

Einfluss von Notbremssystemen auf die Entwicklung von Lkw-Auffahrunfällen auf Bundesautobahnen

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Fahrzeugtechnik Heft F 139

bast

Einfluss von Notbremssystemen auf die Entwicklung von Lkw-Auffahrunfällen auf Bundesautobahnen

von

Leon Straßgütl
Daniel Sander

Bundesanstalt für Straßenwesen

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Fahrzeugtechnik Heft F 139

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 5115008
Einfluss von Notbremssystemen auf die Entwicklung von Lkw-Auffahrunfällen auf Bundesautobahnen

Referate

Unfallanalyse, Unfallstatistik
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 978-3-95606-580-4

Bergisch Gladbach, Juni 2021

Kurzfassung – Abstract

Einfluss von Notbremssystemen auf die Entwicklung von Lkw-Auffahrunfällen auf Bundesautobahnen

Auf deutschen Bundesautobahnen kommt es immer wieder zu schweren Auffahrunfällen, die von Güterkraftfahrzeugen oder Bussen verursacht werden. Moderne Notbremsassistentensysteme (AEBS), wie sie schon seit vielen Jahren in Personenkraftwagen verbaut werden, haben das Potenzial, eine große Anzahl dieser Unfälle vollständig zu vermeiden oder die Unfallfolgen abzumildern. Daher hat die Europäische Kommission mit dem Inkrafttreten der Verordnung (EU) Nr. 347/2012 in einem zweistufigen Verfahren die pflichtmäßige Ausstattung von Güterkraftfahrzeugen (GKfz) und Bussen mit einem Notbremssystem vorgeschrieben.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die Auswirkungen des Inkrafttretens der Verordnung hinsichtlich des Unfallgeschehen auf Bundesautobahnen zu untersuchen bzw. den Maßnahmeneffekt der Einführung von Notbremssystemen zu ermitteln. Die Grundlage der Auswertungen bilden die Einzeldaten der amtlichen Straßenverkehrsunfallstatistik für die Jahre 2009 bis 2018 und ergänzende fahrzeugtechnische Angaben des Kraftfahrtbundesamtes. Letztere Angaben liegen nur für in Deutschland zugelassene Fahrzeuge vor, wodurch sich der Untersuchungsbereich auf eben diese Fahrzeuge beschränkte. Die Verordnung gilt für die Fahrzeugklassen M2, M3, N2 und N3, beinhaltet jedoch einige Ausnahmen. Für die Auswertung wurden die Fahrzeugklassen, für die das AEBS verpflichtend ist, daher mithilfe der Verkehrsbeteiligungsart in den Unfalldaten abgegrenzt. Auf diese Weise wurden neun Verkehrsbeteiligungsarten den Güterkraftfahrzeugen zugeordnet und eine Verkehrsbeteiligungsart den Bussen.

Notbremsassistentensysteme dienen vornehmlich der Vermeidung von Auffahrunfällen, sodass zunächst ausgehend von Unfalltyp und Unfallart das Unfallszenario Auffahrunfall abgegrenzt wurde. Ergänzend wurden zwei weitere Unfallszenarien gebildet, nämlich die Spurverlassen-Unfälle und die anderen Unfälle. Untersucht wurden Unfälle mit Personenschaden und schwerwiegende Unfälle mit Sachschaden im engeren Sinne, die von Güte

kraftfahrzeugen und Bussen auf Bundesautobahnen verursacht wurden.

Innerhalb der Gruppe der als GKfz bzw. Busse abgegrenzten Fahrzeuge nahm die Anzahl der Unfälle im Zeitraum von 2009 bis 2018 um 6,5 % leicht zu. Die Unfallzahlen entwickelten sich jedoch besser, je jünger die Fahrzeuge waren. Fahrzeuge mit einem Alter von weniger als fünf Jahren wiesen rückläufige Unfallzahlen auf. Während die Anzahl der Spurverlassen-Unfälle und der anderen Unfälle konstant bis leicht rückläufig war, stieg die Gesamtzahl der Auffahrunfälle mit einem Zuwachs von 21 % deutlich an.

Der Bestand von Lkw und Zugmaschinen mit einer zulässigen Gesamtmasse über 8 t nahm in den Jahren 2012 bis 2018 zu, wobei insbesondere der Bestand älterer Fahrzeuge angewachsen ist. Die Unfallrate blieb hingegen nahezu konstant, während die Unfallbelastung im gleichen Zeitraum um 11,7 % gesunken ist.

Der Gesamteffekt der Maßnahme, welcher angibt, wie stark sich die Unfallzahlen von Güterkraftfahrzeugen und Bussen vom Vor- zum Analysezeitraum durch Notbremssysteme insgesamt reduziert haben, wurde mithilfe von Odds Ratios ermittelt. Neben der Untersuchungsgruppe wurden drei Vergleichsgruppen definiert, sodass der Gesamteffekt aus den einzelnen Veränderungen aller vier Gruppen vom Vor- zum Analysezeitraum bestimmt werden konnte. Die Vergleichsgruppen wurden so definiert, dass sie von der Maßnahme nicht betroffen waren. Der Gesamteffekt (Maßnahmeneffekt) beläuft sich auf 37 % und ist signifikant. Aufgrund der sehr trennscharfen Eingrenzung der Untersuchungsgruppe auf Fahrzeuge, die sicher mit AEBS ausgestattet sind, und auf Auffahrunfälle, auf deren Vermeidung AEBS bestimmungsgemäß abzielt, ist ein Effekt von 37 % in Bezug auf seine Größenordnung durchaus zu erwarten. Die Wirkung der ersten Stufe der EU-Verordnung mit noch verhältnismäßig geringen Anforderungen wird mit dem ermittelten Gesamteffekt vermutlich etwas überschätzt, da sich unter den Fahrzeugen mit AEBS auch solche befinden, die bereits vorzeitig das geforderte Leistungsvermögen der zweiten Stufe der EU-Verordnung erfüllen, und auch solche, die in Bezug auf ihr Leistungsvermögen freiwillig noch weiter darüber hinausgehen.

Außerdem wurde untersucht, ob neben den Unfallzahlen auch eine Veränderung der Verletzungsschwere verzeichnet werden kann. Es konnte ein deutlicher Rückgang der Zahl der Schwerverletzten vom Vor- zum Analysezeitraum beim Vergleich von Untersuchungsgruppe und der ersten Vergleichsgruppe festgestellt werden.

Insgesamt deuten die Ergebnisse darauf hin, dass durch die verpflichtende Ausstattung von Güterkraftfahrzeugen und Bussen mit einem Notbremsystem nicht nur die Unfallzahlen deutlich reduziert, sondern auch die Unfallschwere der verbleibenden Unfälle abgemildert wurde. Ungeachtet dessen zeigt die Analyse auch, dass trotz AEBS nach wie vor eine große Zahl nicht vermiedener Auffahrunfälle zu verzeichnen ist und hier somit weitere Schritte zur Verbesserung der Verkehrssicherheit von schweren Güterkraftfahrzeugen und Bussen erforderlich sind.

The impact of Advanced Emergency Braking Systems on the development of rear-end collisions of trucks on German motorways

Severe rear-end collisions caused by coaches and heavy goods vehicles (HGV) are an issue on German motorways. Modern Advanced Emergency Braking Systems (AEBS) for trucks that have already been used in passenger cars for a longer period offer the potential to reduce the number or mitigate the consequences of these serious accidents. Therefore, the European Commission passed Regulation (EU) No 347/2012 that by defining two successive approval levels obliges manufacturers to equip their trucks and busses with AEBS.

The aim of this work is to investigate the impact of the regulation regarding the accident occurrence and thus to determine the effect of AEBS equipment in terms of reducing the number and severity of accidents. The work is based on the individual data of the German National Road Accident Statistics for the period of 2009 to 2018 and information of the Federal Motor Transport Authority regarding vehicle technology for vehicles which have been registered in Germany. The scope of the investigation includes all types of vehicles that are affected by the regulation. The relevant vehicle classes have been identified and delimited on the basis of the modes of transport contained in the Germany National Road

Accident Statistics. As a result, one class for coaches and nine types of HGV were considered in the subsequent analysis.

Primarily, AEBS is used to avoid rear-end collisions. Therefore, an accident scenario with rear-end collisions has been defined as well as two additional scenarios for lane departure accidents and other accidents. The investigation scope covers accidents with severe material damage in the narrow sense or personal injury that were caused by coaches or HGV on German motorways.

Within the period under review (2009-2018) the number of accidents caused by coaches or HGV for the three defined scenarios slightly increased by 6.5%. The number of accidents caused by vehicles that were younger than five years decreased in the same period of time. Furthermore, a clear growth of rear-end collisions (+21%) was recorded while the number of accidents for the other two scenarios remained nearly constant.

The stock of HGV with a maximum authorised mass of over 8 t has been increasing since 2012 with a particular increase in the amount of older vehicles. In contrast, the mileage-related accident rate remained on a nearly constant level while the accident rate relating to the vehicle stock decreased by 11.7% between 2012 and 2018.

Odds ratios have been used to determine the total effect of AEBS on the development of accidents. The total effect indicates the changes in numbers of accidents of HGV and coaches affected by AEBS from the comparison period before the introduction of Regulation No 347/2012 to the analysis period after the introduction. Four groups were defined – one analysis group and three control groups that are not affected by the AEBS. The total effect of 37% (significant) has been determined from the individual changes within each group from the comparison period to the analysis period. Due to the very selective definition of the analysis group by only including vehicles that are definitely equipped with AEBS and by focusing on pure rear-end accidents which AEBS should address by design, a total effect of 37 % is in an expected range. However, the effect of the first approval level of the EU directive with relatively low performance requirements is assumed to be overestimated because among the vehicles with AEBS there are vehicles that already fulfill the performance requirements of approval level 2 and beyond.

Besides, it was investigated if a reduction of the accident severity could be observed. The comparison of the analysis group and the first control group from the comparison period to the analysis period suggested a reduction of severe injuries.

As a whole, the findings indicate that the compulsory equipment of coaches and HGV with AEBS is not only leading to a significant decrease in the number of rear-end collisions but also to a decrease of injury severity. a, the findings also show that even with the obligation of AEBS still a high number of accidents can be observed that are not avoided. This means that further action to improve traffic safety of heavy goods vehicles and buses have to be taken.

Inhalt

Abkürzungen	8
1 Einleitung	9
2 Lkw-Notbremssysteme	9
2.1 Funktionsweise von Lkw-Notbremssystemen	10
2.2 Rechtliche Rahmenbedingungen.....	12
2.2.1 Verordnung (EU) Nr. 347/2012 – Ausstattungspflicht AEBS	12
2.2.2 Verordnung (EU) Nr. 351/2012 – Ausstattungspflicht LDWS	15
3 Entwicklung des Unfallgeschehens	15
3.1 Datengrundlage	15
3.2 Abgrenzung der Fahrzeuge	16
3.3 Abgrenzung der Unfallsituationen.....	17
3.4 Entwicklung des Unfallgeschehens von GKfz und Bussen	20
3.5 Auffahrunfälle von GKfz und Bussen	23
3.6 Fahrleistung und Bestand von GKfz	25
3.7 Entwicklung der Unfallbelastung von GKfz und Bussen	27
4 Auswertung des Unfallgeschehens	29
4.1 Methodik	30
4.2 Abgrenzung der Untersuchungs- und Vergleichsgruppen	30
4.3 Ergebnisse	32
4.3.1 Unfälle	32
4.3.2 Unfallschwere	34
4.4 Diskussion.....	36
5 Zusammenfassung und Fazit	38
Literatur	39
Bilder	41
Tabellen	42

Abkürzungen

AEBS	Advanced Emergency Braking System
BAB	Bundesautobahn
BAST	Bundesanstalt für Straßenwesen
GKfz	Güter-Kraftfahrzeug
HGV	Heavy goods vehicle
KBA	Kraftfahrt-Bundesamt
LDWS	Lane Departure Warning System
M2	Fahrzeugkategorie M2 nach Richtlinie 2007/46/EG: Pkw mit maximal acht Sitzplätzen (ohne Fahrersitz) und zulässiger Gesamtmasse bis fünf Tonnen.
M3	Fahrzeugkategorie M3 nach Richtlinie 2007/46/EG: Busse mit mehr als acht Sitzplätzen (ohne Fahrersitz) und zulässiger Gesamtmasse über fünf Tonnen.
N2	Fahrzeugkategorie N2 nach Richtlinie 2007/46/EG: Lkw mit einer zulässigen Gesamtmasse von mehr als 3,5 Tonnen, aber maximal zwölf Tonnen.
N3	Fahrzeugkategorie N3 nach Richtlinie 2007/46/EG: Lkw mit einer zulässigen Gesamtmasse von mehr als zwölf Tonnen.
OR	Odds Ratio
StVUnfStatG	Straßenverkehrsunfallstatistikgesetz
TTC	Time-To-Collision
U(GT)	Unfälle mit Getöteten
U(LV)	Unfälle mit Leichtverletzten
U(P)	Unfälle mit Personenschaden
U(SS)	Unfälle mit schwerwiegendem Sachschaden im engeren Sinne
U(SV)	Unfälle mit Schwerverletzten
UDV	Unfallforschung der Versicherer
UG	Untersuchungsgruppe
VG	Vergleichsgruppe
zGM	zulässige Gesamtmasse

1 Einleitung

Von schweren Nutzfahrzeugen verursachte Auffahrunfälle auf Bundesautobahnen sind zumeist durch eine besonders hohe Unfallschwere mit häufig schwer verletzten oder getöteten Verkehrsteilnehmern gekennzeichnet. Eine wesentliche fahrzeugtechnische Maßnahme, um die Anzahl dieser schwerwiegenden Unfälle zu reduzieren bzw. ihre Folgen zu mildern, stellen Notbremsassistenzsysteme dar. Diese Systeme sollen konkrete Kollisionsrisiken erkennen und den Fahrenden warnen bzw. das Fahrzeug beim Ausbleiben einer angemessenen Reaktion selbstständig abbremsen.

Aufgrund des hohen Unfallvermeidungspotenzials solcher Systeme hat die Europäische Kommission mit der Verabschiedung der Verordnung (EU) Nr. 347/2012 die pflichtmäßige Ausstattung von schweren Güter-Kraftfahrzeugen und Bussen mit einem Notbremsystem vorgeschrieben. Die Verordnung ist schrittweise und in zwei Genehmigungsstufen seit dem 1. November 2013 zunächst für neue Fahrzeugtypen und später für neu zugelassene Fahrzeuge in Kraft getreten. Der Einfluss dieser Maßnahme auf das Unfallgeschehen wurde auf Basis der amtlichen Straßenverkehrsunfallstatistik bislang nicht quantifiziert. Das Ziel der vorliegenden Studie ist daher, im Rahmen einer ex-post-Analyse den Effekt der Einführung von Notbremsassistenzsystemen bei schweren Nutzfahrzeugen auf das Unfallgeschehen zu ermitteln.

Um den Einfluss der durch die Verordnung vorangetriebenen Marktdurchdringung von Notbremsassistenzsystemen in den Fahrzeugklassen M2, M3, N2 und N3 auf die Verkehrssicherheit bestimmen zu können, werden zunächst die Funktionalität der Notbremsysteme dargelegt und die fahrzeugseitigen Anforderungen sowie der Anwendungsbereich der Verordnung erläutert (Kapitel 2).

Als Datengrundlage für die Ermittlung des Maßnahmeneffekts dienen die Einzeldaten der amtlichen Straßenverkehrsunfallstatistik, die um fahrzeugtechnische Angaben des Kraftfahrtbundesamtes für in der Bundesrepublik zugelassene Fahrzeuge ergänzt werden. Konkret untersucht werden die abgegrenzten Unfallszenarien Auffahrunfall, Spurverlassen-Unfall und anderer Unfall, die durch Güter-Kraftfahrzeuge und Busse auf Bundesautobahnen verursacht wurden. Die Untersuchung umfasst die Jahre 2009 bis 2018 und beschreibt die Entwicklung des Unfallgeschehens für die abgegrenzten

Unfallszenarien. Parallel dazu werden einige Charakteristika wie Unfallschwere und Angaben zum Unfallgegner der für Notbremsysteme besonders relevanten Auffahrunfälle dargestellt (Kapitel 3.1 bis 3.5).

Um Trends im Unfallgeschehen einordnen zu können, ist es notwendig, die Unfallzahlen mit Bezugsgrößen ins Verhältnis zu setzen. Dazu werden die Expositionsgrößen Bestand und Fahrleistung herangezogen sowie die Kennwerte Unfallrate und Unfallbelastung ermittelt (Kapitel 3.6 und 3.7).

Der Maßnahmeneffekt der verpflichtenden Ausstattung mit Notbremsystemen und dessen Stärke in Auffahrsituationen wird mithilfe von Odds Ratios ermittelt. Zur Bereinigung des allgemeinen Trends und zur Vermeidung von Verzerrungen durch die zeitgleiche verpflichtende Ausstattung mit Spurhaltewarnsystemen, werden neben der Untersuchungsgruppe drei Vergleichsgruppen definiert. Anschließend wird geprüft, ob die Nullhypothese „die Untersuchungsgruppe hat sich vom Vorzeitraum zum Analysezeitraum genauso entwickelt wie die Vergleichsgruppe“ abgelehnt werden kann.

Eine weitere Untersuchung hinsichtlich der Unfallschwere soll zeigen, ob neben der Reduzierung der Unfallzahlen auch eine signifikante Abschwächung der Unfallfolgen durch Notbremsysteme zu verzeichnen ist. Dafür wird ebenfalls mithilfe der Odds Ratios dargestellt, wie sich die Zahlen für Unfälle mit schwerem Sachschaden sowie getöteten-, schwer- und leichtverletzten Verkehrsteilnehmern entwickelt haben (Kapitel 4).

2 Lkw-Notbremsysteme

Die nachfolgenden Kapitel sollen einen Überblick hinsichtlich der Funktionsweise von Notbremsystemen schwererer Güter- und Personenkraftfahrzeuge vermitteln und die aktuellen gesetzlichen Anforderungen darlegen. Die Ausstattung von schweren Güter- und Personenkraftfahrzeugen – fortan vereinfachend als Lkw (und Busse) bezeichnet – mit einem Notbremsystem erfolgte erstmals im Jahr 2006. Seitdem hat nicht zuletzt wegen der Einführung der Ausstattungspflicht eine stetige Marktdurchdringung sowie kontinuierliche, technische Weiterentwicklung der Systeme stattgefunden.

