) (Statistisches Bundesamt (Destatis) 2011-2021)

dementgegen einen Rückgang von F_{Gesch} (vgl. Bild 4-5). Anzumerken ist dabei, dass es sich um F_{Gesch} handelt, welche zu einem Großteil aus $F_{Gesch-NA}$ zusammensetzt – insbesondere bei Radfahrern kann demzufolge nicht auf eine tatsächliche Überschreitung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit geschlossen werden.

Ortslage

Geschwindigkeitsbezogene Fehlverhalten treten gehäuft im Außerortsbereich auf und verstärkt bei steigender Unfallschwere: von knapp 60 % bei U(P)

Altersgruppe	Fehlverhalten bei U(P)	F_{Gesch} bei U(P)	Anteil Altersgruppe an allen Fehlverhalten bei U(P)	Anteil Altersgruppe an allen F_{Gesch} bei U(P)
15 bis unter 18 Jahre	46.501	9.419	11 %	4 %
18 bis unter 21 Jahre	37.525	32.481	9 %	15 %
21 bis unter 25 Jahre	40.078	29.900	9 %	14 %
25 bis unter 35 Jahre	76.551	48.157	18 %	22 %
35 bis unter 45 Jahre	57.113	28.869	13 %	13 %
45 bis unter 55 Jahre	69.192	30.247	16 %	14 %
55 bis unter 65 Jahre	47.650	21.303	11 %	10 %
65 bis unter 75 Jahre	27.073	9.235	6 %	4 %
75 Jahre und mehr	24.917	7.608	6 %	4 %

Tab. 4-7: Aufteilung aller Fehlverhaltenszahlen sowie der F_{Gesch} bei U(P) für den Zeitraum 2015 bis 2019 für verschiedene Altersgruppen (Statistisches Bundesamt (Destatis) 2011-2021)

auf 80 % bei U(GT). Die Anteilswerte blieben über die letzten 10 Jahre konstant.

Jahreszeitlicher Verlauf

Die Gegenüberstellung der F_{Gesch} im jährlichen Verlauf zeigt Unterschiede zwischen einzelnen Verkehrsteilnehmerarten. Die Häufigkeitsverteilung der F_{Gesch} über Jahr von Pkw folgt dem allgemeinen jährlichen Verlauf aller gemeldeten F_{Gesch} mit leicht erhöhten Anteilen in den Wintermonaten. Für Motorräder und Fahrräder hingegen sind die Sommermonate deutlich überproportional vertreten im Vergleich zum allgemeinen jährlichen Verlauf der F_{Gesch} , was vermutlich auf deren Fahrleistung im Jahresverlauf zurückzuführen ist.

Dieser jährliche Verlauf ist in Bild 4-6 beispielhaft für U(P) dargestellt.

Alter

Speziell für geschwindigkeitsbezogene Unfallursachen können in den Jahresberichten des Statistischen Bundesamtes auch Altersgruppen aufgeschlüsselt analysiert werden.

Tabelle 4-7 gibt einen Überblick zur Aufteilung aller Fehlverhaltenszahlen sowie der F_{Gesch} bei U(P) für

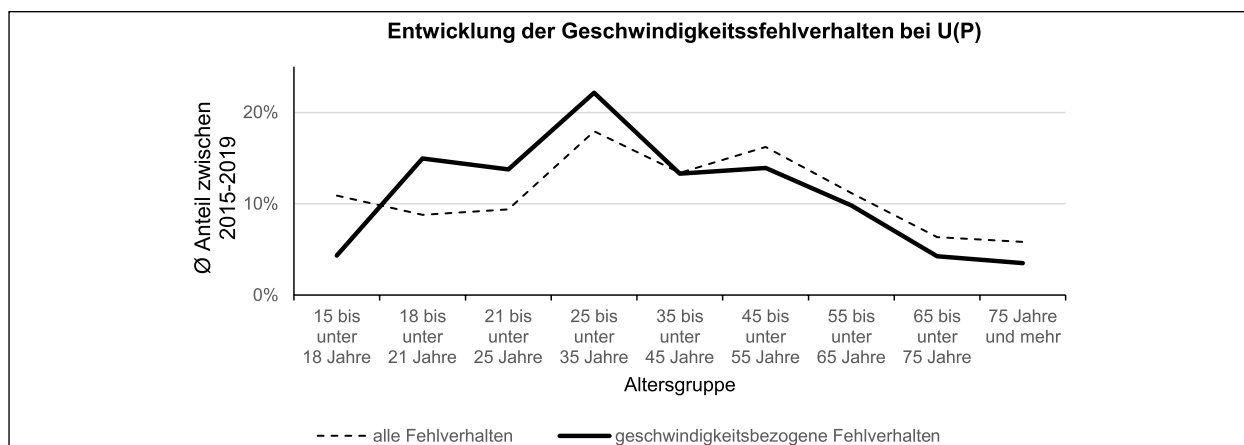


Bild 4-7: Anteil Fehlverhalten und F_{Gesch} in den jeweiligen Altersgruppen (Statistisches Bundesamt (Destatis) 2011-2021)

den Zeitraum 2015 bis 2019 für verschiedene Altersgruppen.

In allen verfügbaren Unfallkategorien (U(P), U(SS), U(GT)) ist ein erhöhter Anteil an F_{Gesch} in den Altersgruppen ab 18 Jahren bis unter 35 Jahren festzustellen. Bild 4-7 zeigt dies beispielhaft für U(P).

Jahr	U(P+S)	U(P)	U(S)	$U_{Müd}(P+S)$	$U_{Gesch}(P+S)$
2015	421.746	54.930	366.816	1.007	26.131
2016	499.117	63.074	436.043	1.094	31.995
2017	509.275	61.727	447.548	1.125	30.846
2018	501.383	63.373	438.010	1.225	27.231
2019	508.397	61.668	446.729	1.254	29.846

Tab. 4-8: Polizeiliche Unfalldaten nach Unfallkategorie und Unfallursachen

4.2 Analyse polizeilich erhobener Unfalldaten

Aufbauend auf den Auswertungen der nationalen Unfalldaten des Statistischen Bundesamtes werden die dem Fraunhofer IVI vorliegenden polizeilichen Unfalldaten der Jahre 2015 bis 2019 für die Bundesländer Sachsen, Hessen, Brandenburg, Bremen, Hamburg und Sachsen-Anhalt hinsichtlich des Unfallgeschehens von $U_{Müd}$ und U_{Gesch} analysiert. Insgesamt umfassen die vorliegenden polizeilichen Unfalldaten 2.439.920 Unfälle, davon 5.705 $U_{Müd}$ (Anteil von 0,2 %) und 146.046 auf in 12, 5% Unfälle (304.772) mit Personenschaden (U(P)) und 87,5 % Unfälle (2.135.146) mit Sachschäden (U(S)). Tabelle 4-8 gibt dazu einen Überblick.

Bild 4-8 zeigt dunkel hinterlegt das analysierte Erhebungsgebiet in Deutschland. Zu beachten gilt es dabei, dass flächenbezogen ein Großteil der erhobenen polizeilichen Unfalldaten in den östlichen Bundesländern (Sachsen, Brandenburg, Sachsen-Anhalt) liegt und damit Abweichungen zu dem gesamtdeutschen Erhebungsgebiet bestehen können.

Die polizeilichen Unfalldaten wurden in jeweils U_{Gesch} und $U_{Müd}$ und ein Vergleichskollektiv der verbleibenden Unfälle aufgeteilt, um Auffälligkeiten im Unfallgeschehen zu ermitteln. Wurden Vergleiche

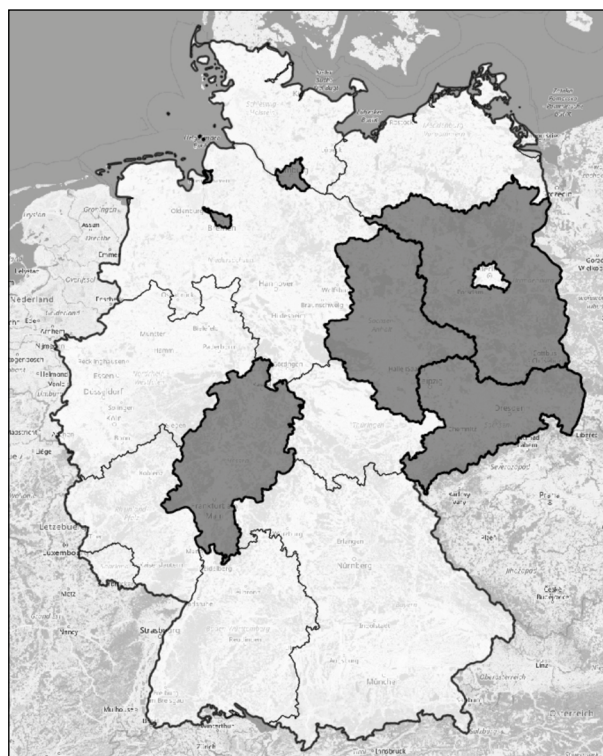


Bild 4-8: Übersicht der vorliegenden polizeilichen Unfalldaten von Merkmalsausprägungen auf Personenebene, wie Alter oder Geschlecht vorgenommen, wurde die Gruppe der müden Fahrer den Unfallverursachern bei sonstigen Unfällen gegenübergestellt.

Die nachfolgenden Erläuterungen beinhalten signifikante gefundene Unterschiede zwischen den

Gruppen und wenn die Signifikanz von in der Literatur gefundenen Auffälligkeiten von müdigkeits- oder geschwindigkeitsindizierten Unfällen nicht bestätigt werden konnte oder gar signifikant den Erkenntnissen aus der Literatur entgegenstand. Die Signifikanzanalysen der Merkmalsausprägungen basieren auf Chi-Quadrat-Tests. Eine vollständige Übersicht der vorgenommenen Auswertungen der polizeilichen Unfalldaten ist in Anhang I-1 bis Anhang I-4 aufgelistet.

4.2.1 $U_{Müd}$

In den polizeilichen Unfalldaten werden $U_{Müd}$ über die Unfallursache sowie mithilfe semantischer Analysen des polizeilichen Unfallhergangstextes bestimmt. Über die Filterung der Unfallursache „03“ nach dem Unfallursachenverzeichnis (Statistisches Bundesamt (Destatis) 2021)) konnten insgesamt 5.055 $U_{Müd}$ aus den verfügbaren Unfalldaten gefunden werden. Mittels der semantischen Analyse der Unfallhergangstexte wurden weitere 650 $U_{Müd}$ identifiziert. Dies zeigt, dass in der amtlichen Statistik womöglich eine Dunkelziffer von mehr als 10 % nicht erfasster $U_{Müd}$ besteht. Insgesamt wurden somit 5.705 $U_{Müd}$ aus den polizeilichen Unfalldaten gefiltert, was bei einer Gesamtzahl von 2.439.920 Unfalldaten einem Anteil von 0,2 % entspricht. Für die in den polizeilichen Unfalldaten untersuchten U(P) ergibt sich ein leicht erhöhter Anteil an $U_{Müd}$ von 0,68 %. Diese Anteilswerte entsprechen dem gesamtdeutschen Niveau. Die ausführlichen Auswertungen finden sich im Anhang I-1.

Merkmal Unfallzeit

Die Auswertungen der polizeilichen Unfalldaten zum Unfallzeitpunkt ergaben, dass sich der Hauptteil der $U_{Müd}$ in den frühen Morgenstunden von 04:00 bis 08:00, den späten Abend- und frühen Nachtstunden von 22:00 bis 04:00 Uhr erstreckt. Diese Ergebnisse bestätigen somit die in der Literaturrecherche gewonnenen Erkenntnisse. Eine bei

der Literaturrecherche gefundene erhöhte Anzahl an $U_{Müd}$ in den späten Nachmittagsstunden / frühen Abendstunden in der Zeit von 16:00 bis 19:00 Uhr im Rahmen der berufsbedingten Rush-Hour konnte mit den polizeilichen Unfalldaten hingegen nicht bestätigt werden. Der Anteil bei $U_{Müd}$ lag da sogar noch niedriger als im Vergleichskollektiv.

$U_{Müd}$ treten nach den durchgeführten Analysen verstärkt an den Wochenendtagen Samstag und Sonntag auf. Zudem ergaben die Auswertungen, dass $U_{Müd}$ leicht verstärkt in den Sommermonaten auftreten. Tabelle 4-9 zeigt die Aufteilung der $U_{Müd}$ sowie der Unfälle des Vergleichskollektivs bezüglich der Unfallzeit. Die Spalte „Datenebene“ gibt dabei an, aus welcher Ebene der Unfallinformationen die Daten herrühren. Auf „Fall“-Ebene werden Informationen gespeichert, welche spezifisch für einen Unfall angegeben werden können; auf „Beteiligten“-Ebene werden Informationen gespeichert, die einem Unfall zugeordnet werden können und hierbei speziell dem müden Fahrer zugeordnet werden können.

Merkmal Unfallcharakteristik

Die Unfallcharakteristik von $U_{Müd}$ ist durch einen erhöhten Anteil an Unfällen mit Abkommen von der Fahrbahn nach rechts (Unfallart 8) sowie Abkommen von der Fahrbahn nach links (Unfallart 9) gekennzeichnet.

Auch prallen bei $U_{Müd}$ involvierte Fahrzeuge häufiger auf ein Hindernis auf. Die untersuchten $U_{Müd}$ fanden zudem häufiger in/an Kurven sowie an Unfallstellen mit Steigungen und Gefälle statt als die Unfälle des Vergleichskollektivs. Tabelle 4-10 zeigt die Aufteilung von $U_{Müd}$ und den Unfällen des Vergleichskollektivs für die genannten Unfallcharakteristika

Der Großteil der untersuchten $U_{Müd}$ fand außerorts statt. Dabei wurden höhere Anteile an $U_{Müd}$ auf Autobahnen, auf Bundesstraßen sowie zu geringem Teil auch auf Landstraßen beobachtet.

Daten-ebene	Betrachtete Ausprägung	Müd.unfälle		sonstige Unfälle		Anteil		p	
		N wahr	N falsch	N wahr	N falsch	Müd.-unfälle	sonstige Unfälle		
Fall	22:00-4:00	1.135	4.570	181.103	2.112.768	19,9 %	7,9 %	0,00	***
Fall	4:00-8:00	1.686	4.019	274.163	2.019.708	29,6 %	12,0 %	0,00	***
Fall	16:00-19:00	727	4.978	452.625	1.841.246	12,7 %	19,7 %	0,00	***
Fall	Samstag	873	4.832	258.598	2.035.272	15,3 %	11,3 %	0,00	***
Fall	Sonntag	952	4.753	171.674	2.122.196	16,7 %	7,5 %	0,00	***
Fall	Sommer	1.791	3.914	585.901	1.707.970	31,4 %	25,5 %	0,00	***

Tab. 4-9: Statistische Auswertung der polizeilichen Unfalldaten ($U_{Müd}$) bzgl. der Merkmale zur Unfallzeit

Daten- ebene	Betrachtete Ausprägung	Müd.- unfälle		sonstige Unfälle		Anteil		p	
		N wahr	N falsch	N wahr	N falsch	Müd.- unfälle	sonstige Unfälle		
Fall	Unfallart 8	2.113	3.592	63.707	2.230.156	37,0 %	2,8 %	0,00	***
Fall	Unfallart 9	1.680	4.025	37.259	2.256.604	29,4 %	1,6 %	0,00	***
Fall	Aufprall Hindernis	3.875	1.830	214.413	2.079.457	67,9 %	9,3 %	0,00	***
Fall	Kurve	1.045	712	95.016	655.268	59,5 %	12,7 %	0,00	***
Fall	Steigung/Gefälle	550	1.207	125.517	624.767	31,3 %	16,7 %	0,00	***
Fall	innerorts	1.646	4.059	1.681.090	612.780	28,9 %	73,3 %	0,00	***
Fall	Autobahn	2.522	3.183	165.393	2.128.465	44,2 %	7,2 %	0,00	***
Fall	Bundesstraße	1.211	4.494	319.323	1.974.535	21,2 %	13,9 %	0,00	***
Fall	Landstraße	968	4.737	309.577	1.984.281	17,0 %	13,5 %	0,00	***
Fall	Staatsstraße	232	5.473	126.380	2.167.478	4,1 %	5,5 %	0,00	***
Fall	Gemeindestraße	772	4.933	1.373.185	920.673	13,5 %	59,9 %	0,00	***
Fall	Unfallkategorie 1 oder 2	808	1.264	51.091	208.741	39,0 %	19,7 %	0,00	***
Fall	Vzul=100 km/h	549	1.359	75.392	546.194	28,8 %	12,1 %	0,00	***
Fall	Vzul=130 km/h	393	1.515	14.760	606.826	20,6 %	2,4 %	0,00	***

Tab. 4-10: Statistische Auswertung der polizeilichen Unfalldaten ($U_{Müd}$) bzgl. der Merkmale zur Unfallcharakteristik

Auch zeigen die Analysen, dass $U_{Müd}$ häufiger mindestens einen schwerverletzten oder getöteten Beteiligten (39 % vs. 20 %, $p < 0,01$) nach sich ziehen. Dies bedeutet eine insgesamt höhere Unfallschwere für $U_{Müd}$ als für die Unfälle des Vergleichskollektivs. Des Weiteren ist auffällig, dass $U_{Müd}$ häufiger bei hohen zulässigen Geschwindigkeitsbegrenzungen von 100 km/h oder 130 km/h auftreten als Unfälle des Vergleichskollektivs. Dies kann jedoch auch in starkem Zusammenhang mit den zuvor erwähnten Straßenklassen stehen. Tabelle 4-10 zeigt die Aufteilung von $U_{Müd}$ und den Unfällen des Vergleichskollektivs bezüglich der Unfallcharakteristik.

Merkmal Unfallbeteiligte

Unfallbeteiligte bei $U_{Müd}$ haben öfter Alkohol konsumiert als Unfallverursacher des Vergleichskollektivs. Auffallend ist zudem, dass die Gruppen der 18-25-Jährigen sowie der 25-35-Jährigen bei $U_{Müd}$ stärker vertreten sind. Dies bestätigt die in der Literaturrecherche gewonnene Erkenntnis, dass diese Unfallursache unter Fahranfängern und jungen Fahrern häufiger zu finden ist.

In der Literaturrecherche wurde zudem herausgefunden, dass müde Fahrer öfter allein im Fahrzeug unterwegs sind. Dieser Einfluss konnte mithilfe der polizeilichen Unfalldaten jedoch nicht bestätigt werden. Hier ist das Gegenteil der Fall, so sind bei $U_{Müd}$

deutlich mehr Fahrer mit Mitfahrern beteiligt als bei den Unfällen des Vergleichskollektivs. Die polizeilichen Unfalldaten zeigen zudem, dass der Anteil männlicher Fahrer bei $U_{Müd}$ erhöht gegenüber dem Vergleichskollektiv ist. Darüber hinaus sind bei den $U_{Müd}$ häufiger Pkw und LKW als Unfallverursacher beteiligt als bei Unfällen des Vergleichskollektivs. Tabelle 4-11 zeigt die Verteilung der $U_{Müd}$ und der Unfälle des Vergleichskollektivs für die verschiedenen Beteiligtenmerkmale.

Merkmal Umwelt

Bei der Analyse umweltbezogener Merkmale in den polizeilichen Unfalldaten zeigte sich, dass $U_{Müd}$ häufiger bei Dunkelheit (34 % vs. 22 %, $p < 0,01$) auftreten als Unfälle des Vergleichskollektivs. Bei den $U_{Müd}$ konnten bezüglich nasser oder glatter Fahrbahn keine signifikanten Unterschiede zu den Unfällen des Vergleichskollektivs festgestellt werden. (16 % vs. 17 %, $p = 0,07$). Damit kann die Erkenntnis der Literaturrecherche, dass bei Regen mehr $U_{Müd}$ stattfinden, nicht bestätigt werden.

Merkmal Unfallursachen

In den polizeilichen Unfalldaten werden die Unfallursachen unterschieden nach allgemeinen Ursachen auf Unfallebene (wie z. B. Straßenverhältnisse, Witterungseinflüsse etc.) sowie nach spezifi-

Datenebene	Betrachtete Ausprägung	Müd.-unfälle		sonstige Unfälle		Anteil		p	
		N wahr	N falsch	N wahr	N falsch	Müd.-unfälle	sonstige Unfälle		
Beteiligter	Blut- oder Atemalkohol	390	5.315	30.200	2.263.670	6,8 %	1,3 %	0,00	***
Beteiligter	18-25 Jahre	1.088	4.565	208.874	1.702.184	19,2 %	10,9 %	0,00	***
Beteiligter	25-35 Jahre	1.308	4.345	357.699	1.553.359	23,1 %	18,7 %	0,00	***
Beteiligter	Weitere Insassen	456	5.249	17.725	2.276.145	8,0 %	0,8 %	0,00	***
Beteiligter	männlich	4.764	941	1.336.923	956.946	83,5 %	58,3 %	0,00	***
Beteiligter	Fahrrad	21	5.684	46.344	2.247.471	0,4 %	2,0 %	0,00	***
Beteiligter	Lkw	947	4.758	273.984	2.019.831	16,6 %	11,9 %	0,00	***
Beteiligter	Motorrad	20	5.685	22.863	2.270.952	0,4 %	1,0 %	0,00	***
Beteiligter	Pkw	4.659	1.046	1.630.884	662.931	81,7 %	71,1 %	0,00	***
Beteiligter	Sonstige	54	5.651	307.755	1.986.060	0,9 %	13,4 %	0,00	***

Tab. 4-11: statistische Auswertung der polizeilichen Unfalldaten ($U_{Müd}$) bzgl. der Merkmale zu Unfallbeteiligten

Daten-ebene	Betrachtete Ausprägung	Müd.-unfälle		sonstige Unfälle		Anteil		p	
		N wahr	N falsch	N wahr	N falsch	Müd.-unfälle	sonstige Unfälle		
Fall	Keine weiteren allgemeinen Ursachen	5.409	296	1.865.704	428.166	94,8 %	81,3 %	0,00	***
Beteiligter	Keine weiteren Ursachen der Beteiligten	82	5.623	316.148	1.977.722	1,4 %	13,8 %	0,00	***
Beteiligter	Urs.: Alkohol	389	5.316	28.837	2.265.033	6,8 %	1,3 %	0,00	***
Beteiligter	Urs.: berauschende Mittel	133	5.572	4.384	2.289.486	2,3 %	0,2 %	0,00	***
Beteiligter	Urs.: körperliche/geistige Mängel	226	5.479	8.877	2.284.993	4,0 %	0,4 %	0,00	***
Beteiligter	Urs.: Verstoß Rechtsfahrgebot	547	5.158	59.104	2.234.766	9,6 %	2,6 %	0,00	***
Beteiligter	Urs.: n. ang. Gesch. i.a.F.	747	4.958	0	2.293.870	13,1 %	0,0 %	0,00	***
Beteiligter	Urs.: Andere Fehler beim Fahrzeugführer	2.736	2.969	847.548	1.446.322	48,0 %	36,9 %	0,00	***

Tab. 4-12: Statistische Auswertung der polizeilichen Unfalldaten ($U_{Müd}$) bzgl. der Unfallursachen

schen Unfallursachen je Beteiligten (z. B. Verkehrstüchtigkeit, Vorfahrt etc.). Generell auffällig ist, dass, bezogen auf das Vergleichskollektiv, auf allgemeiner Ebene häufiger keine weiteren Ursachen angegeben werden. Auf Beteiligtebene werden jedoch häufiger weitere Ursachen neben der Müdigkeit codiert. Bei $U_{Müd}$ treten demzufolge häufiger überlagernde beteiligtenbezogene Ursachen auf - nur in 1,4 % der Fälle werden keine weiteren Ursachen auf Beteiligtebene bei der Unfallaufnahme eingetragen.

Bezüglich der Unfallursachen auf Beteiligtebene lässt sich feststellen, dass insbesondere Einschränkungen der Verkehrstüchtigkeit des Fahrers, wie „Alkoholeinfluss“, „Einfluss anderer berauschender Mittel“ sowie „sonstige körperliche oder geistige Mängel bei $U_{Müd}$ häufiger codiert wurden.

Neben der Ursache „Müdigkeit“ wurden auffällig häufig auch eine nicht angepasste Geschwindigkeit, andere Fehler des Fahrzeugführers und der Verstoß gegen das Rechtsfahrgebot als zusätzliche Ursachen angegeben (vgl. Tabelle 4-12).

Typische Unfallcharakteristika von $U_{Müd}$ nach Verkehrsteilnehmerarten

$U_{Müd}$ von LKW ereignen sich gehäuft außerorts auf Autobahnen (73 % aller $U_{Müd}$ von LKW) und dabei oft im Bereich von Kurven (10 % aller $U_{Müd}$ von LKW) oder von Steigungen/Gefällen (4 % aller $U_{Müd}$ von LKW). Die meisten $U_{Müd}$ von PKW ereignen sich ebenfalls außerorts auf Autobahnen, konzentrieren sich aber mit 39 % aller $U_{Müd}$ von PKW nicht so stark auf diese Straßenkategorie wie $U_{Müd}$ von Lkw-Fahrern. Die Gesamtstichprobe an $U_{Müd}$ verursacht durch Motorradfahrer ist mit 20 Unfällen sehr

gering, sodass keine weiteren aussagekräftigen Differenzierungen der Unfallkonstellation vorgenommen werden können.

4.2.2 U_{Gesch}

In den polizeilichen Unfalldaten des Untersuchungsgebiets werden U_{Gesch} allein über die Unfallursache bestimmt. Dabei kann die nicht angepasste Geschwindigkeit als Unfallursache mit der Zahl 12 oder 13 nach dem Unfallursachenverzeichnis (Statistisches Bundesamt (Destatis) 2021) kodiert werden. Die Zahl 12 beschreibt dabei die Unfallursache „nicht angepasste Geschwindigkeit mit gleichzeitigem Überschreiten der zulässigen Höchstgeschwindigkeit“ – $U_{Gesch-Ü}$. Die Zahl 13 beschreibt die Unfallursache „nicht angepasste Geschwindigkeit in anderen Fällen“ – $U_{Gesch-NA}$. Über die Filterung der Unfallursache konnten insgesamt 146.046 U_{Gesch} aus den verfügbaren Unfalldaten gefunden werden. Das entspricht einem Anteil von 6 % bei einer Gesamtzahl von etwa 2,4 Mio. untersuchten Unfällen im polizeilichen Unfalldatensatz. Für die in den polizeilichen Unfalldaten untersuchten U(P) beträgt der Anteil an U_{Gesch} 11,3 %. Damit liegt der Anteil geschwindigkeitsbezogener Unfälle auf dem bundesdeutschen Niveau.

Im Allgemeinen werden die Analysen für beide Unfallursachen zusammen betrachtet. Allerdings wurden die Betrachtungen in einem zweiten Schritt auch zusätzlich für jede Unfallursache separat durchgeführt, um eventuelle Unterschiede zwischen $U_{Gesch-Ü}$ und $U_{Gesch-NA}$ zu finden. Die ausführlichen Auswertungen sind in Anhang I-2, Anhang I-3 und Anhang I-4 dargestellt.

Merkmal Unfallzeit

Die Analysen der polizeilichen Unfalldaten bezüglich des Unfallzeitpunkts ergaben, dass geschwindigkeitsindizierte Unfälle häufiger nachts in der Zeit von 22:00-04:00 Uhr sowie in den frühen Morgenstunden zwischen 04:00-08:00 Uhr auftreten. In der morgendlichen Rush-Hour traten hingegen weniger U_{Gesch} auf als Unfälle im Vergleichskollektiv. Sowohl der erhöhte Anteil in der Literatur während der frühen Morgenstunden als auch in den Nachtstunden konnte somit bestätigt werden. Erwähnenswert ist hierbei, dass $U_{Gesch-Ü}$ keinen signifikant höheren Anteil in den frühen Morgenstunden zwischen 04:00-08:00 Uhr haben als Unfälle des Vergleichskollektivs. Allein $U_{Gesch-NA}$ haben hier signifikant höhere Anteile.

Bezüglich der Wochentage konnte in allen drei Geschwindigkeitskollektiven ein höherer Anteil an U_{Gesch} an den Wochenendtagen Samstag und Sonntag festgestellt werden. Somit können die in der Literaturrecherche identifizierten Einflüsse zum Teil bestätigt werden. Die Analysen der polizeilich erhobenen Unfalldaten ergeben zudem, dass U_{Gesch} häufiger in den Wintermonaten auftreten als Unfälle des Vergleichskollektivs. Allerdings treten nur $U_{Gesch-NA}$ häufiger in den Wintermonaten auf. $U_{Gesch-Ü}$ haben keinen signifikant höheren Anteil in den Wintermonaten als Unfälle des Vergleichskollektivs. Sie treten hingegen etwas häufiger in den Sommermonaten auf. Folgende Tabelle 4-13 zeigt die Aufteilung der U_{Gesch} , der $U_{Gesch-Ü}$ und der $U_{Gesch-NA}$ sowie der Unfälle des Vergleichskollektivs bezüglich der Unfallzeit.

Merkmal Unfallcharakteristik

Ähnlich $U_{Müd}$ sind bei U_{Gesch} ebenfalls eher Unfälle außerorts oder auf Autobahnen vertreten. Dies bestätigt auch die in der Literaturrecherche bereits gewonnenen Erkenntnisse. Allerdings ist die Abweichung des Anteils der U_{Gesch} auf Autobahnen zum Vergleichskollektiv am stärksten bei $U_{Gesch-NA}$ ausgeprägt. Darüber hinaus sind insbesondere Bereiche von Kurven und Gefälle- oder Steigungstrecken häufiger bei U_{Gesch} als bei den Unfällen des Vergleichskollektivs vorzufinden. Dabei prallen die involvierten Fahrzeuge häufiger auf ein Hindernis auf als bei Unfällen des Vergleichskollektivs. Dieser Anteil liegt für Fahrzeuge bei $U_{Gesch-Ü}$ sogar noch leicht erhöht bei 60 %.

Mit einem erhöhten Anteil an Unfällen mit mindestens einem Schwerverletzten oder Getöteten und Fahrzeuge, welche die Spur verlassen haben (Unfallart 8 und 9), existieren weitere Ähnlichkeiten zu $U_{Müd}$.

Tabelle 4-12 zeigt die Aufteilung der U_{Gesch} , der $U_{Gesch-Ü}$ und der $U_{Gesch-NA}$ sowie der Unfälle des Vergleichskollektivs für die verschiedenen Merkmale der Unfallcharakteristik.

Merkmal Unfallbeteiligte

35 % der Fahrenden mit zu hoher oder nicht angepasster Geschwindigkeit wurden im Zuge des Unfalls schwer verletzt oder getötet. Der Anteil liegt somit ungefähr gleich dem Anteil bei $U_{Müd}$. Häufiger waren unerfahrene Fahrende zwischen 18-25 oder 25-35 Jahren betroffen. Am deutlichsten treten diese Altersgruppen im Kollektiv der tatsächlichen Überschreitung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit

Daten- ebene	Betrachtete Ausprägung	Geschw.- unfälle		sonstige Unfälle		Anteil		p	
		N wahr	N falsch	N wahr	N falsch	Geschw.- unfälle	sonstige Unfälle		
Unfälle mit nicht angepasster Geschwindigkeit (U_{Gesch})									
Fall	22:00-4:00	18.927	127.122	181.103	2.112.768	13,0 %	7,9 %	0,00	***
Fall	4:00-8:00	21.152	124.897	274.163	2.019.708	14,5 %	12,0 %	0,00	***
Fall	Samstag	21.387	124.663	258.598	2.035.272	14,6 %	11,3 %	0,00	***
Fall	Sonntag	20.155	125.895	171.674	2.122.196	13,8 %	7,5 %	0,00	***
Fall	Sommer	32.905	113.144	585.901	1.707.970	22,5 %	25,5 %	0,00	***
Fall	Winter	45.603	100.446	515.864	1.778.007	31,2 %	22,5 %	0,00	***
... mit gleichzeitigem Überschreiten der zulässigen Höchstgeschwindigkeit ($U_{Gesch-ij}$)									
Fall	22:00-4:00	984	2.995	181.103	2.112.768	24,7 %	7,9 %	0,00	***
Fall	4:00-8:00	457	3.522	274.163	2.019.708	11,5 %	12,0 %	0,38	-
Fall	Samstag	690	3.289	258.598	2.035.272	17,3 %	11,3 %	0,00	***
Fall	Sonntag	699	3.280	171.674	2.122.196	17,6 %	7,5 %	0,00	***
Fall	Sommer	1.135	2.844	585.901	1.707.970	28,5 %	25,5 %	0,00	***
Fall	Winter	910	3.069	515.864	1.778.007	22,9 %	22,5 %	0,58	-
... in anderen Fällen ($U_{Gesch-NA}$)									
Fall	22:00-4:00	17.964	124.190	181.103	2.112.768	12,6 %	7,9 %	0,00	***
Fall	4:00-8:00	20.709	121.445	274.163	2.019.708	14,6 %	12,0 %	0,00	***
Fall	Samstag	20.715	121.440	258.598	2.035.272	14,6 %	11,3 %	0,00	***
Fall	Sonntag	19.469	122.686	171.674	2.122.196	13,7 %	7,5 %	0,00	***
Fall	Sommer	31.791	110.363	585.901	1.707.970	22,4 %	25,5 %	0,00	***
Fall	Winter	44.713	97.441	515.864	1.778.007	31,5 %	22,5 %	0,00	***

Tab. 4-13: Statistische Auswertung der polizeilichen Unfalldaten (U_{Gesch}) bzgl. der Merkmale zur Unfallzeit

keit auf ($U_{Gesch-ij}$). Dies bestätigt auch die bereits in der Literaturrecherche gewonnenen Erkenntnisse. Dahingegen sind Fahrende über 65 Jahre signifikant seltener in geschwindigkeitsinduzierten Unfällen involviert. Diese Erkenntnis widerspricht somit dem in der Literaturrecherche identifizierten Merkmal, dass zum Teil ältere Fahrende stärker in U_{Gesch} involviert sind.

Auch konnte bei U_{Gesch} neben der nicht angepassten Geschwindigkeit bei den Fahrern Alkohol im Blut oder dem Atem nachgewiesen werden. Dies bestätigt die bereits in der Literaturrecherche gefundene Erkenntnis. Der Anteil alkoholisierter Fahrer ist bei $U_{Gesch-ij}$ noch einmal deutlich höher – bei etwa jedem 6. Beteiligten mit einer geschwindigkeitsinduzierten Ursache wurde zusätzlich eine entsprechende Atem- oder Blutalkoholkonzentration festgestellt. Zudem sind häufiger männliche Fahrer bei U_{Gesch} beteiligt. Auch hier ist der Anteil bei den $U_{Gesch-ij}$ deutlich erhöht.

Allerdings wurde ähnlich wie bei den $U_{Müd}$ bei den U_{Gesch} ebenfalls festgestellt, dass Fahrer mit geschwindigkeitsinduzierten Ursachen häufiger einen

Mitfahrer im Fahrzeug hatten als bei den Unfällen des Vergleichskollektivs. Damit wird die in der Literaturrecherche identifizierte Aussage widerlegt, dass in U_{Gesch} involvierte Fahrer häufig allein im Fahrzeug unterwegs sind. Besonders für $U_{Gesch-ij}$ ist der Anteil an Fahrern mit Mitfahrern im Fahrzeug deutlich höher als für die Unfälle des Vergleichskollektivs.

Tabelle 4-15 zeigt die Verteilung der U_{Gesch} , der $U_{Gesch-ij}$ und der $U_{Gesch-NA}$ und der Unfälle des Vergleichskollektivs in den polizeilichen Unfalldaten für die verschiedenen Merkmale der Unfallbeteiligten.

Merkmal Umwelt

Bei der Analyse umfeldbezogener Merkmale in den polizeilichen Unfalldaten zeigte sich, dass $U_{Müd}$ häufiger bei Dunkelheit (31 % vs. 22 %, $p < 0,01$) auftreten als Unfälle des Vergleichskollektivs. Dieser Anteil ist für $U_{Gesch-ij}$ sogar noch einmal deutlich erhöht (42 % vs. 22 %, $p < 0,01$). Auffällig ist zudem, dass U_{Gesch} häufiger bei nasser oder glatter Fahrbahn auftreten als die Unfälle des Vergleichskollektivs. (35 % vs. 17 %, $p < 0,01$).