2.1 Funktionsweise von Lkw-Notbremssystemen

Ein automatisches Notbremssystem (engl. Advanced Emergency Braking System (AEBS)) ist eine Fahrerassistenz, die in erster Linie der vollständigen Vermeidung von Verkehrsunfällen, mindestens aber deren Abschwächung dient. Die Aufgabe des AEBS ist es daher, den Fahrer beim Auftreten einer Situation mit konkretem Kollisionsrisiko zu warnen und beim Ausbleiben einer angemessenen Reaktion eine autonome Notbremsung einzuleiten (PETERSEN 2016). Angemessene Reaktionen seitens des Fahrers können das Einleiten einer Bremsung oder sofern möglich das Ausweichen auf einen freien Fahrstreifen sein. Im Gegensatz zu einem Pkw ist das kurzfristige Ausweichen eines Lkws durch den hohen Schwerpunkt oft nur bedingt möglich, sodass ein rechtzeitiges und optimales Abbremsen für diese Fahrzeugklassen von besonderer Relevanz ist.

Moderne Notbremssysteme sind in der Lage, eine Vielzahl von möglichen Unfallsituationen zu adressieren. Das Anwendungsspektrum unterscheidet sich dabei je nach Funktionsumfang des verbauten Systems. Der ursprüngliche Anwendungszweck bezog sich auf die Vermeidung von Auffahrunfällen auf Bundesautobahnen (BAB). Diese Unfälle sind aufgrund der Masse der Nutzfahrzeuge, der hohen Differenzgeschwindigkeit und der daraus resultierenden hohen kinetischen Energie oft sehr schwerwiegend.

Nach § 4 StVO gilt auf BAB bei einer Geschwindigkeit über 50 km/h für Lastkraftwagen mit einer zulässigen Gesamtmasse über 3,5 t sowie Kraftomnibusse ein Mindestabstand von 50 m zum vorausfahrenden Fahrzeug. Dies trägt dazu bei, dass bei einem drohenden Auffahrunfall die Time-To-Collision (TTC) vergleichsweise langsam abnimmt und die Aktionskaskade des AEBS, bestehend aus zwei eskalierenden Warnphasen und einer Notbremsphase, durchschritten werden kann. Weiterhin ist auf BAB eine recht zuverlässige Interpretation der Umgebung durch die Sensoren möglich (SEINIGER et al. 2020).

Für die Funktion von Notbremsassistenzsystemen sind zwei Messgrößen von besonderer Relevanz. Die Time-To-Collision beschreibt, wie viel Zeit verbleibt, bis es zu einem Zusammenstoß mit dem vorausfahrenden Fahrzeug kommt, wenn die Fahrzeuggeschwindigkeiten beider Fahrzeuge unter-

schiedlich sind (Δv), aber keiner zeitlichen Änderung unterliegen.

$$t_{TC} = \frac{\Delta x}{\Delta v} \quad (1)$$

Bei einem konstant gleichen Abstand (Δx), d. h. ohne eine Differenzgeschwindigkeit zwischen beiden Fahrzeugen wird die TTC unendlich groß. Gleichzeitig wird sie im Fall einer eingeleiteten Verzögerung des vorausfahrenden Fahrzeugs sehr schnell und nichtlinear kleiner. Das Unterschreiten einer kritischen TTC, also einer Zeit, bei der sich ein Unfall durch Eingreifen des Fahrers nicht mehr verhindern lässt, dient als primäres Maß für die Auslösung der Aktionskaskade des AEBS und ist auch in der Vorschrift für AEBS das primäre Maß für den zeitlichen Ablauf dieser Kaskade. Gegenüber einem vom Fahrer induzierten Eingreifen profitiert das AEBS von der im Vergleich zur menschlichen Reaktionszeit ($\sim 1,4$ s) kurzen Systemlatenz.

Die zweite relevante Messgröße ist die Zeitlücke zwischen zwei Fahrzeugen. Sie findet Anwendung in Situationen, bei denen die TTC unendlich groß ist, die Fahrzeuge sich demnach mit annähernd gleicher Geschwindigkeit fortbewegen. In diesen Situationen ist sie ein Maß für den Abstand zwischen zwei Fahrzeugen, wobei die Zeitlücke angibt, in welcher Zeit das hintere Fahrzeug mit der Geschwindigkeit v_1 eine Strecke zurücklegt, die dem Abstand Δx der Fahrzeuge entspricht.

$$t_{Lücke} = \frac{\Delta x}{v_1} \quad (2)$$

Relevanz für das AEBS hat die Zeitlücke vor allem, wenn sie sehr klein ist und somit beispielsweise Latenzzeiten für das Einleiten der Aktionskaskade einen wichtigen Faktor hinsichtlich des Erfolgs der Unfallvermeidung darstellen.

Wenn eine drohende Kollision erkannt wird, initiiert das AEBS abhängig von der TTC verschiedene Eskalationsstufen einer Aktionskaskade. Die einzelnen Stufen können sich je nach Fahrzeughersteller, Fahrzeugtyp, Baureihe und Baujahr unterscheiden. Im Allgemeinen findet im ersten Schritt (TTC $\sim 2,5$ s) eine Warnung des Fahrers statt. Diese ist in der Regel akustisch und wird um eine optische oder haptische Warnung ergänzt. Reagiert der Fahrer nicht, intensiviert das System die Warnung und lei-

tet bei TTC $\sim 1,5$ s eine autonome Teilverzögerung mit ca. 4 m/s^2 ein. Bleibt daraufhin die Fahrerreaktion abermals aus und ist ein Ausweichen auf eine freie Fahrspur nicht mehr möglich, bremst das AEBS autonom mit der maximal möglichen Verzögerung bis zum Fahrzeugstillstand (TIGGES et al. 2016; KNECHT 2017; GÖTZE 2018).

Das AEBS ist in solchen Situationen auf Hochreihwert-Fahrbahnbedingungen ausgelegt. Im Falle von witterungsbedingten Umwelteinflüssen wie Regen, Schnee oder Eis kann ein Bremsengriff des AEBS nicht immer zur vollständigen Unfallvermeidung führen.

Sowohl die Warnung als auch die automatische Bremsung durch das AEBS können vom Fahrer abgebrochen werden. Möglichkeiten zum Abbruch sind in den meisten Fällen ein Durchtreten des Gaspedals, Betätigen des Fahrtrichtungsanzeigers oder ein Gangwechsel. Je nach Hersteller können weitere Aktionen zur Beendigung der Aktionskaskade führen.

Weiterhin ist es möglich, dass das Notbremssystem deaktiviert wird. Eine Deaktivierung erfolgt dabei entweder systemseitig, beispielsweise wenn die Funktionsfähigkeit der Sensorik durch eine Blockade mit Anbauteilen nicht sichergestellt werden kann, oder manuell durch den Fahrer, indem ein Deaktivierungsschalter oder ein anderes Instrument zur Deaktivierung betätigt wird (Volvo Trucks 2020; Daimler AG 2014). Eine manuelle Deaktivierungsmöglichkeit kann wegen des Auftretens von Falschpositiv-Eingriffen des AEBS gerechtfertigt sein, die zum Teil in komplexen Umgebungen wie dem Stadtverkehr durch Fehleinschätzungen der Sensorik hervorgerufen werden und den Fahrer bei der Ausübung der Fahraufgabe stören (SEINIGER et al. 2020). Fehleinschätzungen sind aufgrund der guten Interpretierbarkeit des Umfelds auf BAB, mit Ausnahme von Baustellen, jedoch eher selten, sodass eine manuelle Deaktivierung dort nicht naheliegend ist.

Die Erfassung von Umfeldinformationen, die das AEBS zur Zweckerfüllung benötigt, erfolgt durch im Fahrzeug verbaute Sensorik. Dies kann auf zweierlei Wegen erfolgen. Einerseits sind Einzelsensurlösungen im Gebrauch, bei denen das System die Umfeldinformationen ausschließlich von einem Sensortypen wie Radar, Laser oder Kamera erhält. Neuere Systeme nutzen hingegen oft eine kombinierte Lösung, bestehend aus mehreren verschie-

denen Sensorsystemen (Sensorfusion), die durch Komplementarität eine robustere Funktionsfähigkeit ermöglichen. Vielfach wird beispielsweise ein Radarsystem zur Geschwindigkeits- und Abstandsmessung um eine Kamera zur Objekt-Detektion und -Klassifikation ergänzt (WINNER et al. 2015).

Die Wirksamkeit von AEBS für schwere GKfz und Busse wurde bereits in einige Studien behandelt. Vor dem Hintergrund unterschiedlicher Ansätze und Vorgehensweisen sowie der Nutzung verschiedener Datengrundlagen ist ein direkter Vergleich der Ergebnisse jedoch nur eingeschränkt möglich.

Auf Basis ihrer internen Unfalldatenbank hat die Unfallforschung der Versicherer (UDV) das Sicherheitspotenzial von Notbremsassistentensystemen mit zwei Funktionalitätsstufen bereits vor Einführung der EU-Verordnung abgeschätzt. Dazu wurden Unfälle mit Lkw-Beteiligung betrachtet und einem errechneten Unfallablauf mit AEBS gegenübergestellt. Die Studie bemisst das Sicherheitspotenzial durch AEBS (Anteil vermeidbarer Unfälle, wenn Fahrzeuge mit Notbremsassistentensystem ausgestattet wären) für von Lkw verursachte Auffahrunfälle auf 26,5 % für Systeme, die auf langsam fahrende Fahrzeuge reagieren und auf 52,3 % für Systeme, die auch stehende Fahrzeuge erkennen und daraufhin bremsen. Für Busse wird ein Sicherheitspotenzial von bis zu 15 % abgeschätzt, wobei sich diese Zahl auf alle Unfälle mit Beteiligung von Bussen bezieht (HUMMEL 2011).

Im Jahr 2016 wurde in Brandenburg eine in-depth Untersuchung von Unfällen mit Beteiligung von N3-Güterkraftfahrzeugen durchgeführt, bei denen als schwerste Unfallfolge mindestens eine schwer verletzte oder getötete Person zu verzeichnen war. Von den 145 erhobenen Unfällen wurden 25 Unfälle als von N3-Fahrzeugen verursachte Auffahrunfälle klassifiziert. Es wurde angenommen, dass ein ideales AEBS gleichermaßen auf stehende und sich bewegende Fahrzeuge reagiert und das vorausfahrende Fahrzeug mindestens 150 m vor der Kollision auf seinem Fahrstreifen erkennt. Weiterhin wurde angenommen, dass eine wirksame Notbremsung nur dann erfolgen kann, wenn sich die Unfallstelle nicht hinter einer Kuppe oder Kurve befindet und das gegnerische Fahrzeug nicht kurzfristig auf die Fahrspur des N3-Fahrzeugs gewechselt ist. Bei 21 (84 %) der 25 Unfälle sah die Studie die Randbedingungen als erfüllt an und gab an, dass ein ideales AEBS den drohenden Unfall voraussichtlich ver-

mieden bzw. die Unfallfolgen gemildert hätte (TRABERT et al. 2018).

Eine andere Studie von Auffahrunfällen versuchsacht durch Lkw > 7,5 t auf niedersächsischen Autobahnen kommt zu dem Ergebnis, dass in Abhängigkeit der technischen Ausbaustufe 24 %-100 % der AEBS relevanten Unfälle hätten vermieden werden können, wenn der verursachende Lkw über ein aktiviertes Notbremsassistentensystem verfügt hätte (PETERSEN 2016).

2.2 Rechtliche Rahmenbedingungen

Die Ausstattung von Lkw mit Notbremsystemen ist durch europäische Typgenehmigungsvorschriften festgelegt. Diese gelten für die gesamte Europäische Union und vereinheitlichen somit die technischen Maßnahmen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit sowie die Wettbewerbsbedingungen. Die von der europäischen Gesetzgebung bestimmten technischen Maßnahmen sind zumeist identisch mit den auf UNECE-Ebene erarbeiteten UN-Regelungen.

Auf Basis des durch die Richtlinie 2007/46/EG geschaffenen Rahmens für die Genehmigung von Kraftfahrzeugen, wurde in der Verordnung (EG) 661/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates erstmals die Ausstattung von schweren Nutzfahrzeugen und Bussen mit einem AEBS vorgeschrieben. Die technischen Anforderungen wurden gleichlautend spezifiziert in Verordnung (EU) Nr. 347/2012 sowie in der Regelung UN R 131. Da die technischen Anforderungen auf EU- und UNECE-Ebene gleichlautend formuliert sind, wird im Folgenden exemplarisch auf Verordnung (EU) Nr. 347/2012 und ihre Ergänzung, Verordnung (EU) Nr. 2015/562, verwiesen.

2.2.1 Verordnung (EU) Nr. 347/2012 – Ausstattungspflicht AEBS

Der Geltungsbereich der Anforderungen an Notbremsassistentensysteme erstreckt sich über die Fahrzeugklassen M2, M3, N2 und N3. Im Folgenden sind die Begriffsbestimmungen dieser relevanten Fahrzeugklassen gemäß der Richtlinie 2007/46/EG aufgeführt:

Klasse M: Für die Personenbeförderung ausgelegte und gebaute Kraftfahrzeuge mit mindestens vier Rädern.

Klasse M2: Für die Personenbeförderung ausgelegte und gebaute Kraftfahrzeuge mit mehr als acht Sitzplätzen außer dem Fahrersitz und einer zulässigen Gesamtmasse bis zu 5 Tonnen.

Klasse M3: Für die Personenbeförderung ausgelegte und gebaute Kraftfahrzeuge mit mehr als acht Sitzplätzen außer dem Fahrersitz und einer zulässigen Gesamtmasse von mehr als 5 Tonnen.

Klasse N: Für die Güterbeförderung ausgelegte und gebaute Kraftfahrzeuge mit mindestens vier Rädern.

Klasse N2: Für die Güterbeförderung ausgelegte und gebaute Kraftfahrzeuge mit einer zulässigen Gesamtmasse von mehr als 3,5 Tonnen bis zu 12 Tonnen.

Klasse N3: Für die Güterbeförderung ausgelegte und gebaute Kraftfahrzeuge mit einer zulässigen Gesamtmasse von mehr als 12 Tonnen.

Unter anderem aufgrund von technischen Vorgaben sowie einer Kosten-/Nutzenanalyse sind in der EU einige Fahrzeugklassen von der Verordnung ausgenommen. Darunter fallen grundsätzlich alle Fahrzeuge der genannten Klassen, die über mehr als drei Achsen verfügen. Weitere Ausnahmen bilden Sattelzugmaschinen der Klasse N2 deren Höchstmasse zwischen 3,5 t und 8 t liegt. Weiterhin ausgenommen von der Regelung sind Fahrzeuge der Klassen M2 und M3, die zudem der Klasse I, Klasse II oder Klasse A zugeordnet werden. Gelenkbusse der Klasse M3, die zudem der Klasse I, Klasse II oder Klasse A zugeordnet werden, sind ebenso ausgenommen. Die Begriffsbestimmungen für Klasse I, Klasse II und Klasse A (das sind die Klassen von Bussen, in denen es Stehplätze gibt) lauten gemäß UN R 107 wie folgt:

Klasse I: Fahrzeuge,

- die zusätzlich zum Fahrer mehr als 22 Fahrgäste befördern können und
- mit Stehplätzen, die die Beförderung von Fahrgästen auf Strecken mit zahlreichen Haltestellen ermöglichen

Klasse II: Fahrzeuge,

- die zusätzlich zum Fahrer mehr als 22 Fahrgäste befördern können und

- die hauptsächlich zur Beförderung sitzender Fahrgäste gebaut und so ausgelegt sind, dass die Beförderung stehender Fahrgäste im Gang und/oder in einem Bereich, der nicht größer ist als der Raum von zwei Sitzbänken, möglich ist

Klasse A: Fahrzeuge, die zusätzlich zum Fahrer bis zu 22 Fahrgäste befördern können und die zur Beförderung stehender Fahrgäste ausgelegt sind; ein Fahrzeug dieser Klasse verfügt über Sitze und es müssen Stehplätze vorgesehen sein

Weiterhin nicht von der Verordnung betroffen sind innerhalb der relevanten Klassen M2, M3, N2 und N3 Fahrzeuge mit besonderer Zweckbestimmung. Darunter fallen Wohnmobile, beschussgeschützte Fahrzeuge, Krankenwagen oder Mobilkrane. Zuletzt sind Geländefahrzeuge der relevanten Fahrzeugklassen nicht zur Ausrüstung mit einem AEBS verpflichtet. Welche Fahrzeuge als Geländefahrzeuge gelten wird in Anhang II, Absätze 4.2 und 4.3 der 2007/46/EG spezifiziert.

Das Inkrafttreten der Verordnung erfolgte sukzessive in zwei Genehmigungsstufen, wobei sich die Ausstattungspflicht im Detail noch darin unterscheiden kann, ob das Fahrzeug an der Hinterachse mit Luftfederung ausgestattet ist bzw. welcher

Art das verbaute Bremssystem ist (s. Tabelle 1 und Tabelle 2).

Seit dem 1. November 2013 müssen alle neuen Fahrzeugtypen der relevanten Klassen mit einem AEBS der ersten Genehmigungsstufe ausgestattet sein, um eine nationale- oder EG-Typgenehmigung zu erhalten. Die Ausstattungspflicht gemäß der ersten Genehmigungsstufe erweiterte sich zum 1. November 2015 auf alle neuzugelassenen Fahrzeuge.

Die zweite Genehmigungsstufe ist am 1. November 2016 für alle neuen Fahrzeugtypen in Kraft getreten. Seit dem 1. November 2018 ist die Ausstattung der relevanten Fahrzeugklassen mit einem AEBS entsprechend Genehmigungsstufe zwei für die Zulassung von allen neuen Fahrzeugen notwendig.

Die Verordnung (EU) Nr. 347/2012 schreibt vor, dass das AEBS vor drohenden Kollisionen mit Fahrzeugen der Klassen M und N sowie deren Anhängern (Fahrzeugklasse O) warnt bzw. bremst, wenn sich diese auf demselben Fahrstreifen befinden und mit geringerer Geschwindigkeit unterwegs sind, bis zum Stillstand abbremsen oder bereits stehen. Insofern keine Deaktivierung des AEBS durch den Fahrer erfolgt ist, muss das System in dem Geschwindigkeitsbereich von 15 km/h bis zur bauartbedingten Höchstgeschwindigkeit des Fahrzeugs aktiv sein. Die technische Möglichkeit das AEBS zu deaktivieren kann dem Fahrer gegeben sein, bei

	Anforderungen an das AEBS gemäß Genehmigungsstufe 1					
	Unbewegliches Ziel			Bewegliches Ziel		
	Warnphase		Notbremsphase	Warnphase		Notbremsphase
	1. Warnung	2. Warnung		1. Warnung	2. Warnung	
Fahrzeugklasse	M3, N3 und N2 > 8 t (ausgestattet mit pneumatischen oder drucklufthydraulischen Bremssystemen und mit Hinterachsaufhängungssystemen mit Luftfederung)			M3, N3 und N2 > 8 t (ausgestattet mit pneumatischen oder drucklufthydraulischen Bremssystemen und mit Hinterachsaufhängungssystemen mit Luftfederung)		
Aktionszeitpunkt	Zeit vor Beginn der Notbremsung > 1,4 s	Zeit vor Beginn der Notbremsung > 0,8 s	Notbremsung darf nicht vor TTC 3 s beginnen	Zeit vor Beginn der Notbremsung > 1,4 s	Zeit vor Beginn der Notbremsung > 0,8 s	Notbremsung darf nicht vor TTC 3 s beginnen
Art der Warnung	Haptisch und/oder akustisch	Mindestens zwei aus haptisch, akustisch, optisch	-	Haptisch und/oder akustisch	Mindestens zwei aus haptisch, akustisch, optisch	-
Geschwindigkeitsabbau	Geschwindigkeitsabbau durch Teilbremsung maximal 15 km/h oder 30 % der gesamten Geschwindigkeitsreduzierung		Mindestens 10 km/h	Geschwindigkeitsabbau durch Teilbremsung maximal 15 km/h oder 30 % der gesamten Geschwindigkeitsreduzierung		Zusammenstoß muss vermieden werden
Zielgeschwindigkeit	-	-	-	32 ± 2 km/h		

Tab. 1: Die Tabelle enthält die Anforderungen an das AEBS eines schweren Güter- oder Personenverkehrsfahrzeug gemäß der ersten Genehmigungsstufe.

	Anforderungen an das AEBS gemäß Genehmigungsstufe 2					
	Unbewegliches Ziel			Bewegliches Ziel		
	Warnphase		Notbremsphase	Warnphase		Notbremsphase
	1. Warnung	2. Warnung		1. Warnung	2. Warnung	
Fahrzeugklasse	M3 ⁽¹⁾ , N3 und N2 > 8 t			M3 ⁽¹⁾ , N3 und N2 > 8 t		
Aktionszeitpunkt	Zeit vor Beginn der Notbremsung > 1,4 s	Zeit vor Beginn der Notbremsung > 0,8 s	Notbremsung darf nicht vor TTC 3 s beginnen	Zeit vor Beginn der Notbremsung > 1,4 s	Zeit vor Beginn der Notbremsung > 0,8 s	Notbremsung darf nicht vor TTC 3 s beginnen
Art der Warnung	Haptisch und/oder akustisch	Mindestens zwei aus haptisch, akustisch, optisch	-	Haptisch und/oder akustisch	Mindestens zwei aus haptisch, akustisch, optisch	-
Geschwindigkeitsabbau	Geschwindigkeitsabbau durch Teilbremsung maximal 15 km/h oder 30 % der gesamten Geschwindigkeitsreduzierung		Mindestens 20 km/h	Geschwindigkeitsabbau durch Teilbremsung maximal 15 km/h oder 30 % der gesamten Geschwindigkeitsreduzierung		Zusammenstoß muss vermieden werden
Zielgeschwindigkeit	-	-	-	12 ± 2 km/h		
Fahrzeugklasse	N2 < 8 t ⁽²⁾ ⁽⁴⁾ , M2			N2 < 8 t ⁽²⁾ ⁽⁴⁾ , M2		
Aktionszeitpunkt	Zeit vor Beginn der Notbremsung > 0,8 s	Vor dem Beginn der Notbremsphase ⁽³⁾	Notbremsung darf nicht vor TTC 3 s beginnen	Zeit vor Beginn der Notbremsung > 0,8 s	Vor dem Beginn der Notbremsphase ⁽³⁾	Notbremsung darf nicht vor TTC 3 s beginnen
Art der Warnung	Mindestens eins aus haptisch, akustisch, optisch	Mindestens zwei aus haptisch, akustisch, optisch	-	Haptisch und/oder akustisch	Mindestens zwei aus haptisch, akustisch, optisch	-
Geschwindigkeitsabbau	Geschwindigkeitsabbau durch Teilbremsung maximal 15 km/h oder 30 % der gesamten Geschwindigkeitsreduzierung		Mindestens 10 km/h	Geschwindigkeitsabbau durch Teilbremsung maximal 15 km/h oder 30 % der gesamten Geschwindigkeitsreduzierung		Zusammenstoß muss vermieden werden
Zielgeschwindigkeit	-	-	-	67 ± 2 km/h ⁽⁵⁾		

(1) Fahrzeuge der Klasse M3 mit hydraulischen Bremssystemen unterliegen den Anforderungen nach der unteren Tabellenhälfte
(2) Fahrzeuge mit pneumatischen Bremssystemen unterliegen den Anforderungen nach der oberen Tabellenhälfte
(3) Die Werte sind vom Fahrzeughersteller zum Zeitpunkt der Typp Genehmigung festzulegen.
(4) Hersteller dieser Fahrzeugklassen können sich für eine Typp Genehmigung nach den Werten der oberen Tabellenhälfte entscheiden; in diesem Fall muss die Einhaltung aller in der oberen Tabellenhälfte genannten Werte nachgewiesen werden.
(5) Die Werte für die Zielgeschwindigkeit sind vor dem 1. November 2021 zu überprüfen.

Tab. 2: Die Tabelle enthält die Anforderungen an das AEBS eines schweren Güter- oder Personenverkehrsfahrzeug gemäß der zweiten Genehmigungsstufe.

Beginn eines neuen Zündzyklus muss jedoch eine automatische Reaktivierung erfolgen.

Erkennt das System eine drohende Kollision, so müssen vor dem Beginn des automatischen Bremsengriffs zwei Warnungen erfolgen. In der ersten Warnphase kann der Fahrer entweder durch eine haptische oder eine akustische Warnung auf die drohende Kollision aufmerksam gemacht werden. Die zweite Warnung muss zwei der drei Warnmodi akustisch, haptisch oder optisch beinhalten. Die anschließende Notbremsung darf nicht vor einer TTC von 3 s oder weniger beginnen. Erfolgt die Kollisionswarnung durch eine Teilbremsung, muss der

Fahrer die Warnung ebenso wie die anschließende Notbremsung abbrechen können. Möglichkeiten, die den Abbruch initiieren, können beispielsweise das Durchtreten des Gaspedals, das Aktivieren des Fahrtrichtungsanzeigers oder das Wechseln des Ganges sein.

Das AEBS nach Genehmigungsstufe 1 muss die Geschwindigkeit des ausgestatteten Fahrzeugs um 10 km/h verringern, wenn das Fahrzeug, welches die Notbremsreaktion hervorruft (Ziel bzw. Zielfahrzeug), unbeweglich verharrt. Analog dazu beträgt der in einer solchen Situation geforderte Geschwindigkeitsabbau nach der zweiten Geneh-

migungsstufe 20 km/h (ausgenommen Fahrzeuge der Klassen N2 < 8t und M2, die jeweils über kein pneumatisches Bremssystem verfügen – siehe Tabelle 2).

Kollisionen mit bewegten Zielfahrzeugen müssen gemäß der beiden Genehmigungsstufen vollständig verhindert werden. Die Prüfungsgeschwindigkeit des Zielfahrzeugs für diese Situation beträgt in der ersten Genehmigungsstufe 32 ± 2 km/h und in der zweiten Genehmigungsstufe 12 ± 2 km/h bzw. 67 ± 2 km/h für die oben angeführten Ausnahmen. Die Prüfungen, ob die Anforderungen durch das AEBS erfüllt werden, finden auf einer ebenen, trockenen und griffigen Fahrbahn statt. Die Umgebungstemperatur liegt zwischen 0 °C und 45 °C und die Ergebnisse dürfen nicht vom Wind beeinflusst werden.

Die Anforderungen, die die Verordnung (EU) Nr. 347/2012 und an Notbremsassistentensysteme von schweren Nutzfahrzeugen und Bussen stellt, sind in Tabelle 1 und Tabelle 2 nochmals zusammengefasst.

Für die folgenden Auswertungen des Unfallgeschehens ist zu beachten, dass die Flotte der schweren Güterkraftfahrzeuge und Busse nicht schlagartig ab einem bestimmten Zeitpunkt komplett mit AEBS ausgestattet ist. Die Flottendurchdringung ist vielmehr ein stetig wachsender Prozess. Bereits vor der gesetzlichen Verpflichtung wurden Fahrzeuge seitens der Hersteller mit AEBS ausgerüstet. Auch mit der gesetzlichen Verpflichtung schreitet die Flottendurchdringung nur sukzessive voran, da die Verordnung, wie es bei fahrzeugtechnischen Vorschriften der Regelfall ist, in beiden Genehmigungsstufen zunächst nur für neue Fahrzeugtypen gilt und dann nur für die neu zugelassenen Fahrzeuge. Eine Nachrüstpflicht mit AEBS für Fahrzeuge aus dem Bestand besteht nicht.

In der Studie von (TRABERT et al.) 2018 wurde auch eine Befragung von 100 Lkw-Fahrern hinsichtlich ihrer Arbeitssituation, des Fahrzeugs und des Unfallgeschehens durchgeführt. Dort gaben 85 der Fahrer an, dass ihr Fahrzeug bereits über ein Notbremssystem verfüge. 72 % dieser Fahrer erklärten weiterhin, dass sie sich bereits in Verkehrssituationen befunden haben, wo durch das Eingreifen eines AEBS ein mutmaßlicher Auffahrunfall verhindert wurde.

2.2.2 Verordnung (EU) Nr. 351/2012 – Ausstattungspflicht LDWS

Nahezu gleichzeitig zu den Anforderungen an das AEBS von schweren Nutzfahrzeugen und Bussen wurden Anforderungen an ein Spurhaltewarnsystem (engl. Lane Departure Warning System (LDWS)) für die gleichen Fahrzeugklassen definiert. Diese sind gleichlautend beschrieben in der Verordnung (EU) Nr. 351/2012 sowie UN R 130. Insofern es vom Fahrer nicht deaktiviert wurde, muss das LDWS ab einer Geschwindigkeit von 60 km/h aktiv sein und den Fahrer warnen, wenn er ungewollt von seiner Fahrbahn wegdriftet. Die Warnung erfolgt spätestens, wenn die Reifenaußenseite des Vorderrades zur Seite des Abdriftens eine Linie überschreitet, die 0,3 m jenseits der Außenkante der sichtbaren Fahrspurmarkierung liegt. Das LDWS übt keinen Einfluss auf die in diesem Bericht betrachteten für AEBS relevanten Unfälle aus, findet jedoch Beachtung in der Abgrenzung von Unfallszenarien zur Bildung von Vergleichsgruppen.

3 Entwicklung des Unfallgeschehens

3.1 Datengrundlage

Datengrundlage der Analyse sind die Einzeldaten der amtlichen Straßenverkehrsunfallstatistik. Diese werden auf Basis der polizeilichen Aufzeichnungen vor Ort von den Statistischen Landesämtern erhoben und der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) für Forschungszwecke zur Verfügung gestellt. Die gesetzliche Grundlage dafür ist das Straßenverkehrsunfallstatistikgesetz (StVUnfStatG).

Diese Daten werden um fahrzeugtechnische Angaben des Kraftfahrt-Bundesamts (KBA) ergänzt. Die Zuordnung zu den Unfalldaten erfolgt mittels des Kfz-Kennzeichens. Anschließend wird dieses – bis auf das Zeichen des Verwaltungsbezirks – aus Datenschutzgründen wieder gelöscht. Die fahrzeugtechnischen Daten des KBA liegen allerdings nicht für alle unfallbeteiligten Fahrzeuge vor. Die wohl wichtigste Einschränkung ist an dieser Stelle, dass die Angaben nur für in Deutschland zugelassene Fahrzeuge ergänzt werden können, denn nur zu diesen hat das KBA die entsprechenden Daten. Zudem fehlen Angaben zu Fahrzeugen, bei denen das Kennzeichen von der Polizei nicht oder fehlerhaft aufgenommen wurde. Dies kann z. B. bei Unfall-

flucht der Fall sein oder wenn das Kfz-Kennzeichen des Anhängers statt der Sattelzugmaschine angegeben wurde.

3.2 Abgrenzung der Fahrzeuge

Das AEBS wurde in zwei Genehmigungsstufen eingeführt, wobei sich mit der zweiten Stufe der vorgeschriebene Geschwindigkeitsabbau verschärfte und der Anwendungsbereich erweiterte. In beiden Stufen wurde die Regelung zunächst für neue Fahrzeugtypen und jeweils zwei Jahre später für alle Neufahrzeuge verpflichtend (s. Kapitel 2.2.1). Das Jahr der Typgenehmigung eines unfallbeteiligten Fahrzeugs kann auf Grundlage der Unfalldaten nicht festgestellt werden. Jedoch ist das Jahr der Erstzulassung bekannt. Daher kann nur über die zweite, spätere Frist für Neufahrzeuge abgegrenzt werden, ob ein unfallbeteiligtes Fahrzeug ein AEBS hat. Da Stufe 2 für Neufahrzeuge erst am 01.11.2018 verpflichtend wurde, liegen für diese Stufe zum Zeitpunkt der Untersuchung noch keine Unfalldaten vor. In diesem Bericht wurde daher die Wirksamkeit der Stufe 1 untersucht, die für Neufahrzeuge ab dem 01.11.2015 galt.

Eingeführt wurde das AEBS für die Fahrzeugklassen M2, M3, N2 und N3. Die Fahrzeugklassen M2 und M3 umfassen Kraftfahrzeuge zur Personenbeförderung mit mehr als acht Sitzplätzen außer dem Fahrersitz mit einer zulässigen Gesamtmasse (zGM) bis zu 5 t (M2) bzw. über 5 t (M3). Unter die Fahrzeugklassen N2 und N3 fallen Kraftfahrzeuge zur Güterbeförderung oder mit besonderer Zweckbestimmung mit über 3,5 t bis maximal 12 t (N2) bzw. über 12 t (N3).

Die Abgrenzung der Fahrzeugklassen erfolgte in den Unfalldaten anhand der Verkehrsbeteiligungsart. Seit 2005 übermittelt das KBA mit den fahrzeugtechnischen Daten zwar auch Angaben zur Fahrzeugklasse. Jedoch ist eine eindeutige Abgrenzung der Fahrzeuge über diese Variable nicht möglich, da die Angaben sich zum Teil auf nationale Fahrzeugklassen und zum Teil auf Fahrzeugklassen gemäß EG-Richtlinien beziehen.

Die Verkehrsbeteiligungsart hat 37 verschiedene mögliche Ausprägungen. Davon charakterisieren 19 dieser Ausprägungen Busse, Lastkraftwagen (Lkw) und Zugmaschinen. In Tabelle 3 sind diese aufgelistet. Zusätzlich ist angegeben, ob die Fahrzeuge in der Analyse berücksichtigt wurden.

Bei den Fahrzeugklassen M2 bzw. M3 wurde nur die Verkehrsbeteiligungsart „Reisebus“ in die Analyse aufgenommen. Für alle anderen vier Verkehrsbeteiligungsarten ist das AEBS nicht verpflichtend, da sie über Stehplätze verfügen. Land- und forstwirtschaftliche Fahrzeuge gehören nicht zu den Fahrzeugklassen N2 bzw. N3, sondern zur Fahrzeugklasse T (Zugmaschinen für land- oder forstwirtschaftliche Zwecke). Deswegen wurden die entsprechenden Verkehrsbeteiligungsarten in der Analyse nicht berücksichtigt. Zudem sind Fahrzeuge mit besonderer Zweckbestimmung von der Regelung ausgenommen (VO (EU) 347/2012, Artikel 1, V). Diese werden in der Unfallstatistik üblicherweise der Verkehrsbeteiligungsart „Übrige Kraftfahrzeuge“ zugeordnet. Die zwei Verkehrsbeteiligungsarten, bei denen die zGM auf 3,5 Tonnen begrenzt ist, wurden ebenfalls nicht in die Analyse eingeschlossen, da die Regelung für Fahrzeuge mit dieser zGM nicht gilt. Somit wurden so bei den Fahrzeugklassen N2 bzw. N3 neun der vierzehn Verkehrsbeteiligungsarten von Lkw und Zugmaschinen in der Untersuchung berücksichtigt. Insgesamt wurden also zehn Verkehrsbeteiligungsarten in die Analyse aufgenommen. Die Fahrzeuge der Verkehrsbeteiligungsart „Reisebus“ werden im Folgenden Busse genannt, die anderen neun in der Analyse berücksichtigten Verkehrsbeteiligungsarten werden als Güter-Kraftfahrzeuge (GKfz) bezeichnet.

In Stufe 1 ist ein AEBS verpflichtend für Busse und GKfz mit mehr als acht Tonnen zGM. Zudem gilt die Regelung nur für Fahrzeuge mit bis zu drei Achsen. Diese Angaben sind in den Daten, die über das KBA ergänzt werden, enthalten. Wie in Kapitel 3.1 dargestellt, ist die zGM jedoch nur für in Deutschland zugelassene Fahrzeuge bekannt. Die Analyse ist daher auf diese Fahrzeuge eingeschränkt, im Ausland zugelassene Fahrzeuge werden dagegen nicht betrachtet. Der Anteil der im Ausland zugelassenen Fahrzeuge belief sich im Jahr 2018 bei den verunfallten GKfz auf 15,5 %. Bei den verunfallten Bussen lag der Anteil bei 16,8 %. Die KBA-Daten können zudem fehlen, wenn z. B. das Kennzeichen bei der Unfallaufnahme falsch notiert wurde oder es zur Unfallflucht kam. Die Ergänzungsquote lag im Jahr 2018 bei den verunfallten GKfz bei 80,5 % und bei den verunfallten Bussen bei 80,6 %.

Somit werden in der Analyse also die in Tabelle 3 gekennzeichneten Verkehrsbeteiligungsarten berücksichtigt, sofern sie in Deutschland zugelassen sind, bis zu drei Achsen haben und ihre zulässige Gesamtmasse mehr als acht Tonnen beträgt.