Daten- ebene	Betrachtete Ausprägung	Geschw.- unfälle		sonstige Unfälle		Anteil		p	
		N wahr	N falsch	N wahr	N falsch	Geschw.- unfälle	sonstige Unfälle		
Unfälle mit nicht angepasster Geschwindigkeit (U_{Gesch})									
Fall	innerorts	67.058	78.992	1.681.090	612.780	45,9 %	73,3 %	0,00	***
Fall	Autobahn	30.890	115.158	165.393	2.128.465	21,2 %	7,2 %	0,00	***
Fall	Kurve	56.951	38.976	95.016	655.268	59,4 %	12,7 %	0,00	***
Fall	Steigung/Gefälle	22.715	73.212	125.517	624.767	23,7 %	16,7 %	0,00	***
Fall	Unfallart 8	50.293	95.756	63.707	2.230.156	34,4 %	2,8 %	0,00	***
Fall	Unfallart 9	36.011	110.038	37.259	2.256.604	24,7 %	1,6 %	0,00	***
Fall	Aufprall Hindernis	79.183	66.867	214.412	2.079.457	54,2 %	9,3 %	0,00	***
Fall	Unfallkategorie 1 und 2	15.109	29.831	51.091	208.741	33,6 %	19,7 %	0,00	***
... mit gleichzeitigem Überschreiten der zulässigen Höchstgeschwindigkeit ($U_{Gesch.ij}$)									
Fall	Autobahn	337	3.642	165.392	2.128.465	8,5 %	7,2 %	0,00	***
Fall	Aufprall Hindernis	2.388	1.591	214.412	2.079.457	60,0 %	9,3 %	0,00	***
... in anderen Fällen ($U_{Gesch-NA}$)									
Fall	Autobahn	30.560	111.594	165.392	2.128.465	21,5 %	7,2 %	0,00	***
Fall	Aufprall Hindernis	76.851	65.304	214.412	2.079.457	54,1 %	9,3 %	0,00	***

Tab. 4-14: Statistische Auswertung der polizeilichen Unfalldaten (U_{Gesch}) bzgl. der Merkmale zur Unfallcharakteristik

Daten- ebene	Betrachtete Ausprägung	Geschw.- unfälle		sonstige Unfälle		Anteil		p	
		N wahr	N falsch	N wahr	N falsch	Geschw.- unfälle	sonstige Unfälle		
Unfälle mit nicht angepasster Geschwindigkeit (U_{Gesch})									
Beteiligter	18-25 Jahre	32.276	104.466	208.874	1.702.184	23,6 %	10,9 %	0,00	***
Beteiligter	25-35 Jahre	33.541	103.201	357.699	1.553.359	24,5 %	18,7 %	0,00	***
Beteiligter	65-75 Jahre	6.025	130.717	158.677	1.752.381	4,4 %	8,3 %	0,00	***
Beteiligter	>75 Jahre	5.162	131.580	152.716	1.758.342	3,8 %	8,0 %	0,00	***
Beteiligter	Blut- oder Atemalkohol	10.291	135.759	30.200	2.263.670	7,0%	1,3%	0,00	***
Beteiligter	männlich	101.821	44.229	1.336.923	956.946	69,7 %	58,3 %	0,00	***
Beteiligter	Weitere Insassen	7.141	138.909	17.725	2.276.145	4,9 %	0,8 %	0,00	***
... mit gleichzeitigem Überschreiten der zulässigen Höchstgeschwindigkeit ($U_{Gesch.ij}$)									
Beteiligter	18-25 Jahre	1.284	2.400	208.874	1.702.184	34,9 %	10,9 %	0,00	***
Beteiligter	25-35 Jahre	1.010	2.674	357.699	1.553.359	27,4 %	18,7 %	0,00	***
Beteiligter	65-75 Jahre	95	3.589	158.677	1.752.381	2,6 %	8,3 %	0,00	***
Beteiligter	>75 Jahre	60	3.624	152.716	1.758.342	1,6 %	8,0 %	0,00	***
Beteiligter	Blut- oder Atemalkohol	665	3.314	30.200	2.263.670	16,7 %	1,3 %	0,00	***
Beteiligter	männlich	3.266	713	1.336.923	956.946	82,1 %	58,3 %	0,00	***
Beteiligter	Weitere Insassen	434	3.545	17.725	2.276.145	10,9 %	0,8 %	0,00	***
... in anderen Fällen ($U_{Gesch-NA}$)									
Beteiligter	18-25 Jahre	31.020	102.118	208.874	1.702.184	23,3 %	10,9 %	0,00	***
Beteiligter	25-35 Jahre	32.546	100.592	357.699	1.553.359	24,4 %	18,7 %	0,00	***
Beteiligter	65-75 Jahre	5.932	127.206	158.677	1.752.381	4,5 %	8,3 %	0,00	***
Beteiligter	>75 Jahre	5.102	128.036	152.716	1.758.342	3,8 %	8,0 %	0,00	***
Beteiligter	Blut- oder Atemalkohol	9.640	132.515	30.200	2.263.670	6,8 %	1,3 %	0,00	***
Beteiligter	männlich	98.614	43.541	1.336.923	956.946	69,4 %	58,3 %	0,00	***
Beteiligter	Weitere Insassen	6.716	135.439	17.725	2.276.145	4,7 %	0,8 %	0,00	***

Tab. 4-15: Statistische Auswertung der polizeilichen Unfalldaten (U_{Gesch}) bzgl. der Merkmale zu Unfallbeteiligten

Daten- ebene	Betrachtete Ausprägung	Geschw.- unfälle		sonstige Unfälle		Anteil		p	
		N wahr	N falsch	N wahr	N falsch	Geschw.- unfälle	sonstige Unfälle		
Unfälle mit nicht angepasster Geschwindigkeit (U_{Gesch})									
Fall	Keine weiteren allgemeinen Ursachen	113.300	32.750	1.865.704	428.166	77,6 %	81,3 %	0,00	***
Beteiligter	Keine weiteren Ursachen der Beteiligten	0	146.050	316.148	1.977.722	0,0 %	13,8 %	0,00	***
Fall	Urs.: Schnee, Eis	15.351	130.699	7.172	2.286.698	10,5 %	0,3 %	0,00	***
Fall	Urs.: Regen	8.742	137.308	11.893	2.281.977	6,0 %	0,5 %	0,00	***
Beteiligter	Urs.: Alkohol	10.219	135.831	28.837	2.265.033	7,0 %	1,3 %	0,00	***
Beteiligter	Urs.: andere berauschende Mittel	1.608	144.442	4.384	2.289.486	1,1 %	0,2 %	0,00	***
... mit gleichzeitigem Überschreiten der zulässigen Höchstgeschwindigkeit ($U_{Gesch-ü}$)									
Fall	Keine weiteren allgemeinen Ursachen	3.522	457	1.865.704	428.166	88,5 %	81,3 %	0,00	***
Beteiligter	Keine weiteren Ursachen der Beteiligten	0	3.979	316.148	1.977.722	0,0 %	13,8 %	0,00	***
... in anderen Fällen ($U_{Gesch-NA}$)									
Fall	Keine weiteren allgemeinen Ursachen	109.834	32.321	1.865.704	428.166	77,3 %	81,3 %	0,00	***
Beteiligter	Keine weiteren Ursachen der Beteiligten	0	142.155	316.148	1.977.722	0,0 %	13,8 %	0,00	***

Tab. 4-16: Statistische Auswertung der polizeilichen Unfalldaten (U_{Gesch}) bzgl. der Unfallursachen

Merkmal Unfallursachen

Wie bereits bei den $U_{Müd}$ tragen auch bei U_{Gesch} mehrere Ursachen auf Beteiligtebene zur Unfallentstehung bei, jedoch gilt dies bei U_{Gesch} auch für allgemeine Unfallursachen, wie Straßenverhältnisse oder Witterungseinflüsse, welche zusätzlich die Unfallentstehung beeinflussen. Bei genauerer Betrachtung fällt jedoch auf, dass zusätzliche allgemeine Ursachen nur bei $U_{Gesch-NA}$ überproportional häufig genannt werden; bei tatsächlicher Überschreitung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit ($U_{Gesch-ü}$) werden vergleichsweise weniger weitere Ursachen codiert. Allgemeine Ursachen, welche bei U_{Gesch} signifikant häufiger angegeben werden, zählen glatte oder schlüpfrige Straßenverhältnisse, wie Schnee, Eis oder Regen.

Weitere Unfallursachen auf Beteiligtebene waren, wie bei $U_{Müd}$, die Alkoholisierung der Fahrer, welchen bereits eine nicht angepasste Geschwindigkeit zugeschrieben wurde oder die Einnahme anderer berauschender Mittel durch die Fahrer.

Die auffälligen weiteren allgemeinen und beteiligtenbezogenen Unfallursachen bei polizeilich gemeldeten U_{Gesch} werden in Tabelle 4-16 zusammengefasst.

Typische Charakteristika von U_{Gesch} nach Verkehrsteilnehmerarten

U_{Gesch} von LKW ereignen sich am häufigsten außerorts auf Autobahnen (33 %) und dabei in 2/3 der Fälle gehäuft im Bereich von Kurven (20 % aller U_{Gesch} von LKW) oder an Steigungen/Gefälle (4 % aller U_{Gesch} von LKW). U_{Gesch} von LKW auf innerörtlichen Gemeindestraßen bilden 24 % aller U_{Gesch} von LKW und ereignen sich dabei öfter im Bereich von Kurven (5 % aller U_{Gesch} von LKW) und Kreuzungen (4 % aller U_{Gesch} von LKW)

Die meisten U_{Gesch} von Motorrädern ereignen sich hingegen innerorts auf Gemeindestraßen (29 % aller U_{Gesch} von Motorrädern) und dabei öfter im Bereich von Kurven (8 % aller U_{Gesch} von Motorrädern). U_{Gesch} von Motorrädern auf außerörtlichen Landstraßen bilden 21 % der U_{Gesch} von Motorrädern ab, und nahezu alle dieser Unfälle fanden im Bereich von Kurven statt (17 % aller U_{Gesch} von Motorrädern).

Nahezu jeder vierte U_{Gesch} von PKW ereignet sich innerorts auf Gemeindestraßen (28 % aller U_{Gesch} von PKW) und dabei gehäuft im Bereich von Kurven (6 % aller U_{Gesch} von PKW). Etwa jeder fünfte U_{Gesch} von PKW fand außerorts auf Autobahnen (22 % aller U_{Gesch} von PKW) statt und darunter die

Hälfte im Bereich von Kurven (9 % aller U_{Gesch} von PKW).

Werden nur U_{Gesch} mit einer tatsächlichen Überschreitung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit ($U_{Gesch-\dot{U}}$) betrachtet, so sind bei LKW-Fahrern ebenfalls mit 27 % aller $U_{Gesch-\dot{U}}$ auch gehäuft außerörtliche Bundesstraßen auffällig.

4.3 Analyse In-Depth Unfalldaten (GIDAS)

Aufbauend auf den bereits erfolgten Analysen der nationalen und der polizeilichen Unfalldaten wurden tiefergehende Auswertungen von $U_{Müd}$ und U_{Gesch} durchgeführt. Dazu werden die dem Fraunhofer IVI vorliegenden GIDAS-Daten ausgewertet. GIDAS-Daten sind sogenannte In-Depth-Unfalldaten. Damit werden Unfalldaten beschrieben, die direkt am Unfallort erhoben werden und so eine weitere vertiefende Unfalluntersuchung in Ergänzung zu den Auswertungen polizeilich erhobener Unfalldaten ermöglichen. Im Rahmen des durchgeführten Projektes standen 3.911 fertig rekonstruierte GIDAS-Fälle zwischen 2016-2020 für das Dresdner Erhebungsgebiet zur Verfügung. Die Ausdehnung des Erhebungsgebiets erfolgte derart, dass Unfallkonstellationen, -orte und -beteiligte möglichst repräsentativ in den erhobenen Unfalldaten auftauchen. Bild 4-9 stellt die Ausdehnung des Dresdner Gebiets dar, mit der Stadt Dresden in der Mitte des vergrößerten Ausschnitts und den umliegenden Verwaltungsgebieten.

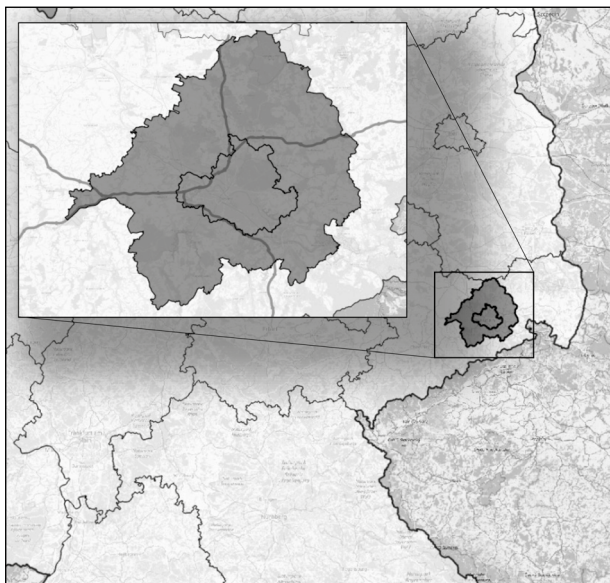


Bild 4-9: Übersicht des Dresdner GIDAS-Erhebungsgebiets

Analog zur Auswertung polizeilicher Unfalldaten wurden die GIDAS-Daten in jeweils $U_{Müd}$, U_{Gesch} und ein Vergleichskollektiv der verbleibenden Unfälle aufgeteilt, um Auffälligkeiten im Unfallgeschehen zu ermitteln. Wurden Vergleiche von Merkmalsausprägungen auf Personenebene, wie Alter, Lenkzeiten etc. vorgenommen, wurde die Gruppe der müden Fahrer den Unfallverursachern bei sonstigen Unfällen gegenübergestellt.

Die nachfolgenden Erläuterungen beinhalten gefundene signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen und wenn die Signifikanz von in der Literatur gefundenen Auffälligkeiten von müdigkeits- oder geschwindigkeitsindizierten Unfällen nicht bestätigt werden konnte oder gar signifikant den Erkenntnissen aus der Literatur stehen entgegen. Die Signifikanzanalysen der Merkmalsausprägungen basieren analog zur Auswertung der polizeilichen Unfalldaten auf Chi-Quadrat-Tests und sind in Form des P-Wertes in der Tabelle aufgeführt. Eine vollständige Übersicht der vorgenommenen Auswertungen ist in Anhang II aufgelistet.

4.3.1 $U_{Müd}$

Als $U_{Müd}$ wurden Unfälle definiert, welche auf Fall- oder Beteiligtebene die Unfallursache Übermüdung aufwiesen. Weiterhin wurde das Kollektiv ergänzt um weitere Fälle, in denen in den Variablen der Befragungsdaten oder semantisch im Unfallhergangstext auf Fallebene Indizien für Müdigkeit des Fahrers zu finden waren. Insgesamt konnten 56 Unfälle mit Müdigkeitseinfluss in den GIDAS-Daten identifiziert werden. Dies entspricht einem Anteil von etwa 1,4 % der fertig rekonstruierten Fälle und liegt in etwa auf demselben Niveau der amtlichen Unfallstatistik, jedoch höher als der Anteil von 0,2 % an $U_{Müd}$ im Kollektiv der polizeilichen Unfalldaten.

Die geringe Fallzahl der analysierten GIDAS-Daten kann bei einzelnen zu untersuchten Kriterien aufgrund fehlender Informationen (z. B. durch Verweigerung der Teilnahme an der Befragung, fehlende Spuren, bereits geräumte Unfallorte etc.) zusätzlich eingeschränkt sein. Daher sind detaillierte Auswertungen der vorliegenden Daten nur beschränkt möglich oder erreichen die Unterschiede zwischen $U_{Müd}$ und den sonstigen Unfällen in den prozentualen Häufigkeitsverteilungen keine Signifikanz. Nachfolgend werden die durchgeführten Merkmalsauswertungen für die untersuchten $U_{Müd}$ vorgestellt.

Daten-ebene	Betrachtete Ausprägung	Müd.-unfälle		sonstige Unfälle		Anteil		p	
		N wahr	N falsch	N wahr	N falsch	Müd.-unfälle	sonstige Unfälle		
Fall	frühe Morgenstunden (4:00-7:59) oder späte Abendstunden (20:00-23:59)	21	35	586	2.283	37,5 %	20,4 %	0,0031	***
Fall	Unfallzeit 7:00-8:59	4	52	372	2497	7,1 %	13,0 %	0,2766	-
Fall	Unfallzeit 16:00-18:59	5	51	608	2.261	8,9 %	21,2 %	0,0387	*
Fall	Wochentag (Montag-Freitag)	36	20	2.375	494	64,3 %	82,8 %	0,0006	***

Tab. 4-17: Statistische Auswertung der In-Depth Unfalldaten ($U_{Müd}$) bzgl. der Merkmale zur Unfallzeit

Daten-ebene	Betrachtete Ausprägung	Müd.-unfälle		sonstige Unfälle		Anteil		p	
		N wahr	N falsch	N wahr	N falsch	Müd.-unfälle	sonstige Unfälle		
Fall	Unfallstelle Kurve	23	33	107	2.755	41,1 %	3,7 %	0,0000	***
Beteiligter	Spur unbeabsichtigt verlassen vor 1. Kollision	34	33	149	2.255	50,8 %	6,2 %	0,0000	***
Beteiligter	Grund Spur verlassen Müdigkeit	20	45	0	2.655	30,8 %	0,0 %	0,0000	***
Fall	außerorts	28	28	247	2.615	50,0 %	8,6 %	0,0000	***
Fall	außerorts ohne Autobahn	19	37	201	2.684	33,9 %	7,0 %	0,0000	***
Fall	Autobahn	9	47	46	2.839	16,1 %	1,6 %	0,0000	***
Fall	Unfall mit Schwerverletzten oder Getöteten	30	26	874	1.992	53,6 %	30,5 %	0,0004	***
Beteiligter	Schuldiger Fahrer ist mit mindestens einem Objekt kollidiert	38	19	459	2.273	66,7 %	16,8 %	0,0000	***

Tab. 4-18: Statistische Auswertung der In-Depth Unfalldaten ($U_{Müd}$) bzgl. der Merkmale zur Unfallcharakteristik

Merkmals Unfallzeit

Bezüglich des Unfallzeitpunkts zeigte sich, analog zu den Ergebnissen der Literaturrecherche, ein erhöhter Anteil $U_{Müd}$ in den frühen Morgenstunden von 4-8 Uhr und während den späten Abendstunden von 20-24 Uhr. Ein erhöhter Anteil in der abendlichen Rush-hour konnte hingegen nicht bestätigt werden. Hier zeigte sich eher ein geringerer, leicht signifikanter Anteil im Vergleich zu den sonstigen Unfällen. $U_{Müd}$ zeichnen sich ebenfalls durch eine weniger starke Konzentration auf Wochentage verglichen zu den sonstigen Unfällen aus (vgl. Tabelle 4-17).

Merkmals Unfallcharakteristik

In der Unfallcharakteristik waren $U_{Müd}$ geprägt durch einen erhöhten Anteil an von der Fahrbahn abgekommenen Fahrzeugen und durch kurvige Unfallstellen. Das deckt sich mit den definierten Indikatoren in englischsprachigen Ländern zur Identifikation möglicher $U_{Müd}$. Die Analyse zeigte zudem, dass diese Unfälle häufiger außerorts oder auf Autobahnen stattfanden. Zudem zeigte sich eine erhöhte Unfallschwere und Verletzungsschwere.

Während in der Gruppe der sonstigen Unfälle etwa jeder dritte Unfall mindestens einen Schwerverletzten und Getöteten beinhaltete, waren es bei den $U_{Müd}$ etwa jeder zweite Unfall. Auffällig häufig kollidierten müde Fahrer mit mindestens einem Hindernis im Zuge des Unfalls (67 % vs. 17 %, $p < 0,001$). Die Ergebnisse der Analyse decken sich damit mit den Ergebnissen der Literaturrecherche (vgl. Tabelle 4-18).

Merkmals Unfallbeteiligte

Analog zeigte sich auf Unfallbeteiligtebene, dass sich müde Unfallbeteiligte beim Unfall eher schwer verletzt oder getötet wurden als Unfallverursacher bei sonstigen Unfällen. 16 % der müden Unfallbeteiligten waren zum Zeitpunkt des Unfalls bereits länger als 16 Stunden wach, was nur für 2 % der sonstigen Unfallverursacher gilt. Müde Unfallbeteiligte zeichnen sich darüber hinaus dadurch aus, dass sie häufiger bereits mindestens 10 km Fahrtweg vor dem Unfall zurückgelegt haben oder häufiger länger als 30 Minuten keine Pause eingelegt haben oder eine Lenkzeit von mehr als 1,5 Stunden absolviert haben.

Daten- ebene	Betrachtete Ausprägung	Müd.- unfälle		sonstige Unfälle		Anteil		p	
		N wahr	N falsch	N wahr	N falsch	Müd.- unfälle	sonstige Unfälle		
Beteiligter	Fahrer ist schwerverletzt oder getötet	24	47	353	2.503	33,8 %	12,4 %	0,0000	***
Beteiligter	Wachzeit seit dem Aufstehen ≥ 16 h	8	42	24	1.426	16 %	1,7 %	0,0000	***
Beteiligter	Fahrstrecke vor Unfall 10 km – 100 km	27	22	375	1.085	55,1 %	25,7 %	0,0000	***
Beteiligter	Fahrstrecke vor Unfall >100 km	5	44	37	1.423	10,2 %	2,5 %	0,0056	**
Beteiligter	Fahrzeit seit letzter Pause >30 min	11	34	147	1.208	24,4 %	10,9 %	0,0094	*
Beteiligter	Fahrzeit seit letzter Pause >1,5 h	5	40	42	1.313	11,1 %	3,1 %	0,0119	*
Beteiligter	Lenkzeit vor Unfall >1,5 h	6	40	68	1.340	13,0 %	4,8 %	0,0313	*
Beteiligter	Lenkzeit vor Unfall >2,5 h	6	40	39	1.369	13,0 %	2,8 %	0,0004	***
Beteiligter	Schuldiger Fahrer ist 18-24 Jahre alt	9	46	202	2.285	16,4 %	8,1 %	0,0519	.
Beteiligter	1 Insasse im Fahrzeug	51	21	2.261	484	70,8 %	82,4 %	0,0181	*

Tab. 4-19: Statistische Auswertung der In-Depth Unfalldaten ($U_{Müd}$) bzgl. der Merkmale zu Unfallbeteiligten

Daten- ebene	Betrachtete Ausprägung	Müd.- unfälle		sonstige Unfälle		Anteil		p	
		N wahr	N falsch	N wahr	N falsch	Müd.- unfälle	sonstige Unfälle		
Fall	Wenig Verkehr (vereinzelt oder leicht)	53	3	2.130	683	94,6 %	75,7 %	0,0018	***
Fall	Nacht/Dämmerung	15	97	595	5.127	13,4 %	10,4 %	0,0999	-
Fall	Niederschlag vorhanden	1	54	62	2.787	1,8 %	2,2 %	1,0000	-

Tab. 4-20: Statistische Auswertung der In-Depth Unfalldaten ($U_{Müd}$) bzgl. der Umweltmerkmale

Die Literatur erwähnt, dass ein erhöhter Anteil müder Fahrer Fahranfänger oder junge Fahrer sind. Die Analyse der Fahrer zwischen 18-24 Jahren zeigte die leicht signifikante Tendenz, dass eher 18-24-jährige Fahrer unter den $U_{Müd}$ zu finden sind. Dass müde Unfallbeteiligte eher alleine im Fahrzeug unterwegs waren als andere Unfallverursacher, konnte in den GIDAS-Daten nicht bestätigt werden. Stattdessen war der Anteil alleinfahrender müder Unfallbeteiligter mit 71 % geringer im Vergleich zu 82 % bei sonstigen Unfallverursachern (vgl. Tabelle 4-19).

Merkmale Umwelt

Mit den Auffälligkeiten bzgl. der Unfallzeit einhergehend, finden die $U_{Müd}$ häufiger bei freiem Verkehrsfluss³ statt.

Bei der Analyse weiterer umweltbezogener Merkmale, konnten die Erkenntnisse der Literaturrecherche nicht bestätigt werden: bezüglich der Lichtverhältnisse zeigte sich kein signifikant erhöhter Anteil bei $U_{Müd}$ während der Dunkelheit oder während der

Dämmerung und das Merkmal „Niederschlag“ konnten nicht ausgewertet werden, da lediglich ein Unfall im Kollektiv unter diesen Witterungsbedingungen stattfand (vgl. Tabelle 4-20).

4.3.2 U_{Gesch}

Für die Filterung von Unfällen mit Geschwindigkeitseinfluss wurden mehrere Kriterien verwendet. Einerseits wurden GIDAS-Fälle verwendet bei denen innerhalb der polizeilichen Erhebung die Unfallursachen „nicht angepasste Geschwindigkeit mit gleichzeitigem Überschreiten der zulässigen Höchstgeschwindigkeit“ oder „nicht angepasste Geschwindigkeit in anderen Fällen“ codiert wurden. Andererseits wurde das Kollektiv ergänzt um Unfälle, bei denen auf Fall- oder Beteiligtebene durch die Erheber diese Unfallursachen angegeben wurden. Letztlich wurden weitere Fälle ergänzt, in denen bei der Unfallrekonstruktion die Einlaufgeschwindigkeiten abzüglich der angegebenen Toleranzen die zulässigen Geschwindigkeiten um 5 km/h überschritten haben – damit ist eine Analyse

³ entspricht den Ausprägungen 1 „vereinzelt fahrende Fahrzeuge“ und 2 „leichter Verkehr – deutliche Lückenbildung“ in der erhobenen Verkehrsstufe

der Dunkelziffer gegenüber der amtlichen Unfallstatistik möglich. Es konnten abschließend 991 U_{Gesch} identifiziert werden. Im Vergleich zu den $U_{Müd}$ sind bei dieser Kollektivgröße umfangreichere Analysen möglich.

Tabelle 4-21 listet den Informationsursprung für die U_{Gesch} auf. Ein Großteil der Unfälle kann bereits aus den polizeilichen Daten entnommen werden. Jedoch konnten ca. 20 % der Unfälle nur durch weitere GIDAS-Daten identifiziert werden. Daran wird deutlich, dass eine hohe Dunkelziffer bzgl. U_{Gesch} besteht, die in der amtlichen Unfallstatistik nicht auftauchen. Auf jeden vierten U_{Gesch} in der amtlichen Statistik kommt demnach ein weiterer Unfall, bei dem der Geschwindigkeitsbezug unentdeckt blieb.

Bei 3.911 fertig rekonstruierten GIDAS-Unfällen liegt der Anteil von U_{Gesch} bei 23,2 % und entspricht dem Doppelten des Anteils in der amtlichen Statistik (13 %) oder des ausgewerteten Kollektivs an polizeilich erhobenen Unfalldaten (11 %). Innerhalb der U_{Gesch} bilden die Unfälle mit Überschreitung der zulässigen Geschwindigkeit einen Anteil von 11 %, welcher dem Doppelten des Werten der amtlichen Statistik (5 %) entspricht.

Informationsquelle	Anzahl Unfälle
In polizeilichen Angaben	802
Zusätzlich aus GIDAS-Daten	189
Gesamt	991

Tab. 4-21: Übersicht zur Informationsquelle geschwindigkeitsindizierter Unfälle in GIDAS

Daten-ebene	Betrachtete Ausprägung	Gesch.-unfälle		sonstige Unfälle		Anteil		p	
		N wahr	N falsch	N wahr	N falsch	Gesch.-unfälle	sonstige Unfälle		
Fall	Nacht	177	812	422	2.439	17,9 %	14,8 %	0,0213	*
Fall	Dämmerung	76	913	173	2.688	7,7 %	6,0 %	0,0836	.
Fall	Unfallzeit 7:00-8:59	91	898	372	2.497	9,2 %	13,0 %	0,0020	***
Fall	Unfallzeit frühe Morgenstunden (4:00-7:59) oder späte Abendstunden (20:00-23:59)	227	762	586	2.283	23,0 %	20,4 %	0,1020	-
Fall	Wochentag	705	284	2.375	494	71,3 %	82,8 %	0,0000	***
Fall	Wenig Verkehr (vereinzelt oder leicht)	797	172	2.130	683	82,2 %	75,7 %	0,0000	***

Tab. 4-22: Statistische Auswertung der In-Depth Unfalldaten (U_{Gesch}) bzgl. der Merkmale zur Unfallzeit

Merkmals Unfallzeit

Die Analyse des Unfallzeitpunkts ergab, dass U_{Gesch} häufiger bei Dunkelheit und Dämmerung stattfinden, jedoch konnte der erhöhte Anteil in der Literatur während der frühen Morgenstunden von 48 Uhr und den späten Abendstunden von 20-24 Uhr nicht bestätigt werden. Lediglich während der morgendlichen Rushhour (7-9 Uhr) wurden signifikant seltener U_{Gesch} festgestellt werden. Bezüglich des Wochenverlaufs finden U_{Gesch} analog zu den Auswertungen der polizeilichen Unfalldaten signifikant häufiger am Wochenende statt.

Des Weiteren finden geschwindigkeitsindizierte Unfälle häufiger bei freiem Verkehrsfluss statt (vgl. Tabelle 4-22).

Obwohl ein Zusammenhang zwischen dem Unfallzeitpunkt („Nacht“ oder „frühe Morgen- und späte Abendstunden“) und der Verkehrsdichte zu vermuten wäre, liegt der Cramér-V-Wert ⁴jedoch nur bei 0,13, sodass nur ein eher schwacher Zusammenhang zwischen beiden Größen besteht und unterschiedliche Einflüsse repräsentieren.

Merkmals Unfallcharakteristik

Ähnlich den $U_{Müd}$ sind bei U_{Gesch} ebenfalls eher Unfälle außerorts, auf Autobahnen und im Bereich von Kurven vertreten. Darüber hinaus sind insbesondere Gefällestrecken und Fahrbahnoberflächen abseits von Asphalt/Beton⁵ häufiger vorzufinden.

Mit einem erhöhten Anteil an Unfällen, bei denen mindestens ein Schwerverletzter oder Getöteter betroffen war und Fahrzeuge, welche die Spur verlassen haben und der Kollision mit mindestens einem

⁴ Ähnlich dem Korrelationskoeffizienten r für metrische Variablen ist das Cramér-V ein Maß für den statistischen Zusammenhang zwischen zwei nominalskalierten Variablen. (CRAMÉR 1946)

⁵ Pflastersteine, Sand, gemischte Fahrbahnoberflächen oder andere nicht-betonierte oder -asphalтиerte Fahrbahnoberflächen

Daten- ebene	Betrachtete Ausprägung	Gesch.- unfälle		sonstige Unfälle		Anteil		p	
		N wahr	N falsch	N wahr	N falsch	Gesch.- unfälle	sonstige Unfälle		
Fall	außerorts	397	590	247	2.615	40,2 %	8,6 %	0,0000	***
Fall	außerorts ohne Autobahn	289	702	201	2.684	29,2 %	7,0 %	0,0000	***
Fall	Autobahn	108	883	46	2.839	10,9 %	1,6 %	0,0000	***
Fall	Unfallstelle Kurve	317	668	107	2.755	32,2 %	3,7 %	0,0000	***
Beteiligter	Gefälle	589	776	868	1.434	43,2 %	37,7 %	0,0013	***
Beteiligter	Pflaster, Sand, Schotter, andere, unterschiedliche Beläge	134	1.478	441	2.421	8,3 %	15,4 %	0,0000	***
Fall	Unfall mit Schwerverletzten oder Getöteten	467	519	874	1.992	47,4 %	30,5 %	0,0000	***
Beteiligter	Spur unbeabsichtigt verlassen vor 1. Kollision	357	1.031	149	2.255	25,7 %	6,2 %	0,0000	***
Beteiligter	Schuldiger Fahrer ist mit mindestens einem Objekt kollidiert	558	435	459	2.273	56,2 %	16,8 %	0,0000	***
Beteiligter	Grund Spur verlassen überschreiten physikalischer Grenzen	183	1.251	15	2.640	12,8 %	0,6 %	0,0000	***

Tab. 4-23: Statistische Auswertung der In-Depth Unfalldaten (U_{Gesch}) bzgl. der Merkmale zur Unfallcharakteristik

Objekt, existieren weitere Ähnlichkeiten zu $U_{Müd}$. Jedoch ist bei U_{Gesch} zusätzlich festzustellen, dass beim Spurverlassen zusätzlich physikalische⁶ Grenzen überschritten wurden (vgl. Tabelle 4-23).

Merkmal Unfallbeteiligte

28 % der Fahrer mit zu hoher oder nicht angepasster Geschwindigkeit wurden im Zuge des Unfalls schwer verletzt oder getötet, wobei dieser Anteil unter dem Wert bei müden Fahrern liegt. Häufiger waren unerfahrene Fahrer zwischen 18-24 Jahren oder mit einem Führerscheinbesitz unter 5 Jahren betroffen. Dahingegen sind Fahrer über 60 Jahre signifikant seltener in geschwindigkeitsindizierten Unfällen involviert.

Auch bei geschwindigkeitsindizierten Unfällen konnte bei den entsprechenden Fahrern festgestellt werden, dass sie am Unfalltag unter Stress/Zeitdruck standen. Zudem hatten neben der nicht angepassten Geschwindigkeit die Fahrer vermehrt bereits häufiger eine Strecke zwischen 10-100 km oder mehr als 100 km zurückgelegt, eine Lenkzeit von mehr als 1,5 h hinter sich und häufiger noch eine Strecke von mindestens 10 km vor sich. Dabei lag seine letzte Lenkpause häufiger länger als eine halbe Stunde zurück. Zusammen mit der Erkenntnis, dass Fahrer mit nicht angepasster Geschwindigkeit tendenziell eher eine Jahresfahrleistung von über 30.000 km an den Tag legen, decken sich die Ergebnisse mit der Literaturrecherche wonach un-

ter den geschwindigkeitsindizierten Unfällen häufiger Vielfahrer zu finden sind.

Eine weitere Auffälligkeit wurde bezüglich der Profiltiefe der Fahrzeugreifen festgestellt, wonach eine optimale durchschnittliche Reifenprofiltiefe von > 4 mm deutlich seltener bei Fahrern mit nicht angepasster Geschwindigkeit zu finden war (vgl. Tabelle 4-24).

Merkmal Umwelt

Es ist ein erhöhter Anteil an reibungsmindernden Fahrbahnzuständen, wie feuchter/nasser Fahrbahn, Raureif, Eis, Schnee oder Aquaplaning im Kollektiv der U_{Gesch} zu finden. Merkmale, wie Niederschlag oder verschmutzte Fahrbahn zeigen sich hingegen nur bei U_{Gesch} mit nicht angepasster Geschwindigkeit ohne Überschreiten der zulässigen Höchstgeschwindigkeit signifikant häufiger. (vgl. Tabelle 4-25).

4.3.3 Zusammenfassung Analyse In-Depth-Unfalldaten

Innerhalb der Analyse der In-Depth-Unfalldaten wurde eine Vielzahl der Charakteristik von $U_{Müd}$ und U_{Gesch} aus der Analyse polizeilicher Unfalldaten bestätigt. Aufgrund der geringen Kollektivgröße von $U_{Müd}$ war die Identifikation signifikanter Auffälligkeiten jedoch stark beschränkt.

⁶ Überschreiten des zur Verfügung stehenden Reibwertes zwischen Reifen und Fahrbahn

Daten- ebene	Betrachtete Ausprägung	Gesch.- unfälle		sonstige Unfälle		Anteil		p	
		N wahr	N falsch	N wahr	N falsch	Gesch.- unfälle	sonstige Unfälle		
Beteiligter	Fahrer ist schwerverletzt oder getötet	426	1.110	353	2.503	27,7 %	12,4 %	0,0000	***
Beteiligter	Schuldiger Fahrer ist 18-24 Jahre alt	144	746	202	2.285	16,2 %	8,1 %	0,0000	***
Beteiligter	Fahrerlaubnis des hauptschuldigen Fahrers <=5 Jahre	173	439	223	1.212	28,3 %	15,5 %	0,0000	***
Beteiligter	Schuldiger Fahrer ist >=60 Jahre alt	173	773	648	1.948	18,3 %	25,0 %	0,0000	***
Beteiligter	Fahrer stand unter Stress/Zeitdruck	9	976	30	1.493	0,9 %	2,0 %	0,0546	.
Beteiligter	Fahrstrecke vor Unfall 10 km – 100 km	344	538	375	1.085	39,0 %	25,7 %	0,0000	***
Beteiligter	Fahrstrecke vor Unfall >100 km	47	835	37	1.423	5,3 %	2,5 %	0,0007	***
Beteiligter	verbleibende Strecke 10 – 100 km	313	559	345	1.106	35,9 %	23,8 %	0,0000	***
Beteiligter	verbleibende Strecke >100 km	42	830	31	1.420	4,8 %	2,1 %	0,0005	***
Beteiligter	Lenkzeit vor Unfall >1,5 h	75	796	68	1.340	8,6 %	4,8 %	0,0004	***
Beteiligter	Lenkzeit vor Unfall >2,5 h	45	826	39	1.369	5,2 %	2,8 %	0,0046	***
Beteiligter	Fahrzeit seit letzter Pause >30 min	134	685	147	1.208	16,4 %	10,8 %	0,0003	***
Beteiligter	Fahrer fährt >=30.000 km pro Jahr	169	624	218	1.078	21,3 %	16,8 %	0,0122	*
Beteiligter	Profiltiefe durchschnittlich <=4 mm	145	725	141	1.409	16,7 %	9,1 %	0,0000	***

Tab. 4-24: Statistische Auswertung der In-Depth Unfalldaten (U_{Gesch}) bzgl. der Merkmale zu Unfallbeteiligten

Daten- ebene	Betrachtete Ausprägung	Gesch.- unfälle		sonstige Unfälle		Anteil		p	
		N wahr	N falsch	N wahr	N falsch	Gesch.- unfälle	sonstige Unfälle		
Beteiligter	Straße feucht/nass	367	1.245	486	2.375	22,8 %	17,0 %	0,0000	***
Fall	Niederschlag vorhanden	142	841	253	2.602	14,4 %	8,9 %	0,0000	***
Beteiligter	Aquaplaning	18	1.592	1	2.873	1,1 %	0,0 %	0,0000	***
Fall	mittlerer bis starker Niederschlag	47	934	62	2.787	4,8 %	2,2 %	0,0000	***
Fall	Niederschlag vorhanden (nur Urs.12)	28	239	253	2.602	10,5 %	8,9 %	0,4380	-
Fall	Niederschlag vorhanden (nur Urs.13)	132	644	253	2.602	17,0 %	8,9 %	0,0000	***
Beteiligter	Raureif, Eis oder Schnee auf Fahrbahn (nur Urs.13)	84	1.528	19	2.842	5,2 %	0,7 %	0,0000	***
Beteiligter	Verschmutzung der Fahrbahn (nur Urs. 13)	25	737	46	2.808	3,3 %	1,6 %	0,0051	**

Tab. 4-25: statistische Auswertung der In-Depth Unfalldaten (U_{Gesch}) bzgl. der Umweltmerkmale

Bezüglich der $U_{Müd}$ konnte ergänzend zur Analyse der polizeilich erhobenen Unfalldaten ermittelt werden, dass müde Fahrer signifikant häufiger bereits länger als 16 Stunden wach waren und bereits länger keine Pause eingelegt haben oder eine Lenkzeit von mehr als 1,5 Stunden oder 2,5 Stunden absolviert hatten zum Zeitpunkt des Unfalls. Zudem fanden $U_{Müd}$ häufiger bei freiem Verkehrsfluss, also bei wenig notwendigen Interaktionen mit anderen Fahrern, statt.

Die ergänzenden Erkenntnisse bei der Analyse der In-Depth-Daten von U_{Gesch} ähneln sich denen von

$U_{Müd}$: Fahrer bei U_{Gesch} haben signifikant häufiger bereits längere Lenkzeiten oder Fahrkilometer absolviert und fanden eher bei freiem Verkehrsfluss statt. Darüber hinaus waren unter den Fahrern bei U_{Gesch} häufiger Vielfahrer mit einer jährlichen Fahrleistung über 30.000 km vorzufinden. Straßen, die aufgrund ihrer Oberfläche keine höheren Geschwindigkeiten zulassen (Pflastersteine, Sand, Schotter etc.), waren erwartungsgemäß seltener am Unfallort von U_{Gesch} zu finden.

4.4 Zusammenfassung Unfalldatenanalyse

Es lässt sich festhalten, dass sich Unfälle mit Geschwindigkeitseinfluss U_{Gesch} und Unfälle mit Müdigkeitseinfluss $U_{Müd}$ in vielerlei Hinsicht in ihren Merkmalen ähneln. Bezüglich der Unfallzeit finden beide vermehrt nachts bei Dunkelheit statt und an den Wochenenden. In dem Zusammenhang war zum Unfallzeitpunkt die Verkehrssituation auch durch eine schwache Verkehrsbelastung geprägt oder wenig umgebende Verkehrsteilnehmer. Die Örtlichkeiten der Unfälle sind charakterisiert durch einen erhöhten Anteil an Außerortsstraßen und damit einhergehend Autobahnen, Bundes- und Landesstraßen und hierbei insbesondere Steigungs- oder Gefällestrrecken oder Kurvenabschnitte. Häufiger sind junge Fahrer (18-35 Jahre) bei diesen Unfällen involviert, die dazu signifikant häufiger männlich und alkoholisiert waren und eher weitere Insassen im Fahrzeug bei sich hatten. Dabei wiesen die Fahrer meist eine längere Lenkzeit und Zeit seit der letzten Pause auf. Die Unfälle zeigen eine auffällig höhere Unfallschwere und auffällig häufig den Umstand, dass Fahrer von der Fahrbahn abkamen und auf ein Hindernis geprallt sind.

Daneben zeigen sich jedoch auch deutliche Unterschiede zwischen den Unfällen. Fehlverhalten mit Müdigkeitsbezug $F_{Müd}$ nehmen, wenn auch auf einem niedrigen Niveau in den letzten Jahren insbesondere bei Pkw-Fahrern zu. Fehlverhalten mit Geschwindigkeitsbezug F_{Gesch} hingegen zeigen eine kontinuierlich abnehmende Tendenz, welche im Wesentlichen durch motorisierte Verkehrsteilnehmer in Zweispurfahrzeugen beeinflusst ist – bei Radfahrenden und Fahrern motorisierter Zweiräder steigt die Anzahl an F_{Gesch} über die letzten Jahre an. Bei Betrachtung der Unfallzeit zeigt sich, dass $U_{Müd}$ sehr überproportional häufig im Sommer stattfinden. Bei U_{Gesch} gilt dies nur im Zusammenhang mit der tatsächlichen Überschreitung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit. $U_{Gesch-NA}$ finden hingegen eher in den Wintermonaten statt.

Darüber hinaus sind einige Merkmale nur bei U_{Gesch} überproportional häufig vertreten. Dies kann entweder darauf zurückgeführt werden, dass die Merkmale bei $U_{Müd}$ faktisch keinen Einfluss besitzen oder aber, da diese Unterschiede im Wesentlichen aus den GIDAS-Daten stammen, dass die Merkmale nicht ausreichend häufig auftauchen, um eine Signifikanz bei $U_{Müd}$ zu erreichen. Zu diesen Merkmalen gehört einerseits der Straßenzustand. Innerhalb

der U_{Gesch} finden sich vermehrt eher ebene Fahrbahnoberflächen wieder. Speziell $U_{Gesch-NA}$ finden vor allem bei reibungsmindernden Umständen statt wie verschmutzte oder feuchte Fahrbahnen oder bei Raureif/Eis auf der Fahrbahn statt. Andererseits konnten unter den Fahrern bei U_{Gesch} eher Fahrer mit einer hohen jährlichen Fahrleistung gefunden werden, welche zudem angaben, am Unfalltag gestresst gewesen zu sein.