Art der Verkehrsbeteiligung ab 2012 (Kraftfahrzeuge)				
A. Busse				
Nr.	Art der Verkehrsbeteiligung	AEBS		Begründung
		Ja	Nein	
31	Kraftomnibus		X	Fahrzeuge der Gruppen A, I, II sind von der Regelung ausgenommen.
32	Reisebus	X		
33	Linienbus		X	Fahrzeuge der Gruppen A, I, II sind von der Regelung ausgenommen.
34	Schulbus		X	Fahrzeuge der Gruppen A, I, II sind von der Regelung ausgenommen.
35	Oberleitungsbussen		X	Fahrzeuge der Gruppen A, I, II sind von der Regelung ausgenommen.
B. Lastkraftwagen und Sattelzugmaschinen				
Nr.	Art der Verkehrsbeteiligung	AEBS		Begründung
		Ja	Nein	
40	Liefer- und Lastkraftwagen mit einer zGM ≤ 3,5 t ohne Anhänger		X	Gilt nicht für Fahrzeuge mit zGM ≤ 3,5 t.
42	Liefer- und Lastkraftwagen mit einer zGM ≤ 3,5 t mit Anhänger		X	Gilt nicht für Fahrzeuge mit zGM ≤ 3,5 t.
44	Liefer- und Lastkraftwagen mit einer zGM > 3,5 t ohne Anhänger	X		
46	Liefer- und Lastkraftwagen mit einer zGM > 3,5 t mit Anhänger	X		
43	Liefer- und Lastkraftwagen mit Tankauflagen ohne Anhänger	X		
48	Liefer- und Lastkraftwagen mit Tankauflagen mit Anhänger	X		
51	Sattelzugmaschine, auch mit Auflieger	X		
52	Sattelschlepper mit Auflieger als Tankwagen	X		
53	Landwirtschaftliche Zugmaschinen		X	Land- und Forstwirtschaftliche Fahrzeuge gehören zur Fahrzeugklasse T.
54	Andere Zugmaschinen (ohne Tankwagen)	X		
55	Andere Zugmaschinen mit Tankwagen zur Beförderung von gefährlichen Gütern	X		
57	Tankkraftwagen zur Beförderung von gefährlichen Gütern	X		
58	Lastkraftwagen mit Spezialaufbau		X	u. a. Land- und Forstwirtschaftliche Fahrzeuge, diese gehören zur Fahrzeugklasse T.
59	Übrige Kraftfahrzeuge		X	v. a. Fahrzeuge mit bestimmter Zweckbestimmung gemäß Richtlinie 2007/46/EG Anhang II, Teil A, Absatz 5. Diese sind von der Regelung ausgenommen.

Tab. 3: Verkehrsbeteiligungsarten von Bussen, Lkw und Zugmaschinen.

3.3 Abgrenzung der Unfallsituationen

In der Unfallstatistik werden die Unfälle nach ihrer Unfallschwere kategorisiert. Unterschieden wird dabei zwischen Unfällen mit Personenschaden und Unfällen mit Sachschaden. Unfälle mit Personenschaden (U(P)) werden definiert als Unfälle, bei denen mindestens eine Person verletzt oder getötet wurde. Unfälle mit Sachschaden unterteilen sich weiter in schwerwiegende Unfälle mit Sachschaden im engeren Sinne (U(SS)), bei denen mindestens

ein Fahrzeug nach dem Unfall nicht fahrbereit ist. Wenn alle Fahrzeuge nach dem Unfall fahrbereit sind, aber mindestens ein Beteiligter unter dem Einfluss berauschender Mittel stand, handelt es sich um sonstige Sachschadensunfälle unter dem Einfluss berauschender Mittel. Alle anderen Unfälle werden der Kategorie der übrigen Sachschadensunfälle zugeordnet. Zu den übrigen Sachschadensunfällen liegen in der amtlichen Unfallstatistik keine Einzeldaten vor, diese sind nur als Summe enthal-

ten. Daher werden für die Analyse alle Unfälle mit Personenschaden und schwerwiegendem Sachschaden im engeren Sinne berücksichtigt. Auf diese Weise wird eine möglichst große Anzahl an Unfällen in der Untersuchung berücksichtigt. Die sonstigen Unfälle unter Einwirkung von Alkohol oder anderer berauschender Mittel werden nicht miteinbezogen, um dadurch bedingte Verzerrungen in den Ergebnissen auszuschließen.

Das AEBS greift ein, wenn sich vor dem Fahrzeug ein langsames oder stehendes Fahrzeug befindet, das System eine drohende Kollision erkennt und eine Fahrerreaktion ausbleibt. Durch ein solches System sollen also vor allem Auffahrunfälle abgewendet oder deren Folgen gemindert werden. In einem ersten Schritt wurden daher diejenigen Unfälle identifiziert, bei denen es sich um Auffahrunfälle handelt.

In den Unfalldaten gibt es keine Kodierung für Auffahrunfälle. Deswegen wurden zur Abgrenzung die Variablen Unfalltyp und Unfallart herangezogen. Der Unfalltyp charakterisiert die Konfliktsituation, die zu dem Unfall führt. Die Unfallart beschreibt den Unfallablauf, also die erste Kollision oder das Abkommen von der Fahrbahn. Insgesamt wird zwischen sieben Unfalltypen und zehn Unfallarten unterschieden, sodass es insgesamt 70 Kombinationen aus Unfalltyp und Unfallart gibt. In Tabelle 4 ist die Verteilung der Unfälle von GKfz und Bussen auf BAB nach Unfalltyp und -art für das Jahr 2018 dargestellt.

Die Analyse wurde auf Unfälle auf BAB eingeschränkt, da die Unfallsituation außerorts auf Landstraßen und innerorts sehr viel komplexer ist. So gibt es auf BAB beispielsweise kein Fuß- und Radverkehr. Mithilfe des Unfalltyps und der Unfallart lassen sich Auffahrunfälle auf BAB daher deutlich zuverlässiger abgrenzen als für andere Ortslagen. Zudem ist denkbar, dass das System auf BAB seltener abgestellt wird, da es hier weniger Verkehrssituationen gibt, bei denen das AEBS fälschlicherweise warnt (SEINIGER et al. 2020). Dies ist z. B. möglich in Abbiegesituationen, die es auf BAB so nicht gibt. In Kapitel 2.1 wurde dargelegt, dass das AEBS vornehmlich für Situationen auf BAB konzipiert wurde und die Vorschrift auf Situationen mit Geschwindigkeitsdifferenz bzw. Time-To-Collision abzielt. Zudem ereignen sich laut PANWINKLER (2018) knapp zwei Drittel der Auffahrunfälle mit GKfz auf BAB. Die Unfallschwere dieser Unfälle ist deutlich höher als die in anderen Ortslagen.

Wie in Tabelle 4 zu erkennen, waren mit 60,5 % weit mehr als die Hälfte der Unfälle dem Unfalltyp „Unfall im Längsverkehr“ zuzuordnen, also einem Konflikt zwischen Verkehrsteilnehmern, die sich in die gleiche oder entgegengesetzte Richtung bewegt haben. Am zweithäufigsten war der Unfalltyp „sonstiger Unfall“ (20,3 %) und am dritthäufigsten der „Fahrerfall“ (15,7 %), dabei handelt es sich um Unfälle, die sich infolge eines Kontrollverlusts des Fahrenden ereigneten. Damit entfielen mehr als 95 % der Unfälle auf diese drei Unfalltypen. Dies ist vor allem der speziellen Situation auf BAB geschuldet.

Bei den Unfallarten ist das Bild differenzierter. Mit 31,8 % war die Unfallart „Zusammenstoß mit einem Fahrzeug, das vorausfährt oder wartet“ am häufigsten, gefolgt von der Unfallart „Zusammenstoß mit einem Fahrzeug, das seitlich in gleicher Richtung fährt“ (26,6 %) und dem „Abkommen von der Fahrbahn nach rechts“ (14,1 %). Damit kommen die drei häufigsten Unfallarten auf einen Anteil von über 70 %. Die zwei häufigsten Kombinationen aus Unfalltyp und -art sind „Unfall im Längsverkehr“ und „Zusammenstoß mit einem Fahrzeug, das vorausfährt oder wartet“ mit 30,2 % bzw. „Unfall im Längsverkehr“ und Zusammenstoß mit einem Fahrzeug, das seitlich in gleicher Richtung fährt“ mit 24,5 %. Damit entfallen auf diese beiden Kombinationen mit fast 55 % mehr als die Hälfte der Unfälle.

In Anlehnung an PANWINKLER (2018) werden Auffahrunfälle in dieser Untersuchung definiert als

- Unfalltyp:
 - Fahrerfall oder
 - Unfall im Längsverkehr
- und
- Unfallart:
 - Zusammenstoß mit vorausfahrendem oder wartendem Fahrzeug.

Diese Unfälle sind in Tabelle 4 blau markiert.

Da zeitgleich mit Stufe 1 des AEBS das Lane Departure Warning System (LDWS) für Neufahrzeuge verpflichtend wurde, wurden Spurverlassen-Unfälle, bei denen dieses System zum Tragen kommt, von der Analyse ausgenommen. Spurverlassen-Unfälle werden dabei ebenfalls in Anlehnung an PANWINKLER (2018) definiert als

- Unfalltyp:
 - Fahrrunfall oder
 - Unfall im Längsverkehr
- und
- Unfallart:
 - Zusammenstoß mit Fahrzeug, das seitlich in gleicher Richtung fährt oder
 - Abkommen von der Fahrbahn nach links oder
 - Abkommen von der Fahrbahn nach rechts.

Zusätzlich zu den hier abgegrenzten Unfällen wurde bei PANWINKLER (2018) die Unfallart „Zusammenstoß mit entgegenkommendem Fahrzeug“ in Kombination mit den oben angegebenen Unfalltypen als Spurverlassen-Unfall definiert. Auf BAB ist diese Unfallart allerdings ein Spezialfall und wird daher von der Analyse ausgeschlossen. Die Spurverlassen-Unfälle sind in der Tabelle 4 rot markiert.

Ebenfalls ausgeschlossen werden die Unfälle mit Unfallart = 1, d. h. Zusammenstöße mit haltenden Fahrzeugen. Damit sind Fahrzeuge gemeint, die bewusst ihre Fahrt unterbrechen (z. B. zum Parken). Handelt es sich um unfreiwillige Fahrtunterbrechungen (z. B. Stau), so handelt es sich um ein wartendes Fahrzeug (Unfallart = 2). Zusammenstöße mit haltenden Fahrzeugen ereignen sich auf

BAB z. B. auf Raststätten und unterscheiden sich daher deutlich von anderen auf BAB. Die restlichen Kombinationen aus Unfalltyp und Unfallart werden in dieser Analyse der Gruppe der anderen Unfälle zugeordnet. Diese sind in Tabelle 4 grün hervorgehoben. Im Jahr 2018 handelte es sich demnach bei 31,0 % der Unfälle um Auffahrunfälle, bei 38,6 % um Spurverlassen-Unfälle und bei 24,8 % um andere Unfälle.

In der Analyse wurden nur GKfz und Busse betrachtet, die Hauptverursacher des Unfalls waren. Der Hintergrund ist, dass bei Auffahrunfällen i. d. R. das auffahrende Fahrzeug von der Polizei als Hauptverursacher ins Unfallprotokoll aufgenommen wird. Hauptverursacher ist also Fahrerin oder Fahrer des Fahrzeugs, bei dem ein AEBS den Aufprall verhindern oder abschwächen kann.

Berücksichtigt werden somit Unfälle mit Personenschaden und Unfälle mit schwerwiegendem Sachschaden auf Bundesautobahnen, bei denen Fahrerin oder Fahrer eines GKfz oder Busses Hauptverursacher war. Zusätzlich wurden auf Grundlage des Unfalltyps und der Unfallart die drei Unfallszenarien Auffahrunfall, Spurverlassen-Unfall und anderer Unfall definiert (Tabelle 4).

		Unfallart										Gesamt
		Zusammenstoß mit haltendem Fahrzeug	Zusammenstoß mit vorausfahrendem Fahrzeug	Zusammenstoß mit seitlich in gleicher Richtung fahrendem Fahrzeug	Zusammenstoß mit entgegenkommendem Fahrzeug	Zusammenstoß mit einbiegendem oder kreuzendem Fahrzeug	Zusammenstoß Fußgänger und Fahrzeug	Aufprall auf Hindernis auf der Fahrbahn	Abkommen von der Fahrbahn nach rechts	Abkommen von der Fahrbahn nach links	Unfall anderer Art	
Unfalltyp	Fahrrunfall	1,0 %	0,8 %	0,7 %	0,0 %	0,1 %	0,0 %	0,2 %	8,4 %	3,8 %	0,6 %	15,7 %
	Abbiege-Unfall	0,0 %	0,0 %	0,3 %	0,1 %	0,1 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,4 %
	Einbiegen-/Kreuzen-Unfall	0,1 %	0,1 %	0,4 %	0,0 %	1,2 %	0,0 %	0,0 %	0,1 %	0,0 %	0,1 %	1,9 %
	Überschreiten-Unfall	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,1 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,1 %
	Unfall durch ruhenden Verkehr	1,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,2 %	0,0 %	0,0 %	0,1 %	1,2 %
	Unfall im Längsverkehr	2,6 %	30,2 %	24,5 %	0,1 %	0,1 %	0,1 %	0,2 %	0,5 %	0,7 %	1,5 %	60,5 %
	Sonstiger Unfall	0,8 %	0,7 %	0,7 %	0,0 %	0,0 %	0,2 %	5,4 %	5,1 %	2,6 %	4,8 %	20,3 %
	Gesamt	5,5 %	31,8 %	26,6 %	0,1 %	1,4 %	0,3 %	6,0 %	14,1 %	7,1 %	7,0 %	100,0 %

■ Auffahrunfall
 ■ Spurverlassenunfall
 ■ anderer Unfall
 ausgeschlossener Unfall

Tab. 4: Unfälle 2018 in Prozent nach Unfalltyp und -art auf BAB von GKfz und Bussen (nur Hauptverursacher, > acht Tonnen zGM, mit bis zu drei Achsen).

3.4 Entwicklung des Unfallgeschehens von GkFz und Bussen

Im Jahr 2018 ereigneten sich 4.011 U(P) bzw. U(SS) auf BAB mit GkFz und Bussen, so wie sie in Kapitel 3.2 abgegrenzt wurden. Damit lag der Anteil der Unfälle auf BAB bei 32,1 %. Bei diesen Unfällen waren insgesamt 4.474 GkFz bzw. Busse beteiligt – 1.781 davon als Hauptverursacher. Im Folgenden wird die zeitliche Entwicklung der Unfälle mit GkFz und Bussen als Hauptverursacher auf BAB näher betrachtet.

Die Entwicklung der Unfälle mit GkFz bzw. Bussen als Hauptverursacher auf BAB ist in Bild 1 dargestellt. Zwischen 2009 und 2018 nahm die Anzahl der Unfälle mit 6,5 % leicht zu, ein eindeutiger zeitlicher Trend ist jedoch nicht zu erkennen. Auffällig ist allerdings der starke Anstieg im Jahr 2010, hier erhöhte sich die Zahl der Unfälle im Vergleich zum Vorjahr um 43,8 %. Diese Zunahme ist auf die au-

ßergewöhnlich kalten Wintermonate im Jahr 2010 zurückzuführen – insbesondere der Januar und Dezember waren kälter als im langjährigen Mittel und Schnee- und Eisglätte traten überdurchschnittlich oft auf (Deutscher Wetterdienst 2010, 2011). Ein Anstieg im Unfallgeschehen ist zudem 2013 zu erkennen. Auch hier kam es im Januar zu mehr Schnee- und Eisglätte als in anderen Jahren (Deutscher Wetterdienst 2013).

In Bild 2 ist die Entwicklung der Unfallzahlen nach Fahrzeugalter dargestellt. Da das AEBS in der EU-Verordnung für Neufahrzeuge vorgesehen ist, ist diese Differenzierung für die hier vorliegende Analyse besonders interessant. Es ist ein deutlicher Zusammenhang zwischen Fahrzeugalter und Entwicklung der Unfallzahlen zu erkennen. Bei den Fahrzeugen mit einem Alter unter zwei Jahren sanken die Unfallzahlen zwischen 2009 und 2018 insgesamt um 13,9 %. Damit entwickelte sich das Unfallgeschehen in dieser Gruppe am positivsten. Am

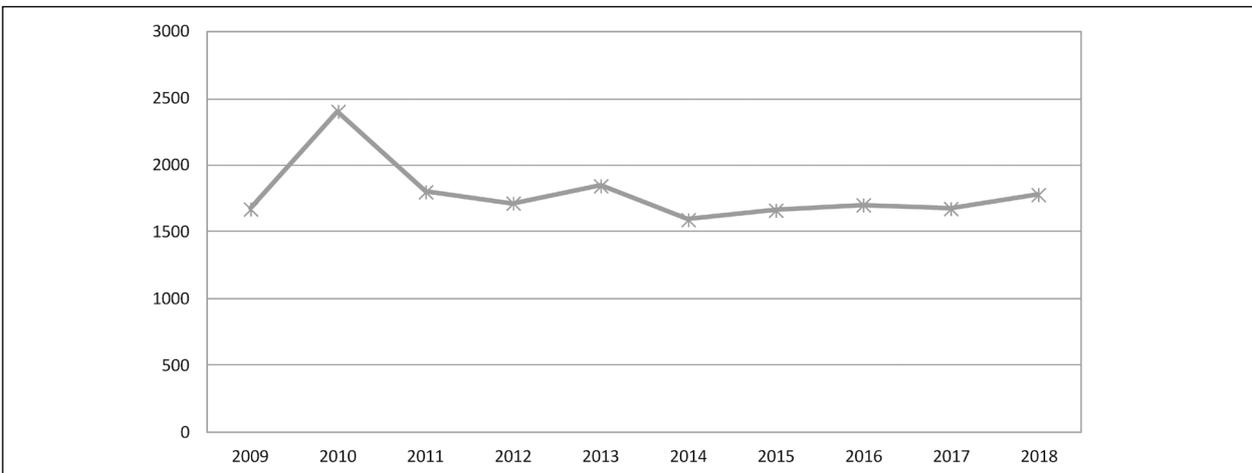


Bild 1: Entwicklung der Unfälle mit Hauptverursacher GkFz bzw. Bus auf BAB 2009-2018.

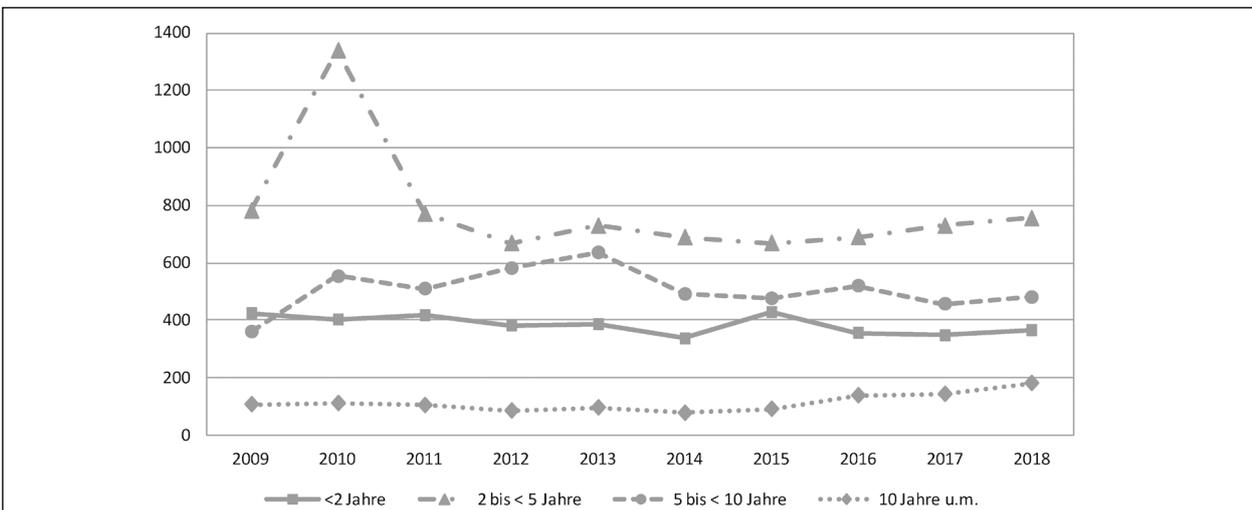


Bild 2: Entwicklung der Unfälle mit Hauptverursacher GkFz bzw. Bus auf BAB nach Alter der Fahrzeuge 2009-2018.

zweitbesten entwickelten sich die Unfallzahlen der zwei bis unter fünf Jahre alten Fahrzeuge (-3,5 %). In den anderen beiden Gruppen nahmen die Unfallzahlen dagegen zwischen 2009 und 2018 zu. Bei den fünf bis unter zehn Jahre alten Fahrzeugen stieg die Zahl der Unfälle um 33,3 % und bei den zehn Jahre und älteren Fahrzeugen sogar um 69,2 %. Die Unfallzahlen entwickelten sich also umso besser je geringer das Fahrzeugalter war. Der starke Anstieg im Jahr 2010, der bereits in Bild 1 zu erkennen war, ist vorrangig auf die zwei bis unter fünf Jahre alten Fahrzeuge zurückzuführen. In dieser Altersgruppe nahm der Fahrzeugbestand 2010 deutlich stärker zu als in den anderen Gruppen. Dies liegt vermutlich daran, dass in Folge der Rezession 2009 Investitionen zurückgehalten wurden und Fahrzeuge seltener ersetzt wurden. Im gleichen Zeitraum sank zudem der Bestand an Neufahrzeugen mit einem Alter von bis zu zwei Jahren, was diese Annahme bestärkt (KBA 2009, 2010). Daher ist die starke Zunahme der Unfälle 2010 vermutlich vor allem in der Altersgruppe der zwei bis unter fünf Jahre alten Fahrzeuge zu erkennen.

Neben dem Fahrzeugalter ist die Entwicklung nach Unfallszenario für diese Analyse von besonderem Interesse. Mit dem AEBS sollen vor allem Auffahrunfälle verhindert oder deren Folgen gemindert werden. Die Entwicklung der Unfallzahlen der drei Szenarien ist in Bild 3 dargestellt. Auch bezüglich der Unfallszenarien verläuft die Entwicklung sehr unterschiedlich. Die Zahl der Auffahrunfälle stieg zwischen 2009 und 2018 mit 21,0 % deutlich an. Im Vergleich dazu sind die Häufigkeiten der beiden anderen abgegrenzten Unfallszenarien konstant bis

leicht rückläufig. Die Zahl der Spurverlassen-Unfälle nahm in diesem Zeitraum um 6,9 % ab, die Zahl der anderen Unfälle veränderte sich kaum (+0,5 %).

Die hohe Zahl an Unfällen im Jahr 2010 ist vor allem durch den starken Anstieg der Spurverlassen-Unfälle zu erklären. Diese nahmen 2010 um 66,9 % gegenüber dem Vorjahr zu. Im Jahresverlauf 2010 entfielen die größten Zuwächse auf die Wintermonate. In diesen Monaten kam es zu deutlich mehr Unfällen durch Glätte als in anderen Jahren. Dabei hat Glätte einen größeren Effekt auf Spurverlassen-Unfälle als auf die anderen Unfallszenarien – der Anteil an Unfällen mit Straßenzustand Glätte liegt in allen Jahren bei den Spurverlassen-Unfällen deutlich über dem der anderen Unfallszenarien.

In Bild 4 ist die zeitliche Veränderung der Auffahrunfälle, die von GkFz- bzw. Bus-Fahrenden auf BAB verursacht wurden, differenziert nach Fahrzeugalter abgebildet. Der Einfluss des Fahrzeugaltes auf die Entwicklung der Unfallzahlen, der in Bild 2 zu erkennen war, zeigt sich auch hier. Während die Zahl der Unfälle bei den Neufahrzeugen unter zwei Jahren etwa konstant war, nahmen die Unfallzahlen älterer Fahrzeuge zu. Besonders stark fiel diese Zunahme bei den Fahrzeugen mit einem Alter von zehn Jahren und mehr aus. Hier hat sich die Unfallzahl seit 2012 mehr als verdoppelt. Der Anstieg bei den Auffahrunfällen, der in Bild 3 zu erkennen ist, ist also durch die älteren Fahrzeuge bedingt. Bei den Neufahrzeugen zeichnet sich dagegen seit 2016 ein leichter Rückgang der Unfallzahlen ab. Die Spitze im Jahr 2010 ist nur bei den zwei bis unter fünf Jahre alten Fahrzeugen zu erkennen. Hier nehmen die Unfälle im Vergleich zum Vorjahr um 52,2 % zu.

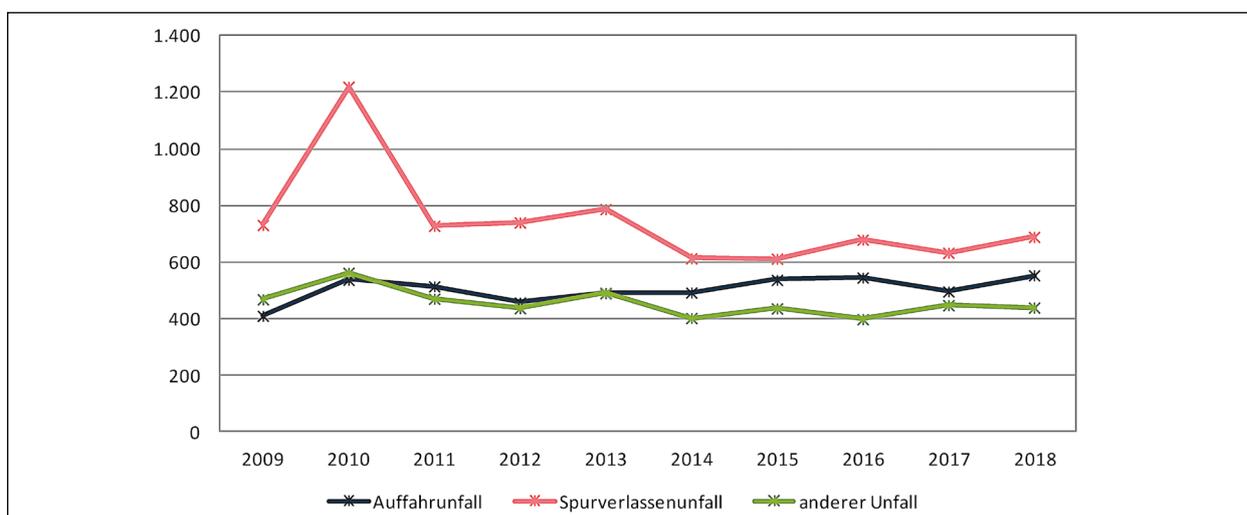


Bild 3: Entwicklung der Unfälle mit Hauptverursacher GkFz bzw. Bus auf BAB nach Unfallszenarien 2009-2018.

Bei den Spurverlassen-Unfällen entwickelten sich die Unfallzahlen ebenfalls bei den neuen Fahrzeugen am besten. Die Anzahl der Unfälle nahm in dieser Gruppe ab, im Vergleich zu 2009 sank die Unfallzahl 2018 um 19,6 % (Bild 5). Jedoch ist hier, anders als bei den Auffahrunfällen, keine Zunahme bei den Unfällen älterer Fahrzeuge zu erkennen. Eine Ausnahme hiervon stellen die ältesten Fahrzeuge (zehn Jahre und mehr) dar. Die Unfallzahl der fünf bis unter zehn Jahre alten Fahrzeuge sank sogar leicht. Wie auch bei den Auffahrunfällen ist der sprunghafte Anstieg der Unfallzahlen 2010 vor allem auf die zwei bis unter fünf Jahre alten Fahrzeuge zurückzuführen. Im Vergleich zum Vorjahr verdoppelten sich die Unfallzahlen bei den zwei bis unter fünf Jahre alten Fahrzeugen (+101,1 %). Damit fiel die Zunahme bei den Spurverlassen-Unfällen in 2010 deutlich stärker aus als bei den Auffahrunfällen.

Die zeitliche Entwicklung bei den anderen Unfällen ist in Bild 6 dargestellt. Ähnlich wie bei den Spurverlassen-Unfällen steigt auch bei den anderen Unfällen nur die Unfallzahl der Fahrzeuge ab zehn Jahre an. Am besten entwickeln sich hier die zwei bis unter fünf Jahre alten Fahrzeuge – jedoch stieg die Zahl der Unfälle hier zuletzt wieder an. Etwas weniger stark ging der Trend bei den unter zwei Jahre alten Fahrzeugen bzw. bei den fünf bis unter zehn Jahre alten Fahrzeugen zurück. Auch hier ist der sprunghafte Anstieg im Jahr 2010 vor allem auf die Fahrzeuge dieser Altersgruppe zurückzuführen. Im Vergleich zum Vorjahr stiegen die Unfälle um 40,0 % und damit etwas weniger stark als die Auffahrunfälle der zwei bis unter fünf Jahre alten Fahrzeuge.

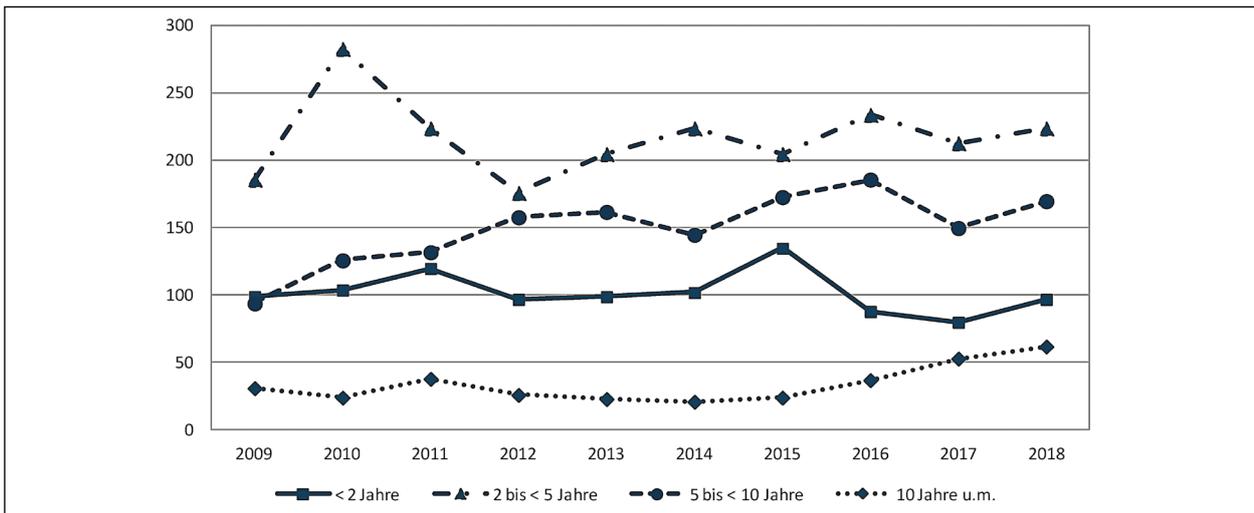


Bild 4: Entwicklung der Auffahrunfälle mit Hauptverursacher GkFz bzw. Bus auf BAB nach Alter der Fahrzeuge 2009-2018.

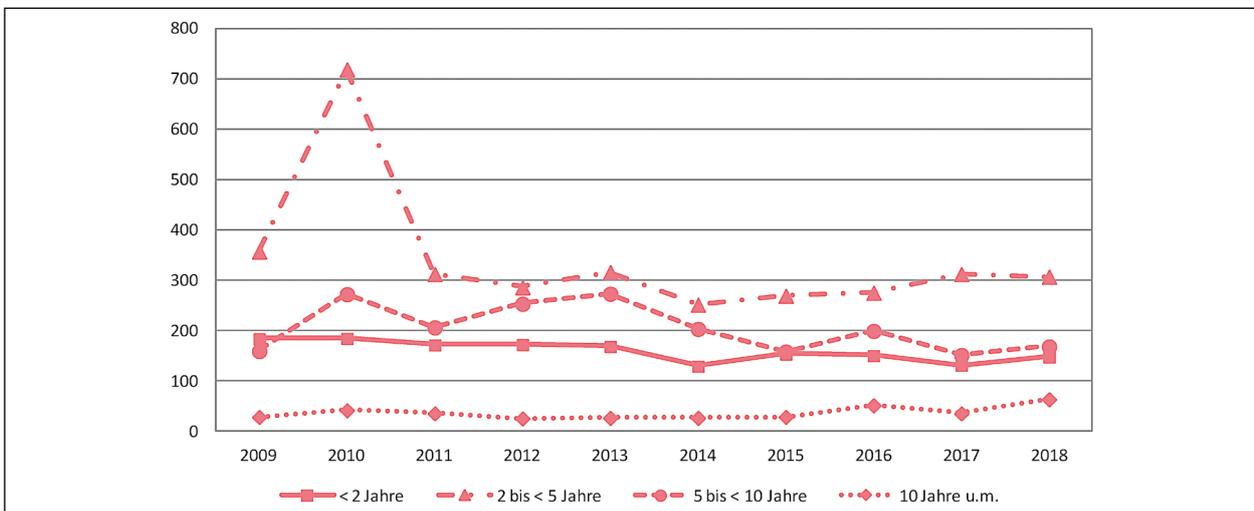


Bild 5: Entwicklung der Spurverlassen-Unfälle mit Hauptverursacher GkFz bzw. Bus auf BAB nach Alter der Fahrzeuge 2009-2018.

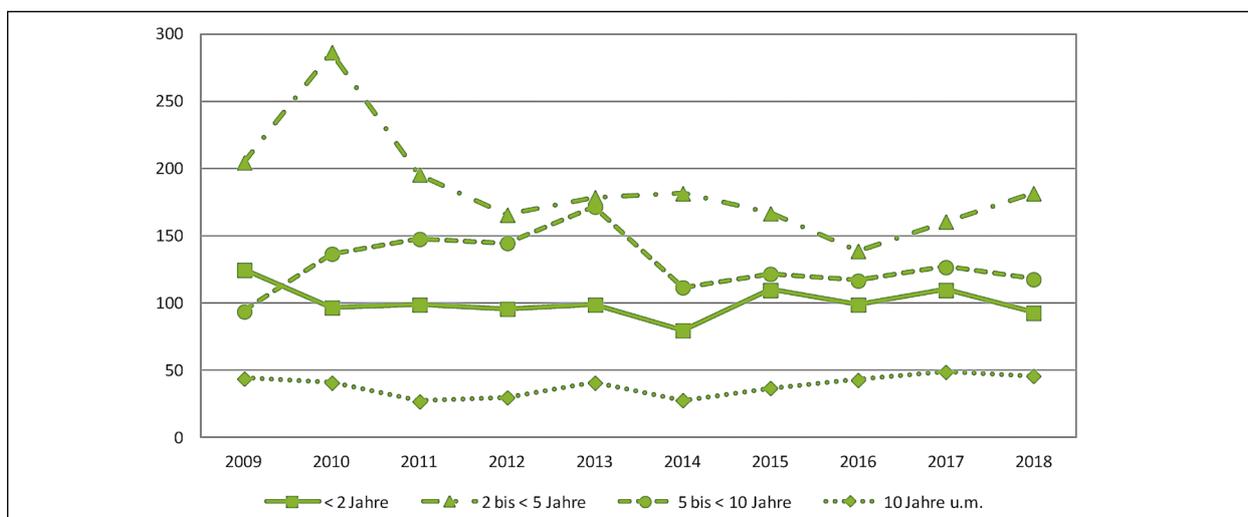


Bild 6: Entwicklung der anderen Unfälle mit Hauptverursacher GKfz bzw. Bus auf BAB nach Alter der Fahrzeuge 2009-2018.

	Unfälle mit Getöteten	Unfälle mit Schwerverletzten	Unfälle mit Leichtverletzten	Unfälle mit schwerem Sachschaden
Auffahrunfälle	4,4 %	24,8 %	58,6 %	12,2 %
Spurverlassenunfälle	0,9 %	13,2 %	53,4 %	32,5 %
Andere Unfälle	2,2 %	13,1 %	34,9 %	49,8 %

Tab. 5: Unfallkategorien bei den drei Unfallszenarien mit GKfz bzw. Bus als Hauptverursacher auf BAB 2009-2018.

3.5 Auffahrunfälle von GKfz und Bussen

Nachdem im vorherigen Kapitel die zeitliche Entwicklung der Unfälle und Unfallszenarien von GKfz und Bussen auf BAB dargestellt wurde, sollen nun die Auffahrunfälle und ihre Folgen etwas detaillierter betrachtet werden.