4.5 Fazit im Hinblick auf das Unfallvermeidungspotenzial

Aus der Aufarbeitung der bundesweiten amtlichen Unfallstatistik und der Analyse der polizeilichen und In-Depth-Unfalldaten ergeben sich einige Randbedingungen für die Berechnung des Unfallvermeidungspotenzials von Geschwindigkeitsassistenzsystemen GAS.

Eine der wesentlichen Erkenntnisse ist einerseits, dass offenbar eine hohe Dunkelziffer bezüglich der U_{Gesch} besteht. Demzufolge ist bei der Berechnung der Unfallvermeidungspotenzial von mehr adressierten Unfällen auszugehen, als es aus der amtlichen Statistik aktuell hervorgehen würde. Andererseits ist zu beachten, dass U_{Gesch} in den letzten Jahren offenbar deutlich rückläufig sind. Somit ist davon auszugehen, dass sich auch ohne zusätzlich verbaute GAS das Kollektiv an adressierten Unfällen über die kommenden Jahre verringert und damit einhergehend das Unfallvermeidungspotenzial durch GAS ab einem gewissen zukünftigen Zeitpunkt ggf. rückläufig sein kann.

Weiterhin zeigen die Auswertungen, dass insbesondere U_{Gesch} häufig durch weitere Unfallursachen überlagert ist. Nicht nur bei $U_{Müd}$ sondern auch bei U_{Gesch} spielt Müdigkeit eine beeinflussende Unfallursache, wobei jedoch davon ausgegangen wird, dass sie zukünftig durch Müdigkeitswarner adressiert werden können, deren Einbau ab dem Jahr 2022 verpflichtend für Neuwagen gefordert werden. Eine angepasste Geschwindigkeitsempfehlung bei erkannter Müdigkeit des Fahrers durch GAS wird als nicht empfehlenswert eingeschätzt, da sie in diesem Zustand als nicht verkehrstüchtig eingeschätzt werden sollten. Für die weitere Unfallursache „Alkoholeinfluss“ wird wiederum davon ausgegangen, dass diese durch Alkoholfahrsperrern vermieden werden könnten (erste Ansätze sind hier die in Zukunft verpflichtend zu verbauenden Schnitt-

stellen). Somit reduziert sich der eigentliche Umfang adressierter Unfälle durch GAS. Bei den verbleibenden U_{Gesch} ist zu prüfen, inwiefern die weiteren Unfallursachen durch ein GAS beachtet werden können oder dessen Funktionalität beeinträchtigen.

In dem Zusammenhang sind U_{Gesch} insbesondere hinsichtlich einer tatsächlichen Überschreitung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit von Unfällen, bei denen „nur“ eine nicht angepasste Geschwindigkeit in anderen Fällen vorlag, zu unterscheiden. Die selteneren U_{Gesch} mit Überschreitung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit können durch GAS karten- oder kamerabasiert einfach identifiziert und beeinflusst werden. Die häufigeren U_{Gesch} mit einer nicht angepassten Geschwindigkeit in anderen Fällen sind eher überlagert von mehreren Unfallursachen, welche reibwertmindernde Effekte beschreiben, sodass eine Einschätzung der Fahrbahnoberfläche oder einer Reibwertschätzung und ggf. der Sichtweite durch GAS notwendig ist. In der Folge sind unterschiedliche Funktionsumfänge von GAS zu unterscheiden, welche einen unterschiedlichen Umfang an U_{Gesch} adressieren können.

5 Funktionserweiterung existierender geschwindigkeitsreduzierender FAS-Technologien

5.1 Einführung

Die Basis für Geschwindigkeitsassistenten bilden die statisch oder dynamisch vorgegebenen Geschwindigkeitsinformationen, beispielsweise über Verkehrszeichen oder Verkehrszeichen mit Zusatz-

zeichen. Diese sind jedoch nur für übliche Umgebungsbedingungen vorgegeben und berücksichtigen zunächst nicht die tatsächlich auftretenden Verhältnisse.

Um diese einzubeziehen, sind Informationen aus drei verschiedenen Quellen verfügbar. Danach können solche ISA-Systeme entsprechend Bild 5-1 klassifiziert werden.

Über den Kanal der eigenen Messung sind je nach Fahrzeugausstattung direkte Sensorinformationen über die Umgebungsbedingungen vorhanden. Es erfolgt dabei eine Unterscheidung bezüglich der Vorausschau. Umfeldsensoren wie Lidar oder Kamera haben eine Sichtweite von bis zu 150 m bei guten Umgebungsbedingungen. In diesem Bereich können aus den Messdaten mit Annahmen Rückschlüsse auf die vermutlich vorhandenen Reibwertverhältnisse gezogen werden. Allerdings sind diese Daten mit großen Fehlern behaftet und daher nur zur Konditionierung von Assistenzsystemen geeignet. Beispiele für eine solche Konditionierung sind das Anlegen der Bremsbeläge bei erkannter Feuchtigkeit oder schneebedeckter Straßenoberfläche. Hierdurch wird die Eingriffszeit einer Bremsung verkürzt.

Aus den Messdaten der Fahrdynamik-Sensoren sind hingegen genaue Rückschlüsse auf die gerade vorliegenden Straßenverhältnisse möglich. Diese Informationen gelten aber nur für die direkte Kontaktfläche der Reifen mit der Fahrbahn und sind auch erst im Moment der Überschreitung des Reibwertes (beispielsweise bei einer aktiven ABS-Regelung an einem der Räder) genau verfügbar.

Die direkt erhobenen Messdaten können aber auch zur Weiterleitung an andere Verkehrsteilnehmer

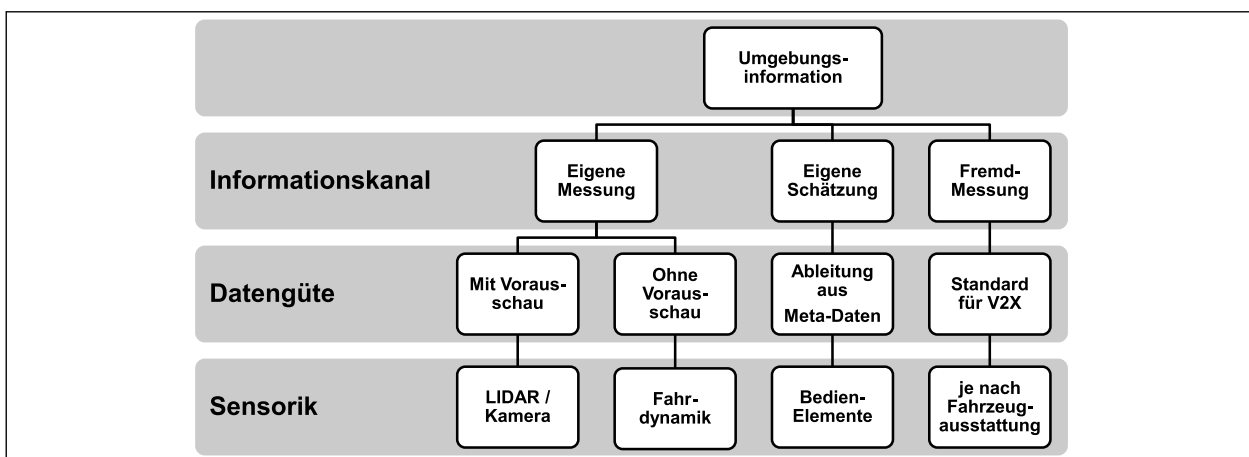


Bild 5-1: Gegenüberstellung verschiedener ISA-Systeme

mittels V2X-Kommunikation genutzt werden. Im Bereich der Ad-hoc-Netzwerke (z. B. nach IEEE-Standard 802.11p) ist so eine sofortige Information der umgebenden Fahrzeuge möglich. Eine Weiterleitung über größere Entfernungen ist ohne Verifizierung der Daten nicht sinnvoll, da die Informationen an Aktualität und damit Integrität verlieren. Eine weitere denkbare Methode wäre die lokalisierte Speicherung auf einem geeigneten Server, der per Mobilfunkverbindung erreichbar ist.

Eine weitere Quelle an Informationen, die ebenfalls zur Konditionierung oder Plausibilisierung genutzt werden können, sind die Bedienhandlungen des Fahrzeugführenden. Eine dauerhafte manuelle Zuschaltung der höchsten Wischerstufe zeigt beispielsweise an, dass ein starker Regen auftritt. In Verbindung mit einer Geschwindigkeitsreduzierung kann dies auf schlechte Umgebungsbedingungen hinweisen. Solche Reaktionen sind aber sehr stark vom Fahrertyp abhängig, lassen weiterhin nur ungefähre Annahmen über das Kraftschlusspotenzial zu und sind daher ungeeignet für einen direkten Eingriff eines Assistenzsystems.

5.2 Systemkonzepte zur Reibwertschätzung

5.2.1 Grundlagen zur Reibwertschätzung

Der durch die Wechselwirkung mit dem Reifen auftretende Fahrbahnreibwert ist eine essenzielle physikalische Größe für die Fahrdynamik. Entsprechend umfangreich sind die Untersuchungen, Veröffentlichungen und Patente zu diesem Thema. Eine grundlegende Unterscheidung der Methoden kann in Bezug auf die Vorausschau getroffen werden.

- Keine Vorausschau:
Es werden nur die Eigenbewegungsdaten des Fahrzeugs verwendet, vorwiegend die Raddrehzahlen in Verbindung mit anderen Messgrößen. Es gibt auch Systeme, die mittels weiterer Sensoren (z. B. Mikrofone im Radkasten) eine genauere Reibwertschätzung versuchen. Allen Systemen gemein ist aber, dass nur die gerade vorhandene Reibwertsituation ermittelt werden kann, teilweise nur während eines Fahrdynamik-Regelungsgriffs (z. B. (Bosch GmbH 2016; DaimlerChrysler AG 2004))

- Kamerabereich:
Da viele Fahrzeuge über Kamerasensoren verfügen, erfolgt mittels Bildauswertung eine Schätzung des Reibwertes. Aufgrund der Vielzahl der Situationen und der Einflussparameter ist eine sichere Voraussage bisher nicht möglich. Neue Ansätze unter Einbeziehung anderer Sensorik (z. B. Lidar) erlauben eine Verbesserung der Ergebnisse (z. B. (Bosch GmbH 2009; Continental Automotive GmbH 2017; Continental Teves AG & Co. oHG 2014)).
- Fernbereich:
Für den Fernbereich ist eine Nutzung der beiden vorgestellten Methoden bei Weitergabe der individuellen Daten über eine Fahrzeug-Fahrzeug-Kommunikation möglich. Diese Daten unterliegen einem zeitlichen Verfall, ihre Verfügbarkeit ist zudem von der Anzahl der beteiligten Fahrzeuge abhängig. Eine sichere Nutzung ist somit nicht gewährleistet.

Über die Verfügbarkeit, Genauigkeit und weitere Details zu den einzelnen Methoden gibt es keine vergleichbaren Daten. Dies liegt vor allem daran, dass diese Größe einen wesentlichen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit der Fahrdynamik-Regelungssysteme hat. Jeder Fahrzeughersteller ist somit bestrebt, dieses Wissen möglichst exklusiv für die eigenen Produkte zu behalten. Auch auf den Bussystemen werden solche Größen nur ausgetauscht, wenn bei anderen Funktionen hierfür ein Bedarf besteht.

Abschließend soll auf die sehr umfangreiche Zusammenstellung und Bewertung verschiedener Methoden in (KHALEGHIAN et al. 2017) verwiesen werden. Hier heißt es:

“The most important shortcoming of experiment-based approaches is observed to be the repeatability. When the testing conditions have some deviations from which these algorithms were trained, their accuracy decreased dramatically. Also, for the slip slope based approach, although it is claimed in several studies that there is a direct relation between the slip slope and the maximum friction coefficient, it is observed that changing the testing conditions (tire pressure, tire temperature, etc.) will change the slope of μ -slip curve in the linear region which affects the accuracy and repeatability of this method.” Demnach stellen das größte Problem bei experimentellen Ansätzen die geringen Abweichungen der Messbedingungen dar, wodurch die Erkennungsgenauigkeit der Algorithmen deut-

lich abnimmt. Im Kontext des schlupfbasierten Ansatzes, führen vom Experiment abweichende geänderte Randbedingungen (u. a Reifendruck, Reifentemperatur) zu Ungenauigkeiten bei der Bestimmung des maximalen Reibwerts.

Dies ist physikalisch erklärbar dadurch, dass die Linearität der μ -Schlupf-Kennlinie aus der Verformung der Profilelemente resultiert und weitgehend unabhängig von der Nässe der Fahrbahn ist.

5.2.2 Existierende Systeme zur Reibwertschätzung

Der grundsätzliche Aufbau eines reibwertbasierten Systems zur Adaption der Geschwindigkeit und die dafür notwendigen Daten wurden 2018 von der Firma Continental AG vorgestellt. Im Projekt "Vehicle Motion Control" wird als Teilsystem ein „Road Condition Observer (RCO)“ entwickelt (RASTE et al. 2018). Dieser ist die Voraussetzung für einen gezielten Eingriff in die Fahrzeuglängsführung. Bild 5-2 zeigt den Aufbau des Systems.

Aus der Karteninformation des Backend-Servers wird über ein Umgebungsmodell der Pfad für die vorausliegende Fahrtstrecke berechnet. Insbesondere vorausliegende Kurven führen zu einer Anpas-

sung des vorgesehenen Fahrgeschwindigkeitsprofils (Speed Profile). Dabei ist zur Abschätzung der passenden Geschwindigkeit die Reibwertinformation essentiell. Diese wird mithilfe des RCO über eine Kamera für den direkt vorausliegenden Straßenabschnitt ermittelt. Die Unterteilung ist dabei in 4 Reibwertstufen vorgesehen (vgl. Tabelle 5-1).

Mit einer solchen Klassifizierung ist eine Schätzung des maximalen Bremswegs unter den aktuell vorherrschenden Bedingungen möglich. Das volle Potenzial der Methodik und die Erhöhung der Genauigkeit der Reibwertvorhersage sind aber nur bei Kommunikation mit dem Backendserver möglich, der die Daten aller Fahrzeuge sammelt und weiterverteilt: Von diesem Server werden die gesammelten Daten aller verbundenen Fahrzeuge in die Kartendaten integriert. Die Autoren verweisen auf einen Artikel zur Erstellung einer entsprechenden dynamischen digitalen Karte für Fahrbahnoberflächen (MAGNUSSON et al. 2018). Das vorgeschlagene System ist in Bild 5-3 dargestellt.

Der Systemaufbau verdeutlicht den erheblichen Aufwand im Fahrzeug (Schätzung und Auswertung der Kameradaten) und Backend (Aufbau einer zentralen Infrastruktur zum Sammeln der Reibwertinformationen), um eine flächendeckende und stets aktuelle Reibwertprognose liefern zu können. In einem Test mit etwa 500 Fahrzeugen konnte nachgewiesen werden, dass die Schätzungen eine mittlere Abweichung von $\pm 0.045 \mu$ bezogen auf die Referenzmessungen ergaben. Bild 5-3 verdeutlicht hingegen auch, dass nur in dieser Form eine sichere Schätzung des Reibwertes möglich sein wird. Entsprechend wäre auch diese Art der Vernetzung und

Reibwertkoeffizient μ	Bezeichnung
0,70 ... 0,95	trocken
0,45 ... 0,70	nass (bei Aquaplaning bis 0,00)
0,20 ... 0,45	Schnee
0,10 ... 0,20	Eis

Tab. 5-1: Einteilung der Reibwertstufen des RCO (RASTE et al. 2018)

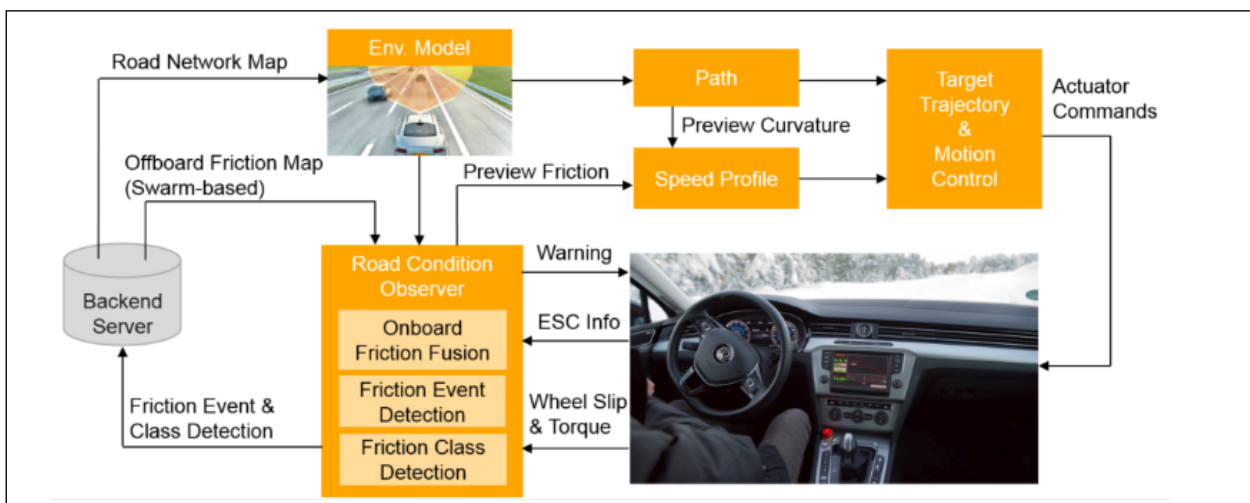


Bild 5-2: Übersicht des Gesamtsystems (RASTE et al. 2018)

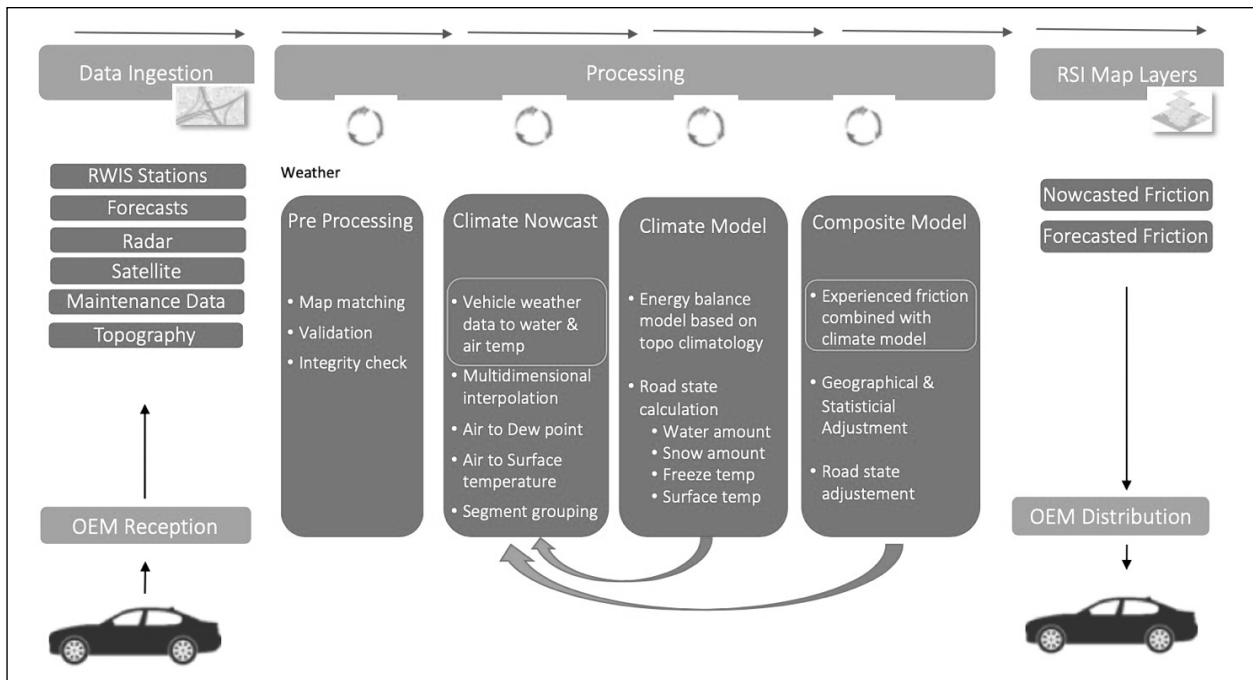


Bild 5-3: System zur Erstellung und Weitergabe von Fahrbahnoberflächeneigenschaften (MAGNUSSON et al. 2018)

die Bereitstellung der Karteninformationen eine notwendige Voraussetzung für eine gesetzliche Vorgabe.

5.2.3 Eigene Untersuchungen

Für eine praxisnahe Abschätzung des Reibwerteinflusses wurden eigene Untersuchungen im Winter 2021 auf dem Prüffeld der HTW Dresden durchgeführt. Bevor es zu einem Wintereinbruch mit starkem Schneefall kam, wurde der Bremsweg für einen BMW 2er auf weitestgehend trockener Oberfläche vermessen. Dabei wurden zwei unterschiedliche Straßenbeläge genutzt, normaler Asphalt und eine Strecke mit Kopfsteinpflaster (siehe Bild 5-4).

Dieselben Messungen wurden dann nach starkem Schneefall auf der nicht beräumten Strecke wiederholt. Es wurde dabei versucht, bei den Messwiederholungen nicht dieselbe Spur zu nutzen. Die maximal erreichbare Geschwindigkeit lag aufgrund der baulichen Beschränkungen bei etwa 50 km/h. Bild 5-5 zeigt alle Messungen sowie eine Extrapolation zu höheren Geschwindigkeiten. Die gesetzliche Regelung, dass bei einer Sichtweite von weniger als 50 m die Geschwindigkeit auf maximal 50 km/h zu reduzieren ist, ist dabei grün markiert eingetragen. Alle Bremswege liegen unterhalb dieser Kurve, damit ist ein gefahrloses Anhalten zumindest bei sofortiger Erkennung und Vollverzögerung sichergestellt.

Für den Vergleich der Extrapolation bei 80 km/h standen Werte von zwei anderen Fahrzeugen (BMW X3 und VW Golf) zur Verfügung.

Es zeigt sich bei der Extrapolation zunächst eine gute Übereinstimmung mit veröffentlichten Werten für andere Fahrzeuge (trockene Fahrbahn, 80 km/h). Wie erwartet ist der Anhalteweg auf der trockenen Oberfläche für das Kopfsteinpflaster aufgrund des geringeren Reibwertes höher als für den Asphalt.

Bei der schneebedeckten Oberfläche kehren sich die Verhältnisse allerdings um. Hier ist der Anhalteweg auf dem Pflaster geringfügig, aber signifikant geringer. Ursache könnte eine stärkere Keilbildung auf der Pflasteroberfläche sein, die im Gegensatz zu der relativ glatten Schnee-/Eisfläche auf dem Asphalt eine Bremswirkung unterstützt. Die Ergebnisse verdeutlichen aber die Schwierigkeit einer prospektiven Reibwertbestimmung. Obwohl der Zugriff auf die Botschaften des Testfahrzeugs vorhanden war, konnte keine reibwertrelevante Information extrahiert werden. Dies liegt möglicherweise daran, dass diese Information intern im Steuergerät der Fahrdynamikregelung berechnet wird und keine weitere Fahrzeugfunktion diese Information benötigt.

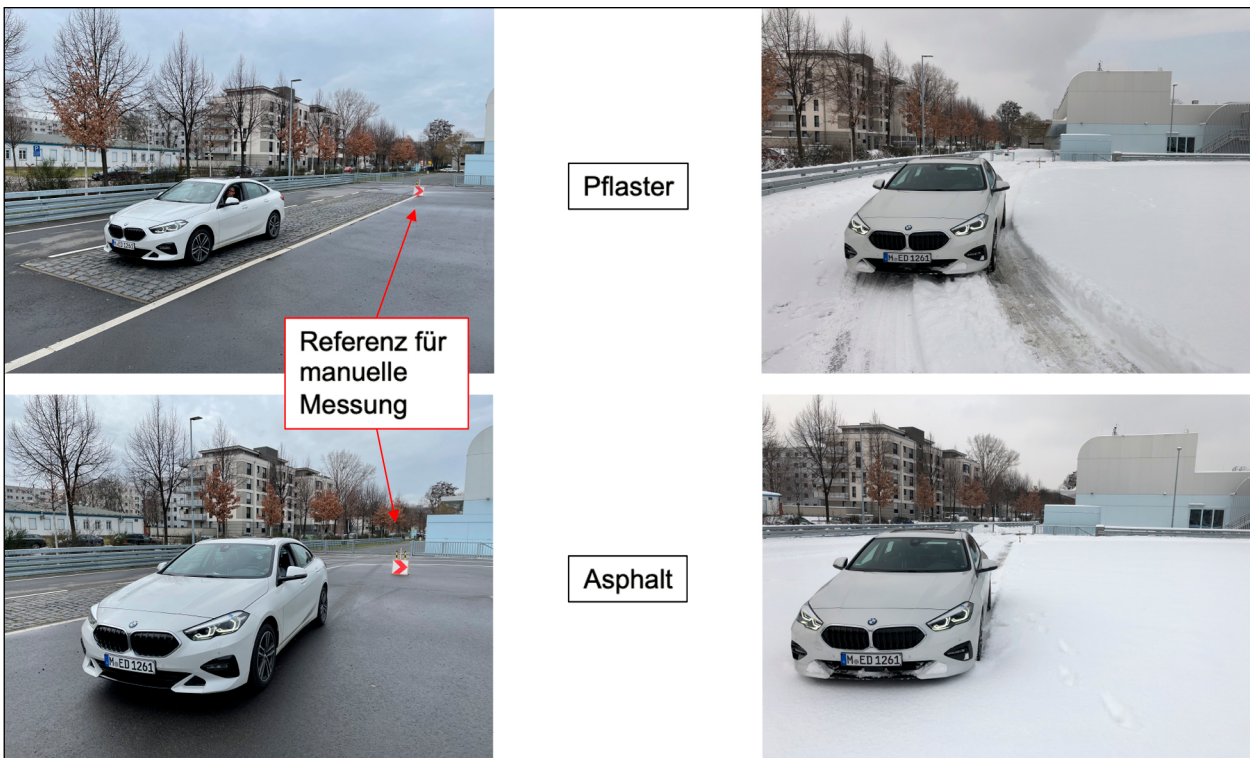


Bild 5-4: Untersuchte Situationen mit unterschiedlichen Reibwerten

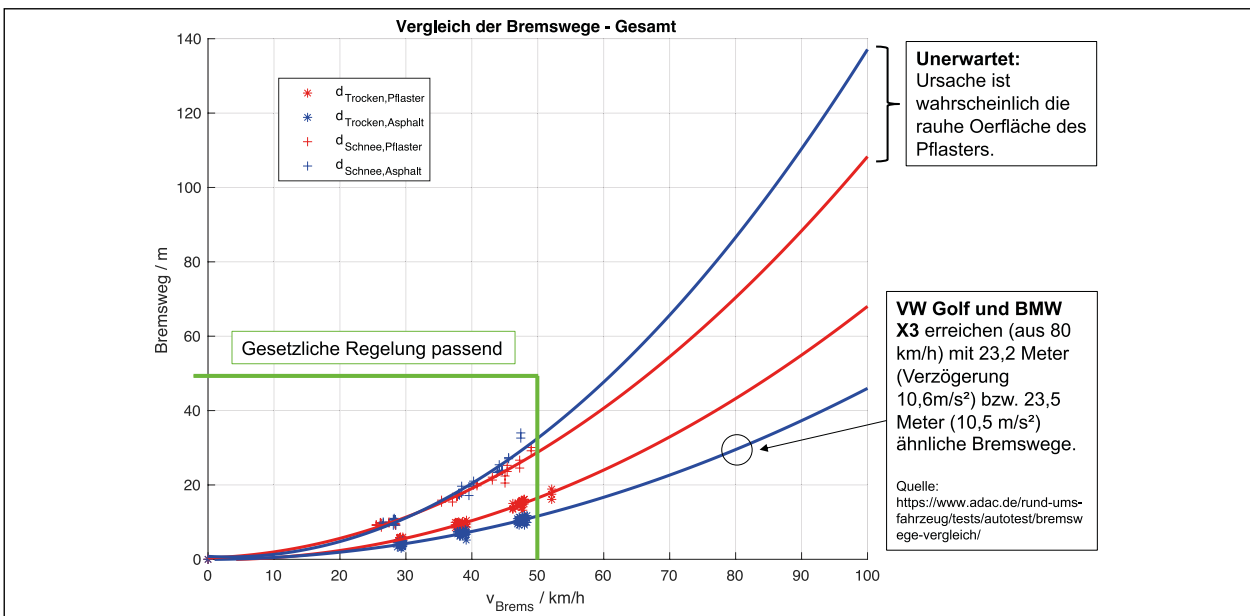


Bild 5-5: Ergebnisse der Untersuchungen

5.3 Systemkonzepte zur Ermittlung von Witterungsbedingungen und Sichtweite

5.3.1 Grundlagen zur Sichtweitemessung

Die meteorologische Sichtweite ist eine Distanz, aus der ein definiertes Objekt noch sicher erkannt werden kann. Sie wird unterschieden in Tag- und Nachtsichtweite. Sie ergibt sich durch die Streuung des Lichtes an Partikeln in der Atmosphäre. Je hö-

her die Partikelanzahl ist, umso höher ist der Streukoeffizient und umso geringer ist die Sichtweite.

Die meteorologische Sichtweite bei Nacht ist die längste Distanz, in der eine Lichtquelle von 1.000 Candela vor einem unbeleuchteten Hintergrund erkannt und beobachtet werden kann.

Die meteorologische Sichtweite bei Tag ist die längste Distanz, in der ein schwarzes Objekt ausreichender Größe, welches sich in Bodennähe befin-

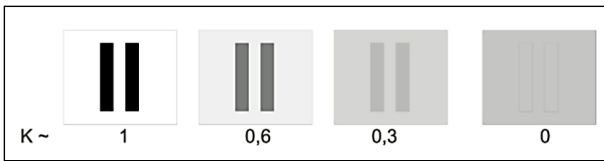


Bild 5-6: Beispiele für eine Kontrastreduzierung durch Sichtweitereinschränkung (Sick GmbH)

Code Nr.	Wetterbedingung	Meteorologischer Bereich [m]	Streukoeffizient [km ⁻¹]
0	Dense Fog	< 50	> 78,2
1	Thick Fog	50-200	78,2-19,6
2	Moderate Fog	200-500	19,6-7,82
3	Light Fog	500-1.000	7,82-3,91
4	Thin Fog	1.000-2.000	3,91-1,96
5	Haze	2.000-4.000	1,96-0,954
6	Light Haze	4.000-10.000	0,954-0,391
7	Clear	10.000-20.000	0,391-0,196
8	Very Clear	20.000-50.000	0,196-0,078
9	Exceptionally Clear	> 50.000	> 0,078

Tab. 5-2: Internationaler Sichtweitencode mit meteorologischen Bereichen (PAVLIC 2014)

det, entgegen den Horizont beobachtet werden kann. Die Schätzung der Sichtweite erfolgt dabei durch einen Beobachter und Sichtmarker, d. h. feste, in bekannter Entfernung aufgestellte Sichtziele, welche einen deutlich erkennbaren schwarz-weiß Übergang aufweisen. Ein Beispiel hierfür ist in dem folgenden Bild 5-6 dargestellt (PAVLIC 2014).

Wird ein Intensitätsmaß durch eine Messeinrichtung ermittelt, kann der Kontrast durch das Verhältnis der Intensitäten in den beiden Bereichen ermittelt werden.

$$K = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} \quad \text{Formel 5-1}$$

K = Kontrast

I = Intensität

Die internationale Einordnung der Sichtweite orientiert sich an der Höhe des Streukoeffizienten und ist in der folgenden Tabelle 5-2 aufgeführt.

Im Fahrzeugbereich wird davon abweichend aufgrund der geringeren zu berücksichtigenden Distanzen eine andere Unterteilung gewählt:

- Kein Nebel: Sichtweite > 1.000 m

- Leichter Nebel: Sichtweite zwischen 300 und 1.000 m
- Nebel: Sichtweite zwischen 100 und 300 m
- Dichter Nebel: Sichtweite < 100 m

Durch eine vereinfachte Berechnung der Fahrzeugbewegung können die für ein System erforderlichen Verzögerungen bei unterschiedlichen Sichtweiten abgeschätzt werden. Analog zu den getroffenen Annahmen von (PAVLIC 2014) wird für einen Standard-Fahrer von typischen Werten für die Reaktionszeit von $t_r = 0,8$ s und die Bremsverzögerung von $a = 7,716$ m/s² ausgegangen. Wird die vorhandene Sichtweite mit dem Anhalteweg d_A gleichgesetzt, so ergibt sich die maximale Geschwindigkeit nach der folgenden Formel:

$$v = \frac{-t_r + \sqrt{t_r^2 + \frac{2 \cdot d_A}{a}}}{\frac{1}{a}} \quad \text{Formel 5-2}$$

v = Geschwindigkeit

a = Bremsverzögerung

t_r = Reaktionszeit

Da für einen Eingriff eines Systems die Reaktionszeiten nicht relevant sind oder deutlich geringer ausfallen, erfolgte eine Berechnung der geschwindigkeitsabhängigen Eingriffsschwellen sowohl mit als auch ohne Reaktionszeit. Neben der Annahme einer geringen Verzögerung von lediglich $a = 2,5$ m/s² wurden weitere Verzögerungen berücksichtigt. Ob diese durch ein System auch tatsächlich realisiert werden können, hängt entscheidend von den vorliegenden Reibwertverhältnissen ab. Hierbei wird erneut deutlich, welche entscheidende Rolle einer sicheren Bestimmung und Bereitstellung des Reibwertes zukommt.

In Bild 5-7 ist die gesetzliche Vorgabe der Begrenzung der Fahrzeuggeschwindigkeit auf 50 km/h bei einer Sichtweite von 50 m und einem geringen Reibwert gut zu erkennen (rote durchgezogene Linie). Wenn eine Bestimmung des Reibwertes möglich ist und die maximale Verzögerung nicht auf 2,5 m/s² beschränkt ist, wären bei Beibehaltung des Sicherheitsniveaus auch höhere Geschwindigkeiten möglich.

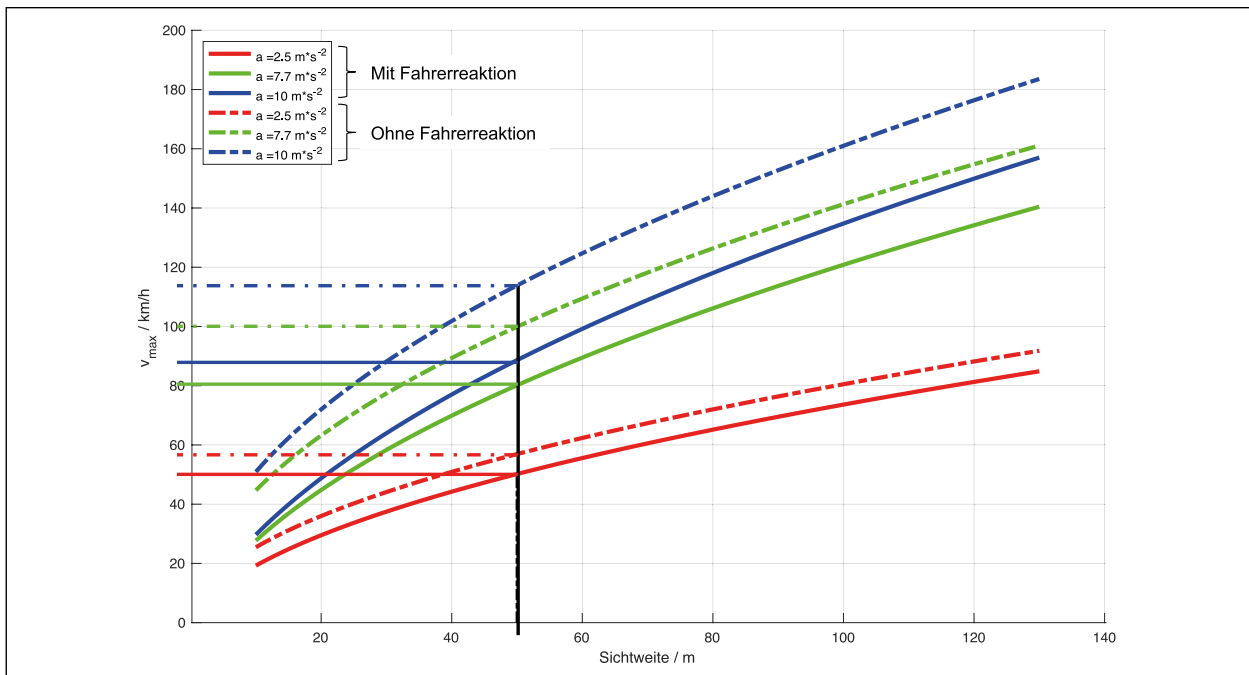


Bild 5-7: Berechnung der maximalen Geschwindigkeit für unterschiedliche Sichtweiten (Eigene Berechnung)

5.3.2 Existierende Systeme zur Sichtweitemessung

Stationäre Messung der Sichtweite

Die technisch etablierte und standardisierte Messung der Sichtweite beruht üblicherweise auf der Bestimmung des Streukoeffizienten. Hierbei wird ein Laserstrahl in das Medium ausgesendet und die Intensität der Rückstreuung messtechnisch erfasst. Es gibt für diese als Scatterometer bezeichnete Anordnung zwei unterschiedliche Konfigurationen.

Wie Bild 5-8 zu entnehmen ist, vergrößert sich das Detektionsvolumen bei der Variante (b). Diese wird im Straßenverkehr sehr häufig zur Detektion von Sichtweiten in Tunneln eingesetzt. Die folgenden Spezifikationen werden für das Gerät VISIC620 der Firma SICK angegeben und können als Referenz für ermittelbare Werte und Genauigkeiten dienen (Sick GmbH).

- Messgröße: Sichtweite
- Messbereich: 10-16.000 m
- Genauigkeit: ± 5 m bei Sichtweite ≤ 50 m
- ± 10 % des Messwertes bei Sichtweite ≤ 5.000 m
- ± 20 % des Messwertes bei Sichtweite ≤ 16.000 m
- Reproduzierbarkeit ± 2 % bei einer Sichtweite von 200 m

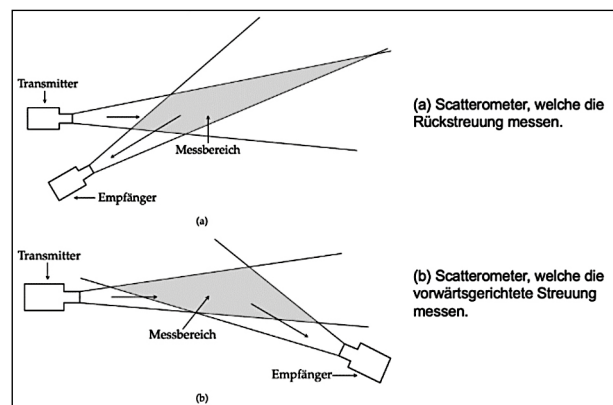


Bild 5-8: Sichtweitenbestimmung durch Scatterometer (PAV-LIC 2014)

- Einstellzeit T_{90} : 2-300 s

Der einzige bislang für die Verwendung in Fahrzeugen entwickelte Prototyp stammt von der Firma Preh aus Bad Neustadt. Der Sensor basiert auf der Messung der Rückstreuung. Der Aufbau ähnelt daher dem eines Regen-/Lichtsenors, der ebenfalls zum Produktportfolio der Firma gehört. Eingesetzt werden soll der Sensor für die automatische Steuerung der Nebelschlussleuchte. Dies wird häufig entweder vom Fahrer vergessen oder der Lichtsensor hat diese spezielle Situation aufgrund einer hohen Grundhelligkeit nicht korrekt erkannt. Der aktuelle Stand der Automatisierung ist in Bild 5-9 aufgeführt. Durch den vorgestellten Sichtweitesensor können alle diese Funktionen automatisiert werden.