Auffallend ist die vergleichsweise hohe Unfallschwere bei Auffahrunfällen. In Tabelle 5 ist die Verteilung der Unfallkategorien auf die Unfallszenarien zusammengefasst. Im Gesamtzeitraum 2009-2018 handelte es sich bei 4,4 % der Auffahrunfälle um einen Unfall mit Getöteten, bei 24,8 % um einen Unfall mit Schwerverletzten und bei 58,6 % um einen Unfall mit Leichtverletzten. Im Vergleich dazu lag der Anteil an Unfällen mit Getöteten bei den anderen Unfällen bei 2,2 % und war damit halb so hoch wie bei den Auffahrunfällen. Auch auf Unfälle mit Schwer- bzw. Leichtverletzten entfielen geringere Anteile. Die größte Gruppe stellten die Unfälle mit schwerem Sachschaden dar, in diese Kategorie fielen fast die Hälfte der Unfälle. Bei den Auffahrunfällen

handelte es sich dagegen nur bei 12,2 % der Unfälle um einen Unfall mit schwerem Sachschaden. Ausschlaggebend für die Zuordnung der Unfallkategorie ist die schwerste Unfallfolge. Wurde bei einem Unfall beispielsweise mindestens eine Person getötet, wird dieser als Unfall mit Getöteten gezählt, unabhängig davon, ob noch weitere Personen (schwer) verletzt wurden oder ein Sachschaden entstand. Bei Unfällen mit schwerem Sachschaden wurde dementsprechend keine Person verletzt.¹

In Bild 7 ist dargestellt, welche Verkehrsbeteiligungsart die Unfallgegner von GKfz- und Busunfällen auf BAB haben. Bei den Auffahrunfällen stellten Personenkraftwagen (Pkw) knapp die Hälfte der Unfallgegner dar. Dagegen lag der Anteil an Pkw als Unfallgegner an allen Unfallszenarien bei etwa zwei Drittel und damit deutlich über dem Anteil, den Pkw an Auffahrunfällen von GKfz bzw. Bussen hatten. Am zweithäufigsten waren Beteiligte in Sattelzugmaschinen als Unfallgegner an Auffahrunfällen involviert (28,8 %), gefolgt von Beteiligten in Lkw ohne (11,0 %) bzw. mit Anhänger (9,5 %) und Zugmaschinen (2,2 %). Diese Verkehrsteilnehmergruppen sind überproportional oft an Auffahrunfällen beteiligt im Vergleich zu allen Unfallszenarien. Da GKfz und Busse häufig den rechten Fahrstreifen auf BAB nutzen und bei Auffahrunfällen auf das vor ihnen fahrende Fahrzeug in der gleichen Spur fahren, ist naheliegend, dass der Unfallgegner über-

¹ Wie in Kapitel 3.3 erläutert, wurden nur Unfälle mit Verunglückten bzw. mit schwerem Sachschaden im engeren Sinne berücksichtigt, d. h. sonstige Sachschadensunfälle unter Einfluss berauschender Mittel und übrige Sachschadensunfälle sind in der Berechnung der Anteile nicht enthalten.

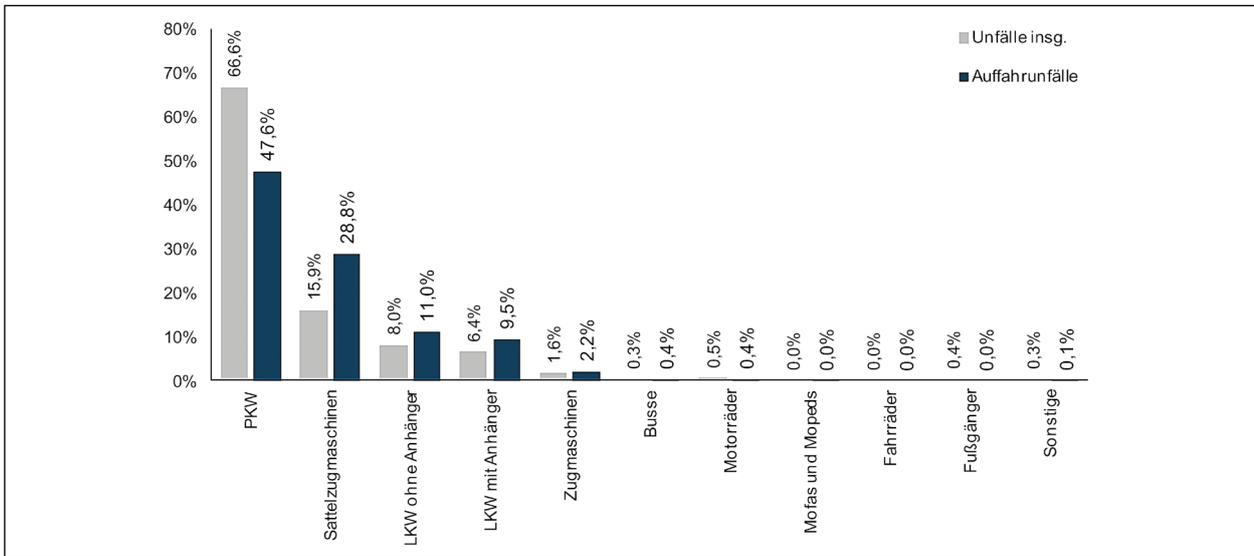


Bild 7: Unfallgegner von Unfällen mit Hauptverursacher GKfz oder Bus auf BAB 2009-2018.

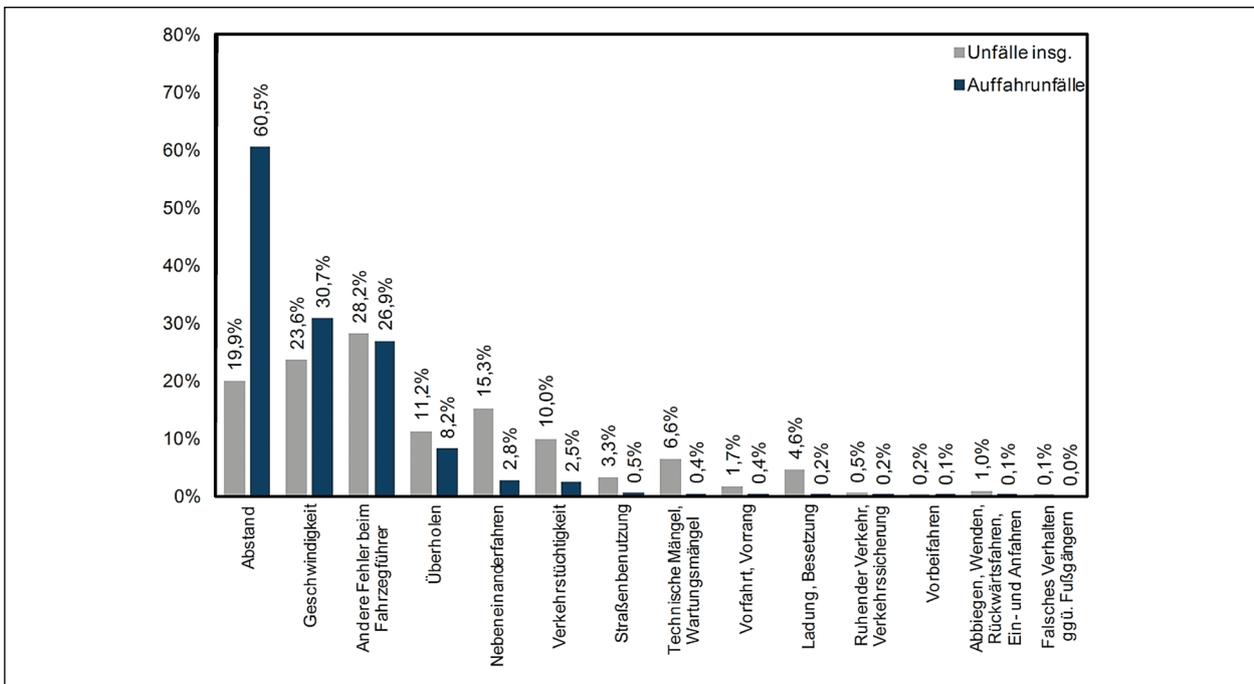


Bild 8: Unfallursachen bei Unfällen insg. und Auffahrunfällen mit Hauptverursacher GKfz bzw. Bus auf BAB 2009-2018.

proportional oft ein GKfz oder Bus ist. Von allen Unfällen mit Hauptverursacher GKfz bzw. Bus sind 9,6 % der Unfälle Alleinunfälle. Bei den Auffahrunfällen gibt es definitionsgemäß keine Alleinunfälle.

Die häufigste personenbezogene Unfallursache bei allen Unfallszenarien war ein anderer Fehler beim Fahrzeugführer (28,2 %). Dabei handelt es sich um eine Reste-Kategorie, die vergeben wird, wenn eine personenbezogene Ursache vorlag, diese jedoch keiner der vorgegebenen Kategorien zugeordnet werden kann. Die zweithäufigste Ursache war eine nicht angepasste Geschwindigkeit (23,6 %). In 19,9 % lagen Fehler bezüglich des Abstands vor

und in 15,3 % Fehler beim Nebeneinanderfahren (Bild 8). Je Unfallbeteiligtem können bis zu drei personenbezogene Unfallursachen ins Unfallaufnahmeprotokoll aufgenommen werden, sodass die Gesamtzahl der Unfallursachen die Anzahl der Unfälle übersteigen kann.

Werden nur Auffahrunfälle betrachtet, so verschieben sich, bedingt durch die Abgrenzung des Unfallszenarios, die Anteile. Bei 60,5 % der Unfälle wurden Fehler beim Sicherheitsabstand festgestellt. Damit ist diese Unfallursache bei Auffahrunfällen mehr als drei Mal so häufig wie bei allen Unfällen, die von GKfz- bzw. Bus-Fahrenden auf BAB verur-

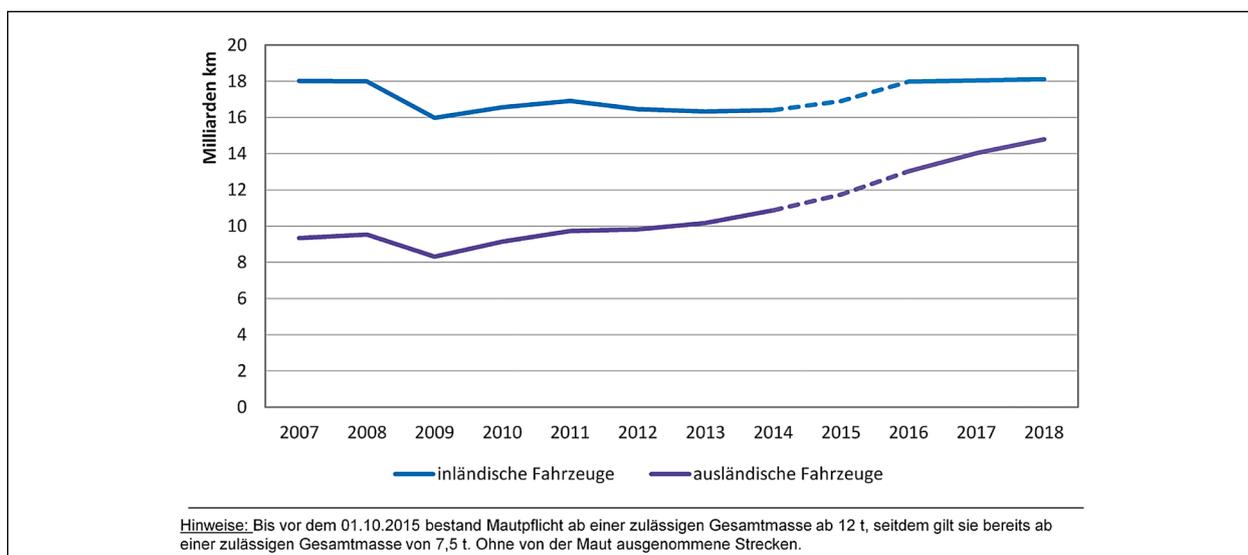


Bild 9: Fahrleistung von im Inland bzw. Ausland zugelassenen mautpflichtigen Fahrzeugen auf Bundesautobahnen 2007-2018 [in Mrd. km]. Quelle: BAG (2019).

sacht wurden. Ebenfalls überproportional häufig ist die nicht angepasste Geschwindigkeit (30,7 %). Bei 16,9 % der Auffahrunfälle wurden diese beiden Unfallursachen zusammen genannt, die Beteiligten hatten also eine der Situation nicht angepasste Geschwindigkeit und zudem wurde ein Fehler beim Sicherheitsabstand festgestellt. Die Unfallursache andere Fehler beim Fahrzeugführer wurde bei 26,9 % der Auffahrunfälle angegeben und ist damit die dritthäufigste Unfallursache.

3.6 Fahrleistung und Bestand von GKfz

Um Trends im Unfallgeschehen einordnen zu können, ist es notwendig die Unfallzahlen mit Bezugsgrößen ins Verhältnis zu setzen. Als Expositionseinheiten bieten sich in Bezug auf das Unfallgeschehen von GKfz und Bussen auf BAB vor allem die Fahrleistung auf BAB und die Entwicklung des Bestands an. Dabei ist die Fahrleistung das exaktere Maß, diese wird allerdings nicht so regelmäßig bzw. detailliert erfasst wie der Bestand. Aus diesem Grund werden im Folgenden beide Größen betrachtet.

Da die Auswirkung der AEBS-Pflicht auf das Unfallgeschehen nur für inländische GKfz und Busse vorgenommen werden kann (s. Kapitel 3.2), ist insbesondere von Interesse, wie sich die Fahrleistung inländischer Fahrzeuge im Inland entwickelt hat. Als Näherungsgröße kann dafür die Mautstatistik herangezogen werden (BAG 2019). Mautpflicht be-

steht auf deutschen Bundesautobahnen seit dem 01.01.2005 für alle Fahrzeugkombinationen, die für den Güterkraftverkehr bestimmt sind bzw. für den Güterkraftverkehr verwendet werden (§ 1, Abs. 1, Satz 2 BFStrMG). Bei Gesetzeseinführung waren Fahrzeuge ab 12 t zGM mautpflichtig, seit dem 01.10.2015 wurde diese Grenze auf 7,5 t zGM herabgesetzt. Damit sind die in der vorliegenden Studie untersuchten Fahrzeuge relativ deckungsgleich mit auf BAB mautpflichtigen Fahrzeugen. Die Ausnahme stellen Busse dar, die aber im Unfallgeschehen auf BAB nur eine untergeordnete Rolle spielen und Fahrzeuge < 12 t zGM vor 2015.

Die Inlandsfahrleistung mautpflichtiger inländischer Fahrzeuge auf Bundesautobahnen² zwischen 2007 und 2018 ist in Bild 9 abgebildet. Im Jahr 2009, während der Wirtschaftskrise, ging die Fahrleistung deutlich zurück. Anschließend stieg sie wieder an, verblieb aber auf einem niedrigeren Niveau als vor 2009. Der Anstieg in 2015 hängt mit der beschriebenen Herabsetzung der zGM-Grenze und der damit verbundenen Vergrößerung der Gruppe mautpflichtiger Fahrzeuge zusammen. 2018 lag die Fahrleistung inländischer mautpflichtiger Fahrzeuge auf BAB bei 18,1 Milliarden km. Die Fahrleistung ausländischer Fahrzeuge nahm seit 2009 kontinuierlich zu. Damit erhöhte sich auch der Anteil der Fahrleistung ausländischer Fahrzeuge an der Inlandsfahrleistung im Zeitverlauf deutlich.

² ohne Autobahnabschnitte, die von der Mautpflicht ausgenommen sind, wie z. B. einige Autobahnabschnitte an den Grenzen zu Frankreich und der Schweiz auf der A6 bzw. A5 (§ 1, Abs. 3 BFStrMG).

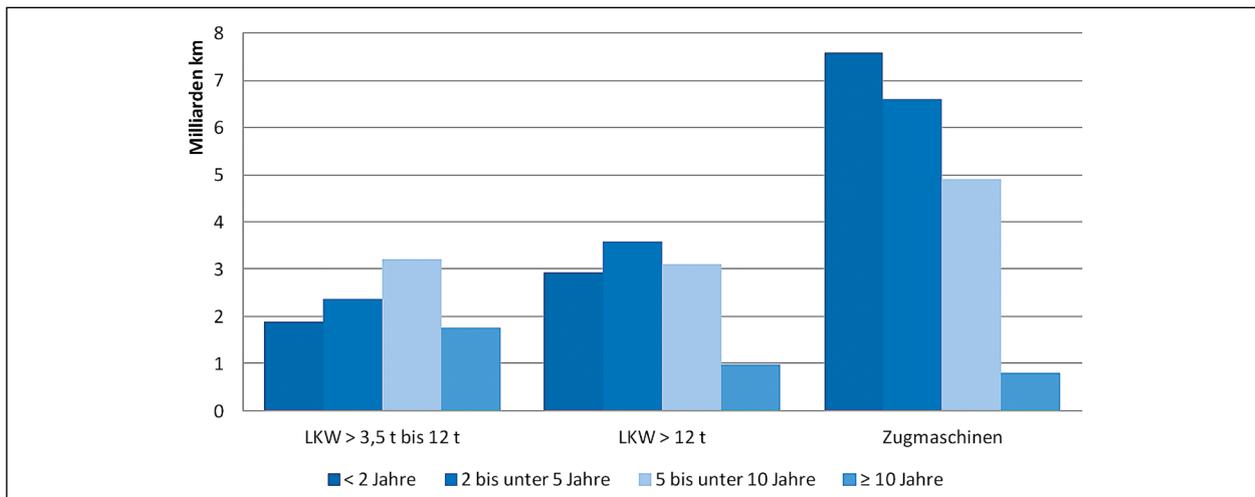


Bild 10: Inländer-Fahrleistung nach zulässiger Gesamtmasse und Fahrzeugalter 2014. Quelle: BÄUMER et al. (2017).

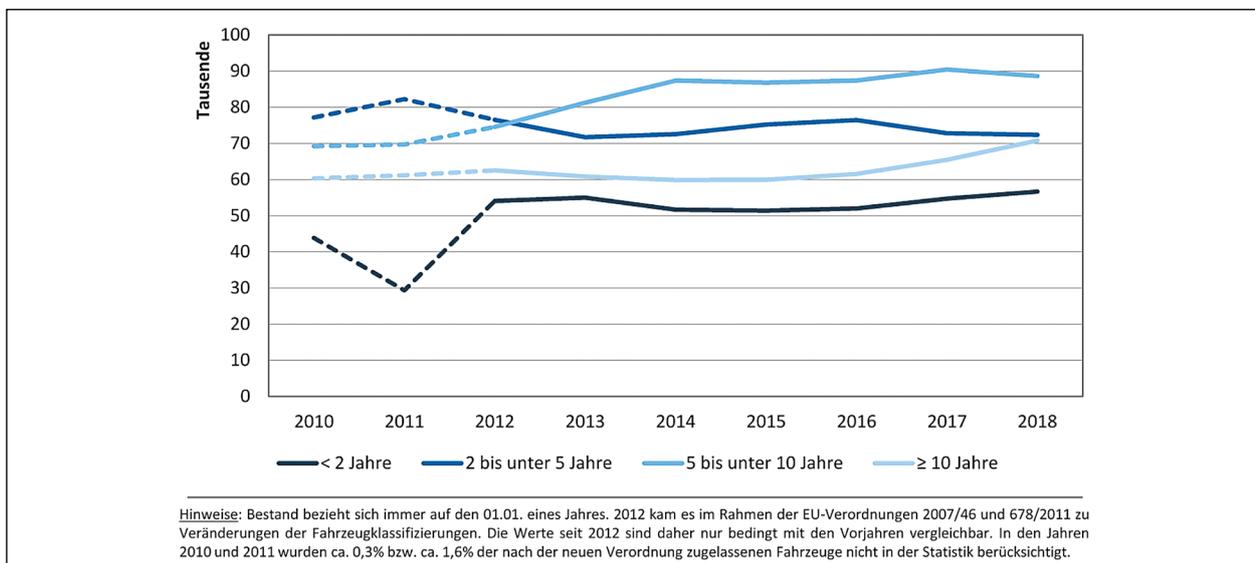


Bild 11: Bestand an Lkw nach Fahrzeugalter 2010-2018. Quelle: KBA (2010); KBA (2011); KBA (2012); KBA (2013); KBA (2014); KBA (2015); KBA (2016); KBA (2017); KBA (2018).

In den jährlich verfügbaren Daten wird die Fahrleistung nicht gesondert nach Alter der Fahrzeuge ausgewiesen. Im Rahmen der Fahrleistungserhebung 2014 wurde mithilfe einer Befragung deutscher Kraftfahrzeughalter eine differenzierte Analyse der Inländerfahrleistung, das heißt der im In- und Ausland zurückgelegten Fahrleistungen von in Deutschland zugelassenen Fahrzeugen, vorgenommen (BÄUMER et al. 2017).³ In der Analyse wurde jedoch das komplette Streckennetz betrachtet und nicht nur die Bundesautobahnen. In Bild 10 ist die Fahrleistung nach Fahrzeugalter für Lkw und Zugmaschinen dargestellt.

³ Der Anteil der Fahrleistung im Ausland wurde bei der Befragung ebenfalls erhoben und lag bei Lkw bei 1,4 %, bei Zugmaschinen bei 6,3 %.

Die Fahrleistung nimmt für neuere Lkw mit zunehmender zGM zu, während sie für ältere Lkw abnimmt. Bei den Zugmaschinen ist der Anteil sogar bei den unter zwei Jahre alten Fahrzeugen am größten. Wird die Fahrleistung der Lkw > 3,5 t zGM und der Zugmaschinen betrachtet, so entfallen ähnlich große Anteile auf die zwei bis unter fünf Jahre alten Fahrzeuge (31,6 %) und auf die unter zwei Jahre alten Fahrzeuge (31,2 %). Die Fahrleistung der fünf bis unter zehn Jahre alten Fahrzeuge macht einen Anteil von 28,2 % aus. Der geringste Anteil mit 8,9 % entfällt auf die Fahrzeuge, die zehn Jahre oder älter sind. Damit ist ein deutlicher Zusammenhang zwischen Fahrzeugalter und Fahrleistung erkennbar.

Neben der Fahrleistung dient der Bestand an Fahrzeugen als Expositionsgröße. Dies bietet sich im Zusammenhang mit der hier vorliegenden Untersuchung vor allem in Hinblick auf das Fahrzeugalter an, da hierzu Zeitreihen vorliegen. In Bild 11 ist die Entwicklung des Bestands inländischer Lkw über acht Tonnen zGM nach Fahrzeugalter dargestellt. Aufgrund der EU-Verordnungen 2007/46/EG kam es ab 2012 zu Veränderungen in der Klassifizierung von Fahrzeugen. Daher sind die Zahlen ab 2012 nur bedingt mit den Vorjahren vergleichbar. Die Entwicklung des Bestands an inländischen Zugmaschinen über acht Tonnen zGM nach Fahrzeugalter ist in Bild 12 zu sehen. Sowohl bei den Lkw als auch bei den Zugmaschinen kam es bis 2011 zu einem Rückgang der Bestandszahlen neuer Fahrzeuge. Im gleichen Zeitraum stieg der Bestand der zwei bis unter fünf Jahre alten Fahrzeuge an. Dies kann mit zurückgehaltenen Investitionen in den Jahren 2009-2011 aufgrund der wirtschaftlichen Situation zusammenhängen.

Seit 2012 wuchs der Bestand an Lkw und Zugmaschinen über acht Tonnen zGM. Dabei nimmt der Bestand älterer Fahrzeuge jedoch deutlich stärker zu als der der neueren Fahrzeuge. Dies trifft insbesondere auf die Zugmaschinen zu. Während der Bestand zwischen 2012 und 2018 an Zugmaschinen unter zwei Jahren um 12,4 % wuchs, nahm der Bestand der fünf bis unter zehn Jahre alten Fahrzeuge in diesem Zeitraum um 37,6 % zu. Der Bestand der Fahrzeuge ab zehn Jahren verdoppelte sich sogar fast (+94,2 %). Bei den Lkw vergrößerte sich der Bestand neuer Fahrzeuge unter zwei Jahren zwischen 2012 und 2018 um 4,8 %, bei den fünf

bis unter zehn Jahre alten Fahrzeugen um 18,8 % und bei den zehn Jahre und älteren Fahrzeugen um 13,2 %. Der Bestand der zwei bis unter fünf Jahre alten Fahrzeuge verringerte sich dagegen zwischen 2012 und 2018 um 5,5 %.

3.7 Entwicklung der Unfallbelastung von GKfz und Bussen

Nachdem im vorherigen Kapitel die Entwicklung der Fahrleistung und des Bestands dargestellt wurde, werden nun die Unfallzahlen mit diesen Kenngrößen ins Verhältnis gesetzt. Die Zahl der Unfälle in Bezug auf die Fahrleistung wird dabei als Unfallrate bezeichnet. Wird die Zahl der Unfälle auf den Bestand bezogen, so handelt es sich um die Unfallbelastung.

In Bild 13 ist die Anzahl der Unfälle von GKfz und Bussen auf BAB bezogen auf die Fahrleistung dargestellt. Pro 100 Millionen Fahrzeugkilometern lag die Unfallrate von GKfz und Bussen auf BAB 2018 bei 10,7 Unfällen. Im Zeitverlauf ist diese Rate relativ konstant, einziger Ausreißer stellt auch hier wieder das Jahr 2010 dar mit einer Rate von 14,5. Wie in Kapitel 3.4 ausgeführt ist dies vermutlich vorrangig auf die ungewöhnlich kalten Wintermonate im Jahr 2010 zurückzuführen und auf den dadurch bedingten starken Anstieg der Unfälle bei Glätte. In allen anderen Jahren schwankt die Unfallrate zwischen 9,7 und 11,3.

Da nur für ein Jahr Fahrleistungsdaten nach Fahrzeugalter differenziert vorliegen, wurde die Anzahl

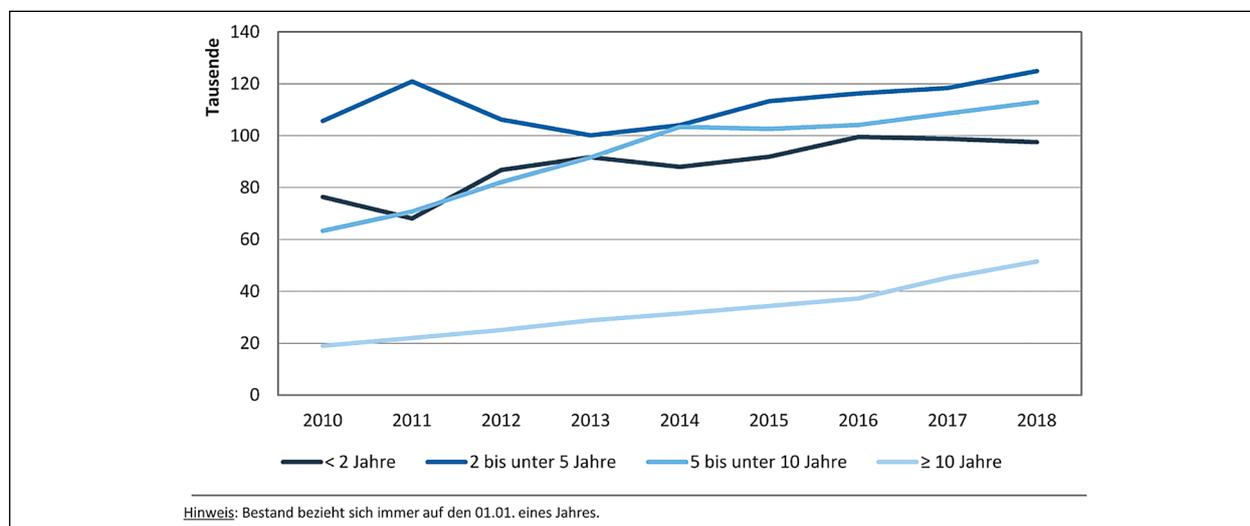


Bild 12: Bestand an Zugmaschinen nach Fahrzeugalter 2010-2018. Quelle: KBA (2010); KBA (2011); KBA (2012); KBA (2013); KBA (2014); KBA (2015); KBA (2016); KBA (2017); KBA (2018).

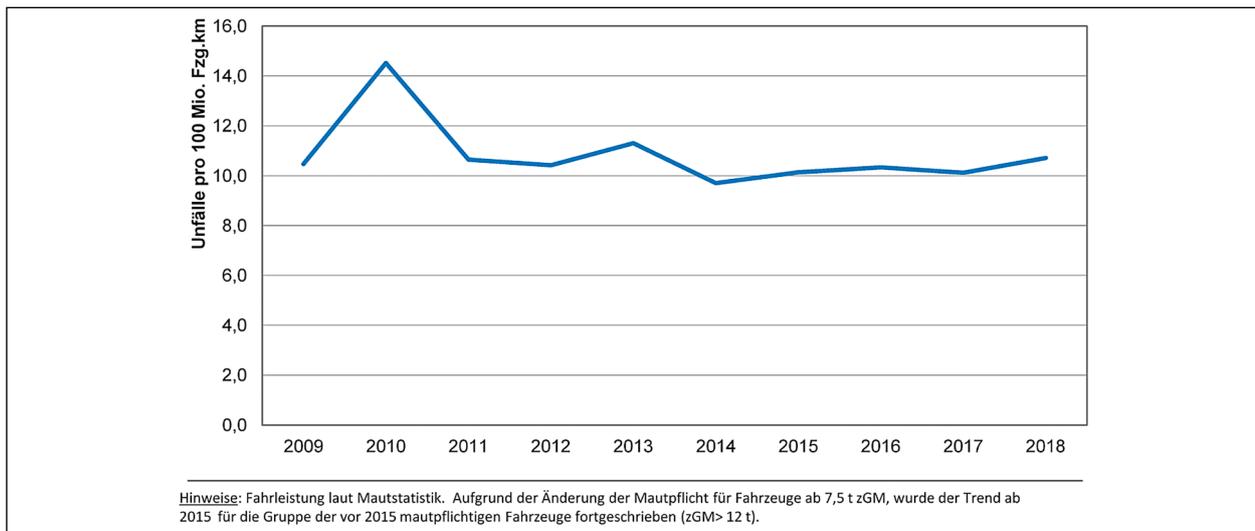


Bild 13: Unfallrate 2009-2018 (pro 100 Mio. Fahrzeugkilometer).

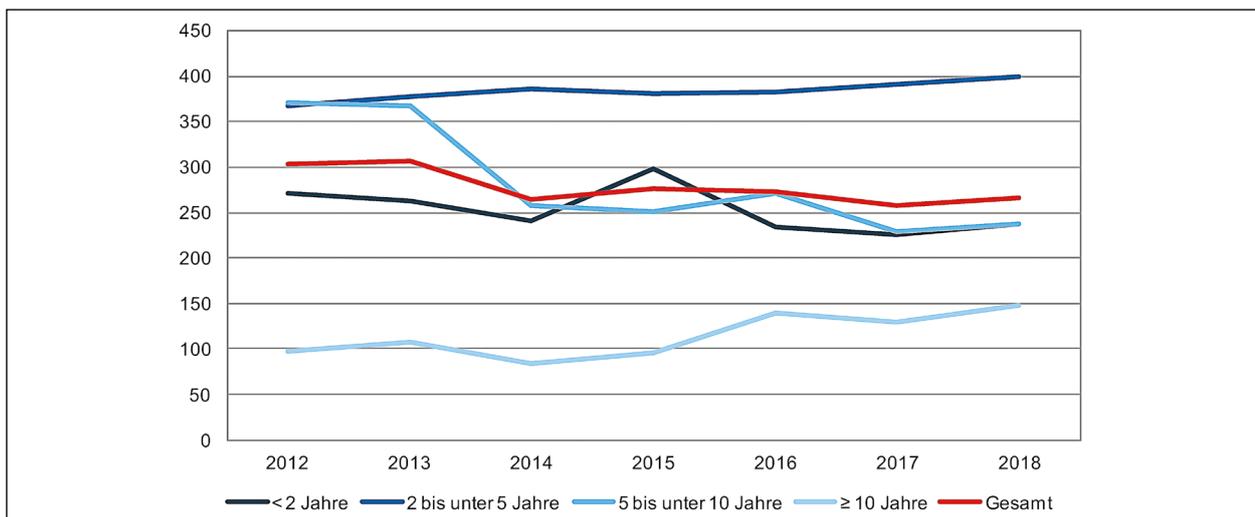


Bild 14: Unfallbelastung nach Fahrzeualter 2012-2018 (pro 100.00 Fahrzeuge).

der Unfälle nach Fahrzeualter in Bild 14 bezogen auf den Bestand. Aufgrund von Veränderungen in der Fahrzeugklassifizierung sind die Bestandsdaten für Lkw erst ab 2012 vergleichbar. Die Unfallbelastung berechnet sich als Quotient aus der Anzahl der Unfälle auf BAB, bei denen ein GkFz oder ein Bus Hauptverursacher war, und dem Bestand in 100.000 Fahrzeugen. Zwischen 2012 und 2018 nahm die Unfallbelastung insgesamt ab (-11,7 %). Da die Unfallrate etwa konstant war, die Unfallbelastung jedoch abnahm, heißt das im Umkehrschluss, dass die Fahrleistung pro Fahrzeug auf BAB sank.

Die Unfallbelastung unterscheidet sich dabei je nach Fahrzeualter sehr stark. Am geringsten ist sie bei den Fahrzeugen ab zehn Jahren, gefolgt von den neuen Fahrzeugen. Bei den zwei bis unter fünf bzw. fünf bis unter zehn Jahre alten Fahrzeugen ist

sie am höchsten. Da die Unfallbelastung jedoch bezogen auf den Bestand berechnet wurde, lassen sich keine Aussagen darüber machen, wie hoch das tatsächliche Unfallrisiko von Fahrzeugen einer Altersklasse ist. Dazu wären Fahrleistungsdaten je Altersgruppe notwendig. Aus den Daten der Fahrleistungserhebung von 2014 geht hervor, dass auf die unter zwei Jahre alten Fahrzeuge (Lkw > 3,5 t und Zugmaschinen) und die zwei bis unter fünf Jahre alten Fahrzeuge jeweils gut 30 % der Fahrleistung entfallen, auf die fünf bis unter zehn Jahre alten Fahrzeuge knapp 30 % und auf die zehn Jahre und älteren Fahrzeuge knapp 10 %. Dabei ist jedoch zu beachten, dass in der Fahrleistungserhebung alle Ortslagen berücksichtigt wurden und sich die Analyse nicht nur auf BAB bezieht.

Auch bei der Entwicklung der Unfallbelastung sind deutliche Unterschiede je nach Fahrzeualter zu er-

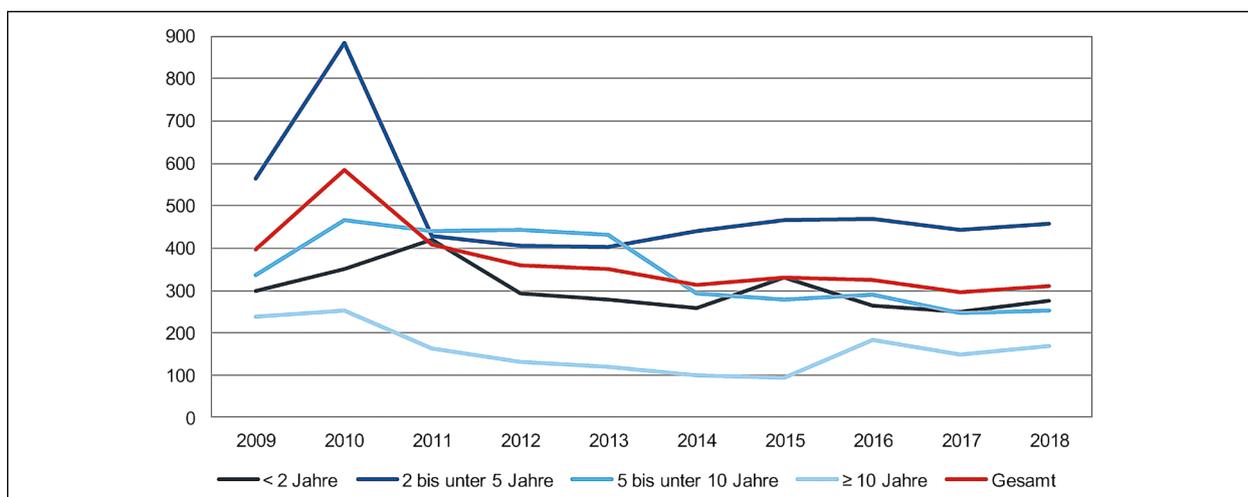


Bild 15: Unfallbelastung der Zugmaschinen nach Fahrzeugalter 2009-2018 (pro 100.000 Fahrzeuge).

kennen. Die Unfallbelastung der neuen Fahrzeuge nahm zwischen 2012 und 2018 um 12,7 % ab. Noch stärker sank die Unfallbelastung der fünf bis unter zehn Jahre alten Fahrzeuge (-35,8 %). Die Unfallbelastungen der anderen beiden Altersgruppen stiegen dagegen an, die Belastung der zwei bis unter fünf Jahre alten Fahrzeuge nahm mit 9,0 % leicht zu, die Belastung der ab zehn Jahre alten Fahrzeuge erhöhte sich deutlich um 52,7 %.