Umgebungsbedingung		Heutige Lichtautomatik		
Helligkeit	Sichtweite	Fahrlicht	Nebelscheinwerfer	Nebelschlussleuchte
Tag	Freie Sicht	automatisch aus	automatisch aus	automatisch aus
Tag	RegenTag	automatisch an	automatisch aus	automatisch aus
Tag	Nebel 70m ...250m	manuell an	manuell aus	manuell aus
Tag	Nebel 50...70m	manuell an	manuell an	manuell aus
Tag	Nebel <50m	manuell an	manuell an	manuell an
Nacht	freie Sicht	automatisch an	automatisch aus	automatisch aus
Nacht	Regen	automatisch an	automatisch aus	automatisch aus
Nacht	Nebel 70m ...250m	automatisch an	manuell aus	manuell aus
Nacht	Nebel 50...70m	automatisch an	manuell an	manuell aus
Nacht	Nebel <50m	automatisch an	manuell an	manuell an

Bild 5-9: Aktueller Automatisierungsgrad der Fahrlichtsteuerung (BÜTTNER & SCHMITT 2018)

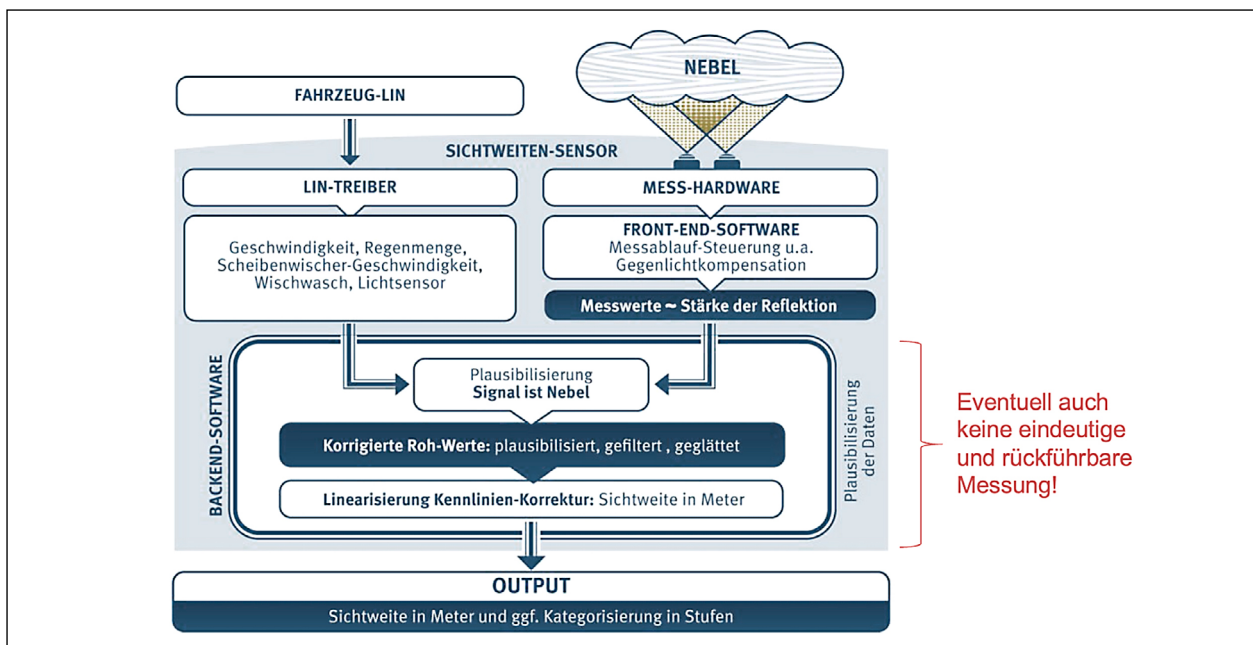


Bild 5-10: Signalflussplan des Sensors (BÜTTNER & SCHMITT 2018)

Der grundlegende Aufbau des Sensors ist in Bild 5-10 dargestellt. Im oberen rechten Teil ist die eigentliche Messzelle, das Rückstreu-Scatterometer, zu sehen. Dieses Modul ermittelt einen physikalischen Wert, der proportional zur Stärke der Reflexion ist. Dieser Wert ist jedoch auch Störungen unterworfen, die nur bei Hinzunahme weiterer Informationen eindeutig zu ermitteln sind. Das können Reflexionen an Fremdkörpern sein, die keine Sichtweitereinschränkung darstellen. In der Praxis tritt dies vor allem an Verkehrsschildern, Garagenwänden, Tunneldecken oder durch überhängende Bäume auf. Durch die Einbeziehung der Fahrzeug- und der Scheibenwischergeschwindigkeit können solche Situationen ermittelt und zur Plausibilisierung verwendet werden. Ob unter diesen Umständen das Signal zur Steuerung einer automatisierten

Fahrfunktion tatsächlich eingesetzt werden kann, ist noch zu evaluieren.

Zur Verifizierung und Parametrierung der Messdaten erfolgten nach Angaben des Herstellers zahlreiche Messfahrten mit einem Referenzsensor. Bei den Testfahrten zeigte sich, dass im Stillstand eine sehr gute Übereinstimmung zwischen beiden Sensoren vorhanden war. Während der Fahrt hingegen, die teilweise im selben Bereich der statischen Messungen stattfand, zeigte der Referenzsensor systematisch zu hohe Werte der Sichtweite an. Obwohl beide Sensoren nach demselben Prinzip arbeiten, deutet sich hier ein Problem des Referenzsensors an. Dieser scheint tatsächlich nur für stationäre Aufstellung geeignet zu sein. Details zu den Ursachen werden von den Autoren nicht angeführt.

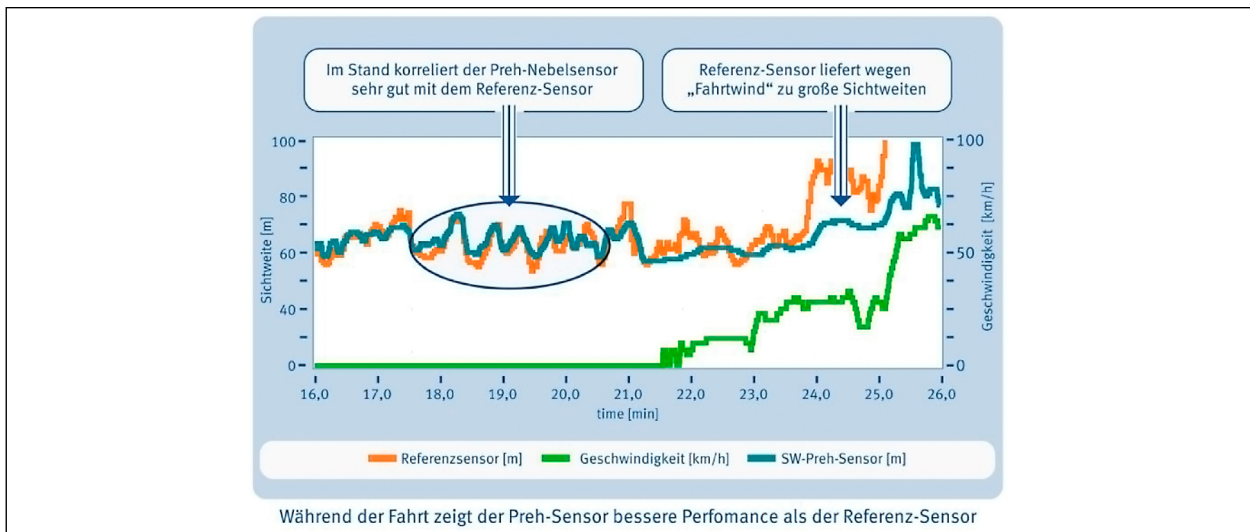


Bild 5-11: Vergleichsmessung mit Referenzsensor (BÜTTNER & SCHMITT 2018)

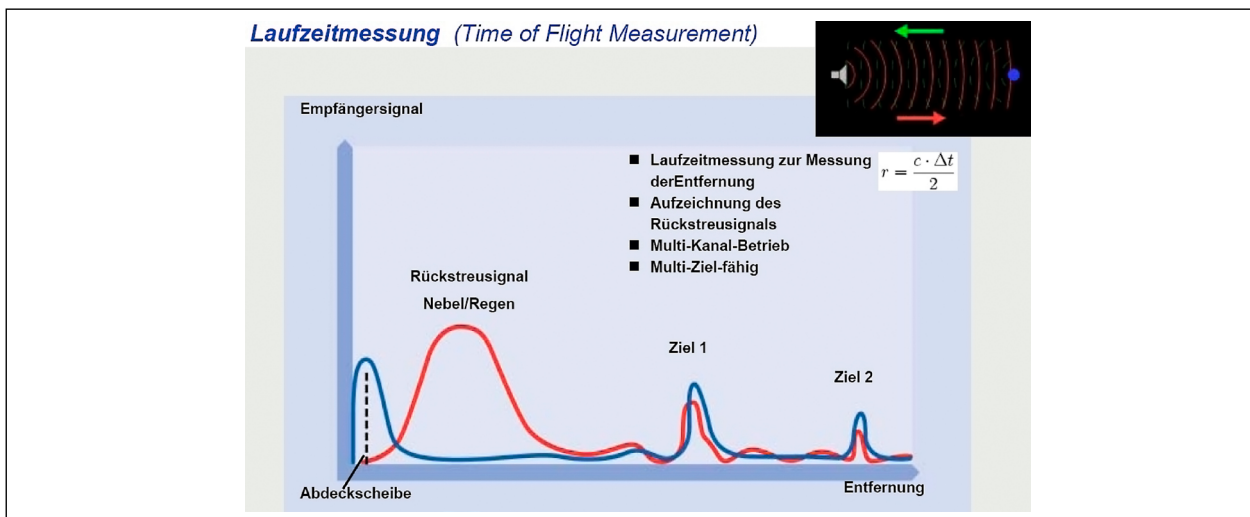


Bild 5-12: Rückstreusignal eines LiDAR bei unterschiedlichen Witterungsbedingungen (Hella GmbH)

Da für die Nebeldetektion zusätzliche Informationen aus dem Fahrzeug notwendig sind, stellt es keine reine physikalisch basierte Methodik dar. Es ist daher auf jeden Fall vor dem Einsatz in aktive eingreifende Funktionen zu überprüfen, ob es als rückführbares Messverfahren zulassungsfähig ist.

Aus den zahlreichen Ergebnissen leiten die Autoren die folgenden technischen Daten für den Sensor ab:

- Messgröße: Sichtweite
- Messbereich: 0 ... 500 m
- Auflösung: 9 Bit (entspricht 1 m)
- Genauigkeit: $\pm 10\%$ des Messwertes
- Reaktionszeit: < 2 s

Der Sensor scheint prinzipiell in der Lage zu sein, eine verlässliche Information über eine eingeschränkte Sichtweite zu liefern. Allerdings schränkt die mit knapp 2 s angegebene Reaktionszeit die Nutzung für automatisierte Fahrfunktionen ein. Diese Zeit liegt deutlich höher als die menschliche Reaktionszeit in der Berechnung in Formel 5-2. Ob der Serien-Prototyp in ein Serienprodukt überführt wird, hängt nach Angabe der Entwickler von der Nachfrage seitens der Automobilhersteller ab (mündliche Aussage).

Kamerabasierte Erkennung

Auf die verschiedenen Möglichkeiten und Grenzen der kamerabasierten Erkennung wurde bereits im Abschnitt 3.4.2 eingegangen. Das grundlegende Problem stellt die fehlende Bewertbarkeit und Vergleichbarkeit der verschiedenen Ansätze dar. Zwar existieren Datenbanken mit referenzierten Bildern

(z. B. (TAREL 2009)), diese sind jedoch synthetisch erzeugt. Damit ist zwar ein Vergleich unterschiedlicher Algorithmen möglich, eine direkte Verknüpfung mit der Leistungsfähigkeit in realen Situationen ist aber nicht gegeben.

LiDAR-basierte Erkennung

LiDAR-Systeme werden schon seit einiger Zeit zur Objektdetektion eingesetzt. Dabei besteht bei den üblicherweise genutzten Wellenlängen im Bereich 850 nm–960 nm ein direkter Zusammenhang zwischen dem Auftreten von Nebel/Regen und der Detektionsreichweite. Bei der Kenntnis des Abstandes zu Referenzobjekten wäre so eine Sichtweitenermittlung möglich.

Laut Angabe des Herstellers Hella (Hella GmbH) ist eine Erkennung auch über die Reflexion an der Abdeckscheibe möglich. Im beschriebenen Prototyp wurde diese Verschiebung zur Deaktivierung der ACC-Funktion aufgrund zu geringer Sichtweite genutzt. Eine systematische Auswertung wurde hierfür nicht durchgeführt.

Derzeit werden verschiedene LiDAR-Systeme entwickelt und vorgestellt, die mit einer Wellenlänge von 1550 nm arbeiten. Diese wird durch Nebel nur geringfügig geschwächt. Ob der beschriebene Effekt auch dort auftritt und die Sichtweite damit weiterhin quasi als Nebenprodukt bei der Objektdetektion mit anfällt ist nicht bekannt.

5.3.3 Fazit Sichtweiten- und Reibwertschätzung

Aus den Recherchen geht hervor, dass die Bestimmung der beiden relevanten Größen, der Sichtweite und des Reibwertes, für ein Serienfahrzeug im notwendigen Bereich der Vorausschau aktuell nicht möglich ist. Zwar gibt es physikalische Verfahren zur Ermittlung der relevanten Größen, diese sind jedoch nicht für die vielfältig wechselnden Umgebungsbedingungen geeignet. Am Beispiel des Li-

DAR zeigt sich das Problem exemplarisch: Eine eindeutige Extinktionsmessung (Maß für die Abschwächung einer Strahlung nach Durchqueren eines Mediums) ist mit einem solchen Gerät zwar möglich, hierfür bedarf es aber eindeutig referenzierbarer Reflexionsobjekte und einer Normalisierung der Strahlungsleistung. Sowohl der Aufbau einer entsprechenden Infrastruktur als auch die Standardisierung der LiDAR-Strahlungscharakteristik erscheinen auf absehbare Zeit nicht realisierbar.

5.4 Effektivität von GAS

Die Effektivität eines ISA-Systems hängt entscheidend von der zuverlässigen Ermittlung der vorgeschriebenen Geschwindigkeit und eventuell vorhandenen Zusatzbedingungen ab. Hier gibt es deutliche Unterschiede bei der sicheren Identifikation der Vorgaben. Tabelle 5-3 zeigt eine Übersicht der Erkennungsraten einzelner Verkehrsschilder und Zusatzbeschilderungen für unterschiedliche ISA-Systeme (kamerabasiert oder kamera- und kartenbasiert).

Aus den Untersuchungen wird deutlich, dass die Nutzung der Kartendaten zu einer deutlichen Verbesserung der Erkennung führt. Da aber auch hier für das zusätzlich beschilderte Merkmal „Schnee“ in fast 30 % der Fälle nicht erkannt worden ist, ist von einer sicheren Ermittlung derzeit nicht auszugehen. Zudem muss bei einer Kartenlösung immer sichergestellt sein, dass die Daten auf einem aktuellen Stand sind. Erst dann kann von einer Nutzung auch für eigenständige Eingriffe ausgegangen werden.

Die Unterschiede der Eingriffe sind für verschiedene Hersteller in Tabelle 5-4 angegeben. Auch wenn es sich nur um 5 Fahrzeuge handelt, ist davon auszugehen, dass viele oder alle Modelle des jeweiligen Herstellers über vergleichbare Systeme verfügen.

Nr.	ISA-System	Quelle	Erkennungsraten von Zusatzbeschilderung					
			Regen	Schnee	Distanz	Zeiten	Pfeile	Autobahn
1	kamera- + kartenbasiert	(HERE 2020)	86 %	71 %	83 %	83 %	100 %	100 %
2	kamerabasiert	(HERE 2020)	60 %	86 %	86 %	0 %	67 %	17 %
3	kamerabasiert	(Tomtom 2020)	69 %	83 %	75 %	13 %	75 %	23 %
4	kamera-+kartenbasiert	(HERE 2020)	100 %	75 %	75 %	100 %	80 %	100 %
5	kamerabasiert	(HERE 2020)	40 %	60 %	80 %	0 %	80 %	0 %

Tab. 5-3: Erkennungsrate von Verkehrs- und Zusatzzeichen (HERE 2020; HERE 2020; Tomtom 2020)

Eigenschaft	Fahrzeugmodell				
	Audi A4	BMW 7er	Ford Galaxy	MB S-Class	VW Arteon
Fahrzeug wird gedrosselt (Limiter)	-	-	+	-	-
Fahrzeug regelt gemäß Tempolimit (ACC)	+	-	-	+	+
Fahrzeug regelt mit Toleranz (km/h)	-	15	10	-	-
Fahrzeug bremst (bei zu hoher Geschwindigkeit)	+	+	-	+	+
System beachtet im ACC die Nebenspur	+	-	-	+	+
Optische und akustische Warnung	-	-	+	+	+
Warnschwelle kann angepasst werden (km/h)	15	-	40	30	20
Geschwindigkeit an Kurvenverlauf angepasst	+	-	-	+	+
Fahrmodi (z. B. Sport) beeinflussen Regelung	+	-	-	+	+
Fahrtrichtungsanzeiger wird berücksichtigt	-	-	-	+	-
Beschränkungen (z. B. „bei Nässe“) erkannt	+	+	+	+	+
Vorfahrtsregelungen werden beachtet	-	+	-	-	-
Ampeln werden berücksichtigt	-	-	-	-	-
Kreisverkehrsplätze/Kreuzungen berücksichtigt	+	-	-	+	+

Tab. 5-4: Realisierungen von ISA in verschiedenen Fahrzeugmodellen (ADAC 2018)

Erstaunderlicherweise haben bei diesem Test alle Systeme die Randbedingung „bei Nässe“ sicher erkannt. Da nicht anzunehmen ist, dass alle über das System von Nr. 4 in Tabelle 5-3 verfügen, müssten für einen sicheren Vergleich auch die Testbedingungen veröffentlicht werden.

Die Übersicht zeigt auf jeden Fall eine große Variation bei den Systemen. Unter dem Gesichtspunkt einer Fahrzeug-Einzelnutzung stellt dies sicher kein Problem dar, da der Fahrzeugführende sich nach kurzer Zeit auf das System und seine Grenzen einstellen kann. Sollte es aber künftig zu einer verstärkten Nutzung im Bereich des Carsharings kommen, sind deutliche Unterschiede im Funktionsumfang zumindest unkomfortabel. Im schlimmsten Fall könnte es bei schlechtem Verständnis oder ungewohnten Rückmeldungen des Systems zur Deaktivierung kommen. Dieser Fall sollte aus verkehrstechnischer Sicht unbedingt vermieden werden.

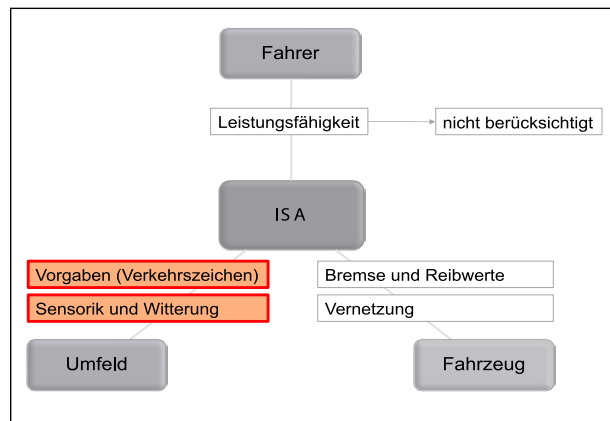


Bild 5-13: Wechselwirkungsbeziehungen für ein ISA-System

5.5 Vorschläge zur Systemrealisierung

Bei der Betrachtung von Umsetzungsmöglichkeiten für erweiterte ISA-Systeme mit aktiver Berücksichtigung der beschriebenen Witterungsverhältnisse sowie der Überprüfung auf Vorliegen der entsprechenden Witterung ist eine Systematisierung der Einflussmöglichkeiten notwendig. Diese wurde für die Fragestellung in Bild 5-13 aufgeführt. Dabei wird davon ausgegangen, dass bisherige ISA-Systeme zwar die Beschränkungen bei schlechten Witterungsbedingungen aufgrund einer digitalen Karte oder einer Bildverarbeitung ermitteln können, die letztendliche Umsetzung aber vom Fahrer abhängt, da nur er das Vorhandensein der beschränkenden Umstände sicher ermitteln kann. Wie bereits zuvor ausgeführt, sind konventionelle z. B. Regen-/Lichtsensoren nicht geeignet, eine sichere Witterungseinschätzung vorzunehmen. Die Reaktionszeit hängt damit im Wesentlichen von der Leistungsfähigkeit des Fahrers bei der Erkennung der Randbedingungen ab. Um die Reaktionszeit des Fahrers sicher zu ermitteln, ist umfangreiche Messtechnik (z. B. Kamera zur Lidschlagerkennung) notwendig. Hier erfolgt zudem ein Abgleich mit dem aus den Fahrdynamik-Sensoren (Lenkwinkel) und den Spurerkennungsverfahren abgeleiteten Fahrverhalten. Diese Thematik wurde in den nachfolgenden Ausführungen nicht betrachtet.

Ausgehend von den Wechselwirkungsbeziehungen könnte ein den gesetzlichen Regelungen folgender aktiver Eingriff durch ein ISA-System erfolgen, wenn nach erfolgter Warnung keine Fahrerreaktion erfolgt und durch eine Sensorik die eingeschränkte Leistungsfähigkeit des Fahrers ermittelt wurde (vgl. Bild 5-14). Die gesetzliche Grundlage ist dabei ähnlich der Fahrdynamikregelung, wo der Fahrerwille als Grundlage genommen wird.

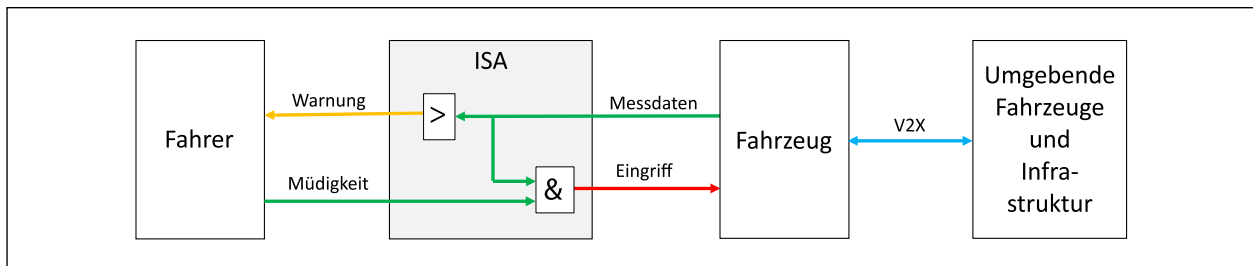


Bild 5-14: Systemkonzept für ein automatisch eingreifendes System

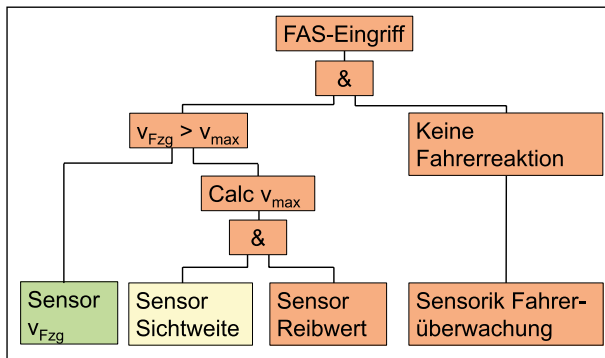


Bild 5-15: Realisierung eines allgemeinen ISA-Eingriffs.

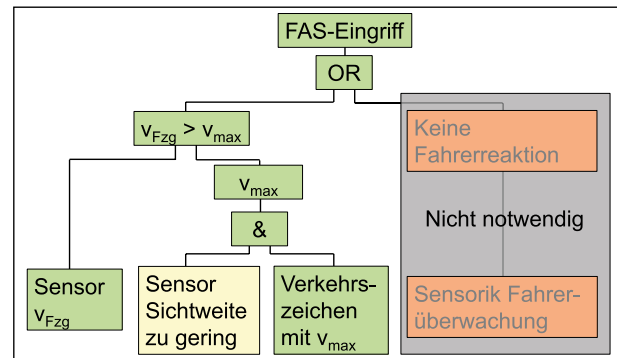


Bild 5-16: Realisierung eines eingeschränkten ISA-Eingriffs

Um die Problematik etwas systematischer zu verdeutlichen, wurden für zwei Varianten Entscheidungsbaume in Analogie zur Fehlerbaumanalyse erstellt. Mittels einfacher logischer Verknüpfungen ist so ableitbar, ob eine Funktion unter den gegebenen Randbedingungen sicher realisierbar ist. Die Farben bedeuten dabei:

- Grün: Seriensystem vorhanden
- Gelb: Prototypensystem verfügbar
- Rot: Keine Systeme bekannt

Bild 5-15 zeigt ein ISA-System, bei dem allein aufgrund der vorliegenden Umgebungsverhältnisse ein Eingriff erfolgen kann. Dies setzt aber voraus, dass sowohl eine sichere Reibwertschätzung zur Ermittlung der lokalen Maximalgeschwindigkeit vorliegt als auch eine sichere Bestimmung der Leistungsfähigkeit des Fahrzeugführers (z. B. über Vitaldaten, Kameraüberwachung und Fahrverhalten). Da dies nicht sichergestellt werden kann, erscheint in absehbarer Zeit ein solcher automatisierter Eingriff nicht möglich.

Im Gegensatz dazu könnte in manchen Situationen aber ein automatisierter Eingriff möglich sein. Immer dann, wenn eine bedingte Geschwindigkeitsbeschränkung aufgrund der Witterungsbedingungen vorgegeben ist, kann bei erkanntem Unterschreiten der für diese Geschwindigkeit notwendigen Sichtweite ein Eingriff erfolgen. Da dies unab-

hängig von der Leistungsfähigkeit des Fahrers erfolgen kann, wäre eine Realisierung mit dem beschriebenen Stand der Technik möglich (vgl. Bild 5-16).

6 Quantifizierung des Unfallvermeidungspotenzials

Bei der Quantifizierung des Unfallvermeidungspotenzials wird davon ausgegangen, dass sich dieses als Produkt von vier wesentlichen Faktoren ergibt (vgl. Formel 6-1):

- Das Wirkfeld des Systems beschreibt die theoretische Anzahl an Unfällen, welche bei vollständig korrekter und vorgesehener Funktionsweise der Systeme und vollständiger Nutzung durch alle Verkehrsteilnehmer adressiert werden können.
- Die Effizienz beschreibt, inwiefern das System mit seinem Funktionsumfang in der Lage ist, die Unfälle im Wirkfeld des Systems zu vermeiden. Somit ist die Effizienz immer im Kontext zum Wirkfeld eines Systems zu sehen. Demzufolge können Systeme nicht alleinig aus deren Effizienzen miteinander verglichen werden, da sie keine Aussage zur absoluten Anzahl an vermiedenen Unfällen liefern können.

- Die Marktdurchdringung beschreibt, in wievielen Fahrzeugen oder bei welchem Anteil an Fahrzeugen das entsprechende System eingebaut ist und entsprechend wirksam werden kann.
- Der Nutzungsgrad beschreibt, wie häufig ein System verwendet wird, sofern es in einem Fahrzeug eingebaut ist. Er setzt sich dabei zum einen aus der Nutzungshäufigkeit des Systems, also ob ein System aktiv eingeschaltet ist, und der Akzeptanz des Systems, also ob den Systemempfehlungen gefolgt wird, zusammen.

$$UVP = WF \cdot Eff \cdot MD \cdot NG \quad \text{Formel 6-1}$$

UVP = Unfallvermeidungspotenzial des Systems

WF = Wirkfeld des Systems (adressierte Unfälle)

Eff = Effizienz innerhalb Funktionsumfang des Systems

MD = Marktdurchdringung des Systems

NG = Nutzungsgrad des Systems

Bezüglich des Funktionsumfangs beschreibt die Verordnung (EU) 2019/2144 des Europäischen Parlaments und des Rates Intelligente Geschwindigkeitsassistenten als Systeme, die den Fahrer bei der Beibehaltung der für die Straßenbedingungen angemessenen Geschwindigkeit durch gezielte und angemessene Rückmeldungen unterstützen. Unter den Mindestanforderungen wird angegeben, dass Fahrer durch Intelligente Geschwindigkeitsassistenten auf die geltenden Geschwindigkeitsbeschränkungen aufmerksam gemacht werden (Europäisches Parlament und der Rat der Europäischen Union 2019).

Basierend auf den Erkenntnissen aus Abschnitt 3.4 und den Angaben der Verordnung werden innerhalb der Quantifizierung des Unfallvermeidungspotenzials drei unterschiedliche Fälle betrachtet, um die Unterschiede im Wirkfeld, der Effizienz und der Marktdurchdringung von GAS zu beachten.

Der erste Fall betrachtet sogenannte Basis-ISA. Diese beschreiben Fahrerassistenzsysteme, welche die maximal zulässige Geschwindigkeit auf der gefahrenen Strecke anhand einer digitalen Karte oder der Verkehrszeichenerkennung oder aus beiden Informationsquellen beziehen. Die Recherchen in Kapitel 3.4 haben gezeigt, dass aktuelle ISA-Systeme Probleme haben, bedingte zulässige Höchstgeschwindigkeiten zu interpretieren, die durch Zusatzschilder, wie „bei Nässe“ angegeben werden.

Für Basis-ISA-Systeme wird daher zunächst angenommen, dass sie sehr verlässlich nur „statische“ Geschwindigkeitsschilder erkennen und umsetzen können. Basis-ISA wirken demnach vor allem Unfällen, welche mit dem Überschreiten der zugelassenen Höchstgeschwindigkeit einhergehen (Unfallursache 12 nach dem Unfallursachenverzeichnis (Statistisches Bundesamt (Destatis) 2021)), entgegen. Basis-ISA-Systeme entsprechen demnach nur teilweise den Mindestanforderungen der Verordnung (EU) 2019/2144, da sie nicht in der Lage sind geltende Geschwindigkeitsbegrenzungen mit Zusatzbedingungen zu erkennen, aber stellen den Funktionsumfang dar, der mit einer hohen Effizienz von aktuell auf dem Markt befindlichen ISA-Systemen abgedeckt wird.

Der zweite Fall betrachtet mit sogenannten ISA+-Systemen Fahrerassistenzsysteme, welche neben einer statischen zulässigen Höchstgeschwindigkeit auch bedingte zulässige Höchstgeschwindigkeiten berücksichtigen. Diese können beispielsweise durch Zusatzzeichen

- mit Witterungsangaben (z. B. „bei Nässe“ - Z. 1053-35),
- mit zeitlichen Beschränkungen (z. B. „16-18 h“ - Z. 1040-30),
- mit Längenangaben (z. B. „200 m“ - Z. 1001-30) oder
- für bestimmte Fahrzeugarten (z. B. „für Lkw mit Anhänger“ - Z. 1010-60)

angezeigt werden. Teilweise werden auch akzeptanzsteigernde Zusatzschilder zur maximal zulässigen Geschwindigkeit im Zuge von Lärmschutzmaßnahmen (z. B. „Lärmschutz“ - Z. 1012-36), zum Hinweis einer Gefahrenstelle („Unfallgefahr“ - Z. 1006-31) oder schützenswerte Verkehrsteilnehmer („Schule“ - Z. 1012-50) angegeben. Demnach enthält der Funktionsumfang von ISA+-Systemen zum einen die Erkennung von statischen und bedingten zulässigen Höchstgeschwindigkeiten und zum anderen die Prüfung, ob die Randbedingungen für die bedingte zulässige Höchstgeschwindigkeit erfüllt sind. Für den ersten Teil des Funktionsumfangs müssten demnach, analog zu Basis-ISA-Systemen, entweder aus einer kamerabasierten Verkehrszeichenerkennung die Zusatzschilder genau erkannt werden und/oder aus hochaktuellen digitalen Karten entnommen werden. Für den zweiten Teil des Funktionsumfangs müsste das Fahrzeug entweder selbstständig durch Fahrzeugsensoren oder an-

hand von infrastrukturegebundenen V2X-Informationen die Bedingungen der Zusatzzeichen prüfen können. Mit diesem Funktionsumfang ermöglichen ISA+-Systeme im Vergleich zu Basis-ISA-Systemen eine Erweiterung des Wirkungsfelds, sodass sowohl Unfälle mit Überschreiten der zulässigen Höchstgeschwindigkeit (Unfallursache 12 nach dem Unfallursachenverzeichnis) als auch Unfälle mit nicht angepasster Geschwindigkeit in anderen Fällen (Unfallursache 13 nach dem Unfallursachenverzeichnis) adressiert werden. Somit werden nicht nur Unfälle mit einer tatsächlichen Überschreitung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit abgedeckt, sondern auch Unfälle bei denen bedingte zulässige Höchstgeschwindigkeiten missachtet wurden oder die Geschwindigkeit den äußeren Randbedingungen nicht angepasst wurde. Dem gegenüber muss jedoch beachtet werden, dass sich der gestiegene Funktionsumfang auf die Effizienz der Systeme auswirkt. In ihren Mindestanforderungen fordert die Verordnung (EU) 2019/2144, dass „der Fahrer [...] darauf aufmerksam gemacht wird, dass die geltende Geschwindigkeitsbeschränkung überschritten wird“ ISA“-Systeme gehen somit über die Mindestanforderungen der Verordnung 2019/2144 hinaus, da sie nicht nur statische Verkehrszeichen verlässlich erkennen können, sondern auch

- verlässlich bedingte zulässige Geschwindigkeiten erkennen können,
- prüfen können, ob deren Bedingungen aktuell vorherrschen und
- dem Fahrer geeignet Rückmeldung geben können, ob die geltenden Geschwindigkeitsbeschränkungen überschritten wurden.

Der dritte Fall betrachtet sogenannte unabhängige ISA. Dabei wird davon ausgegangen, dass selbstständig aus den äußeren Randbedingungen eine sichere Geschwindigkeit abgeschätzt wird, welche u. U. auch unter der zulässigen Höchstgeschwindigkeit liegen kann. Hierzu müssten entweder die Fahrzeuge u. a. selbstständig Witterungsbedingungen, Straßenoberflächen und Sichtweiten schätzen können, um eine sichere Geschwindigkeit ableiten zu können oder die Fahrzeuge erhalten über infrastrukturegebundene V2X-Informationen hochaktuelle Angaben zur sicheren Geschwindigkeit, welche die örtlichen Straßengegebenheit, Längsführung und Witterungsbedingung einbeziehen. Dadurch würde sich das Wirkungsfeld einerseits erneut erweitern, andererseits jedoch geringere Effizienzen erreicht werden aufgrund des erhöhten Funktionsumfangs.

Unabhängige ISA-Systeme gehen somit deutlich über die Mindestanforderung der oben genannten Verordnung hinaus, da sie dem Fahrer nicht nur Rückmeldung über die geltenden (beschilderten) Geschwindigkeitsbeschränkungen, sondern auch über angemessene (sichere) Geschwindigkeiten unter Einbezug der Straßenbedingungen geben – selbst wenn dies nicht beschildert ist.

6.1 Abschätzung des Wirkungsfelds

6.1.1 Allgemeines

Bestimmung von geschwindigkeitsindizierten Unfällen

Die Anzahl an geschwindigkeitsindizierten Unfällen in Deutschland kann nicht unmittelbar aus der amtlichen Statistik der letzten Jahre abgeleitet werden. Die nicht angepasste Geschwindigkeit mit Überschreiten der zulässigen Höchstgeschwindigkeit oder in anderen Fällen (Ursachen 12 oder 13 nach dem Unfallursachenverzeichnis (Statistisches Bundesamt (Destatis) 2021) sind personenbezogene Ursachen und werden somit auf Unfallbeteiligtebene und nicht auf Unfallebene kodiert. In der amtlichen Unfallstatistik wird daher nur die Häufigkeit dieses Fehlverhaltens unter allen Unfallbeteiligten angegeben (Statistisches Bundesamt (Destatis) 2011-2021). Bei einem Unfall kann jedoch theoretisch mehr als nur ein Unfallbeteiligter ein geschwindigkeitsbezogenes Fehlverhalten zugeordnet bekommen. In der Folge existieren in Deutschland weniger geschwindigkeitsindizierte Unfälle als geschwindigkeitsbezogene Fehlverhalten.

Um die in der amtlichen Unfallstatistik angegebenen geschwindigkeitsbezogenen Fehlverhalten in geschwindigkeitsindizierte Unfälle umzurechnen, wurden anhand der vorliegenden polizeilichen Unfalldaten und -ursachen Umrechnungsfaktoren ($f_{Urs \rightarrow U}$) ermittelt. Die amtliche Unfallstatistik führt diese Fehlverhalten nur für Unfälle mit Personenschaden U(P) oder mit schwerem Sachschaden U(SS) auf. U(P) umfassen dabei alle Unfälle mit Getöteten, Schwer- oder Leichtverletzten. U(SS) beschreiben Unfälle bei denen die Unfallursache einen Straftatbestand (auch Einwirkung von Alkohol oder anderen berauschenden Mitteln) oder eine Ordnungswidrigkeit darstellt, wofür die Ahndung mit einem Bußgeld vorgesehen ist. Darüber hinaus muss gleichzeitig mindestens ein Kfz aufgrund des Unfallschadens nicht mehr fahrbereit sein (Statisti-

sches Bundesamt (Destatis) 2021). Die Umrechnungsfaktoren können daher nur für diese Unfallkategorien U(P+SS) berechnet werden. Da ISA-Systeme nur für die EG-Fahrzeugklassen M und N ab 2022 verpflichtend für Neuwagen eingeführt werden, gelten die Umrechnungsfaktoren zudem nur für Unfälle mit Beteiligung dieser Fahrzeugklassen. Unter diesen Randbedingungen stehen im verwendeten Unfallkollektiv 133.193 geschwindigkeitsbezogenen Fehlverhalten 132.451 U(P+SS) gegenüber. Bezogen auf das gesamtdeutsche Unfallgeschehen wird somit ein Umrechnungsfaktor $f_{Urs \rightarrow U}$ von $132.451/133.193=0,994$ verwendet, um von den amtlichen Angaben der Fehlverhalten auf geschwindigkeitsindizierte Unfälle in Deutschland schließen zu können. Der Faktor $f_{Urs \rightarrow U}$ wird dabei pauschal für alle Unfallkategorien (Unfälle mit Getöteten - U(GT) und Unfälle mit Personen- und schwerem Sachschaden – U(P+SS)) und alle geschwindigkeitsindizierten Ursachen (Ursachen 12 und 13) angewendet, da keine signifikanten Unterschiede für $f_{Urs \rightarrow U}$ zwischen den Unfallkollektiven gefunden wurden.

Dunkelziffer bei geschwindigkeitsindizierten Unfällen mit gleichzeitigem Überschreiten der zulässigen Höchstgeschwindigkeit

Die Analyse der GIDAS-Daten hat gezeigt, dass Unfälle existieren, bei denen anhand der Unfallrekonstruktion oder weiterer, vom Erheber codierter Variablen eine nicht angepasste Geschwindigkeit nachgewiesen werden konnte, welche jedoch seitens des Polizeibeamten vor Ort nicht erkannt und codiert wurde (vgl. Kapitel 4.3.2). Demnach existieren deutlich mehr geschwindigkeitsindizierte Unfälle, welche zum Wirkfeld von ISA-Systemen gehören als aus der amtlichen Statistik hervorgeht. Für Unfälle mit Personenschaden (U(P)) kann ein Korrekturfaktor f_{DZ} , welcher den Dunkelzifferanteil unentdeckter geschwindigkeitsindizierter Unfälle beschreibt, aus den In-Depth-Unfalldaten abgeleitet werden. Bei Unfällen unter Beteiligung von M+N-Fahrzeugen existierten 375 U(P) in den In-Depth-Unfalldaten, bei denen in der polizeilichen Unfallaufnahme geschwindigkeitsbezogene Unfallursachen (Ursachen 12 oder 13 nach dem Unfallursachenverzeichnis (Statistisches Bundesamt (Destatis) 2021)) vergeben wurden. Jedoch konnten aus der Differenz der ermittelten gefahrenen Geschwindigkeiten in der Unfallrekonstruktion (inklusive Toleranzen) und der am Unfallort geltenden zulässigen Höchstgeschwindigkeit (inklusive einer Mindestüberschreitung von + 10 km/h) 153 weitere U(P) mit

Geschwindigkeitsbezug identifiziert werden, bei denen keinerlei geschwindigkeitsbezogene Unfallursache bei der polizeilichen Unfallaufnahme kodiert wurde. Analog konnten 184 weitere U(P) identifiziert werden, bei denen keine geschwindigkeitsbezogenen Unfallursachen bei der polizeilichen Unfallaufnahme kodiert wurden, aber aus unterschiedlichsten Variablen der In-Depth-Unfalldaten hervorging, dass eine nicht angepasste Geschwindigkeit vom Fahrer gewählt wurde, welche aber nicht über der zulässigen Höchstgeschwindigkeit am Unfallort lag. Für U(P) wird daher abschließend angenommen, dass auf jeden geschwindigkeitsindizierten Unfall 153/357=0,408 weitere Unfälle mit Überschreiten der zulässigen Höchstgeschwindigkeit (Unfallursache 12 nach dem Unfallursachenverzeichnis) auftreten. Zusätzlich existieren 184/357=0,491 weitere Unfälle mit einer nicht angepassten Geschwindigkeit ohne Überschreiten der zulässigen Höchstgeschwindigkeit (Ursache 13 nach dem Unfallursachenverzeichnis).

Aufgrund der geringen Kollektivgröße an U(GT) innerhalb der In-Depth-Unfalldaten, kann über diesen Ansatz keine robuste Schätzung eines Korrekturfaktors f_{DZ} für diese Unfallkategorie erfolgen. Darüber hinaus werden in den In-Depth-Unfalldaten keine U(SS) erhoben, sodass auch für diese Unfallkategorie kein separater Korrekturfaktor über diesen Ansatz geschätzt werden kann. Daher wurde ein analoger Ansatz über die semantische Analyse der Unfallhergangstexte der polizeilich erfassten U(SS) und U(GT) gewählt. Dabei wurden u. a. Zeichenketten, wie „fährt/fuhr zu schnell“, „nicht angepasst“ oder „zu hohe(r) Geschwindigkeit“ gefiltert, um zusätzliche geschwindigkeitsindizierte Unfälle zu identifizieren. Im Kollektiv polizeilich erhobener Unfalldaten existieren somit 53.576 U(SS) mit kodierten Unfallursachen 12 und 13 und zusätzlich 2.942 U(SS) mit semantischem Indiz auf eine geschwindigkeitsbezogene Unfallursache ($f_{DZ} = 0,055$). Analog stehen 2.135 U(GT) mit kodierten Unfallursachen 12 und 13 100 zusätzlichen U(GT) aus der semantischen Analyse gegenüber ($f_{DZ} = 0,047$).

Dabei wird einerseits deutlich, dass über den semantischen Ansatz nicht zweifelsfrei auf eine tatsächliche Überschreitung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit geschlossen werden kann und somit keine Korrekturfaktoren f_{DZ} getrennt für die Unfallursachen 12 und 13 angegeben werden können. Andererseits wird deutlich, dass der Ansatz nicht in dem exakten Maße ein Indiz für einen Geschwin-

Unfallkategorie	Art der nicht angepassten Geschwindigkeit	Bezugsgröße	Korrekturfaktor
U(GT)	... mit Überschreiten der zulässigen Höchstgeschwindigkeit (Ursache 12) oder in anderen Fällen (Ursache 13)	U(GT) mit polizeilich erfasstem Geschwindigkeitsbezug (Ursachen 12+13)	0,047
U(P)	... mit Überschreiten der zulässigen Höchstgeschwindigkeit (Ursache 12)	U(P) mit polizeilich erfasstem Geschwindigkeitsbezug (Ursachen 12+13)	0,408
	... in anderen Fällen (Ursache 13)		0,491
U(SS)	... mit Überschreiten der zulässigen Höchstgeschwindigkeit (Ursache 12) oder in anderen Fällen (Ursache 13)	U(SS) mit polizeilich erfasstem Geschwindigkeitsbezug (Ursachen 12+13)	0,055

Tab. 6-1: Allgemeine Korrekturfaktoren für die Dunkelziffer bei geschwindigkeitsindizierten Unfällen (f_{DZ})

digkeitsbezug eines Unfalls geben kann wie die In-Depth-Daten. Es muss daher deutlich darauf hingewiesen werden, dass die Korrekturfaktoren f_{DZ} der einzelnen Unfallkategorien nicht miteinander vergleichbar sind. Es kann demnach nicht aus den f_{DZ} der einzelnen Unfallkategorien geschlossen werden, dass U(GT) oder U(SS) einen geringeren Dunkelzifferanteil besitzen als U(P). Die Korrekturfaktoren f_{DZ} der einzelnen Unfallkategorien dienen lediglich dazu, das reale Potenzial an vermeidbaren geschwindigkeitsindizierten Unfällen von ISA-Systemen näher zu bestimmen.

Tabelle 6-1 fasst die dunkelzifferbasierten Korrekturfaktoren (f_{DZ}) zusammen.

Für jedes Jahr lässt sich die hochgerechnete Anzahl an U_{Gesch} abschließend aus den amtlich gemeldeten geschwindigkeitsbezogenen Unfallursachen 12 und 13 eines Jahres, dem Umrechnungsfaktor $f_{Urs \rightarrow U}$ und dem Unfallkategorie-spezifischen Dunkelzifferanteil f_{DZ} entsprechend der Formel 6-2 berechnen.

$$U_{Gesch,t,SS} = (Urs_{12,SS} \cdot 0,992 + Urs_{13,SS} \cdot 0,9945) \cdot \text{Formel 6-2} \\ (1 + 0,055 + 0,055)$$

$$U_{Gesch,t,P} = (Urs_{12,P} \cdot 0,992 + Urs_{13,P} \cdot 0,9945) \cdot \\ (1 + 0,408 + 0,491)$$

$$U_{Gesch,t,GT} = Urs_{12+13,GT} \cdot 0,988 \cdot (1 + 0,047)$$

$$U_{Gesch,t,SS} = \text{theoretische Anzahl } U_{Gesch}(SS)$$

$$U_{Gesch,t,P} = \text{theoretische Anzahl } U_{Gesch}(P)$$

$$U_{Gesch,t,GT} = \text{theoretische Anzahl } U_{Gesch}(GT)$$

$$Urs = \text{Anzahl Ursachen} \\ (\text{nach Ursache und Unfallkategorie})$$

Potenzielles Wirkfeld

Die Analyse von U_{Gesch} hat gezeigt, dass bei diesen eine Vielzahl weiterer Unfallursachen ebenfalls die Entstehung des Unfalls begünstigt haben. In der Folge kann nicht davon ausgegangen werden, dass

mit der alleinigen Vermeidung der geschwindigkeitsindizierten Ursachen durch ISA-Systeme automatisch auch die U_{Gesch} insgesamt vermieden worden wären. Daher ist detaillierter zu prüfen, welche weiteren Unfallursachen im Kollektiv der U_{Gesch} enthalten sind, ob diese ggf. die Vermeidbarkeit des U_{Gesch} beeinflussen können und abschließend, welches maximale (potenzielle) Wirkfeld realistisch durch ISA-Systeme adressiert werden kann.

Es wird davon ausgegangen, dass hocheffiziente und ausgereifte ISA-Systeme zukünftig weitere Unfallursachen mit abdecken könnten, welche zusätzlich zu den nicht angepassten Geschwindigkeiten ursächlich waren. Dazu zählen

- Unfallursachen des Unfallverursachers, die im Zusammenhang mit einem ungenügenden Sicherheitsabstand oder dem Überholen trotz unzureichender Sichtverhältnisse stehen oder
- allgemeine Unfallursachen aus den Bereichen „Glätte/Schlüpfrigkeit der Fahrbahn“, „Witterungseinflüsse“ oder „Hindernisse auf der Fahrbahn“.

Das vorliegende Unfallkollektiv wurde daraufhin untersucht, wie häufig die nicht angepasste Geschwindigkeiten alleinig oder in Kombination mit den zuvor genannten zusätzlich abgedeckten Unfallursachen unter den U_{Gesch} auftraten. Daraus wurde der Korrekturfaktor f_{WF} abgeleitet, welcher den Anteil der U_{Gesch} beschreibt, welche sich alleinig auf diese Unfallursachen beschränken.

Für U_{Gesch} mit Überschreiten der zulässigen Höchstgeschwindigkeit können etwa 48 % auf diese alleinigen Ursachen zurückgeführt werden ($f_{WF} = 0,484$). Bei den U_{Gesch} mit einer nicht angepassten Geschwindigkeit in anderen Fällen decken diese Ursachen sogar knapp 58 % (bei Unfällen mit Getöteten) bzw. 63 % (bei Unfällen mit Personen und schwerem Sachschaden) ab (vgl. Tabelle 6-2).

Unfallkategorie	Art der nicht angepassten Geschwindigkeit	Korrekturfaktor
U(GT), U(P+SS)	... mit Überschreiten der zulässigen Höchstgeschwindigkeit (Ursache 12 nach dem Unfallursachenverzeichnis)	0,484
U(GT)	... in anderen Fällen (Ursache 13 nach dem Unfallursachenverzeichnis)	0,578
U(P+SS)		0,631

Tab. 6-2: Allgemeine Korrekturfaktoren für potenziell adressierbare U_{Gesch} (f_{WF})

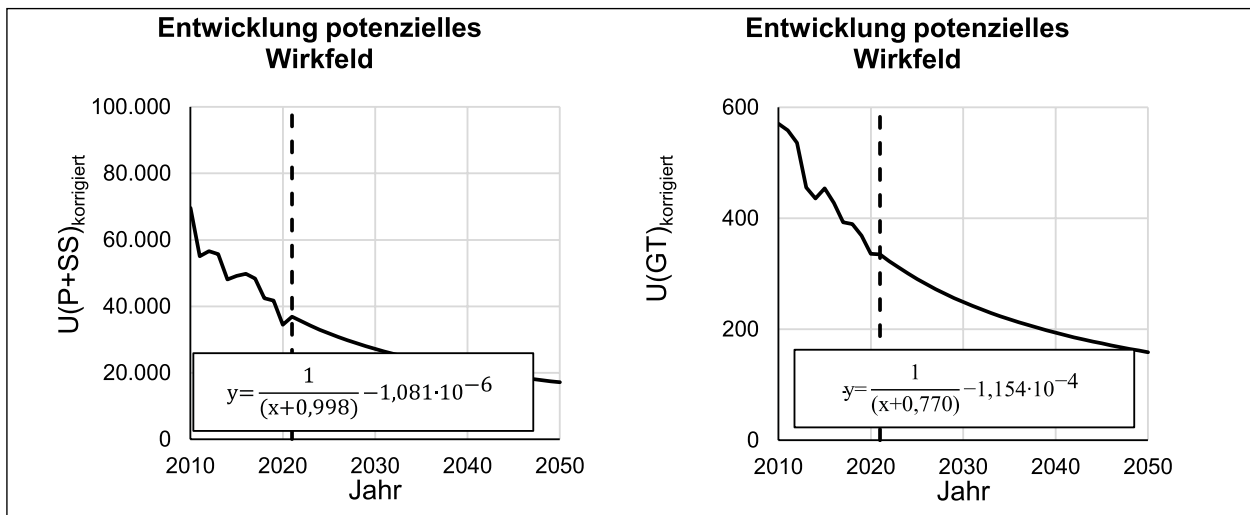


Bild 6-1: Modellierte Entwicklung des potenziellen Wirkfelds für U(P+SS) und U(GT)

Abschließend kann je nach Art der nicht angepassten Geschwindigkeit und der Unfallkategorie das potenzielle Wirkfeld für ISA-Systeme anhand der Multiplikation der theoretische Anzahl U_{Gesch} mit dem entsprechenden Korrekturfaktor f_{WF} ermittelt werden.

Entwicklung des Unfallgeschehens und des potenziellen Wirkfelds

Bei der Abschätzung des Wirkfelds gilt es, ebenfalls die aktuellen Entwicklungen im Unfallgeschehen wie bspw. durch das Wirken anderer FAS, durch Infrastrukturmaßnahmen oder durch den demografischen Wandel etc. mit einzubeziehen. Demnach ist bereits auch ohne GAS ein degressiver Rückgang über die Jahre sowohl bei allen Unfällen als auch den geschwindigkeitsindizierten Unfällen aufgrund der genannten aktuellen Entwicklungen zu erwarten, wodurch sich zum einen automatisch das Wirkfeld von GAS als auch zum anderen der Anteil des Wirkfelds am Gesamtunfallgeschehen über die Zeit hinweg verändert.

Dieser degressive Rückgang wird über die allgemeine Formel 6-3 dargestellt und im Weiteren für die geschwindigkeitsindizierten Unfälle und das deutsche Gesamtunfallgeschehen modelliert.

$$U = \frac{1}{(x-m)} + n$$

Formel 6-3

U = Unfallanzahl

x = Jahr

n = vertikale Verschiebung

m = horizontale Verschiebung

Wird auf Basis der Unfallursachen und der Korrektur- und Umrechnungsfaktoren das potenzielle Wirkfeld für den Zeitraum von 2010 bis 2020 errechnet, ergibt sich im Jahr 2010 ein potenzielles Wirkfeld von etwa 69.600 U(P+SS), welches sich bis 2020 bereits auf etwa 34.450 U(P+SS) reduziert. Wird dieser degressive Rückgang bis 2050 extrapoliert, ergibt sich die in Bild 6-1 dargestellte Entwicklung für das potenzielle Wirkfeld.

Im Folgenden werden die Wirkfelder der drei zuvor genannten Fälle von betrachteten ISA-Systemen und der dabei getroffenen Annahmen und dazu notwendigen Korrekturfaktoren einzeln beschrieben.

6.1.2 Wirkfeld von Basis-ISA

Als Wirkfeld für das Basis-ISA werden alle Unfälle betrachtet, welche entsprechend den Erläuterungen in 6.1.1 im Zusammenhang mit einer nicht angepassten Geschwindigkeit mit Überschreiten der zulässigen Höchstgeschwindigkeit stehen ($U_{Gesch-i}$)

und nicht auf weitere Fehler der Fahrzeugführer, technische Mängel, falsches Verhalten von Fußgängern, Straßenverhältnisse, Witterungseinflüsse oder Hindernisse zurückgeführt werden können. Hierzu wird ein Korrekturfaktor für den Fall Basis-ISA eingeführt, welcher den Anteil der zuvor genannten Ursachen ausschließt (f_{verm}). Dies betraf etwa 44 % der $U_{Gesch}(P+SS)$ und 40 % der $U_{Gesch}(GT)$ mit Überschreiten der zulässigen Höchstgeschwindigkeit. Die genauen Werte der Korrekturfaktoren und Berechnungsvorschriften sind dem Anhang III-1 zu entnehmen.

6.1.3 Wirkfeld von ISA+

Beim Wirkfeld zum Fall ISA+ wird davon ausgegangen, dass ISA-Systeme zusätzliche Bedingungen für eine reduzierte zulässige Höchstgeschwindigkeit kamera- oder kartenbasiert erkennen und über weitere Informationen auswerten können, ob diese Bedingungen aktuell gelten. Dies setzt jedoch voraus, dass auch für konventionelle Fahrzeuge die Informationen über entsprechende Beschilderungen an der Straße angezeigt werden. Ob eine derartige Beschilderung bei geschwindigkeitsindizierten Unfällen existiert hat, wird anhand der Informationen zur „Art der Beschilderung der Geschwindigkeitsbeschränkung“ (bei Nässe) und Informationen zu „aufgestellten Gefahrenkennzeichen“, (z. B: Kurve, Fahrbahnverengung) in der GIDAS-Datenbank ermittelt. Dabei zeigte sich, dass nur in etwa 10,8 % der geschwindigkeitsindizierten Unfälle auf eine entsprechende Beschilderung für eine anzupassende Geschwindigkeit hingewiesen wurde.

Es wird angenommen, dass die reduzierte zulässige Geschwindigkeit bei geschwindigkeitsindizierten Unfällen gewirkt hätte, welche im Zusammenhang mit schlechten Straßen- und Witterungsbedingungen, wie Schnee, Eis, Regen, Nebel oder Unwetter (Ursachen 72, 73, 80, 81, 84 nach dem Unfallursachenverzeichnis (Statistisches Bundesamt (Destatis) 2021)) standen (f_{SWK}). Somit schließt das Wirkfeld von ISA+ das Wirkfeld von Basis-ISA und Unfälle mit den zuvor genannten Unfällen ein. Für Unfälle mit nicht angepasster Geschwindigkeit mit gleichzeitigem Überschreiten der zulässigen Höchstgeschwindigkeit werden durch das ISA+-System kaum neue Unfälle im Vergleich zum Basis-ISA-System adressiert. Allerdings fallen dafür Unfälle mit nichtangepasster Geschwindigkeit in anderen Fällen in das Wirkfeld. Dies betrifft etwa 49% der $U(GT)$ mit nicht angepasster Geschwindigkeit in

anderen Fällen und ein etwas höheren Anteil von etwa 55 % bei $U(P+SS)$. Die genauen Werte der Korrekturfaktoren und Berechnungsvorschriften sind dem Anhang III-2 zu entnehmen.

6.1.4 Wirkfeld von unabhängiges ISA+

Beim Wirkfeld zum Fall unabhängiges ISA wird einerseits davon ausgegangen, dass zusätzlich zu den betrachteten Unfällen im Fall ISA+ geschwindigkeitsindizierte Unfälle im Zusammenhang mit den allgemeinen Unfallursachen, wie Hindernissen auf der Fahrbahn (polizeiliche Ursachen 85-88 nach dem Unfallursachenverzeichnis (Statistisches Bundesamt (Destatis) 2021)), oder weiteren Ursachen im Zusammenhang mit schlechten Straßenverhältnissen“ (amtliche Ursachen 70,71, 74) adressiert werden können. Darüber hinaus werden auch Fehler des Fahrzeugführers, wie ungenügender Sicherheitsabstand (polizeiliche Ursache 14) oder Überholen trotz unzureichender Sichtverhältnisse (polizeiliche Ursache 19), durch eine geeignete Sichtweitschätzung mit abgedeckt. Demnach gehören zum Wirkfeld des Falls unabhängiges ISA alle Unfälle des Falls Basis-ISA, und ergänzende Unfälle zu dem Fall ISA+. Somit erhöhen sich die Anteile im Fall unabhängiges ISA im Vergleich zu denen im Fall ISA+. Unabhängige ISA-Systeme bilden somit den maximalen Funktionsumfang ab, der von idealisierten ISA-Systemen erreicht werden kann.

Andererseits wird davon ausgegangen, dass im Vergleich zum Fall ISA+ keine zusätzliche karten- oder kamerabasierte Information zur herabgesetzten maximalen Geschwindigkeit bei bestimmten geltenden Bedingungen notwendig sind, sondern selbstständig und unabhängig vom Fahrzeug oder durch V2X- oder Backend-Informationen ermittelt werden. Somit erfolgt eine Geschwindigkeitsassistenz nicht mehr nur auf vereinzelt entsprechend beschilderten Strecken, sondern auf allen Strecken. Eine Korrektur über den Faktor $f_{beschild}$ ist daher nicht mehr erforderlich. Die genauen Werte der Korrekturfaktoren und Berechnungsvorschriften sind dem Anhang III zu entnehmen.

6.1.5 Vergleich der Wirkfelder

Die einzelnen ISA-Systeme variieren in ihrer Möglichkeit, bestimmte U_{Gesch} zu adressieren, sodass die jeweiligen Wirkfelder der Systeme unterschiedliche Anteile an U_{Gesch} abdecken können. Tabelle

Filterkriterium	Basis-ISA	ISA+	unabhängiges ISA
Verursacher	• M+N-Fahrzeug		
Unfallursachen des Verursachers	• Überschreiten der zulässigen Höchstgeschwindigkeit	• Überschreiten der zulässigen Höchstgeschwindigkeit oder nicht angepasste Geschwindigkeit in anderen Fällen	
Weitere Unfallursachen des Verursachers	• Keine weiteren Unfallursachen		• ungenügender Sicherheitsabstand • Überholen trotz unzureichender Sichtverhältnisse
Weitere allgemeine Unfallursachen	• Keine weiteren allgemeinen Unfallursachen, wie Straßen- oder Witterungsverhältnisse	• Glätte oder Schlüpfrigkeit der Fahrbahn durch Schnee, Eis, Regen • Sichtbehinderung durch Nebel, starker Regen, Hagel, Schneegestöber, Unwetter oder sonstige Witterungseinflüsse	• Glätte oder Schlüpfrigkeit der Fahrbahn durch ausgeflossenes Öl, andere Verunreinigungen durch Straßenbenutzer, Schnee, Eis, Regen, andere Einflüsse (u. a. Laub, angeschwemmter Lehm) • Sichtbehinderung durch Nebel, starker Regen, Hagel, Schneegestöber, blendende Sonne, Unwetter oder sonstige Witterungseinflüsse • Hindernisse auf der Fahrbahn durch nicht oder unzureichend gesicherte Arbeitsstellen, Wild oder anderes Tier, sonstige Hindernisse

Tab. 6-3: Vergleich der adressierten Unfälle durch die ISA-Systeme

6-3 fasst zusammen, welche Unfälle und Unfallursachen im Einzelnen zum Wirkfeld der einzelnen ISA-Systeme im Unfallkollektiv gezählt wurden.

Entsprechend den vorherigen Erläuterungen zu inkludierten Unfällen (einschließlich Hochrechnungsfaktoren für Dunkelzifferanteile) könnten im Jahr 2020 Basis-ISA-Systeme in der Lage sein, etwa 7-10 % aller U_{Gesch} entsprechend 11,5-15,5 % des potenziellen Wirkfelds (je nach Jahr und betrachteter Unfallkategorie) zu adressieren.

Dieser niedrige Anteil ergibt sich im Wesentlichen daher, dass nur Unfälle mit einer Überschreitung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit vermieden werden könnten.

ISA+-Systeme sind hingegen in der Lage, auch U_{Gesch} zu adressieren, bei denen die zulässige Höchstgeschwindigkeit nicht überschritten wurde, aber den äußeren Randbedingungen nach als nicht sicher eingestuft wurde. Dabei sind die Systeme jedoch darauf angewiesen, dass die entsprechenden Bedingungen und die dann geltenden zulässigen Höchstgeschwindigkeiten beschildert werden.

Da in nur etwa 10 % der Fälle an den Unfallorten eine solche Beschilderung aufgestellt war, ergibt sich ein nur geringfügig zusätzlicher Anteil an U_{Gesch} , der durch ISA+-Systeme ggü. Basis-ISA-Systemen abgedeckt würde.

Insgesamt könnten ISA+-Systeme 12-14 % aller U_{Gesch} bzw. 19,5-25 % des potenziellen Wirkfelds (je nach Jahr und betrachteter Unfallkategorie) adressieren.

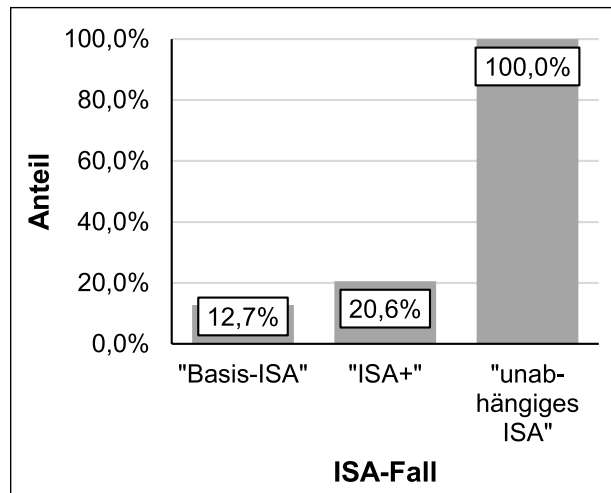


Bild 6-2: Anteil der Wirkfelder der einzelnen ISA-Fälle an $U_{Gesch}(P+SS)$ beispielhaft für das Jahr 2020

Unabhängige ISA-Systeme erreichen das höchste Wirkfeld. Sie decken etwa 55,5-60 % der U_{Gesch} (je nach Jahr und betrachteter Unfallkategorie) ab. Da die unabhängigen ISA-Systeme den idealisierten Funktionsumfang von ISA-Systemen entsprechen, decken sie somit auch 100 % des potenziellen Wirkfelds ab. Das deutlich erhöhte Wirkfeld ergibt sich dabei jedoch nicht durch neu adressierte Arten von U_{Gesch} , sondern durch den Wegfall einer entsprechenden Beschilderung als notwendige Bedingung zum Erkennen einer erforderlichen Geschwindigkeitsreduktion (vgl. Bild 6-2). Dass das Wirkfeld von unabhängigen ISA-Systeme nicht alle U_{Gesch} abdeckt, ist im Wesentlichen darauf zurückzuführen, dass nur bestimmte wenige weitere Unfallursachen zusätzlich zur nicht angepassten Geschwindigkeit mit vermieden werden können.

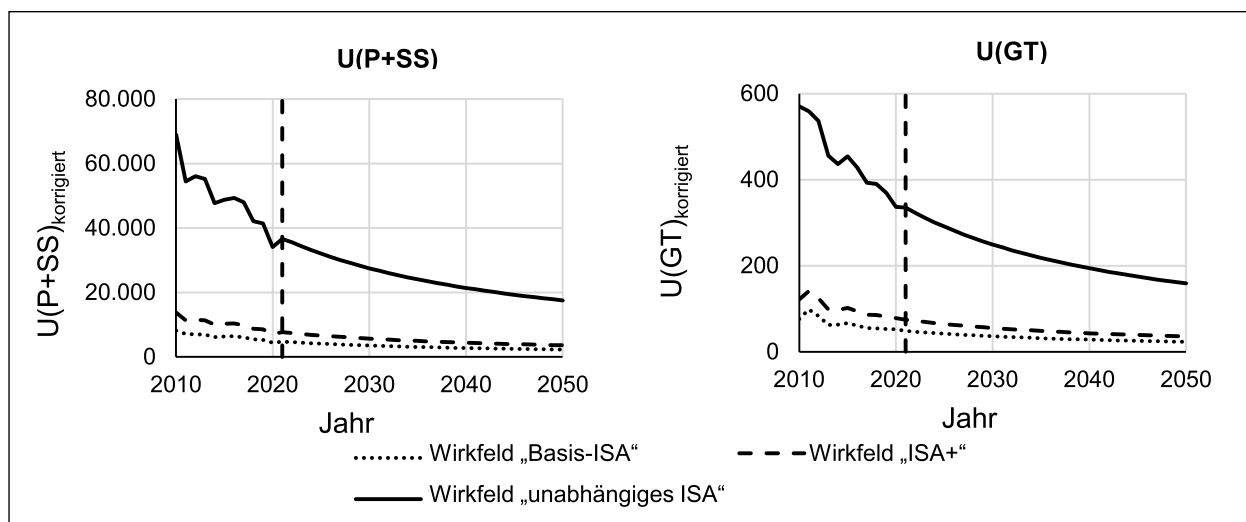


Bild 6-3: Entwicklung der Wirkfelder in den einzelnen Fällen für $U(P+SS)$ und $U(GT)$

Tragen neben der Sichtweite, Straßenoberflächen- oder Witterungsbedingungen weitere Unfallumstände zur Unfallentstehung bei wie u. a. ein missachteter Vorrang anderer Verkehrsteilnehmer, plötzliches Wild auf der Fahrbahn oder Fehler beim Überholen wird davon ausgegangen, dass auch unabhängige ISA-Systeme nicht zur Unfallvermeidung beitragen können.

Die zeitliche Entwicklung der Wirkfelder fasst Bild 6-3 grafisch für alle drei Fälle zusammen. In 2020 existierten (nach Hochrechnung entsprechend dem Abschnitt 6.1.1) ca. $57.340 U_{Gesch}(P+SS)$ und ca. $600 U_{Gesch}(GT)$. Davon können ca. $330 U(GT)$ bzw. $34.450 U(P+SS)$ dem potenziellen Wirkfeld von ISA-Systemen zugeordnet werden. Auch ohne Wirken von ISA-Systemen ist ein deutlicher Rückgang von U_{Gesch} des potenziellen Wirkfelds bis zum Jahr 2050 festzustellen, sodass bei Extrapolation der Unfallentwicklung dann nur noch etwa $17.100 U_{Gesch}(P+SS)$ bzw. $160 U_{Gesch}(GT)$ zum Wirkfeld von ISA-Systemen gehören.

Basis-ISA-Systeme würden im Jahr 2020 etwa $4.380 U_{Gesch}(P+SS)$ und $52 U_{Gesch}(GT)$ adressieren und anschließend degressiv abnehmen bis zum Jahr 2050. Auch hier wird deutlich, dass sich sowohl bei $U(P+SS)$ als auch bei $U(GT)$ das verbesserte System im Fall ISA+ kaum vom Wirkfeld im Fall Basis-ISA abhebt. Im Jahr 2020 hätten etwa $7.100 U(P+SS)$ bzw. $78 U(GT)$ durch ISA+-Systeme adressiert werden können. Deutlich mehr $U(P+SS)$ bzw. $U(GT)$ werden durch ein unabhängiges ISA adressiert. Mit etwa $34.100 U(P+SS)$ bzw. ca. $340 U(GT)$ im Jahr 2020 decken die unabhängigen ISA-Systeme nahezu die Hälfte des potenziel-

len Wirkfelds ab. Auch das Wirkfeld von unabhängigen ISA-Systemen reduziert sich rechnerisch bis zum Jahr 2050 aufgrund des allgemeinen Rückgangs an U_{Gesch} auf etwa $17.500 U(P+SS)$ bzw. $146 U(GT)$.

Die im Bild 6-3 dargestellten Wirkfelder stellen somit das maximal mögliche Unfallvermeidungspotenzial dar, wenn die Systeme im vollen Umfang alle vorgesehenen Funktionen erfüllen und die Systeme in allen Fahrzeugen verbaut und genutzt werden.

6.2 Abschätzung der Effizienz

Bezüglich der Effizienz wird basierend auf den Recherchen in Kapitel 3.4, abgeschätzt, inwiefern das System den erwarteten Funktionsumfang erfüllt und Unfälle vermeiden können. Die Angaben zur Effizienz sind somit immer im Kontext des erwarteten Funktionsumfangs zu sehen und erlauben keinen direkten Vergleich zwischen den Systemen. Bei der Abschätzung ergeben sich für jeden der drei ISA-Systeme unterschiedliche ausschlaggebende kritische Situationen, in denen der Funktionsumfang der ISA-Systeme eingeschränkt sein kann. Anhand dieser Situationen muss abgeschätzt werden, wie gut die drei ISA-Systeme ihren Funktionsumfang erfüllen können unter gleichzeitiger Beachtung der Häufigkeit, dass diese kritischen Situationen während einer Fahrt auftreten können.

Entsprechend der getroffenen Definition von Basis-ISA-Systemen umfasst deren Funktionsumfang das Erkennen von statischen Angaben der zulässigen Höchstgeschwindigkeit und die Einhaltung dieser

Geschwindigkeit. Dabei können die Systeme kamerabasiert Verkehrskennzeichen erkennen, ihre Informationen aus digitalen Karten beziehen oder parallel aus beiden Informationsquellen beziehen. Kritische Situationen bzgl. der Funktionsweise ergeben sich für Basis-ISA-Systeme, wenn Geschwindigkeitsangaben mit weiteren Bedingungen über Zusatzschilder verbunden sind oder Verkehrsschilder implizit eine zulässige Geschwindigkeit vorgeben wie das Ortseingangsschild (Z. 310), der Beginn eines verkehrsberuhigten Bereichs (Z. 3251) oder das Autobahnschild (Z. 330.1). Entsprechend des Funktionsumfangs von Basis-ISA-Systemen können als Anhaltswerte für eine sichere Geschwindigkeit nur die statischen Geschwindigkeitsangaben genutzt werden.

Zum erwarteten Funktionsumfang von ISA+-Systemen zählt über den Funktionsumfang von Basis-ISA-Systemen hinaus, dass neben den statischen zulässigen Höchstgeschwindigkeiten auch bedingte zulässige Höchstgeschwindigkeiten und deren Zusatzschilder erkannt werden. Hierzu muss neben der korrekten Erkennung der bedingten zulässigen Höchstgeschwindigkeit auch die Prüfung der jeweiligen Zusatzbedingung erfolgen. Bzgl. der Effizienz ergeben sich kritische Situationen für eine korrekte Funktionsweise der Systeme in der korrekten Erfassung der Zusatzschilder, aber vor allem in der Prüfung, ob die angegebenen Zusatzbedingungen zutreffen. Hier sind Fahrzeuge entweder auf weitere fahrzeugseitige Sensorik oder externe Informationen angewiesen. Als Anhaltswert für eine sichere Geschwindigkeit können bei ISA+-Systemen statische Geschwindigkeitsangaben genutzt werden und geringere Geschwindigkeiten, wenn diese entsprechend durch Zusatzschilder oder dynamische Anzeigen beschildert sind.

Beim Funktionsumfang von unabhängigen ISA-Systemen wird davon ausgegangen, dass eine sichere Geschwindigkeit nicht allein von einer Beschilderung und etwaigen Zusatzschildern abhängig sein kann, sondern auch unabhängig einer Beschilderung entsprechend der aktuellen Situation angepasst werden muss. Der Funktionsumfang von unabhängigen ISA-Systemen enthält demnach entweder eine dauerhafte Prüfung der Straßenoberfläche, der Witterungsverhältnisse und Sichtweiten durch zusätzliche Fahrzeugsensoren oder eine dauerhafte externe Information zur aktuell und örtlich sicheren Geschwindigkeit. Kritische Randbedingungen für die Effizienz von unabhängigen ISA-Systemen sind demnach die genaue Ableitung ei-

ner sicheren Geschwindigkeit aus einer Vielzahl von Messtoleranzen der unterschiedlichen Fahrzeugsensoren und eine flächendeckende Bereitstellung von externen Informationen zu örtlich genauen Angaben der sicheren Geschwindigkeit. Somit ermitteln unabhängige ISA-Systeme die sichere Geschwindigkeit aus den aktuellen äußeren Randbedingungen, wobei die beschilderten Angaben zur zulässigen Höchstgeschwindigkeit lediglich die Obergrenze angeben, wenn die äußeren Randbedingungen theoretisch auch eine höhere sichere Geschwindigkeit zuließen.

Es wird deutlich, dass für ISA+- und unabhängige ISA-Systeme entweder eine fahrzeugseitige oder externe Bestimmung von äußeren Randbedingungen erfolgen muss. Aktuell existieren auf dem Markt nur ISA-Systeme, die den Funktionsumfang von Basis-ISA-ISA+-Systemen abdecken. Hierzu können Angaben zur aktuellen Effizienz abgeleitet werden und Annahmen zu deren zukünftigen Entwicklung getroffen werden. Unabhängige ISA-Systeme existieren derzeit nicht in Serienreife, sodass hier sowohl Annahmen über die erreichbare Effizienz und deren zeitliche Entwicklung getroffen werden müssen. Die getroffenen Annahmen werden im Folgenden erläutert.

6.2.1 Effizienz von Basis-ISA

Für die Abschätzung von Basis-ISA-Systemen ist es relevant, wie verlässlich diese statischen Angaben der zulässigen Höchstgeschwindigkeit erkennen und umsetzen können. Zur Abschätzung der Effizienz von Basis-ISA-Systemen wird davon ausgegangen, dass diese annähernd der Erkennungsrate der Systeme von Verkehrsschildern während der Fahrt entspricht. Als Erkennungsrate wird das Verhältnis zwischen der Häufigkeit korrekt erkannter Schilder und der Häufigkeit tatsächlich im Straßenraum aufgestellter Verkehrsschilder entlang der Teststrecke verstanden. Basierend auf internen Untersuchungen der Bundesanstalt für Straßenwesen wurde eine Erkennungsrate von 90 % bei aktuell existierenden ISA-Systemen bestimmt.

Daraus werden folgende Annahmen für die Effizienz von Basis-ISA-Systemen und deren zukünftige Entwicklung getroffen:

- Für bereits in der Fahrzeugflotte existierende Fahrzeuge mit ISA-Systemen wird von einer Effizienz von Basis-ISA-Systemen von 90 % ausgegangen.

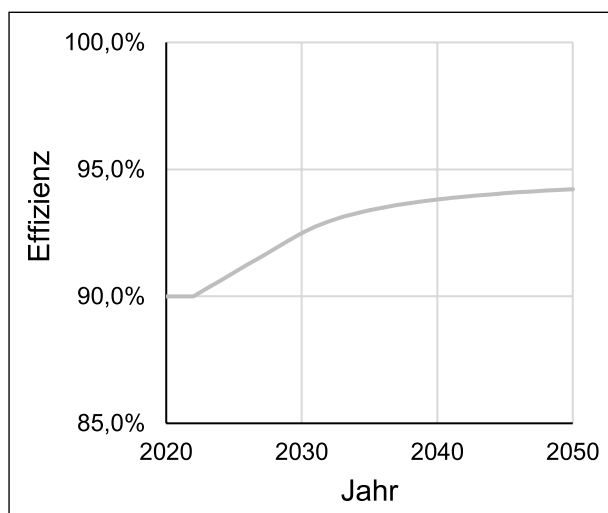


Bild 6-4: Entwicklung der Effizienz von Basis-ISA-Systemen

- Die Effizienz von Neuwagen steigt linear je Modelljahr des Fahrzeugs von 90 % im Jahr 2022 auf 95 % bis zum Jahr 2030 an und verbleibt auf diesem Niveau bis 2050 (in der internen Studie der Bundesanstalt für Straßenwesen lag die höchste erreichte Erkennungsrate von aktuell existierenden ISA-Systemen bei 93 %).

Neuwagen aus dem Jahr 2022 erreichen demnach eine Effizienz von 90 %, Neuwagen vom Jahr 2023 eine Effizienz von 90,625 % und Neuwagen vom Jahr 2024 von 91,25 % usw. Zu beachten ist dabei, dass in der Fahrzeugflotte der darauffolgenden Jahre die Fahrzeuge aus 2022, 2023 (und so weiter) verbleiben, sodass durch den kumulierten Effekt der Marktdurchdringung anstatt einer linearen Zunahme der Effizienz die Effizienzkurve in Bild 6-4 entsteht. Unter diesen Annahmen erreichen Basis-ISA bzgl. ihres erwarteten Funktionsumfangs bis zum Jahr 2050 eine Effizienz von etwas über 94 % in der gesamten Fahrzeugflotte.

6.2.2 Effizienz von ISA+

ISA+-Systeme sollen in der Lage sein, auch bedingte und implizite Geschwindigkeitsangaben zu erkennen sowie bei Vorliegen der entsprechenden Bedingungen eine angemessene Rückmeldung zu geben. Bei der Abschätzung der Effizienz sind drei kritische Systementscheidungen zu beachten. Zunächst muss analog zu Basis-ISA-Systemen das Vorhandensein eines Schilds entlang der Straße durch das System erkannt werden (Erkennungsrate). Anschließend muss der Inhalt des Schilds, insbesondere im Fall bedingter und dynamischer Schilder, richtig durch das System klassifiziert werden (Klassifikationsgenauigkeit). Dabei treten statische

und bedingte/dynamische Geschwindigkeit mit unterschiedlicher Wahrscheinlichkeit auf. Zuletzt muss das Vorliegen der auf dem Zusatzschild angegebenen Bedingung korrekt geprüft werden (Zustandsprüfgenauigkeit). Die Erkennungsrate ergibt sich demnach aus der Multiplikation mehrerer bedingter Einzelwahrscheinlichkeiten.

Bezüglich der Erkennungsrate eines Verkehrsschildes wird davon ausgegangen, dass diese mit 90 % auf demselben Niveau wie bei Basis-ISA-Systemen ist.

Anhand der Analyse der Geschwindigkeitsbeschilderungen am Unfallort der zur Verfügung stehenden In-Depth-Unfalldaten ist zu erkennen, dass in 94,5 % der Fälle eine statische Geschwindigkeit beschildert wurde. Dieser Wert wird als Wahrscheinlichkeit herangezogen, dass von einem Fahrzeug ein statisches Geschwindigkeitsschild zu erkennen ist. Bei der Klassifikationsgenauigkeit wird angenommen, dass diese statischen Geschwindigkeitsschilder immer erkannt werden.

Entsprechend den vorherigen Annahmen wird davon ausgegangen, dass in 5,5 % der beschilderten Geschwindigkeitsangaben eine bedingte oder dynamische Geschwindigkeitsangabe durch das Fahrzeug erkannt werden muss. Hierbei zeigen die NCAP-Ergebnisse des Speed-Limit-Information-Function-Tests (SLIF) jedoch, dass deutliche Unterschiede in der Erkennung dieser Schilder zwischen den getesteten Fahrzeugmodellen existieren. Beim SLIF-Test werden mindestens 100 km auf öffentlichen Straßen (innerorts, Landstraßen, Autobahnen) gefahren und dabei insbesondere die Verarbeitung bedingter Geschwindigkeitsbegrenzungen geprüft. Hierzu werden die beschilderten Angaben zur zulässigen Höchstgeschwindigkeit inklusive Zusatzbedingungen und die vom SLIF angezeigte Geschwindigkeitsbegrenzung geprüft sowie größere Abweichungen notiert. Beim SLIF-Test werden 10 Verkehrsschilder mit bedingten, impliziten und dynamischen Geschwindigkeitsangaben geprüft. Jede Geschwindigkeitsangabe erhält dabei eine unterschiedliche Wichtung, sodass beim SLIF-Test maximal 20 Punkte erzielt werden können (Euro NCAP 2020). Tabelle 6-4 listet die getesteten bedingten und dynamischen Geschwindigkeitsangaben beim SLIF-Test auf und den Anteil der Fahrzeuge, welche die einzelnen bedingten und dynamischen Geschwindigkeitsangaben erfolgreich erkannt haben (Euro NCAP 2021). Um eine durchschnittliche Klassifikationsgenauigkeit für alle be-

Geschwindigkeitsangaben		Punkte	Bestehensquote	Gewichtete Klassifikationsgenauigkeit
bedingt	Bei Regen/Feuchtigkeit	2	68 %	0,105
	Bei Schnee/Eis	2	64 %	0,098
	Während bestimmter Zeiten	3	36 %	0,083
	Für bestimmte Streckenabschnitte	1	64 %	0,049
	Für bestimmte Fahrrichtungen	1	75 %	0,058
	Für bestimmte Fahrzeugsegmente/Gewichtsklassen	1	94 %	0,072
dynamisch	Dynamische Geschwindigkeitsanzeigen inkl. Baustellenanzeigen	3	87 %	0,200
			Gesamtklassifikationsgenauigkeit:	0,665

Tab. 6-4: Ableitung der Klassifikationsgenauigkeit von ISA+-Systemen

Geschwindigkeitsangaben		Punkte	Zustandsprüfgenauigkeit	Gewichtete Zustandsprüfgenauigkeit
bedingt	Bei Regen/Feuchtigkeit	2	90 %	0,138
	Bei Schnee/Eis	2	70 %	0,108
	Während bestimmter Zeiten	3	100 %	0,231
	Für bestimmte Streckenabschnitte	1	100 %	0,077
	Für bestimmte Fahrrichtungen	1	100 %	0,077
	Für bestimmte Fahrzeugsegmente/Gewichtsklassen	1	100 %	0,077
dynamisch	Dynamische Geschwindigkeitsanzeigen inkl. Baustellenanzeigen	3	100 %	0,231
			Gesamtzustandsprüfgenauigkeit:	0,938

Tab. 6-5: Ableitung der Zustandsprüfgenauigkeit von ISA+-Systemen

dingten und dynamischen Geschwindigkeitsangaben zu erhalten, werden die in Tabelle 6-4 angegebenen Bestehensquoten der einzelnen bedingten und dynamischen Geschwindigkeitsangaben mit den angegebenen SLIF-Punkten gewichtet. Im Ergebnis erreichen aktuelle Fahrzeugmodelle eine Gesamtklassifikationsgenauigkeit von 66,5 %.

Zuletzt werden Näherungswerte für die Zustandsprüfgenauigkeit benötigt. Die Genauigkeit der Systeme insbesondere Schnee oder Regen zu erkennen, konnte im Rahmen der Analyse existierender Sensorsysteme (vorangegangenes Kapitel 5) nicht ermittelt werden. Um einen Schätzwert zu erhalten, wie genau Systeme Regen oder Schneefall erkennen können, wurde auf Toleranzangaben von Systemen in stationären Wetterstationen zurückgegriffen. Für diese wird ein Fehler von 5-15 % bei Regen und 20-50 % bei Schnee (festem Niederschlag) angegeben. Die stark schwankenden Fehlerangaben werden im Wesentlichen auf den Einfluss von Wind zurückgeführt (SEVRUK 1985). Es ist anzunehmen, dass Fahrzeugsysteme eher schlechtere Messgenauigkeiten erreichen werden. Für die Prü-

fung von Niederschlag wird von einem Fehler von 10 % aus gegangen, für die Prüfung von Schneefall von 30 %. Analog zur Klassifikationsgenauigkeit wird zur Bestimmung einer Gesamtzustandsprüfgenauigkeit werden die einzelnen Zustandsprüfgenauigkeiten der bedingten und dynamischen Zusatzbeschilderungen mit den angegebenen SLIF-Punkten gewichtet. Im Ergebnis erreichen aktuelle Fahrzeugmodelle eine Gesamtzustandsprüfgenauigkeit von knapp 94 % (vgl. Tabelle 6-5).

Abschließend kann die Gesamteffizienz von ISA+-Systemen aus den bedingten Wahrscheinlichkeiten

- der Erkennungsrate,
- der Wahrscheinlichkeit eines bedingten/dynamischen Geschwindigkeitsschildes,
- der Klassifikationsgenauigkeit und
- der Zustandsprüfgenauigkeit

errechnet werden. Das Baumdiagramm mit den Zweig- und Einzelwahrscheinlichkeiten ist in Bild 6-5 dargestellt. Im Ergebnis wird die Effizienz von

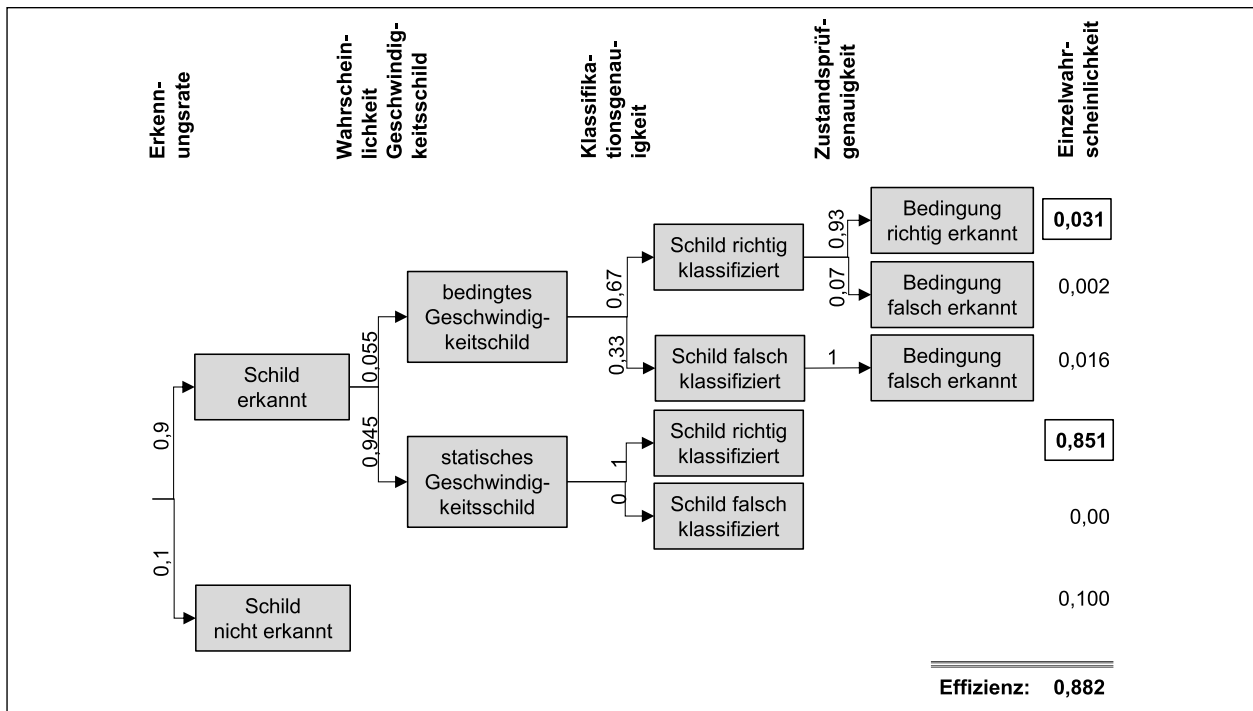


Bild 6-5: Baumdiagramm zur Berechnung der Effizienz von ISA+-Systemen

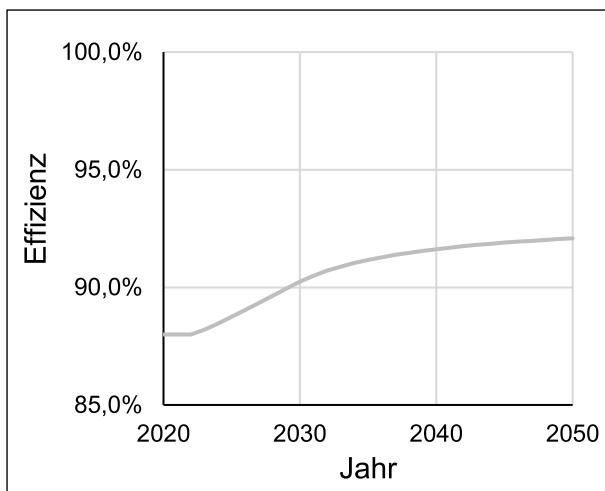


Bild 6-6: Entwicklung der Effizienz von ISA+-Systemen

ISA+-Systemen auf 88 % geschätzt. Dass diese Systeme eine nur unwesentlich geringere Effizienz als Basis-ISA-Systeme erreichen, liegt im Wesentlichen an der geringen Häufigkeit von bedingten Geschwindigkeitsangaben, in denen die Systeme erst eine geringe Klassifikationsgenauigkeit aufweisen.

Aus diesen Angaben werden folgende Annahmen zur Effizienz von ISA+-Systemen und deren Entwicklung abgeleitet:

- Für bereits in der Fahrzeugflotte existierende Fahrzeuge mit ISA-Systemen wird von einer Ef-

fizienz von ISA+-Systemen von 88 % ausgegangen

- Da sich die Klassifikationsgenauigkeit und Zustandsprüfungsgenauigkeit kaum auf die Gesamteffizienz auswirken, wird analog zu Basis-ISA-Systemen ein linearer Anstieg der Effizienz von Neuwagen auf 93 % bis zum Jahr 2030 angenommen, welche auf diesem Niveau bis zum Jahr 2050 verbleibt.

Durch die kumulativen Effekte entwickelt sich die Gesamteffizienz der Fahrzeugflotte im Fall ISA+ entsprechend Bild 6-6. Im Jahr 2022 liegt die Effizienz von ISA+-Systemen in der Gesamtflotte bei etwa 88 % und erreicht eine Effizienz von 92 % im Jahr 2050.

6.2.3 Effizienz von unabhängigen ISA

Für den Fall unabhängiges ISA existieren derzeit keine Systeme, die kombiniert linienführungs- oder witterungsbedingte Sichtweiten und oberflächen- oder witterungsbedingte Reibwerte schätzen, sodass entsprechende Annahmen zu deren Effizienz abgeleitet werden könnten. Es existieren jedoch Angaben zur Genauigkeit von Systemen, welche jeweils die Sichtweite und den Straßenreibwert ermitteln. In Kapitel 5 wurden jedoch Fehlertoleranzen existierender sichtweiteschätzender ($\pm 10\%$) und reibwertschätzender Systeme ($\pm 0,05$) ermittelt. Die

maximale Fehlertoleranz eines vereinenden Systems bei der Ermittlung einer sicheren Geschwindigkeit kann so aus einer klassischen Fehlerberechnung abgeschätzt werden, indem idealisiert von einer vollständigen Umwandlung der kinetischen Energie in Reibungsenergie ausgegangen wird. Nach Umformung kann dadurch eine sichere Geschwindigkeit abgeleitet werden entsprechend Formel 6-4.

$$\begin{aligned} E_{kin} &= E_{reib} \\ 1/2 \cdot m \cdot v^2 &= \mu \cdot m \cdot g \cdot s \\ v &= \sqrt{2 \cdot \mu \cdot g \cdot s} \end{aligned} \quad \text{Formel 6-4}$$

E_{kin} = kinetische Energie

E_{reib} = Reibungsenergie

m = Fahrzeugmasse

v = Fahrgeschwindigkeit

μ = Reibwert

g = Fallbeschleunigung

s = Bremsweg

Über die partiellen Ableitungen für die Fehlertoleranzen für die Sichtweitemtschätzung und der Reibwertschätzung ergibt sich der maximale Fehler für die Bestimmung der sicheren Geschwindigkeit (Δv) aus den Fehlertoleranzen bei der Schätzung der Sichtweite (Δs) und des Reibwerts ($\Delta \mu$) entsprechend Formel 6-5.

$$\begin{aligned} \Delta v &= \left| \frac{dv}{d\mu} \right| \cdot \Delta \mu + \left| \frac{dv}{ds} \right| \cdot \Delta s \\ \Delta v &= \left| \sqrt{\frac{0,5 \cdot g \cdot s}{\mu}} \right| \cdot \Delta \mu + \left| \sqrt{\frac{0,5 \cdot \mu \cdot g}{s}} \right| \cdot \Delta s \end{aligned} \quad \text{Formel 6-5}$$

Δv = Fehlertoleranz der sicheren Geschwindigkeit

$\Delta \mu$ = Fehlertoleranz des Reibwerts

Δs = Fehlertoleranz der Sichtweitemtschätzung

μ = Reibwert

g = Fallbeschleunigung

s = Bremsweg

Unabhängige ISA-Systeme beziehen ihre Information zur sicheren Geschwindigkeit nicht aus Verkehrsschildern, sondern ermitteln aus den erfassten Sicht- und Reibwertbedingungen eine sichere Geschwindigkeit. Ihre Effizienz wird daher abgeschätzt über die Fähigkeit der Systeme die sichere Geschwindigkeit zu ermitteln. Dies wird über das

Verhältnis der vom System eingestellten sicheren Geschwindigkeit ($v - \Delta v$) zur realen sicheren Geschwindigkeit (v) beschrieben (vgl. Formel 6-6).

$$\eta = \frac{|v - \Delta v|}{v} \quad \text{Formel 6-6}$$

η = Effizienz

v = sichere Geschwindigkeit

Δv = Fehlertoleranz der sicheren Geschwindigkeit

Durch Einsetzen von v und Δv aus Formel 6-4 und Formel 6-5 ergibt sich die Effizienz entsprechend der Formel 6-7.

$$\eta = \left| 1 - \frac{\left(\sqrt{\frac{0,5 \cdot g \cdot s}{\mu}} \cdot \Delta \mu + \sqrt{\frac{0,5 \cdot \mu \cdot g}{s}} \cdot \Delta s \right)}{\sqrt{2 \cdot \mu \cdot g \cdot s}} \right| \quad \text{Formel 6-7}$$

η = Effizienz

$\Delta \mu$ = Fehlertoleranz des Reibwerts

Δs = Fehlertoleranz der Sichtweitemtschätzung

μ = Reibwert

g = Fallbeschleunigung

s = Bremsweg

Wird nun Δs mit 0,1 s (10 % Fehlertoleranz zur aktuellen Sichtweite) eingesetzt, so ergibt sich die Effizienz faktisch nur noch aus dem Verhältnis von $\Delta \mu$ und μ (vgl. Formel 6-8).

$$\eta = \left| 1 - \left(0,5 \cdot \frac{\Delta \mu}{\mu} + 0,05 \right) \right| \quad \text{Formel 6-8}$$

η = Effizienz

$\Delta \mu$ = Fehlertoleranz des Reibwerts

μ = Reibwert

Das Bild 6-7 zeigt die Entwicklung der Effizienz über den Reibwert der Straße. Bei einem Reibwert von 1 ergibt sich eine maximale Effizienz von 92,5 %. Das bedeutet, dass in dieser, für typische Fahrbahnen als oberer Grenzwert abschätzbaren Situation der Fehler bei der Reibwertschätzung dazu führt, dass die geschätzte sichere Fahrgeschwindigkeit von der real notwendigen sicheren Fahrgeschwindigkeit um etwa 7,5 % abweicht. Allerdings zeigt sich sehr deutlich im Kurvenverlauf, dass speziell in den Situationen mit geringem Reibwert, wo das unabhängige ISA-System zusätzliche Unterstützung bieten soll, nur eine sehr geringe Effizienz erreicht wird.

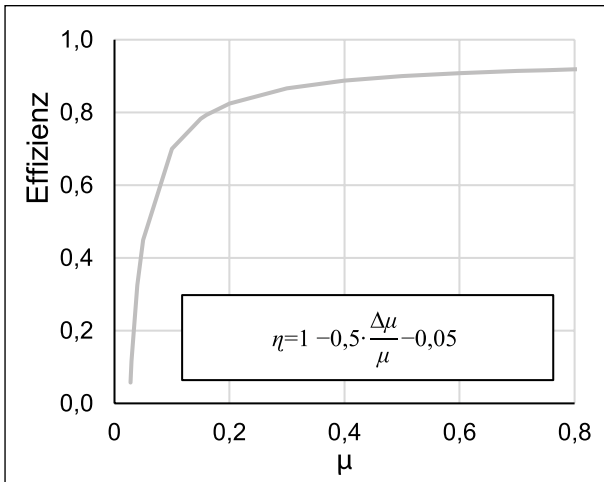


Bild 6-7: Effizienz und Reibwert im Fall unabhängiges ISA

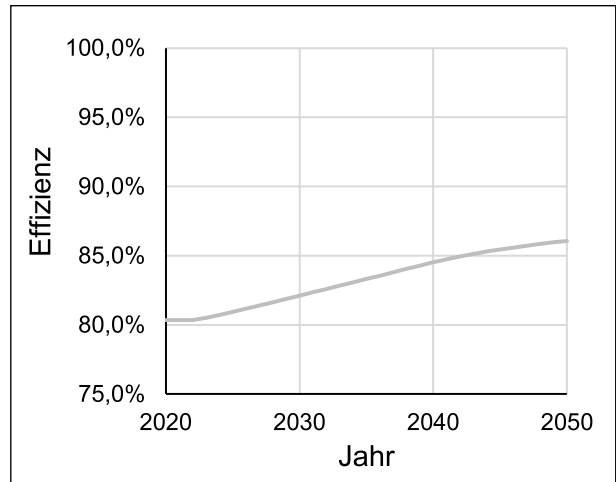


Bild 6-8: Entwicklung der Effizienz von unabhängigen ISA-Systemen

Straßenzustand	Anteil $U_{Gesch}(P+SS)_{M+N}$ an $U(P+SS)_{M+N}$	Angenommener Reibwert	Effizienz (nach Bild 6-7)	Gew. Effizienzanteil
Trocken	38 %	0,8	0,92	0,35
Nass/feucht	36 %	0,5	0,9	0,33
Winterglatt	23 %	0,05	0,05	0,10
Schlüpfrig (Öl, Laub, Dung)	3 %	0,2	0,2	0,02
			Σ	0,80

Tab. 6-6: Gesamteffizienz im Fall unabhängiges ISA

Um einen allgemeinen Wert der Effizienz für unabhängige ISA-Systeme aus der Beziehung zwischen Effizienz, Reibwert und Reibwerttoleranz zu erhalten, muss ein gewichteter Wert der Effizienz abgeleitet werden aus

- der Häufigkeitsverteilung von Reibwertzuständen und
- dem Effizienzwert von unabhängigen ISA-Systemen bei diesen Reibwertzuständen.

Die Häufigkeit bestimmter Reibwertzustände wird aus der Häufigkeit abgeleitet, mit der U_{Gesch} unter Beteiligung von M+N-Fahrzeugen bei den vorliegenden polizeilichen Unfalldaten bei bestimmten Straßenzuständen (trocken, nass/feucht, winterglatt, schlüpfrig) stattfinden. Diesen Straßenzuständen können typische Reibwerte (KILIAN & WEBER 2003; EICHHORN 1994; KUCHLING 2014) zugeordnet werden – auf trockenen Straßen ein Reibwert von 0,8, auf nassen Straßen von 0,5 usw. Entsprechend der Formel 68 kann die Effizienz von unabhängigen ISA-Systemen zu den angenommenen Reibwerten bestimmt werden.

Die Gesamteffizienz von unabhängigen ISA-Systemen kann abschließend errechnet werden, indem die Effizienzwerte bei einzelnen Reibwerten mit der Häufigkeit bei Unfällen gewichtet wird. Dabei ergibt sich eine Gesamteffizienz von etwa 80 % (vgl. Tabelle 6-6).

Für die Entwicklung der Effizienz von unabhängigen ISA-Systemen wird davon ausgegangen, dass sich die Messtoleranz der Systeme von aktuell $\pm 0,05$ auf $\pm 0,02$ bis zum Jahr 2040 linear verbessert. Diese Toleranzen entsprechen einer Zunahme der Effizienz von etwa 80 % ($\pm 0,05$) auf 89 % ($\pm 0,02$). Durch die kumulativen Effekte entwickelt sich die Gesamteffizienz der Fahrzeugflotte im Fall unabhängiges ISA bis zum Jahr 2050 rechnerisch bis auf einen Wert von 86 % (vgl. Bild 6-8).

Zu beachten ist, dass die Angabe für den Zeitraum bis ca. 2030 völlig fiktiv ist – entsprechende Systeme sind aufgrund der fehlenden Technologie zur Reibwertschätzung derzeit nicht verfügbar.

6.2.4 Vergleich vorläufiges Unfallvermeidungspotenzial unter Beachtung von Wirkfeld und Effizienz

Basis-ISA- und ISA+-Systeme erreichen innerhalb ihres Funktionsumfangs hohe Effizienzwerte, sodass die Reduktionen der Unfallvermeidungspotenziale durch verringerte Effizienzwerte nur gering ausfallen. Basis-ISA- und ISA+-Systeme decken in 2020 rechnerisch etwa 10,9 % bzw. 14,6 % des potenziellen Wirkfelds an $U_{Gesch}(P+SS)$ ab. Das höchste theoretische Unfallvermeidungspotenzial unter Beachtung der Effizienz erreichen unabhängige ISA-Systeme mit ca. 80 % des potenziellen Wirkfelds (vgl. Bild 6-9).

Die zeitliche Entwicklung des theoretischen Unfallvermeidungspotenzials (UVP) unter Beachtung der Systemeffizienzen wird in Bild 6-10 dargestellt. Basis-ISA-Systeme adressieren demnach in 2050 etwa 2.100 $U_{Gesch}(P+SS)$, ISA+-Systeme 3.300 $U_{Gesch}(P+SS)$ und unabhängige ISA-Systeme 15.100 $U_{Gesch}(P+SS)$. Ohne Beachtung der Systemeffizienzen erreichten unabhängige ISA-Systeme in 2050 noch 17.500 $U_{Gesch}(P+SS)$.

6.3 Abschätzung des Nutzengrads

Es wird davon ausgegangen, dass der Nutzengrad abhängig ist von

- der Nutzungshäufigkeit des Systems (System wird nicht abgeschaltet) und
- der Akzeptanz des Systems (Einhalten der Systemempfehlungen).

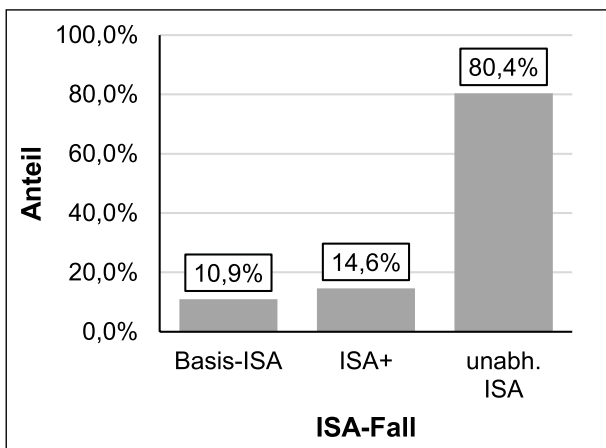


Bild 6-9: Theoretisches Unfallvermeidungspotenzial für $U_{Gesch}(P+SS)$ bei Beachtung der Systemeffizienzen der einzelnen ISA-Fälle beispielhaft für das Jahr 2020

Die Verordnung 2019/2144 (Europäisches Parlament und der Rat der Europäischen Union 2019) sieht vor, dass ISA-Systeme zwar abgeschaltet werden dürfen, aber sich selbstständig bei jeder neuen Fahrt automatisch reaktivieren. Daher wird davon ausgegangen, dass bis auf wenige Ausnahmen das ISA-System eingeschaltet ist und demnach die Nutzungshäufigkeit nahe bei 1 liegt. Der Nutzengrad wird daher alleinig durch die Akzeptanz, also der Einhaltung der Systemempfehlungen durch den Fahrer, bestimmt.

Für die Abschätzung der Akzeptanz der einzelnen ISA-Systeme wird auf Erkenntnisse bisheriger Fahrversuche mit ISA-Systemen zurückgegriffen, in denen geprüft wurde, wie häufig die zulässige Höchstgeschwindigkeit trotz entsprechender ISA-Information aktiv überschritten wurde.

(SAINT PIERRE & EHRLICH 2008) ermittelten bzgl. der Akzeptanz in ihren Fahrversuchen, dass Fahrer mit ISA-Systemen auf Strecken mit einer maximalen Höchstgeschwindigkeit von 30 mph (ca. 48 km/h) in 13 % der gefahrenen Strecke die Höchstgeschwindigkeit aktiv überschritten haben. Auf Strecken mit einer maximal zulässigen Geschwindigkeit von 40 mph (ca. 64 km/h) wurde dies hingegen bei 8 % der gefahrenen Strecke aktiv überschritten. In einer Studie von (LAI et al. 2012) wurden ähnliche Effekte ermittelt mit einer aktiven Überschreitung von 16 % bei 30 mph bzw. 12 % bei 40 mph. (LAI et al. 2012) untersuchten darüber hinaus auch Strecken mit höheren zulässigen Geschwindigkeiten, bei denen sich zeigt, dass mit steigender zulässiger Geschwindigkeit der Anteil der Überschreitungen rückläufig ist. Bis 60 mph (ca. 97 km/h) geht der Anteil der aktiven Überschreitungen

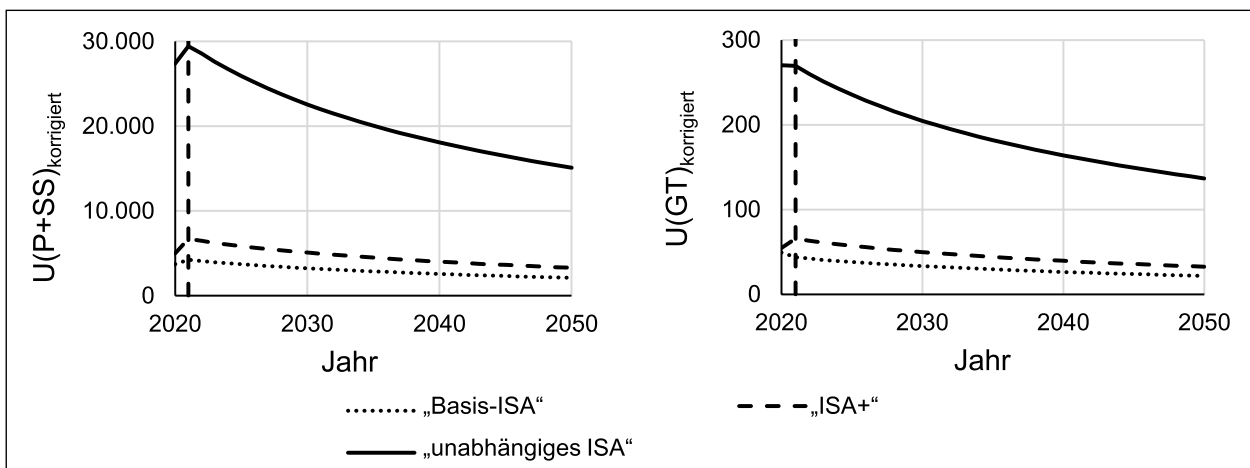


Bild 6-10: Entwicklung des theoretischen Unfallvermeidungspotenzials bei Beachtung der unterschiedlichen ISA-Systemeffizienzen für $U(P+SS)$ und $U(GT)$

gen auf 2 % zurück, steigt jedoch bei 70 mph (ca. 113 km/h) wieder auf 14 % an. Dieser Effekt wird nicht weiter erläutert, kann aber evtl. auf den Übergang von Landstraßen auf Autobahnen zurückzuführen sein.

Die von (LAI et al. 2012) und (SAINT PIERRE & EHRlich 2008) gefundenen Überschreitungsanteile der von ISA-Systemen empfohlenen Geschwindigkeiten durch den Fahrer können genutzt werden, um die Akzeptanz von Basis-ISA-Systemen abzuschätzen, indem die Überschreitungsanteile gewichtet werden über die Häufigkeitsanteile, dass diese Geschwindigkeiten während einer Realfahrt gefahren werden. Hierzu wird die von (BÄUMER et al. 2017) erhobene Verteilung der Fahrleistung auf Innerorts-/Außerortsstraßen oder Autobahnen nach unterschiedlichen Fahrzeugklassen, insbesondere M+N-Fahrzeuge, genutzt. Anhand der durch (LAI et al. 2012) und (SAINT PIERRE & EHRlich 2008) ermittelten Werte des Überschreitungsanteils für unterschiedliche zulässigen Höchstgeschwindigkeiten wird der Überschreitungsanteil für die Straßenkategorien durch Mittelwertbildung der ermittelt: Überschreitungsanteile bis 40 mph werden Innerortsstraßen zugeordnet; Anteile zwischen 40-60 mph den Außerortsstraßen und über 60 mph den Bundesautobahnen. Im Ergebnis ergibt sich eine Überschreitungshäufigkeit von etwa 11 % und somit eine Akzeptanz von 89 % (vgl. Tabelle 6-7).

Mit dem Anhaltswert zur Akzeptanz von Basis-ISA-Systemen wird für ISA+-Systeme davon ausgegangen, dass sie eine leicht erhöhte Akzeptanz besitzen von 93 %, da sie auch implizite Geschwindigkeitsbegrenzungen erkennen können, wie sie gehäuft innerorts und auf Autobahnen auftreten und somit häufiger korrekte Geschwindigkeitsangaben liefern. Dieser Näherungswert stützt sich auf die jeweils niedrigsten ermittelten Überschreitungsanteile von (LAI et al. 2012; SAINT PIERRE & EHRlich 2008) je zulässiger Höchstgeschwindigkeit in den Straßenkategorien. Unabhängige ISA-Systeme werden hingegen sichere Geschwindigkeiten empfehlen, die auch unter der zulässigen Höchstgeschwindigkeit liegen können und deren Überschreiten durch den Fahrer somit mit keinen Bußgeldern geahndet werden, solange die gewählte Geschwindigkeit unterhalb der zulässigen Höchstgeschwindigkeit liegt. Bei unabhängigen ISA-Systemen wird daher von einer höheren Überschreitungsanteil und somit mit einer geringeren Akzeptanz von 80 % ausgegangen.

Ortslage/Straßenkategorie	Fahrleistungsanteil von M+N-Fahrzeugen (BÄUMER et al. 2017)	Geschätzte Überschreitungsanteil nach (LAI et al. 2012; SAINT PIERRE & EHRlich 2008)	Gewichtete Überschreitungshäufigkeit
Bundesautobahn	28 %	12,3 %	3,4 %
außerorts	45 %	4,5 %	2,1 %
innerorts	27 %	20,3 %	5,4 %
Überschreitungsanteil:			10,9 %

Tab. 6-7: Fahrleistungsbezogene Wichtung des Überschreitungsanteil (nach (BÄUMER et al. 2017; LAI et al. 2012; SAINT PIERRE & EHRlich 2008))

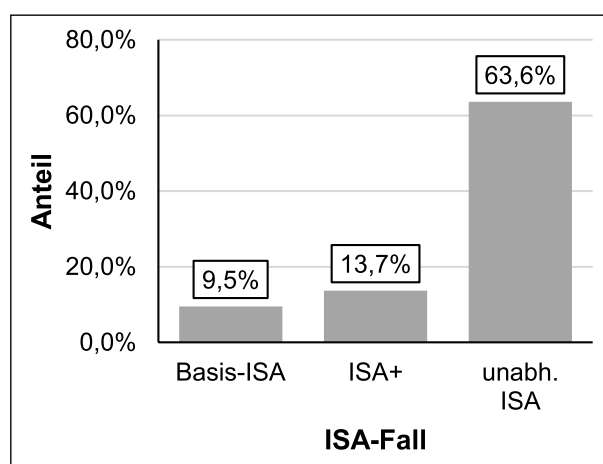


Bild 6-11: Theoretisches Unfallvermeidungspotenzial für $U_{Gesch}(P+SS)$ bei Beachtung der Systemeffizienzen und Nutzengrade der einzelnen ISA-Fälle beispielhaft für das Jahr 2020

6.3.1 Vergleich vorläufiges Unfallvermeidungspotenzial unter Beachtung von Wirkfeld, Effizienz und Nutzengrad

Unter Einbeziehung des Nutzengrads bzw. der Nutzungshäufigkeit und Akzeptanz verringert sich weiter das theoretische Unfallvermeidungspotenzial. Durch die höheren Akzeptanzen von Basis-ISA- und ISA+-Systeme verringert sich der abgedeckte Anteil des potenziellen Wirkfelds an $U_{Gesch}(P+SS)$ durch die Einbeziehung des Nutzengrads nur geringfügig. In 2020 werden bspw. noch 9,5 bzw. 13,7 % abgedeckt. Das höchste theoretische Unfallvermeidungspotenzial erreichen weiterhin unabhängige ISA-Systeme. Diese decken aber nur noch etwa 64 % des potenziellen Wirkfelds ab (vgl. Bild 6-11).

Entsprechend reduzieren sich auch die theoretischen Unfallvermeidungspotenziale in der zeitlichen Entwicklung, wenn die Nutzengrade beachtet

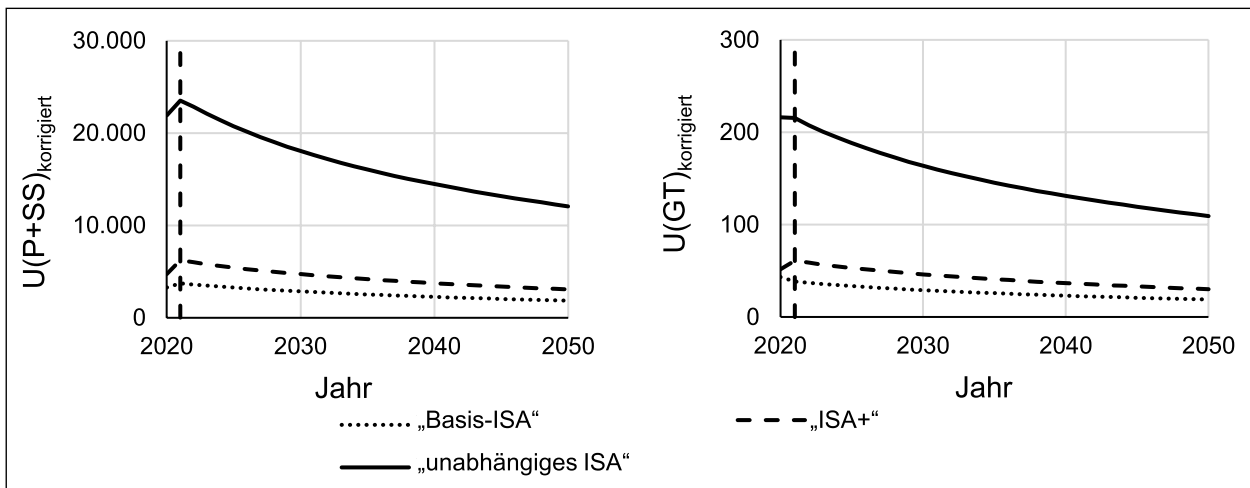


Bild 6-12: Entwicklung des theoretischen Unfallvermeidungspotenzials bei Beachtung der unterschiedlichen ISA-Systemeffizienzen und Nutzengrade für $U(P+SS)$ und $U(GT)$

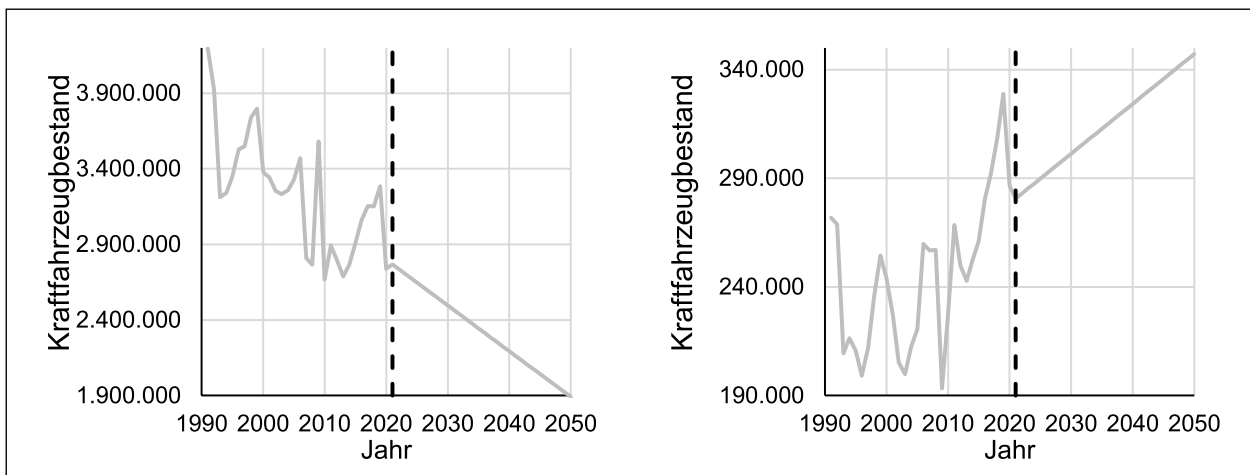


Bild 6-13: Entwicklung der Neuwagenkäufe von Pkw (links) und Lkw (rechts)

werden (vgl. Bild 6-12). Basis-ISA-Systeme adressieren demnach in 2050 etwa $1.850 U_{\text{Gesch}}(P+SS)$, ISA+-Systeme $3.070 U_{\text{Gesch}}(P+SS)$ und unabhängige ISA-Systeme $12.070 U_{\text{Gesch}}(P+SS)$.

6.4 Abschätzung der Marktdurchdringung

Zur Abschätzung der Marktdurchdringung ist zunächst die zukünftige Entwicklung der Fahrzeugflotte und deren Zusammensetzung zu quantifizieren.

Bzgl. des zukünftigen Fahrzeugbestands sind die aktuellen Entwicklungen im Neuwagenkauf zu beachten. Die Neuwagenverkäufe von Pkw sind seit dem Jahr 1990 rückläufig, während Lkw-Neuwagenverkäufe deutlich zunehmen (Kraftfahrtbundesamt 2011,2021). In einer ersten Annahme werden diese Trends linear bis zum Jahr 2050 extrapoliert (vgl. Bild 6-13).

Im Weiteren müssen Annahmen getroffen werden, wie lange Neuwagen eines Jahres in der Fahrzeugflotte der darauffolgenden Jahre verbleiben, bis sie ausgesondert oder exportiert werden. Hier zeigt die Statistik zur Fahrzeugflottenzusammensetzung, dass Pkw tendenziell länger im Fahrzeugkollektiv verbleiben. Während von den Lkw-Neuwagen eines Jahres nach nur 10 Jahren 50 % im Fahrzeugkollektiv übrigbleiben, verbleibt die Hälfte der Pkw-Neuwagen für 13 Jahre im Fahrzeugkollektiv (vgl. Bild 6-14, (Kraftfahrtbundesamt 2011,2021)).

Um die zukünftige Fahrzeugflottenzusammensetzung abzuschätzen, wurden in einem ersten Schritt die Anzahl an Neuwagen für Lkw und Pkw eines jeden Jahres anhand der linearen Trendschätzung bestimmt. Anschließend werden entsprechend der Wahrscheinlichkeit der Verweildauer der Verbleib der Neuwagen eines Jahres in den darauffolgenden Jahren errechnet. Dabei wurde davon ausgegan-

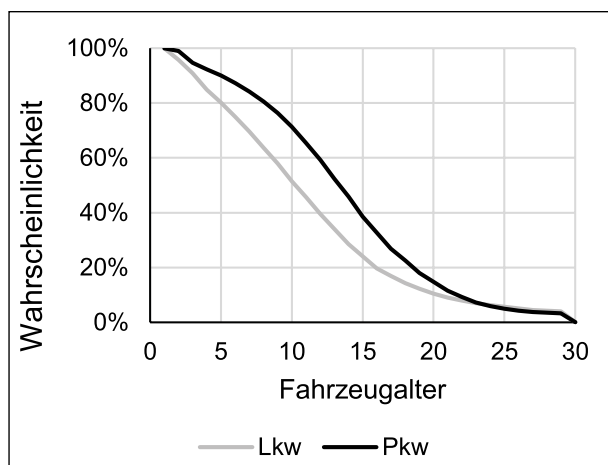


Bild 6-14: Wahrscheinlichkeit des Verbleibs in der Fahrzeugflotte (eigene Darstellung aus (Kraftfahrtbundesamt 2011,2021))

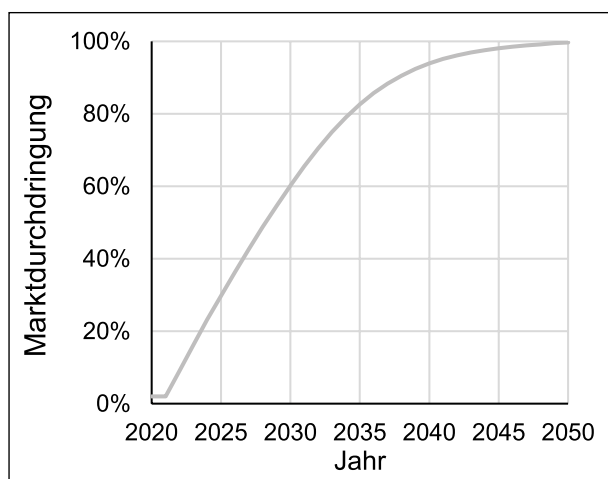


Bild 6-15: Entwicklung der Marktdurchdringung von Basis-ISA-Systemen

gen, dass Fahrzeuge nicht länger als 30 Jahre im Fahrzeugkollektiv verbleiben.

6.4.1 Marktdurchdringung von Basis-ISA

Bei der Ableitung der Entwicklung der Marktdurchdringung im Fall Basis-ISA werden folgende zwei Annahmen getroffen:

- die aktuelle Marktdurchdringung wird auf 2 % geschätzt (GRUSCHWITZ et al. 2020)) und
- es werden keine Altwagen mit ISA-Systemen nachgerüstet

Die Marktdurchdringung eines Jahres ergibt sich dann als Anteil der Fahrzeuge ab dem Modelljahr 2022 am Gesamtfahrzeugkollektiv. Unter den getroffenen Annahmen ergibt sich ein nahezu linearer Anstieg der Marktdurchdringung an Fahrzeugen mit Basis-ISA-Systemen bis auf 80 % bis etwa zum

Jahr 2035. Danach stellt sich eine deutliche Sättigung im Markt ein (vgl. Bild 6-15).

6.4.2 Marktdurchdringung von ISA+

Innerhalb der Ermittlung der zukünftigen Marktdurchdringung von ISA+-Systemen wurden ähnliche Annahmen wie zum Fall Basis-ISA getroffen und durch weitere Annahmen ergänzt. Diese sind notwendig, da der angenommene Funktionsumfang im Fall ISA+ von den aktuellen ISA-Systemen nicht vollständig erreicht wird, da Zusatzschilder zu Geschwindigkeitsangaben nur unzureichend gut erkannt werden. Nur etwa 15 % der seit dem Jahr 2018 getesteten Fahrzeuge haben beim NCAP-Test alle bedingten Geschwindigkeitsangaben (siehe auch Tabelle 6-4) erkannt. Die getrennte Betrachtung von Premium- und anderen Fahrzeugklassen offenbart darüber hinaus, dass etwa 6 % der anderen Fahrzeugklassen alle zusätzlichen Geschwindigkeitsbedingungen erkennen, während dies von knapp 41 % der Premiumklassewagen erreicht wird (eigene Berechnung aus (Euro NCAP 2021)).

Ergänzend zu den Annahmen im Fall Basis-ISA werden folgende weitere Annahmen im Fall ISA+ getroffen:

- Als ISA+-Systeme werden Systeme bezeichnet, welche bei NCAP alle bedingten Geschwindigkeitsangaben erkannt haben. Vereinfachend wird angenommen, dass diese, wenn auch nur im Rahmen ihrer zuvor geschätzten Effizienz, auch die Prüfung der geltenden Bedingungen vornehmen können
- 25 % der Neuwagen sind Premiumklassewagen; 75 % sind andere Fahrzeugklassen
- 41 % der Premiumklassewagen sind im Jahr 2022 mit einem ISA+-System ausgestattet; dieser Anteil steigt linear auf 100 % bis zum Jahr 2035 an
- 6 % der anderen Fahrzeugklassen sind im Jahr 2022 mit einem ISA+-System ausgestattet; dieser Anteil steigt linear auf 100 % bis zum Jahr 2045 an.

Unter diesen Annahmen ergibt sich die Entwicklung der Marktentwicklung von ISA+-Systemen bis zum Jahr 2050, wie in Bild 6-16 dargestellt. Bis zum Jahr 2035 steigt demnach die Marktdurchdringung annähernd linear bis auf 70 % an. Danach stellt sich bereits eine starke Sättigung ein.

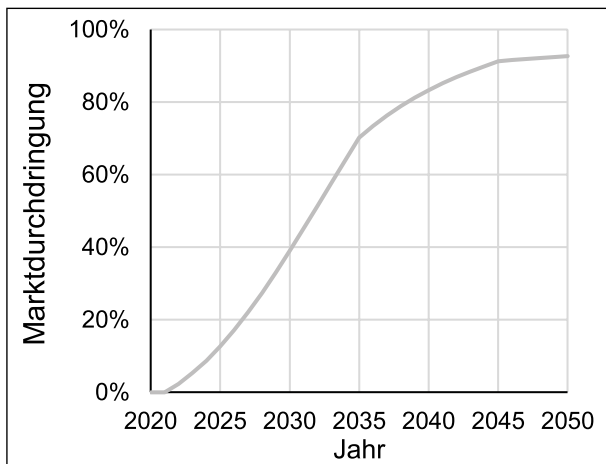


Bild 6-16: Entwicklung der Marktdurchdringung von ISA+-Systemen

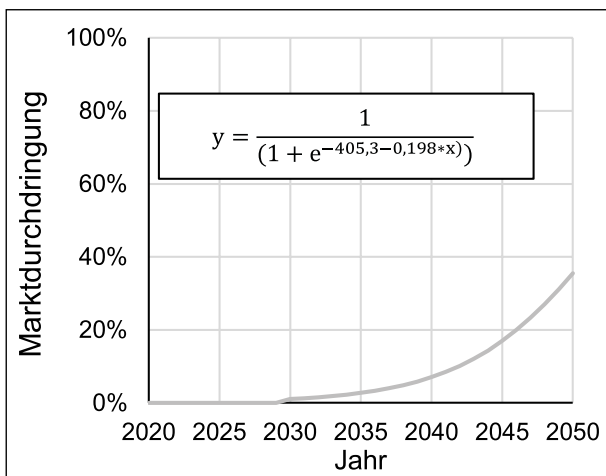


Bild 6-17: Entwicklung der Marktdurchdringung von unabhängigen ISA-Systemen

6.4.3 Marktdurchdringung von unabhängiges ISA

Unabhängige ISA-Systeme, welche kombiniert Reibwerte und Sichtweiten schätzen und daraus eine sichere Geschwindigkeit ableiten, existieren derzeit noch nicht. In der Schätzung der Marktdurchdringung von unabhängigen ISA-Systemen wird zum einen angenommen, dass diese erst ab dem Jahr 2030 das erste Mal in Fahrzeugen verbaut werden. Zum anderen wird von einer optimistischen Schätzung ausgegangen, wonach sich unabhängige ISA-Systeme als sicherheitsorientierte FAS ähnlich schnell durchsetzen wie das ESP. Daher wurden die Verbauraten von ESP in der Gesamtfahrzeugflotte anhand der jährlichen Angaben von (Deutsche Automobil Treuhand (DAT) 2000-2018) mittels logistischer Regression approximiert, sodass die Werte vor dem Jahr 1999 und nach

dem Jahr 2015⁷ extrapoliert werden können. Anschließend wurde die Kurve um 34 Jahre transponiert, sodass im Jahr 2030 erst Verbauraten von > 0,1 % erreicht werden. Bild 6-17 stellt die angenommene Entwicklung der Marktdurchdringung von unabhängigen ISA-Systemen dar. Bis zum Jahr 2050 befindet sich die Entwicklung der Systeme noch im Bereich des exponentiellen Anstiegs der Marktdurchdringung, bevor eine Sättigung eintritt. Im Jahr 2050 erreichen unabhängige ISA-Systeme demnach eine Marktdurchdringung von ca. 35 %.

6.5 Bestimmung des Unfallvermeidungspotenzials

Die Entwicklung des Unfallvermeidungspotenzials ergibt sich abschließend aus dem Produkt von Wirkfeld, Effizienz, Nutzungsgrad und Marktdurchdringung in den jeweiligen Jahresscheiben und Fällen (Basis-ISA, ISA+, unabhängiges ISA) und Unfallkategorien (U(P+SS), U(GT)).

Aktuell wird das Unfallvermeidungspotenzial durch die Marktdurchdringung bestimmt. Zum einen wird dies dadurch deutlich, dass durch eine aktuelle Marktdurchdringung von „Basis ISA“-Systemen von aktuell nur 2 % nur etwa 1 % des potenziellen Wirkfelds von ISA-Systemen adressiert werden können. Für unabhängigen ISA-Systeme wird wiederum innerhalb der Annahmen davon ausgegangen, dass diese nicht vor 2030 mit ihrem Funktionsumfang auf dem Markt existieren werden und somit gar kein Unfallvermeidungspotenzial bis dahin besitzen. Folglich bestimmt der exponentielle Anstieg der Marktdurchdringung über die die Zeit von unabhängigen ISA-Systemen das Unfallvermeidungspotenzial der kommenden Jahre dieses ISA-Systems. Zum anderen wird der Einfluss der Marktdurchdringung deutlich durch die geänderten Funktionsverläufe des Unfallvermeidungspotenzials der unterschiedlichen ISA-Systeme über die Jahre von Bild 6-12 zu Bild 6-18.

Die höchste Anzahl an vermiedenen Unfällen erreichen Basis-ISA-Systeme rechnerisch im Jahr 2038 mit etwas über 20 vermiedenen $U_{Gesch}(GT)$ bzw. etwa 2.150 $U_{Gesch}(P+SS)$. Anschließend verringert sich jedoch die Absolutzahl an vermiedenen Unfällen, da die Anzahl an zusätzlich ausge-

⁷ ESP war ab 1. November 2014 verpflichtend in Neuwagen einzubauen. Daher wurden im Jahr 2015 abschließend die Verbauraten in Neuwagen, Gebrauchtwagen und in der Gesamtfahrzeugflotte angegeben.

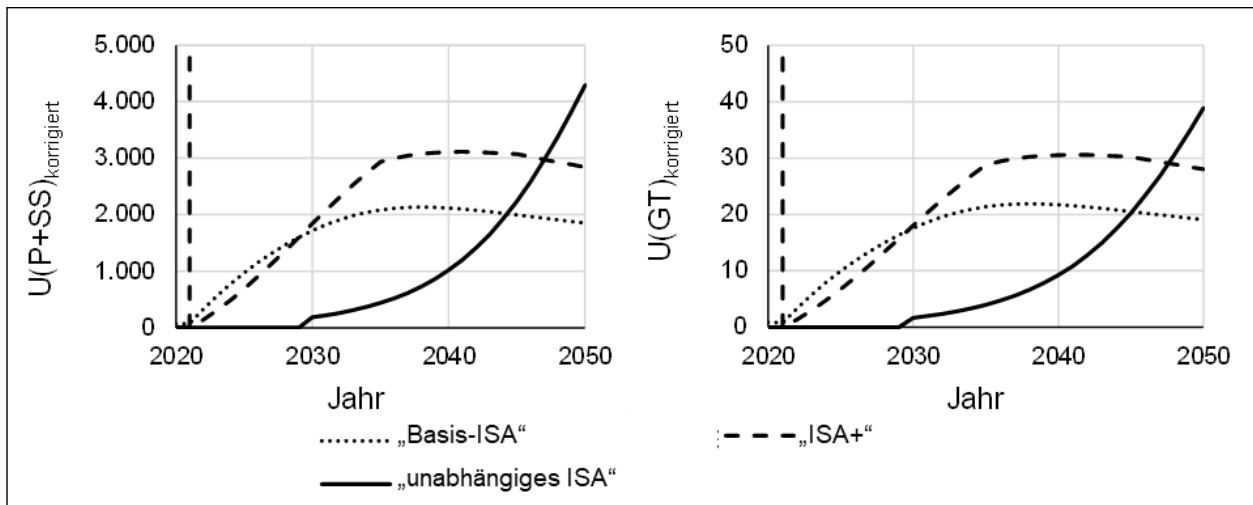


Bild 6-18: Entwicklung des Unfallvermeidungspotenzials bei Beachtung der unterschiedlichen ISA-Systemeffizienzen, Nutzengröße und Marktdurchdringung für $U(P+SS)$ und $U(GT)$, die vertikale Linie markiert das Jahr der Erstellung dieses Berichts.

statteten Fahrzeugen mit Basis-ISA-Systemen (vgl. 6.4.1) und die zunehmende Effizienz der Systeme (6.2.1) in geringerem Maße zunehmen, als geschwindigkeitsindizierte Unfälle über die Jahre abnehmen (vgl. Abschnitt 6.1). Zu einem ähnlichen Effekt kommt es bei ISA+-Systemen. Unter den getroffenen Annahmen werden rechnerisch die meisten geschwindigkeitsindizierten Unfälle im Jahr 2041 vermieden mit knapp $30 U_{\text{Gesch}}(GT)$ bzw. etwa $3.110 U_{\text{Gesch}}(P+SS)$. Bei „unabhängigen ISA-Systemen“ setzt hingegen noch keine Sättigung an vermiedenen geschwindigkeitsindizierten Unfällen bis zum Jahr 2050 ein. Dies liegt im Wesentlichen daran, dass erste Systeme in der Fahrzeugflotte frühestens 2030 erwartet werden und deren Marktdurchdringung als deutlich langsamer angenommen wurde als für Basis-ISA- und ISA+-Systeme. Unter den getroffenen Annahmen übertrifft das Unfallvermeidungspotenzial von unabhängigen ISA-Systemen erst im Jahr 2045 das Unfallvermeidungspotenzial von Basis-ISA-Systemen bzw. im Jahr 2048 das von ISA+-Systemen. Unabhängige ISA-Systeme erreichen am Ende des betrachteten Zeitraums 2050 ihr höchstes Unfallvermeidungspotenzial mit $39 U_{\text{Gesch}}(GT)$ bzw. $4.290 U_{\text{Gesch}}(P+SS)$ (vgl. Bild 6-18).

Zur besseren Vergleichbarkeit werden im Bild 6-19 die zeitlichen Entwicklungen der Unfallvermeidungspotenziale der einzelnen Fälle und der Unfallkategorien in Relation zum potenziellen Wirkfeld und zu allen Unfällen der jeweiligen Unfallkategorie dargestellt.

Bei Betrachtung des Anteils abgedeckter Unfälle des potenziellen Wirkfelds (obere Zeile in Bild

6-19) steigt der Anteil bei Basis-ISA-Systemen auf etwa 10,5 % für $U_{\text{Gesch}}(P+SS)$ bzw. 12,0 % bei $U_{\text{Gesch}}(GT)$ bis zum Jahr 2050. ISA+-Systeme erreichen leicht höhere Anteilswerte von 16,2 % bzw. einen erhöhten Wert von 17,6 % bis zum Jahr 2050 für $U_{\text{Gesch}}(P+SS)$ bzw. $U_{\text{Gesch}}(GT)$. Die nur geringfügige Verbesserung der Wirksamkeit von ISA+-Systemen ist im Wesentlichen durch deren Abhängigkeit von bedingten Beschilderungen der Geschwindigkeit und deren nur geringfügig größeres Wirkfeld geprägt.

Obwohl unabhängige ISA-Systeme erst ab dem Jahr 2030 auf den Markt kommen, erreichen sie aufgrund ihres deutlich größeren Wirkfelds sehr schnell einen hohen Anteil verhinderter geschwindigkeitsindizierter Unfälle. Bei den getroffenen Annahmen decken diese Systeme bis zum Jahr 2050 etwa 24,5 % des potenziellen Wirkfelds sowohl bei $U_{\text{Gesch}}(P+SS)$ als auch $U_{\text{Gesch}}(GT)$ ab. Der Verlauf der Kurve von unabhängigen ISA-Systemen verdeutlicht damit, wie sehr die Entwicklung des Unfallvermeidungspotenzials von der Marktdurchdringung bestimmt wird. Bei den getroffenen Annahmen zur Marktdurchdringung ist jedoch davon auszugehen, dass rechnerisch etwa im Jahr 2055 der stärkste Anstieg in der Marktdurchdringung erreicht wird und anschließend die Sättigung im Markt auch zu einer immer geringer werdenden Zunahme im Unfallvermeidungspotenzial führen wird.

Der Anteil an vermiedenen Unfällen zu allen Unfällen (untere Zeile in Bild 6-19) fällt entsprechend niedriger aus. Durch den erhöhten Anteil geschwindigkeitsindizierter Unfälle bei $U(GT)$ wird je-

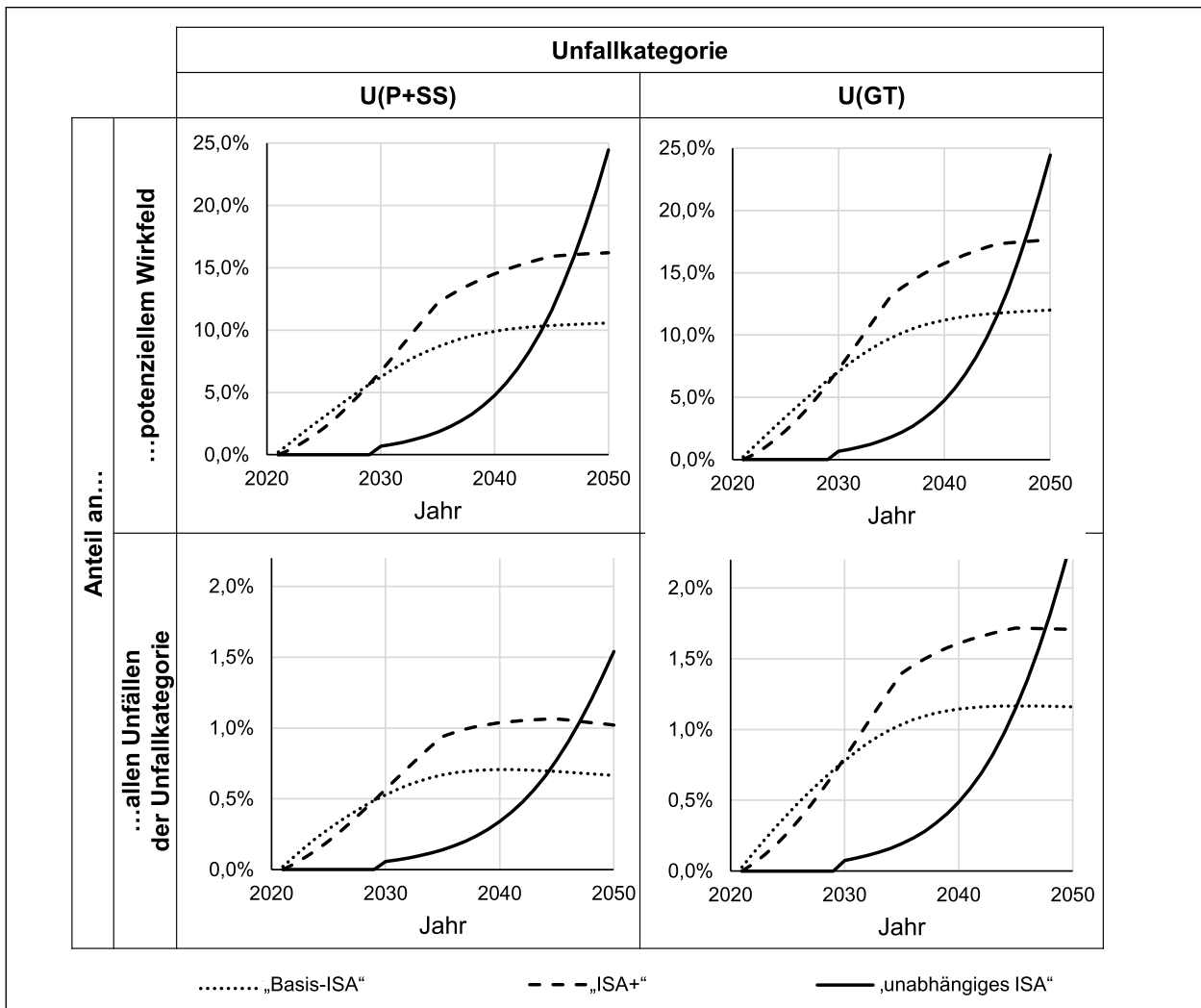


Bild 6-19: Entwicklung Unfallvermeidungspotenzial im Verhältnis zu geschwindigkeitsinduzierten Unfällen (oben: im potenziellen Wirkfeld) und allen Unfällen

doch die höhere Wirkintensität der Systeme bei U(GT) deutlicher. Während je nach ISA-System bei U(P+SS) bei den getroffenen Annahmen etwa 0,7-1,5 % vermieden werden können, schwankt dieser Anteil bei U(GT) zwischen 1,22,4 % im Jahr 2050.

Bei U(P+SS) wird zudem ein weiterer Effekt deutlich: ab dem Jahr 2042 ist der Anteil vermiedener geschwindigkeitsindizierter Unfälle an allen Unfällen bei Basis-ISA- und ISA+-Systemen rückläufig. Dies ist ebenfalls darauf zurückzuführen, dass die Anzahl potenziell vermeidbarer geschwindigkeitsindizierter Unfälle stärker abnimmt, als die Marktdurchdringung und Effizienz im Fahrzeugkollektiv zunimmt. In der Folge heben sich im Jahr 2042 die anteilige Zunahme zusätzlich vermiedener geschwindigkeitsindizierter Unfälle und die Abnahme des Anteils potenziell vermeidbarer geschwindigkeitsindizierter Unfälle im Gesamtunfallgeschehen auf.

7 Zusammenfassung

Es wurden zunächst Unfälle aus der nationalen Unfallstatistik, also polizeilich erfasste Unfälle, und In-Depth-Unfalldaten analysiert, um Müdigkeits- und Geschwindigkeitsunfälle zu charakterisieren.

In Deutschland wurde in den vergangenen Jahren jährlich etwa 2.000 mal die Unfallursache Übermüdung bei Unfällen mit Personenschaden angegeben, was einem Anteil von etwa 0,5 % an allen Unfällen mit Personenschaden entspricht. Als Geschwindigkeitsunfälle (U_{Gesch}) werden wiederum Unfälle verstanden, welche durch eine nichtangepasste Geschwindigkeit des Fahrers verursacht worden sind. Dieses Fehlverhalten wurde jährlich etwa 40.000-45.000 mal bei Unfällen mit Personenschaden (U(P)) in Deutschland erfasst, das entspricht ca. 11,5-12,5 % aller U(P). Nur etwa 5 % dieser U_{Gesch} stehen im Zusammenhang mit einer tatsächlichen Überschreitung der zulässigen

Höchstgeschwindigkeit; bei 95 % war die gefahrene Geschwindigkeit den Bedingungen nicht angepasst.

Die Unfallanalyse hat ergeben, dass bei der Abschätzung des Unfallvermeidungspotenzials durch Geschwindigkeitsassistenten drei Sachverhalte zu beachten sind:

- Bei U_{Gesch} als auch bei $U_{Müd}$ sind die nicht angepasste Geschwindigkeit oder die Müdigkeit nicht die einzigen zugeschriebenen Unfallursachen beim Unfall; U_{Gesch} und $U_{Müd}$ sind durch eine Vielzahl an Ursachen gekennzeichnet.
- Die Analysen der In-Depth-Daten zeigen, dass bei U_{Gesch} eine große Dunkelziffer gegenüber den polizeilich erhobenen Daten der amtlichen Statistik existiert und eher fast jeder vierte U(P) im Zusammenhang mit einer nicht angepassten Geschwindigkeit eines Beteiligten steht.
- Fehlverhalten im Zusammenhang mit einer nichtangepassten Geschwindigkeiten (F_{Gesch}) nehmen in den letzten Jahren stark ab insbesondere bei den motorisierten Verkehrsteilnehmern.

Die beschriebenen Müdigkeits- und Geschwindigkeitsunfälle sollen ab 2022 für Neufahrzeuge und ab 2024 für neu zugelassene Fahrzeuge verpflichtend durch einzubauende Assistenzsysteme wie Müdigkeitswarner und ISA-Systeme vermieden werden. Die Verordnung 2019/2144 des Europäischen Parlaments und des Rates definiert ISA-Systeme als Systeme, die durch gezielte und angemessene Rückmeldungen den Fahrer bei der Beibehaltung der für die Straßenbedingungen angemessenen Geschwindigkeit unterstützen. Die aktuellen Mindestbestimmungen in der Verordnung sehen für Geschwindigkeitsassistenten jedoch nur vor, dass „die Leistungsanforderungen [...] so konfiguriert sein (müssen), dass die Fehlerquote im realen Fahrbetrieb bei null liegt oder möglichst niedrig ist“. Die Recherche zu aktuellen ISA-Systemen zeigte jedoch, dass beschilderte Geschwindigkeitsangaben, insbesondere implizite Geschwindigkeitsangaben (wie z. B. Ortseingangs- oder Autobahnschilder) oder bedingte Geschwindigkeitsbegrenzungen (z. B. durch Zusatzschild „bei Regen“) von kamerabasierten Systemen nicht zuverlässig erkannt werden. Serienreife Systeme, welche nur anhand der Straßenbedingungen, aber ohne gesonderte Beschilderung dem Fahrer eine reduzierte Geschwindigkeit empfehlen, existieren zudem derzeit noch nicht.

Daher wurden entsprechend der Unfallcharakteristik und den Funktionsumfängen von ISA-Systemen innerhalb zur Abschätzung des Unfallvermeidungspotenzials folgende drei Funktionsstufen von ISA-Systemen festgelegt:

- Im Fall Basis-ISA wurde davon ausgegangen, dass ab dem Jahr 2022 ISA-Systeme verpflichtend in Neuwagen einzubauen sind, diese Systeme aber nur bei Überschreitung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit warnen. Diese Systeme sind jedoch nicht in der Lage, implizite Geschwindigkeitsbeschilderungen (z. B. Ortsschilder) oder Geschwindigkeitsbeschilderungen mit Randbedingungen (z. B. Zusatzschild „bei Regen“) zu erkennen und können daher nur U_{Gesch} mit einer tatsächlichen Überschreitung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit vermeiden.
- Im Fall ISA+ können die Systeme diese Beschilderungen erkennen und deren Erfüllung der Randbedingung (z. B. bei Nebel) prüfen. Diese Systeme sind somit in der Lage, sowohl Unfälle mit einer tatsächlichen Überschreitung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit zu adressieren als auch Unfälle bei denen bedingte zulässige Höchstgeschwindigkeiten missachtet wurden oder die Geschwindigkeiten den äußeren Randbedingungen nicht angepasst wurden.
- Im letzten betrachteten Fall unabhängiges ISA sind die Systeme in der Lage, unabhängig von den Beschilderungen eine sichere Geschwindigkeit aus den äußeren Bedingungen abzuleiten. Diese Systeme adressieren somit alle U_{Gesch} , sofern bei diesen nicht weitere Unfallursachen eine Unfallvermeidung verhindern. Derartige Systeme werden aktuell noch nicht serienmäßig verbaut, jedoch können Annahmen zu deren Funktionalität aus Messtoleranzen einzelner Sensorelemente abgeleitet werden.

In den Berechnungen zum Unfallvermeidungspotenzial der einzelnen Fälle wurden unterschiedliche Annahmen getroffen hinsichtlich

- der Entwicklung geschwindigkeitsindizierter Unfälle in den kommenden Jahren (ohne Wirken von ISA-Systemen),
- des Anteils der Dunkelziffer geschwindigkeitsindizierter Unfälle im Gesamtunfallgeschehen,
- des Wirkungsfelds der Systeme,
- der Effizienz der Systeme,

- der Nutzungshäufigkeit der Systeme,
- der Akzeptanz der Systeme sowie
- der Marktdurchdringung der Systeme.

Anhand der getroffenen Annahmen wurden für die drei Funktionsstufen von ISA-Systemen die jeweiligen Unfallvermeidungspotenziale abgeschätzt. Nur 2 % der Fahrzeuge in der aktuellen deutschen Fahrzeugflotte sind älter als 30 Jahre, sodass bei einem verpflichtenden Verbau von ISA-Systemen in Neuwagen ab dem Jahr 2022 bis zum Jahr 2050 nahezu jedes Fahrzeug mit einem ISA-System ausgestattet sein wird und sich dann das maximale Unfallvermeidungspotenzial entfalten kann. Da die Berechnungen zum Unfallvermeidungspotenzial auf mehreren Angaben beruhen, die aus dem Status Quo und aktuellen Entwicklungen abgeschätzt wurden, werden mit steigendem Prognosehorizont die Schätzungen zunehmend ungenauer.

Im Ergebnis der Berechnungen zum Unfallvermeidungspotenzial zeigte sich, dass das Wirkfeld in den Fällen Basis-ISA und ISA+ nur geringfügig unterscheidet und somit beide Fälle ähnliche Vermeidungspotenziale erreichen – Hauptgrund hierfür ist, dass Zusatzbeschilderungen nur in etwa 10 % der Fälle vorhanden sind. Basis-ISA-Systeme werden bis zum Jahr 2050 etwa 10,5 % der Unfälle mit Personenschaden und schwerem Sachschaden (im engeren Sinne) – U(P+SS) bzw. 12 % der Unfälle mit Getöteten (U(GT)) des potenziellen Wirkfelds vermeiden. ISA+-Systeme erreichen 16,2 % der U(P+SS) bzw. 17,6 % der U(GT) des potenziellen Wirkfelds. Diese Anteile entsprechen etwa 19 vermiedenen $U_{Gesch}(GT)$ und 1.850 $U_{Gesch}(P+SS)$ bei Basis-ISA-Systemen bzw. 28 $U_{Gesch}(GT)$ und 2.840 $U_{Gesch}(P+SS)$ bei ISA+-Systemen. Bezogen auf das Gesamtunfallgeschehen vermeiden „Basis ISA“-Systeme“ rechnerisch bestenfalls 0,7 bzw. 1,1 % aller U(P+SS) bzw. U(GT); ISA+-Systeme erreichen 1,0 bzw. 1,7 %. Diese geringe Zahl an durch die Systeme vermiedenen Unfällen ist insbesondere im Kontext der dafür notwendigen Aufwände zu sehen. Die Funktionalität von Basis-ISA-Systemen werden derzeit von den existierenden ISA-Systemen auf dem Markt abgedeckt. ISA+-Systeme sind jedoch darauf angewiesen,

- dass notwendige reduzierte zulässige Höchstgeschwindigkeiten bei bestimmten Bedingungen (z. B. „bei Nässe“, „für die nächsten X km“ etc.) für kamerabasierte Systeme überall, wo notwendig, beschildert sind und für kartenbasierte Sys-

teme in allen digitalen Karten verzeichnet sind und

- dass die Bedingungen für eine reduzierte zulässige Höchstgeschwindigkeit entweder durch entsprechende Fahrzeugsysteme erfasst und geprüft werden können oder an den notwendigen Stellen durch externe Informationen an das Fahrzeug übermittelt werden.

Deutlich höhere Vermeidungspotenziale werden durch unabhängige ISA-Systeme erreicht. Unabhängige ISA-Systeme sollen in der Lage sein, sichere Geschwindigkeiten auch unterhalb der (bedingten) zulässigen Höchstgeschwindigkeit zu empfehlen, wenn dies die aktuellen Sichtweiten, Straßenbedingungen, Witterungsbedingungen etc. erfordern. Diese Systeme existieren aktuell noch nicht, wodurch die Berechnungen zunächst mehreren Annahmen unterliegen. Unter diesen Annahmen vermeiden unabhängige ISA-Systeme im Jahr 2050 etwa 24,5 % des potenziellen Wirkfelds an $U_{Gesch}(P+SS)$ bzw. $U_{Gesch}(GT)$ oder in absoluten Zahlen gesehen 39 $U_{Gesch}(GT)$ bzw. 4.290 $U_{Gesch}(P+SS)$. Auf alle Unfälle bezogen entsprechen die vermiedenen Unfallzahlen einem Anteil von 1,5 % aller U(P+SS) bzw. 2,4 % aller U(GT). Unabhängige ISA-Systeme übertreffen die Vermeidungspotenziale der Basis-ISA- bzw. ISA+-Systeme aufgrund der getroffenen Annahmen hinsichtlich Markteinführung und -durchdringung allerdings erst im Jahr 2045 bzw. 2048. Eine spätere Markteinführung oder eine schwächere Marktdurchdringung führen zu deutlich geringeren Vermeidungspotenzialen bis zum Jahr 2050.

Der Anteil an durch „unabhängige ISA-Systeme“ vermiedenen U_{Gesch} ist jedoch geknüpft an eine Vielzahl von notwendigen fahrzeugseitigen technologischen Entwicklungen, Zusatzinformationen in digitalen Karten und eine flächendeckende Informationsübertragung zu Fahrzeugen. Analog zu ISA+-Systemen müssen zur Bestimmung der sicheren Geschwindigkeit entweder die Sichtweiten und äußeren Randbedingungen (im Wesentlichen zur Verfügung stehender Reibwert) komplett fahrzeugseitig erkannt werden oder aus zeitgenauen digitalen Karten und zusätzlichen externen Informationen abgeleitet werden. Die besondere Herausforderung besteht dann darin, dass dies nicht nur an gesonderten Stellen im Straßennetz (an denen aktuell eine gesonderte Beschilderung erfolgen würde), sondern flächendeckend ermöglicht werden muss, um die errechneten Vermeidungspotenziale zu erreichen.

8 Diskussion

Die Ergebnisse der aktuellen Studie zeigen, dass Geschwindigkeitsassistenten durchaus in der Lage sind, Teile von Unfällen mit Geschwindigkeitsbezug zu vermeiden. Allerdings beschränken sich die aktuell existierenden ISA-Systeme im Wesentlichen auf eine Einhaltung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit. Der weitaus größere Anteil an Unfällen mit Geschwindigkeitsbezug, bei denen die gefahrene Geschwindigkeit eben nicht die zulässige Höchstgeschwindigkeit überschritten hat, aber dennoch der Situation nicht angepasst war, werden durch diese Systeme nicht adressiert.

Die Ergebnisse zum Unfallvermeidungspotenzial verdeutlichen daher die Grenzen der Wirksamkeit aktueller Systeme (Basis-ISA und ISA+), zeigen jedoch auch auf, dass ein potenziell deutlich höheres Unfallvermeidungspotenzial erreicht werden kann, wenn die Funktionen aktueller Systeme (unabhängiges ISA) erweitert werden, um sichere Geschwindigkeiten nur aus der Analyse der äußeren Randbedingungen abzuleiten. Hierfür zeigen die Ergebnisse aber klar, dass entweder zwingend Weiterentwicklungen von Sensoren und Algorithmen erforderlich sind, sodass die geringen Toleranzen der Schätzung der Sichtweite (z. B. Nebel, Kurven, Niederschlag) oder des Reibwerts (Verunreinigungen, Laub, Niederschlag, Eis) erreicht werden, die eine Ableitung einer sicheren Geschwindigkeit ermöglichen, oder aber dass eine flächendeckende Bereitstellung von Umgebungsdaten streckenspezifisch und hochaktuell in Echtzeit zu Fahrzeugen ermöglicht werden muss. Nur dann lassen sich sichere Geschwindigkeiten für Fahrzeuge verlässlich berechnen, die als Basis für Empfehlungen an den Fahrenden dienen könnten.

Selbst wenn dies unter hohem technischem, organisatorischem und infrastrukturellem Aufwand gelänge: nicht angepasste Geschwindigkeit ist selten alleinige Unfallursache. Obwohl durch unabhängige ISA-Systeme das größte potenzielle Wirkungsfeld adressiert würde, würden geschätzt nur etwa 50 % der Unfälle mit Geschwindigkeitsbezug verhindert. Weitere, als Fehler vom Fahrzeugführer angegebene Unfallursachen wie ein missachteter Vorrang anderer Verkehrsteilnehmer, die Nichtbeachtung des Gegenverkehrs oder die Nutzung falscher Straßenbestandteile, würden durch diese Systeme nicht adressiert.

Schließlich zeigen Studien, dass mit zunehmender Verbreitung und Vertrautheit von ISA-Systemen aller Art das Risiko eines Gewöhnungseffekts besteht, bei dem sich der Fahrer den Fähigkeiten und Grenzen des Systems nicht mehr bewusst ist und ein möglicherweise zu hohes Vertrauen in das System aufgebaut wird. Fehleinschätzungen des ISA-Systems könnten dann zu zusätzlichen Unfällen aufgrund nicht angepasster Geschwindigkeit führen. Andere Studien lassen neue, andersartige Unfälle erwarten, da einerseits ISA-Systeme höhere Geschwindigkeiten bei Überholmanövern erschweren könnten (BEYST et al. 2006) und andererseits in Simulatorstudien zu ISA-Systemen vermehrt geringere Zeitlücken zu vorausfahrenden Fahrzeugen durch die Probanden gewählt wurden (CARSTEN & TATE 2005).

Diese konträren Effekte wurden in den Berechnungen zum Unfallvermeidungspotenzial nicht beachtet. Hierzu wären einerseits Unfallszenarien von U_{Gesch} notwendig in denen die genauen Systemausprägungen und dahinterliegende Algorithmen von Sensoren bei unterschiedlichen Umfeldbedingungen und Fahrsituationen getestet werden könnten. Andererseits wären repräsentative Kollektive an Szenarien notwendig. Diese müssten sowohl repräsentativ für Unfallszenarien von U_{Gesch} sein, um die Vermeidung von Unfällen durch GAS zu bestimmen, als auch für andere Unfall- und vor allem Fahrszenarien, um abschätzen zu können, ob GAS ggf. in anderen Situationen wiederum zu neuen Unfällen führen könnten (Unfallmitigation).

Literatur

- AA Foundation for Road Safety Research (2000): What limits speed? Factors that affect how fast we drive.
- AAA Foundation for Traffic Safety. (2010): Asleep at the Wheel: The Prevalence and Impact of Drowsy Driving. Washington.
- AAA Foundation for Traffic Safety (2016): Acute Sleep Deprivation and Risk of Motor Vehicle Crash Involvement.
- ADAC. (2018): ISA-Assistenten: Intelligente Bremsen. [online]. Available from World Wide Web: <<https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/ausstattung-technik-zubehoer/assistentensysteme/geschwindigkeitsassistent-isa/>>

- Allgemeiner Deutscher Automobil-Club (ADAC). (2018): ISA-Assistenten: Intelligente Bremser.
- ARMSTRONG, K. A., Smith, S. S. & STEINHARDT, D. A., Haworth, N, L. (2008): Fatigue crashes happen in urban areas too : characteristics of crashes in low. 2008 Australian Road Safety Research, Policing and Education Conference.
- BARROW, A.; EDWARDS, A.; SMITH, L.; KHATRY, R.; KALAIYARASAN, A. & HYND, D (2017): Effectiveness estimates for proposed amendments to the EU's General and Pedestrian Safety Regulations.
- BÄUMER, M.; HAUTZINGER, H.; PFEIFFER, M.; STOCK, W.; LENZ, B.; KUHNIMHOF, T. & KÖHLER, K. (2017): Fahrleistungserhebung 2014-Inländerfahrleistung. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen v290.
- Beratungsstelle für Unfallverhütung (BFU). (2021): Smart Rider - Fahrerassistenzsysteme - ISA (Intelligent Speed Adaptation). [online]. [Accessed 20 Aug 2021]. Available from World Wide Web: <<https://smartrider.ch/de/fahrerassistenzsysteme/isa-intelligent-speed-adaptation>>
- BEYST, V.; DE KIEVIT, E.; MENZEL, C.; OLSSON, C.; DRASKOCZY, M.; THOMSEN, J.; CHORLTON, K.; THORSON, O.; MONGEOT, H & SCHELIN, E. (2006): Project for Research On Speed adaptation Policies on European Roads (PROSPER) - Final Report on Stakeholder Analysis.
- BLIERSBACH, G.; CULP, W.; GEILER, M.; HEß, M.; SCHLAG, B. & SCHUH, K. (2002): Gefühlswelten im Straßenverkehr. Emotionen, Gefühle, Einstellungen, Verhalten. Bonn.
- Bosch GmbH (2007): Fahrerassistenzsystem und Verfahren zum Unterstützen eines Kraftfahrzeugnutzers. DE102006057153A1.
- Bosch GmbH (2009): Vorrichtung zur Bestimmung des Zustandes einer Fahrbahnoberfläche (DE102008008567A1).
- Bosch GmbH (2016): Method and device for detecting the road condition for a vehicle (US9669839B2).
- BÜTTNER, B. & SCHMITT, H.-M. (2018): Sichtweitsensoren zur Optimierung der automatischen Lichtfunktionen im Automobil. Automobil-Sensorik 2.
- CARSTEN, O. et al. (2008): Speed Limit Adherence and its Effect on Road Safety and Climate Change.
- CARSTEN, O.M.J. & TATE, F.N. (2005): Intelligent speed adaption: accident savings and cost-benefit analysis. Accident Analysis and Prevention.
- COMTE, S.L. (2000): New systems: new behaviour? Transportation Research Part F (3).
- Continental Automotive GmbH. (2017): Determination of a Road Surface Condition (EP3499407A1).
- Continental Teves AG & Co. oHG. (2014): Verfahren und Strahlensensormodul zur vorausschauenden Strassenzustandsbestimmung (WO2014/124895A1).
- CRAMÉR, H. (1946): Mathematical Methods of Statistics. Princeton: Princeton University Press.
- DaimlerChrysler AG. (2004): Verfahren zur Ermittlung eines Strassenzustandes während des Fahrbetriebes eines Kraftfahrzeugs (EP1431728A1).
- DAWSON, D.; REYNOLDS, A. C.; VAN DONGEN, H. P. A. & THOMAS, M. J. W. (2018): Determining the likelihood that fatigue was present in a road accident: A theoretical review and suggested accident taxonomy. Sleep Medicine Reviews 42.
- Deutsche Automobil Treuhand (DAT). (2000-2018): DAT Report.
- Deutsche Gesellschaft für Schlafforschung und Schlafmedizin (DGSM). (2016): Die Deutschen fahren im Schlaf. Tag des Schlafes 2016.
- Deutscher Verkehrssicherheitsrat (DVR). (2018): Intelligente Geschwindigkeitsassistenten (Intelligent Speed Assistance - ISA) - Beschluss vom 06. November 2018 auf Basis der Empfehlung des Vorstandsausschusses Fahrzeugtechnik.
- Deutscher Verkehrssicherheitsrat (DVR) (2018): Lass Müdigkeit nicht ans Steuer - Schulungs-

- material für Berufskraftfahrer/innen zu Müdigkeit am Steuer.
- Deutsches Institut für Normung (2018): DIN EN ISO 10075-1: Ergonomische Grundlagen bezüglich psychischer Arbeitsbelastung - Teil 1: Allgemeine Aspekte und Konzepte und Begriffe.
- DOBBERSTEIN, J.; MCCARTHY, M. & LÜDEKE, A. (2014): Assessment of integrated vehicle safety systems for improved vehicle safety. ASSESS, Deliverable D2.1.
- DOBBIE, K. (2002): Fatigue-related crashes: An analysis of fatigue-related crashes on Australian roads using an operational definition of fatigue. Road Safety Research Report OR 23.
- DOECKE, S.D.; S.J., Raftery; M.E., Elsegood & J.R.R., Mackenzie. (2021): Intelligent Speed Adaption (ISA): benefit analysis using EDR data from real world crashes. Adelaide.
- EICHENDORF, W. (2018): Intelligent Speed Assistance (ISA), Board resolution taken on 06th November 2018 based on the recommendation the Executive Committee Vehicle Engineering.
- EICHHORN, U. (1994): Reibwert zwischen Reifen und Fahrbahn - Einflußgrößen und Erkennung.
- ELLINGHAUS, D. & STEINBRECHER, J. (1997): Überwachung im Stadtverkehr: Eine vergleichende Untersuchung über Vorschriften, Verstöße, Kontrollen und Strafen in sechs europäischen Ländern. Hannover/Köln.
- ERBSMEHL, C. T. (2015): Analyse von Unfällen mit Bezug auf Müdigkeit.
- Euro NCAP (2020): Assessment Protocol - Safety Assist - Version 9.0.3.
- Euro NCAP. (2020): Assisted driving gradings. [online]. Available from World Wide Web: <<https://www.euroncap.com/en/ratings-rewards/assisted-driving-gradings/?ratingId=41012>>
- Euro NCAP. (2021): Zusammenfassung der Summary Spreadsheets 2018-2021. <https://euroncap.sharepoint.com>.
- Europäisches Parlament und der Rat der Europäischen Union (2019): Verordnung (EU) 2019/2144 des Europäischen Parlaments und des Rates.
- European Commission. Directorate General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs. & Transport Research Laboratory (TRL). (2015): Benefit and feasibility of a range of new technologies and unregulated measures in the field of vehicle occupant safety and protection of vulnerable road users.
- European Sleep and Research Society (2015): Sleepiness at the wheel across Europe: a survey of 19 countries.
- EZENWA, A.; CARSTEN, O.; TOMLINSON, A. & HORROBIN, A. (2020): Intelligent Speed Assistance (ISA) Interface Study.
- FABER, F.; JONKERS, E.; AUST, M. L.; BENMIMOUN, M.; REGAN, M.; JAMSON, S. & DOBBERSTEIN, J. (2011): Analysis methods for user related aspects and impact assessment on traffic safety, traffic efficiency and environment. EuroFOT, Deliverable DL6.2.
- FARMER, C. M. (2008): Crash Avoidance Potential of Five Vehicle.
- FILDES, B. N.; RUMBOLD, G. & LEENING, J. A. (1991): Speed behavior and drivers attitude to speeding. Clayton, Victoria.
- FOLLMER, R.; GEIS, A.; GRUSCHWITZ, D.; HÖLSCHER, J.; RAUDSZUS, D. & ZLOCKI, A. (2015): Marktdurchdringung von Fahrzeugsicherheitssystemen. Bergisch Gladbach.
- GANDER, P. H.; LEQUESNE, L.; MARSHALL & S., M. (2003): How important is driver fatigue in truck crashes? Final report on road safety trust contract 35/01.
- GANDER, P. H.; MARSHALL, N. S.; BOLGER, W. & GIRLING, I. (2004): An evaluation of driver training as a fatigue countermeasure.
- GARBARINO, S.; NOBILI, L.; BEELKE, M.; DE CARLI, F. & FERRILLO, F. (2001): The contributing role of sleepiness in highway. Sleep, 24(2), pp.203–206.
- Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft (GDV) (2017): Automatisiertes Fahren – Auswirkungen auf den Schadensaufwand bis 2035.
- GRÖMPING, U.; WEIMANN, U. & MENTZLER, S. (2004): Split register study: A new method for

- estimating the impact of rare exposure on population accident risk based on accident register data. 1st international ESAR conference.
- GRUSCHWITZ, D.; HÖLSCHER, J.; RAUDSZUS, D. & SCHULZ, A. (2020): Marktdurchdringung von Fahrerassistenzsystemen in Pkw 2017. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft M 295.
- GRUSCHWITZ, D.; HÖLSCHER, J.; RAUDSZUS, D. & ZLOCKI, A. (2017): Marktdurchdringung von Fahrzeugsicherheitssystemen 2015. Bergisch Gladbach.
- HEINRICH, S.; PÖPPEL-DECKER, M.; SCHÖNEBECK, S. & ULITZSCH, M. (2010): Unfallgeschehen auf Landstraßen - Eine Auswertung der amtlichen Straßenverkehrsunfallstatistik. BASt-Bericht M 209.
- Hella GmbH. IDIS 2 Lidar.
- HERBERG, K.-W. (1978): Bedingungen für das Geschwindigkeitsverhalten in Stadtstraßen. Köln: Verlag TÜV-Rheinland.
- HERE. (2020): Intelligent Speed Assistance for Safer Driving. [online]. Available from World Wide Web: <https://www.here.com/sites/g/files/odxslz166/files/2020-12/2020-12-04_Whitepaper_Speed-Assistance_0.pdf>
- HERE (2020): Speed Limits for Intelligent Speed Assist (ISA) mandatory application in the EU.
- HERMANN, J.; KAFOA, B.; WAINIQOLO, I.; ROBINSON, E.; MCCAIG, E.; CONNOR, J.; JACKSON, R. & AMERATUNGA, S. (2014): Driver Sleepiness and risk of motor vehicle crash injuries: A population-based case control study in Fiji (TRIP 12). International Journal of the Care of the Injured 45.
- Highway Loss Data Institute. (2017): Predicted availability and fitment of safety features on registered vehicles.
- HORNE, J. & REYNER, L. A. (1999): Vehicle accidents related to sleep: A review. Occupational and Environmental Medicine, 56, pp.289–294.
- HøYE, A.; HESJEVOLL, I. S. & VAA, T. (2015): Advanced driver assistance systems. 2015.
- Institute for Road Safety Research SWOV. (2015): Fact Sheet - Intelligent Speed Assistance (ISA). Leidschendam, the Netherlands.
- International Traffic Data and Safety Group (IRTARD) (2018): Speed and Crash Risk.
- JERMAKIAN, J. S. (2011): Crash avoidance potential of four passenger vehicle technologies. Accident Analysis & Prevention 43(3).
- KAZIMIERZ, J. & SMOLAREK, L. (2015): Driver Fatigue and Road Safety on Poland's National Roads. Gdańsk, Poland / Gdynia, Poland.
- KHALEGHIAN, S.; EMAMI, A. & TAHERI, S. (2017): A technical survey on tire-road friction estimation. Friction 5(2).
- KILIAN, U. & WEBER, C. (2003): Lexikon der Physik.
- KNIPLING, R. R. & SHELTON, T. T. (1999): Problem size assessment: Large truck crashes related primarily to driver. Knoxville, USA.
- Kraftfahrtbundesamt (2011,2021): Fahrzeugzulassungen (FZ) - Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach Fahrzeugalter 2010,2020.
- KRAUSE, M. S. & MOTAMEDIDEHKORDI, M. N. (2014): Auswirkungen des teil-und hochautomatisierten Fahrens auf die Kapazität der Fernstraßeninfrastruktur.
- KUCHLING, H. (2014): Taschenbuch der Physik.
- LAI, F.; CARSTEN, O. & TATE, F. (2012): How much benefit does Intelligent Speed Adaptation deliver: An analysis of its potential contribution to safety and environment.
- LAI, F.; JAMSON, S. & CARSTEN, O. (2012): The effect of Advisory ISA in drivers' choice of speed and attitudes to speeding.
- LI, Y.; YAMAMOTO, T. & ZHANG, G. (2018): Understanding factors associated with misclassification of fatigue-related accidents in police record. Journal of Safety Research 64.
- LIPPHARD, D. & MEEWES, V. (1994): Geschwindigkeiten in den neuen Bundesländern: Verhaltensänderungen 1991-1993 Neue Fahrbahnen, Ausstattung, Umfeld. Köln.

- MAGNUSSON, P.; FRANK, H.; GUSTAVSSON, T. & ALMKVIST, E. (2018): Real-time high-resolution road condition map for the EU. 9th International Munich Chassis Symposium.
- MAYCOCK, G. (1995): Driver sleepiness as a factor in car and HGV accidents. Crowthorne, Berkshire, UK.
- MAYCOCK, G. (1997): Sleepiness and driving: the experience of UK car drivers. *Accident Analysis and Prevention*, 29(4), pp.453–462.
- MAYCOCK, G.; BROCKLEBANK, P. J. & HALL, R. D. (1998): Road layout design standards and driver behaviour. Crowthorne.
- MIELKE, R. (1995): Automatische Geschwindigkeitsreduzierung für LKW und Schwertransporter bei Nebelbildung. DE29518203U1.
- MITLER, M. M.; CARSKADON, M. A. & HIRSCHKOWITZ, M. (2000): Evaluating sleepiness. In: WB Saunders Company, (ed). In M. H. Kryger, T. Roth, & W., Philadelphia.
- MONDINI, S.; PARAZZINI, F.; MOSTACCI, B.; SANCISI, E. & CIRIGNOTTA, F. (2000): Sleepiness and car accidents: Epidemiological survey on motorways of Emilia-Romagna and Lombardia (Northern Italy). *Sleep*, 23(Suppl. 2), pp. A75–A76.
- MORGAN, A. & MANNERING, F. L. (2011): The effects of road-surface conditions, age, and gender on driver-injury severities.
- National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) Expert Panel on Driver Fatigue And Sleepiness (2016): Drowsy driving and automobile crashes.
- National Road Transport Commission. (2001): Fatigue expert group: Options for regulatory approach to fatigue in drivers. Canberra.
- National Transportation Safety Board. (1990): Fatigue, alcohol, other drugs, and medical factors in fatal-to-the-driver. Washington, DC.
- National Transportation Safety Board. (1994): Uncontrolled collision with terrain. American International Airways. Washington, DC.
- National Transportation Safety Board. (1995): Factors that affect fatigue in heavy truck accidents. Washington, DC.
- NILSSON, G. (2004): Traffic safety dimensions and the power model to describe the effect of speed on safety.
- Norwegian Centre for Transport Research (2009): The Power Model of the relationship between speed and road safety.
- OEI, H. L. & POLAK, P. H. (2002): Intelligent Speed Adaption (ISA) and Road Safety. *IATSS Research* (26-2).
- OSTERMAIER, I.; GWEHENBERGER, J.; FELD-HÜTTER, A. & PSCHENITZA, M. (2019): Analyse von Unfallschäden zur Ermittlung des Unfallvermeidungspotenzials durch automatisierte Fahrfunktionen auf SAE-Level 3 und 4. In: Unfallforschung 2019 - Symposium für Unfallforschung und Sicherheit im Straßenverkehr, CUVILLIER VERLAG.
- Österreichischer Verkehrssicherheitsfonds. (2014): ALERT - Anforderungsliste an C2X Systeme zur Erhöhung der Verkehrssicherheit im Hinblick auf Müdigkeit, Ablenkung und Unaufmerksamkeit. Graz.
- OTTE, D. (2001): Charakteristika von Unfällen auf Landstraßen. *BAST-Bericht M 122*.
- PACK, A. I.; PACK, A. M.; RODGMAN, E.; CUCCHIARA, A.; DINGES, D. & SCHWAB, C. W. (1995): Characteristics of crashes attributed to the driver having fallen asleep. *Accident Analysis and Prevention*, 27., pp.769–775.
- PAGE, Y. & CUNY, S. (2004): Is ESP effective on French roads. 1st international ESAR conference.
- PAGE, Y.; FAHRENKROG, F.; FIORENTINO, A.; GWEHENBERGER, J.; HELMER, T.; LINDMANN, M.; OP DEN CAMP, O.; VAN ROOIJ, L.; PUCH, S.; FRÄNZLE, M.; SANDER, U. & WIMMER, P. (2015): A Comprehensive and Harmonized Method for Assessing the Effectiveness of Advanced Driver Assistance Systems by Virtual Simulation: The P.e.a.r.s. Initiative.
- PAVLIC, M. (2014): Kamerabasierte Nebeldetektion und Sichtweitschätzung im Fahrzeug.

- PERSSON, H.; TOWLIAT, M.; ALMQVIST, S.; RIS-
SER, R. & MAGDEBUIRG, M. (1993): Speed li-
miters for cars. A field study of driving speeds,
driver behaviour, traffic conflicts and comments
by drivers in town and city traffic.
- QUIMBY, A.; MAYCOCK, G.; PALMER, C. & BUT-
TRESS, S. (1999a): The factors that influence a
driver's choice of speed – a questionnaire
study. Crowthorne.
- QUIMBY, A.; MAYCOCK, G.; PALMER, C. &
GRAYSON, G. B. (1999b): Drivers' speed
choice: an indepth study. Crowthorne.
- RASTE, T.; LAUER, P. & HARTMANN, B. (2018):
Entwicklung eines Road Condition Observers
im Projekt "Vehicle Motion Control". XXXVII. In-
ternationales μ -Symposium 2018.
- RETZKO, H. G. & KORDA, C. (1991): Auswirkun-
gen unterschiedlicher zulässiger Höchstge-
schwindigkeiten auf städtischen Verkehrsstra-
ßen. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwe-
sen, Heft V65.
- REYNER, I. A. & HORNE, J. A. (1997): Falling as-
leep whilst driving: are drivers aware of prior
sleepiness?.
- RICHTER, G. (2000): Psychische Belastung und
Beanspruchung.
- RICHTER, P. & HACKER, W. (1998): Belastung
und Beanspruchung - Stress, Ermüdung und
Burnout im Arbeitsleben.
- SAGBERG, F. (1999): Road accidents caused by
drivers falling asleep. *Accident Analysis and
Prevention* (31).
- SAINT PIERRE, G. & EHRlich, J. (2008): Impact
of Intelligent Speed Adaptation systems on fuel
consumption and driver behaviour. Proceedings
of the 15th World Congress on Intelligent Trans-
port Systems and Services and ITS America's
Annual Meeting.
- SCHLAG, B. & SCHUPP, A. (1998): Die Anwesen-
heit Anderer und das Unfallrisiko. *Zeitschrift für
Verkehrssicherheit*, 44 (2), pp.S. 67-73.
- SCHLEICHER-JESTER, F. (1995): Leistungsfähig-
keit innerörtlicher Hauptverkehrsstraßen im mo-
torisierten Individualverkehr bei verschiedenen
Geschwindigkeiten. Kaiserslautern.
- SCHUBERT, A. & ERBSMEHL, C. (2013): Simula-
tion realer Verkehrsunfälle zur Bestimmung des
Nutzens für ausgewählte simTD-Anwendungs-
fälle auf Basis der GIDAS Wirkfeldanalyse. De-
liverable D5.5.
- SCHÜLLER, H. (2010): Modelle zur Beschreibung
des Geschwindigkeitsverhaltens auf Stadtstra-
ßen und dessen Auswirkungen auf die Ver-
kehrssicherheit auf Grundlage der Straßenge-
staltung.
- SCHULTE, M.; KRUG, S.; LIERS, H.; MAHLER,
K.; PASCHALIDIS, P. & SEFATI, M. (2013):
Schlussbericht des Verbundprojektes Ko-KOMP
- Komponenten, Werkzeuge und Methoden für
kooperative Sicherhei im Straßenverkehr.
- SEVRUK, B. (1985): Correction of precipitation
measurements. Proceedings of the WMO/IAHS/
ETH Workshop on the Correction of Precipitati-
on Measurement.
- Sick GmbH VISIC620, Sichtweite-Messgerät - Be-
triebsanleitung.
- SIEMENS AG. (2008): Dynamischergeschwindig-
keitsassistent für ein FAS. DE102006057744A1.
- Statistisches Bundesamt (Destatis) (2011-2021):
Fachserie 8 Reihe 7 - Verkehr, Verkehrsunfälle
2010-2020. Wiesbaden.
- Statistisches Bundesamt (Destatis). (2020): Ver-
kehr - Verkehrsunfälle 2019 Fachserie 8 Reihe
7.
- Statistisches Bundesamt (Destatis) (2021): Ver-
kehrsunfälle - Grundbegriffe der Verkehrsunfall-
statistik.
- Statistisches Bundesamt (Destatis). (2021): Ver-
kehrsunfälle - Zeitreihen 2020.
- STRADLING, S. G.; CAMPBELL, M. & ALLAN, I.
A. (2003): The speeding driver: Who, how and
why? Edinburgh.
- STUTTS, J. C.; WILKINS, J. W. & OSBERG, J. S.,
Vaughn, B. V. (2003): Driver risk factors for
sleep-related crashes. *Accident Analysis & Pre-
vention* 35.
- SUMMALA, H. & MIKKOLA, T. (1994): Fatal acci-
dents among car and truck drivers: Effects of
fatigue, age, and alcohol.

- Synchrone Mobilität 2023. (2020): SePIA Prüf- und Testszzenarien. [online]. Available from World Wide Web: <<https://www.synchrone-mobilitaet.de/de/projekte/sepia.html>>
- TAREL, J. P. (2009): FRIDA (Foggy Road Image DAtabase) image database. [online]. Available from World Wide Web: <<http://perso.lcpc.fr/tarel.jean-philippe/bdd/frida.html>>
- TATE, F.; CARSTEN, O. & PARKES, A. (1997): External Vehicle Speed Control.
- TERÁN-SANTOS, J.; JIMÉNEZ-GÓMEZ, A. & CORDERO-GUEVARA, J. (1999): THE ASSOCIATION BETWEEN SLEEP APNEA AND THE RISK OF TRAFFIC ACCIDENTS.
- The European Conference of Ministers of Transport – ECMT. (1996): Road Safety – Speed Moderation. Paris.
- THOMA, J. (1993): Geschwindigkeitsverhalten und Risiken bei verschiedenen Straßenzuständen, Wochentagen und Tageszeiten. Bern.
- THOREN, C. ten & GUNDEL, A. (2003): Müdigkeit als Unfallursache im Stadtbereich – eine Befragung / Fatigue as Cause of Road Accidents in Urban Areas – A Questionnaire Study.
- Tomtom (2020): ADAS Map Speed Limits - Improve mandatory Intelligent Speed Assistance and vehicle safety ratings.
- Transport Development Centre, Transport Canada. (1998): Options for changes to hours of service for commercial vehicle. Ottawa.
- TRL, CEESAR, ACEA. (2018): Accident Analysis.
- Truck and Bus Safety Summit. (1995): Report of Proceedings. Washington, DC.
- TSENG, C.-M. (2013): Speeding violations related to a driver's social-economic demographics and the most frequent driving purpose in Taiwan's male population. *Safety Science* (57).
- University of Michigan Transportation Research Centre. (1998): Potenzial Hours-of-Service Regulations for Commercial Driver. Report of the Expert Panel on Review of the Federal Highway Administration Candidate Options for Hours of Service Regulations. Washington, DC.
- VÁRHELYI, A. & MÁKINEN, T. (1998): Evaluation of In-car Speed Limiters: Field Study. MASTER Working Paper 3.2.2.
- WILKIE, S. M. & TATE, F.N. (2003): Implications of Travel Patterns on ISA. ISA-UK, Deliverable D1.
- WILLIAMSON, A. M.; FEYER, A.-M. & FRISWELL, R. (1996): The impact of work practices on fatigue in long distance truck. *Accident Analysis and Prevention*, 2, pp.709-719.
- YADAV, A. K. & VELAGA, N. R. (2020): Alcohol-impaired driving in rural and urban road environments: Effects on speeding behaviour and crash probabilities. *Accident Analysis & Prevention* (140).
- ZHANG, X. & LI, Y. (2016): Traffic accidents involving fatigue driving and their extent of casualties. *Accident Analysis & Prevention* 87.

Bilder

- Bild 2-1: Vorgehensweise zur Quantifizierung des Unfallvermeidungspotenzials von GAS
- Bild 3-1: Erhöhung des Unfallrisikos durch Schlafmangel (Deutscher Verkehrssicherheitsrat (DVR) 2018; AAA Foundation for Traffic Safety 2016)
- Bild 3-2: Europäischer Vergleich zur Übermüdung des Fahrers am Steuer (European Sleep and Research Society 2015)
- Bild 3-3: Zusammenhang zwischen Aufprallgeschwindigkeit und der daraus resultierenden Wahrscheinlichkeit für einen tödlichen Unfall (Norwegian Centre for Transport Research 2009)
- Bild 3-4: Ermittlung der Effektivität eines Assistenzsystems anhand von Odds-ratio
- Bild 3-5: Entwicklung der Marktdurchdringung von ISA unter Berücksichtigung verschiedener Einsatzszenarien (nach (LAI et al. 2012))
- Bild 4-1: Entwicklung der Unfallursache Übermüdung zwischen 2010-2019

- Bild 4-2: Entwicklung der Unfallursache Übermüdung nach Verkehrsteilnehmerart zwischen 2010-2019 (Statistisches Bundesamt (Destatis) 2011-2021)
- Bild 4-3: Jährlicher Verlauf der Unfallursache Übermüdung (durchschnittliche Werte zwischen 2015-2019) (Statistisches Bundesamt (Destatis) 2011-2021)
- Bild 4-4: Entwicklung der geschwindigkeitsbezogenen Unfallursachen zwischen 2010-2019 (Statistisches Bundesamt (Destatis) 2011-2021)
- Bild 4-5: Entwicklung der geschwindigkeitsbezogenen Unfallursachen bei U(P) nach Verkehrsteilnehmerart zwischen 2010-2019 (Statistisches Bundesamt (Destatis) 2011-2021)
- Bild 4-6: Jährlicher Verlauf der geschwindigkeitsbezogenen Unfallursachen nach Verkehrsteilnehmerart (durchschnittliche Werte zwischen 2015-2019) (Statistisches Bundesamt (Destatis) 2011-2021)
- Bild 4-7: Anteil Fehlverhalten und F_{Gesch} in den jeweiligen Altersgruppen (Statistisches Bundesamt (Destatis) 2011-2021)
- Bild 4-8: Übersicht der vorliegenden polizeilichen Unfalldaten
- Bild 4-9: Übersicht des Dresdner GIDAS-Erhebungsgebiets
- Bild 5-1: Gegenüberstellung verschiedener ISA-Systeme
- Bild 5-2: Übersicht des Gesamtsystems (RASTE et al. 2018)
- Bild 5-3: System zur Erstellung und Weitergabe von Fahrbahnoberflächeneigenschaften (MAGNUSSON et al. 2018)
- Bild 5-4: Untersuchte Situationen mit unterschiedlichen Reibwerten
- Bild 5-5: Ergebnisse der Untersuchungen
- Bild 5-6: Beispiele für eine Kontrastreduzierung durch Sichtweitereinschränkung (Sick GmbH)
- Bild 5-7: Berechnung der maximalen Geschwindigkeit für unterschiedliche Sichtweiten (Eigene Berechnung)
- Bild 5-8: Sichtweitenbestimmung durch Scatterometer (PAVLIC 2014)
- Bild 5-9: Aktueller Automatisierungsgrad der Fahrlichtsteuerung (BÜTTNER & SCHMITT 2018)
- Bild 5-10: Signalflussplan des Sensors (BÜTTNER & SCHMITT 2018)
- Bild 5-11: Vergleichsmessung mit Referenzsensor (BÜTTNER & SCHMITT 2018)
- Bild 5-12: Rückstreusignal eines LiDAR bei unterschiedlichen Witterungsbedingungen (Hella GmbH)
- Bild 5-13: Wechselwirkungsbeziehungen für ein ISA-System
- Bild 5-14: Systemkonzept für ein automatisch eingreifendes System
- Bild 5-15: Realisierung eines allgemeinen ISA-Eingriffs
- Bild 5-16: Realisierung eines eingeschränkten ISA-Eingriffs
- Bild 6-1: modellierte Entwicklung des potenziellen Wirkungsfelds für U(P+SS) und U(GT)
- Bild 6-2: Anteil der Wirkfelder der einzelnen ISA-Fälle an $U_{Gesch}(P+SS)$ beispielhaft für das Jahr 2020
- Bild 6-3: Entwicklung der Wirkfelder in den einzelnen Fällen für U(P+SS) und U(GT)
- Bild 6-4: Entwicklung der Effizienz von Basis-ISA-Systemen
- Bild 6-5: Baumdiagramm zur Berechnung der Effizienz von ISA+-Systemen
- Bild 6-6: Entwicklung der Effizienz von ISA+-Systemen
- Bild 6-7: Effizienz und Reibwert im Fall unabhängiges ISA
- Bild 6-8: Entwicklung der Effizienz von unabhängigen ISA-Systemen
- Bild 6-9: Theoretisches Unfallvermeidungspotenzial für $U_{Gesch}(P+SS)$ bei Beachtung der Systemeffizienzen der einzelnen ISA-Fälle beispielhaft für das Jahr 2020
- Bild 6-10: Entwicklung des theoretischen Unfallvermeidungspotenzials bei Beachtung der unterschiedlichen ISA-Systemeffizienzen für U(P+SS) und U(GT)

- Bild 6-11: Theoretisches Unfallvermeidungspotenzial für $U_{Gesch}(P+SS)$ bei Beachtung der Systemeffizienzen und Nutzengrade der einzelnen ISA-Fälle beispielhaft für das Jahr 2020
- Bild 6-12: Entwicklung des theoretischen Unfallvermeidungspotenzials bei Beachtung der unterschiedlichen ISA-Systemeffizienzen und Nutzengrade für $U(P+SS)$ und $U(GT)$
- Bild 6-13: Entwicklung der Neuwagenkäufe von Pkw und Lkw
- Bild 6-14: Wahrscheinlichkeit des Verbleibs in der Fahrzeugflotte (eigene Darstellung aus (Krafftfahrtbundesamt 2011,2021))
- Bild 6-15: Entwicklung der Marktdurchdringung von Basis-ISA-Systemen
- Bild 6-16: Entwicklung der Marktdurchdringung von ISA+-Systemen
- Bild 6-17: Entwicklung der Marktdurchdringung von unabhängigen ISA-Systemen
- Bild 6-18: Entwicklung des Unfallvermeidungspotenzials bei Beachtung der unterschiedlichen ISA-Systemeffizienzen, Nutzengrade und Marktdurchdringung für $U(P+SS)$ und $U(GT)$, die vertikale Linie markiert das Jahr der Erstellung dieses Berichts
- Bild 6-19: Entwicklung Unfallvermeidungspotenzial im Verhältnis zu geschwindigkeitsinduzierten Unfällen (oben: im potenziellen Wirkfeld) und allen Unfällen
- Bild 8-1: Entwicklung des Wirkfelds im Fall Basis-ISA für $U(P+SS)$ und $U(GT)$
- Bild 8-2: Entwicklung des Wirkfelds im Fall ISA+ für $U(P+SS)$ und $U(GT)$
- Bild 8-3: Entwicklung des Wirkfelds im Fall unabhängiges ISA für $U(P+SS)$ und $U(GT)$

Tabellen

- Tab. 3-1: Unfallvermeidungspotenziale durch GAS
- Tab. 3-2: FAS zur Geschwindigkeitsbeeinflussung und Bestimmung der maximal zulässigen Geschwindigkeit basierend auf (GRUSCHWITZ et al. 2017; GRUSCHWITZ et al. 2020; FOLLMER et al. 2015)
- Tab. 3-3: FAS zur Geschwindigkeitsbeeinflussung, Bestimmung der maximal zulässigen Geschwindigkeit und Bestimmung der Witterungsbedingungen basierend auf (Deutsche Automobil Treuhand (DAT) 2000-2018)
- Tab. 3-4: Gegenüberstellung verschiedener ISA-Systeme (Allgemeiner Deutscher Automobil-Club (ADAC) 2018)
- Tab. 3-5: Bewertung von ISA-Systemen (Euro NCAP 2020)
- Tab. 4-1: Entwicklung der Fehlverhaltenszahlen für $U(P)$, $U(GT)$ und $U(SS)$ für die Unfallursache Übermüdung über den Zeitraum 2010 bis 2019
- Tab. 4-2: Verteilung der Fehlverhalten und der Unfallursache Übermüdung bei $U(P)$ nach Verkehrsteilnehmerart und Jahr (Statistisches Bundesamt (Destatis) 2011-2021)
- Tab. 4-3: Verteilung des Fehlverhaltens der Unfallursachen $F_{Gesch-Ü}$ und $F_{Gesch-NA}$ bei $U(P)$ (Statistisches Bundesamt (Destatis) 2011-2021)
- Tab. 4-4: Verteilung des Fehlverhaltens der Unfallursachen $F_{Gesch-Ü}$ und $F_{Gesch-NA}$ bei $U(SS)$ (Statistisches Bundesamt (Destatis) 2011-2021)
- Tab. 4-5: Verteilung des Fehlverhaltens der Unfallursachen $F_{Gesch-Ü}$ und $F_{Gesch-NA}$ bei $U(GT)$ (Statistisches Bundesamt (Destatis) 2011-2021)
- Tab. 4-6: Verteilung der Fehlverhalten und der geschwindigkeitsbezogenen Fehlverhalten bei $U(P)$ nach Verkehrsteilnehmerart und Jahr (Statistisches Bundesamt (Destatis) 2011-2021)

- Tab. 4-7: Aufteilung aller Fehlverhaltenszahlen sowie der F_{Gesch} bei U(P) für den Zeitraum 2015 bis 2019 für verschiedene Altersgruppen (Statistisches Bundesamt (Destatis) 2011-2021)
- Tab. 4-8: Polizeiliche Unfalldaten nach Unfallkategorie und Unfallursachen
- Tab. 4-9: Statistische Auswertung der polizeilichen Unfalldaten ($U_{Müd}$) bzgl. der Merkmale zur Unfallzeit
- Tab. 4-10: Statistische Auswertung der polizeilichen Unfalldaten ($U_{Müd}$) bzgl. der Merkmale zur Unfallcharakteristik
- Tab. 4-11: Statistische Auswertung der polizeilichen Unfalldaten ($U_{Müd}$) bzgl. der Merkmale zu Unfallbeteiligten
- Tab. 4-12: Statistische Auswertung der polizeilichen Unfalldaten ($U_{Müd}$) bzgl. der Unfallursachen
- Tab. 4-13: Statistische Auswertung der polizeilichen Unfalldaten (U_{Gesch}) bzgl. der Merkmale zur Unfallzeit
- Tab. 4-14: Statistische Auswertung der polizeilichen Unfalldaten (U_{Gesch}) bzgl. der Merkmale zur Unfallcharakteristik
- Tab. 4-15: Statistische Auswertung der polizeilichen Unfalldaten (U_{Gesch}) bzgl. der Merkmale zu Unfallbeteiligten
- Tab. 4-16: Statistische Auswertung der polizeilichen Unfalldaten (U_{Gesch}) bzgl. der Unfallursachen
- Tab. 4-17: Statistische Auswertung der In-Depth Unfalldaten ($U_{Müd}$) bzgl. der Merkmale zur Unfallzeit
- Tab. 4-18: Statistische Auswertung der In-Depth Unfalldaten ($U_{Müd}$) bzgl. der Merkmale zur Unfallcharakteristik
- Tab. 4-19: Statistische Auswertung der In-Depth Unfalldaten ($U_{Müd}$) bzgl. der Merkmale zu Unfallbeteiligten
- Tab. 4-20: Statistische Auswertung der In-Depth Unfalldaten ($U_{Müd}$) bzgl. der Umweltmerkmale
- Tab. 4-21: Übersicht zur Informationsquelle geschwindigkeitsindizierter Unfälle in GIDAS
- Tab. 4-22: Statistische Auswertung der In-Depth Unfalldaten (U_{Gesch}) bzgl. der Merkmale zur Unfallzeit
- Tab. 4-23: Statistische Auswertung der In-Depth Unfalldaten (U_{Gesch}) bzgl. der Merkmale zur Unfallcharakteristik
- Tab. 4-24: Statistische Auswertung der In-Depth Unfalldaten (U_{Gesch}) bzgl. der Merkmale zu Unfallbeteiligten
- Tab. 4-25: Statistische Auswertung der In-Depth Unfalldaten (U_{Gesch}) bzgl. der Umweltmerkmale
- Tab. 5-1: Einteilung der Reibwertstufen des RCO (RASTE et al. 2018)
- Tab. 5-2: Internationaler Sichtweitencode mit meteorologischen Bereichen (PAVLIC 2014)
- Tab. 5-3: Erkennungsrate von Verkehrs- und Zusatzzeichen (HERE 2020; HERE 2020; Tomtom 2020)
- Tab. 5-4: Realisierungen von ISA in verschiedenen Fahrzeugmodellen (ADAC 2018)
- Tab. 6-1: Allgemeine Korrekturfaktoren für die Dunkelziffer bei geschwindigkeitsindizierten Unfällen (f_{DZ})
- Tab. 6-2: Allgemeine Korrekturfaktoren für potenziell adressierbare U_{Gesch} (f_{WF})
- Tab. 6-3: Vergleich der adressierten Unfälle durch die ISA-Systeme
- Tab. 6-4: Ableitung der Klassifikationsgenauigkeit von ISA+-Systemen
- Tab. 6-5: Ableitung der Zustandsprüfgenauigkeit von ISA+-Systemen
- Tab. 6-6: Gesamteffizienz im Fall unabhängiges ISA
- Tab. 6-7: Fahrleistungsbezogene Wichtung des Überschreitungsanteil (nach (BÄUMER et al. 2017; LAI et al. 2012; SAINT PIERRE & EHRlich 2008))
- Tab. 8-1: Korrekturfaktor f_{verm} im Fall Basis-ISA27
- Tab. 8-2: Korrekturfaktoren im Fall ISA+
- Tab. 8-3: Korrekturfaktoren im Fall unabhängiges ISA

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

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

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

2018

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

Auf der Maur, Strassburg, Knörr, Heidt, Wuethrich
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

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

Pollak, Schueler, Bourdet, Deck, Willinger € 19,50

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

Heinrich, Pollesch, Schober, Stamatakis, Grzebellus, Radike, Schneider, Stapelfeld, Huber
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 125: Untersuchung zu Elektrokleinstfahrzeugen

Bierbach, Adolph, Frey, Kollmus, Bartels, Hoffmann, Halbach € 19,50

2019

F 126: Einfluss zunehmender Fahrzeugautomatisierung auf Fahrkompetenz und Fahrkompetenzerwerb

Weißgerber, Grattenthaler, Hoffmann € 15,50

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

Kupschick, Bürglen, Jürgensohn € 16,50

F 128: Potenzieller gesellschaftlicher Nutzen durch zunehmende Fahrzeugautomatisierung

Rösener, Sauerbier, Zlocki, Eckstein, Hennecke, Kemper, Oeser
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 129: Anforderungen an die dynamische 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, Kauschner, Neukum
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2020

F 132: Handbuch Barrierefreiheit im Fernbuslinienverkehr

Boenke, Grossmann, Nass, Schäfer € 17,50

F 133: Lkw-Notbremsassistenzsysteme

Seiniger, Heini, Bühne, Gail € 15,50

F 134: Stationär-Geräusch von elektrisch angetriebenen Fahrzeugen

Altinsoy, Lachmann, Rosenkranz, Steinbach € 19,00

F 135: Abweichungen von der akzeptierten Fahrleistungsschwelle in automatisierten Fahrsituationen

Voß, Schwalm € 18,00

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 Notbremssystemen 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**
Schömig, 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, Jansch, 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 Notbremssysteme 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, Thüring, Jansch, Epple, Kretschmer, Gottwald, Oehring, Winkenbach
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter
<https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 149: Evidenzorientierte Ableitung von sicherheitsrelevanten Grundszenarien für die Fahrdomäne Bundesautobahn

Weber, Eckstein, Tenbrock, König, Bock, Zlocki
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter
<https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2023

F 150: Fahrerassistenzsysteme für die Geschwindigkeitsreduzierung bei schlechten Bedingungen

Pohle, Günther, Schütze, Trautmann
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

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