Auffällig ist bei der Betrachtung nach Fahrzeugalter vor allem der starke Rückgang der Unfallbelastung zwischen 2013 und 2014 bei den fünf bis unter zehn Jahre alten Fahrzeugen. Das ist zurückzuführen auf den stark steigenden Bestand der Fahrzeuge dieser Altersklasse in den Jahren 2012-2014. Der Winter 2012/2013 war überdurchschnittlich kalt, was zu einer Zunahme der Glätte-Unfälle führte (s. Kapitel 3.4). Im Vergleich zu 2013 gingen die Unfälle 2014 daher zurück. In Kombination mit dem starken Anstieg des Bestands 2014 bei den fünf bis unter zehn Jahre alten Fahrzeugen führte das zu dem deutlichen Rückgang der Unfallbelastung dieser Altersgruppe. Bei den unter zwei Jahre alten und bei den zehn Jahre und älteren Fahrzeugen ist ebenfalls ein Rückgang der Unfallbelastung im Jahr 2014 zu erkennen, der jedoch aufgrund des weniger stark wachsenden Bestands geringer ausfiel als bei den fünf bis unter zehn Jahre alten Fahrzeugen.

In Bild 15 ist die Unfallbelastung der Zugmaschinen nach Fahrzeugalter dargestellt. Für diese Teilmenge lagen über den gesamten Untersuchungszeitraum von 2009-2018 vergleichbare Bestandszahlen vor. Im Jahr 2010 ist für die zwei bis unter fünf Jahre alten Fahrzeuge eine Spitze zu erken-

nen. Dies ist zu erklären durch die starke Zunahme der Unfälle in diesem Jahr (vgl. Kap. 3.4). Zwar nahm auch der Bestand im Vergleich zum Vorjahr zu, jedoch stieg dieser nicht so sehr an, um den Zuwachs bei den Unfällen auszugleichen. Wie bei der Unfallbelastung der GKfz ist zudem im Jahr 2014 bei den fünf bis unter zehn Jahre alten Fahrzeugen ein deutlicher Rückgang zu erkennen. Auch hier ist diese Entwicklung auf den stark steigenden Bestand in diesem Jahr und den strengen Winter im Vorjahr zurückzuführen.

Insgesamt nahm die Unfallbelastung zwischen 2009 und 2018 ab. Am stärksten fällt dieser Rückgang bei den fünf bis unter zehn Jahre alten Zugmaschinen bzw. bei den zwei bis unter fünf Jahre alten Zugmaschinen aus. Die Unfallbelastung der unter zwei Jahre alten Zugmaschinen nimmt ebenfalls moderat ab. Dagegen stieg die Unfallbelastung der zehn Jahre und älteren Zugmaschinen nach einem anfänglichen Rückgang seit 2016 wieder an. Insgesamt ist die Unfallbelastung der Zugmaschinen etwas höher als die der GKfz insgesamt.

4 Auswertung des Unfallgeschehens

In diesem Kapitel wird die Auswirkung des AEBS auf das Unfallgeschehen analysiert. Dazu wird in Kapitel 4.1 zunächst die Methodik dargestellt. Anschließend werden in Kapitel 4.2 die Untersuchungs- und Vergleichsgruppen abgegrenzt. In Kapitel 4.3 werden die Ergebnisse erläutert. Abschlie-

ßend folgt in Kapitel 4.4 die Diskussion der Ergebnisse.

4.1 Methodik

Der Effekt der AEBS-Regulierung und dessen Stärke wird mithilfe der Odds Ratios ermittelt. Dabei werden neben der Untersuchungsgruppe, für die die Maßnahme gilt, ein oder mehrere Vergleichsgruppen definiert, die nicht von der Maßnahme betroffen sind. Dadurch kann der Maßnahmeneffekt um den allgemeinen Trend bereinigt werden. Die Vergleichsgruppe sollte dabei so gewählt werden, dass sie der Untersuchungsgruppe möglichst ähnlich ist. Auf diese Weise ist beim Vergleich der Gruppen sichergestellt, dass tatsächlich der Effekt der Maßnahme gemessen wird und nicht andere strukturelle Unterschiede zwischen den Gruppen das Ergebnis verzerren. Das Unfallgeschehen der Vergleichs- und der Untersuchungsgruppe wird dann in zwei Zeiträumen betrachtet: einmal vor Einführung der Maßnahme (Vorzeitraum) und einmal nach Einführung der Maßnahme (Analysezeitraum). Diese vier Messwerte können in einer Vier-Felder-Tafel dargestellt werden (s. Tabelle 6).

Das Odds Ratio berechnet sich als Quotient aus den einfachen Odds. Die Odds stellen die Chancenverhältnisse zwischen Untersuchungs- und Vergleichsgruppe im Vor- und Analysezeitraum dar. Sie geben also an, wie viele Beteiligte der Untersuchungsgruppe auf einen Beteiligten der Vergleichsgruppe kommen.

$$Odds_{Vor} = \frac{n_{11}}{n_{21}} \text{ und } Odds_{Analyse} = \frac{n_{12}}{n_{22}}.$$

Damit ergibt sich das Odds Ratio (OR) als

$$OR = \frac{Odds_{Analyse}}{Odds_{Vor}} = \frac{\frac{n_{12}}{n_{22}}}{\frac{n_{11}}{n_{21}}} = \frac{n_{12} * n_{21}}{n_{11} * n_{22}}.$$

Wenn das Odds Ratio einen Wert kleiner als eins annimmt, hat die Zahl der Unfälle in der Untersuchungsgruppe im Verhältnis zur Vergleichsgruppe abgenommen. Bei einem Wert von eins ergibt sich kein Unterschied in der Entwicklung der beiden

Gruppen zwischen Vor- und Analysezeitraum. Ist das Odds Ratio größer als eins, so hat sich die Untersuchungsgruppe schlechter entwickelt als die Vergleichsgruppe.

Die Entwicklung der Unfallzahlen in den Untersuchungs- und Vergleichsgruppen wurden vom allgemeinen zeitlichen Trend beeinflusst. Auf den Trend der Untersuchungsgruppe hat zusätzlich die Einführung des AEBS Einfluss. Wenn das AEBS keine Auswirkungen auf das Unfallgeschehen hat, dann wirkt auf alle Gruppen nur der allgemeine zeitliche Trend. Dann wären $Odds_{Vor}$ und $Odds_{Analyse}$ gleich groß und OR hätte einen Wert von 1. Die Nullhypothese lautet daher:

Die Untersuchungsgruppe hat sich vom Vorzeitraum zum Analysezeitraum genauso entwickelt wie die Vergleichsgruppe ($OR = 1$).

Wenn das AEBS allerdings einen positiven Einfluss auf das Unfallgeschehen hat, so wäre $Odds_{Vor}$ größer als $Odds_{Analyse}$ und OR wäre dementsprechend kleiner als 1. Die Alternativhypothese ist also:

Die Untersuchungsgruppe hat sich vom Vorzeitraum zum Analysezeitraum signifikant besser entwickelt als die Vergleichsgruppe ($OR < 1$).

Mithilfe des Chi-Quadrat-Tests wird anschließend getestet, ob der Unterschied zwischen Untersuchungs- und Vergleichsgruppe signifikant ist.

4.2 Abgrenzung der Untersuchungs- und Vergleichsgruppen

In der Untersuchung werden nur Unfälle berücksichtigt, wie sie in Kapitel 3.3 abgegrenzt wurden. Es wurden also nur Unfälle auf Bundesautobahnen analysiert, da auf BAB die Verkehrssituation weniger komplex ist und sich Auffahrunfälle daher genauer abgrenzen lassen. Zusätzlich ist die Unfallschwere auf BAB besonders hoch. Zudem wurden nur Unfälle mit Personenschaden und schwerem Sachschaden untersucht, weil die Daten für die sonstigen Sachschadensunfälle nicht vorliegen.

Desweiteren werden nur Unfälle betrachtet, bei denen die Fahrerin bzw. der Fahrer eines GKfz oder Busses Hauptverursacher des Unfalls war. Welche Verkehrsbeteiligungsarten als GKfz oder Bus im Sinne der EU-Verordnung definiert wurden, wurde in Kapitel 3.2 abgegrenzt. In Stufe 1 war das ABES

	Zeitraum	
	Vorzeitraum	Analysezeitraum
Untersuchungsgruppe	n_{11}	n_{12}
Vergleichsgruppe	n_{21}	n_{22}

Tab. 6: Vier-Felder-Tafel.

verpflichtend für Fahrzeuge ab einer zGM von acht Tonnen und maximal drei Achsen. Diese fahrzeugtechnischen Angaben werden in den Unfalldaten durch das KBA ergänzt und liegen daher nur für in Deutschland zugelassene Fahrzeuge vor. Daher beschränkt sich die Analyse auf diese Fahrzeuge.

Für den Analysezeitraum wurden Unfälle im Zeitraum 2016-2018 betrachtet. Als Vorzeitraum wurden die Jahre 2010-2012 gewählt. Durch die Summierung von je drei Unfalljahren sind die Fallzahlen groß genug, um eine Aussage über den Effekt des AEBS treffen zu können. Der Vorzeitraum liegt so zudem vollständig vor der gesetzlichen Einführung des Systems für neue Fahrzeugtypen (s. Bild 16). Jedoch boten manche Hersteller auch schon vorher ein AEBS für ihre Fahrzeuge an. Der Anteil an Fahrzeugen mit AEBS liegt in diesem Zeitraum daher nicht bei 0 %. Exakte Zahlen zur Ausstattungsquote sind jedoch nicht bekannt. Der Analysezeitraum beginnt, nachdem das AEBS der Stufe 1 für alle Neufahrzeuge verpflichtend wurde. Ein Jahr nach der Einführung des AEBS der Stufe 1 für Neufahrzeuge wurde das ABES der Stufe 2 für neue Fahrzeugtypen verpflichtend. Dieses System unterscheidet sich von dem aus Stufe 1 durch einen größeren Geschwindigkeitsabbau. Das heißt, dass unter den Neufahrzeugen im Analysezeitraum auch Fahrzeuge sind, in denen schon ein AEBS der Stufe 2 verbaut ist. Somit liegt die Ausstattungsquote mit einem AEBS bei Neufahrzeugen im Analysezeitraum bei 100 %, die Fahrzeuge verfügen dabei mindestens über ein System der Stufe 1.

Als Untersuchungsgruppe (UG) wurden Auffahrunfälle von GkFz oder Bussen betrachtet, wie sie in Kapitel 3.3 abgegrenzt wurden. Durch das AEBS sollen insbesondere diese Unfälle verhindert oder abgemildert werden. Um nur die Fahrzeuge in die Analyse aufzunehmen, bei denen auch tatsächlich ein AEBS verbaut ist, wurden nur Neufahrzeuge der Untersuchungsgruppe zugeordnet. Als Neufahrzeug im Analysezeitraum gilt dabei ein Fahrzeug, das zwischen 2016 und 2018 erstmalig zugelassen wurde. Im Vorzeitraum wurde ein Fahrzeug als

Neufahrzeug definiert, wenn die Erstzulassung zwischen 2010 und 2012 lag. Damit wurde je nach Unfalljahr eine unterschiedliche Altersspanne als Neufahrzeuge betrachtet. Im ersten betrachteten Unfalljahr des Analysezeitraums, 2016, wurden nur Fahrzeuge mit Erstzulassung 2016 den Neufahrzeugen zugeordnet. Fahrzeuge mit Erstzulassung 2017 und 2018 kann es in 2016 nicht geben. Im zweiten betrachteten Unfalljahr, 2017, wurden dagegen Fahrzeuge mit Erstzulassung 2016 und 2017 den Neufahrzeugen zugeordnet und im dritten Unfalljahr, 2018, sind es Fahrzeuge mit Erstzulassung 2016 bis 2018. Für den Vorzeitraum (2010-2012) gilt dies analog mit Neufahrzeugen mit Erstzulassung 2010-2012. Nur auf diese Weise ist sichergestellt, dass im Analysezeitraum die betrachteten Fahrzeuge tatsächlich mit einem AEBS ausgestattet sind. Zudem sind nur so die Fallzahlen für eine Analyse groß genug. Da jedoch die Anzahl der betrachteten Zulassungsjahre in beiden Zeiträumen gleich ist, werden die Ergebnisse durch diese Abgrenzung nicht verzerrt. Das jeweils betrachtete Zulassungsalter der Fahrzeuge je Unfalljahr ist in Tabelle 7 rot markiert.

Auffahrunfälle älterer Fahrzeuge wurden als erste Vergleichsgruppe (VG I) herangezogen. Für jedes Untersuchungsjahr wurden dazu Fahrzeuge betrachtet, die jeweils sechs Jahre vor den in der Untersuchungsgruppe betrachteten Fahrzeugen erstmalig zugelassen wurden. Das heißt, auch hier wurden im ersten Unfalljahr eines Zeitraums nur Fahrzeuge aus einem Zulassungsjahr betrachtet – z. B. für den Analysezeitraum für das Unfalljahr 2016 Fahrzeuge mit Erstzulassung 2010. Im zweiten Unfalljahr wurden Fahrzeuge aus zwei Zulassungsjahren betrachtet und im dritten Unfalljahr Fahrzeuge aus drei Zulassungsjahren. Auf diese Weise ist sichergestellt, dass es nicht zu Verzerrungen kommt im Vergleich zu der Untersuchungsgruppe. In Tabelle 7 ist die Abgrenzung der älteren Fahrzeuge nach Zulassungsjahren grau dargestellt.

Für die zweite Vergleichsgruppe (VG II) wurden Unfälle von Neufahrzeugen betrachtet, die dem Unfall-

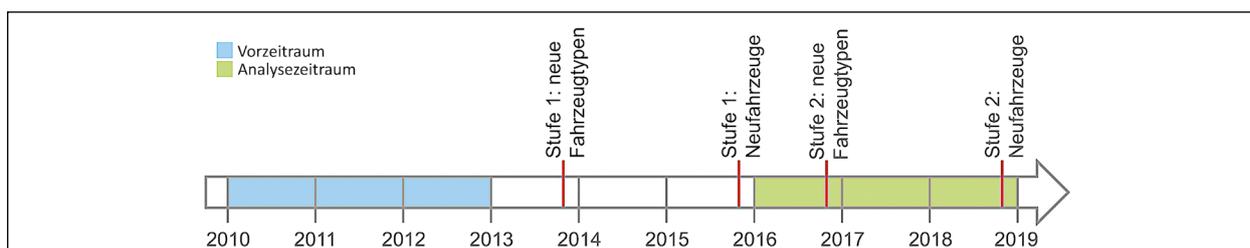


Bild 16: Vor- und Analysezeitraum und Einführung des AEBS.

		Zulassung des Fahrzeugs								
		im Jahr des Unfalls	im Vorjahr des Unfalls	2 Jahre vor dem Unfalljahr	3 Jahre vor dem Unfalljahr	4 Jahre vor dem Unfalljahr	5 Jahre vor dem Unfalljahr	6 Jahre vor dem Unfalljahr	7 Jahre vor dem Unfalljahr	8 Jahre vor dem Unfalljahr
VZR*	2010	■						■		
	2011	■	■					■	■	
	2012	■	■	■				■	■	■
	2013									
	2014									
	2015									
AZR**	2016	■						■		
	2017	■	■					■	■	
	2018	■	■	■				■	■	■

■ Neufahrzeuge ■ ältere Fahrzeuge
 * VZR: Vorzeitraum **AZR: Analysezeitraum.

Tab. 7: Abgrenzung der Fahrzeuge nach Unfalljahr und Zulassungsalter (2010-2012: Kontrollzeitraum, 2016-2018: Analysezeitraum).

szenario „andere Unfälle“ zugeordnet wurden (s. Kapitel 3.3). Alleinunfälle wurden dabei von der Analyse ausgeschlossen. Da Alleinunfälle anderen Mustern und Trends folgen als Unfälle mit mehreren Beteiligten und es bei Auffahrunfällen definitionsgemäß keine Alleinunfälle gibt, wurden bei den „anderen Unfällen“ ebenfalls nur Unfälle mit mindestens zwei Beteiligten betrachtet. So wurde vermieden, dass die Ergebnisse dadurch verzerrt wurden. Die Abgrenzung der Neufahrzeuge erfolgte genauso wie in der Untersuchungsgruppe. Im Analysezeitraum verfügten also alle Neufahrzeuge der zweiten Vergleichsgruppe über ein AEBS. Da jedoch das Unfallszenario „andere Unfälle“ so abgegrenzt wurde, dass das AEBS im Falle eines Unfalls nicht zur Wirkung kommt, beeinflusst dieses das Unfallgeschehen weder im Vor- noch im Analysezeitraum. Zusätzlich wurde durch den Ausschluss der Spurverlassen-Unfälle verhindert, dass das Ergebnis durch die Einführung von Spurhaltewarnsystemen beeinflusst wurde. Diese wurden zeitgleich mit dem AEBS Stufe 1 verpflichtend für GKfz und Busse und sollen Spurverlassen-Unfälle verhindern bzw. abschwächen.

Wenn zusätzlich zu den bisher abgegrenzten Gruppen eine weitere, vierte Gruppe betrachtet wird, lässt sich der Gesamteffekt der Maßnahme berechnen. Diese vierte Gruppe – die dritte Vergleichsgruppe (VG III) – setzt sich aus den anderen Unfällen zusammen, die von Fahrerinnen und Fahrern

älterer GKfz und Busse (Zulassung jeweils sechs Jahre vor den Neufahrzeugen) verursacht wurden. Das Alter der betrachteten Fahrzeuge entspricht also dem der ersten Vergleichsgruppe, jedoch wurde hier, wie in der zweiten Vergleichsgruppe, das Unfallszenario „andere Unfälle“ betrachtet. Damit stellt diese Gruppe die vierte mögliche Kombination aus Unfallszenario und Fahrzeugalter dar.

Der Gesamteffekt ergibt sich aus den einzelnen Veränderungen aller vier Gruppen. Er berechnet sich als Quotient des Odds Ratio der Auffahrunfälle (UG und VG I) und des Odds Ratio der anderen Unfälle (VG II und VG III). Dadurch wurden sowohl die Effekte berücksichtigt, die sich durch die unterschiedliche Entwicklung nach Unfallszenario (Auffahrunfälle und andere Unfälle) ergeben, als auch die Effekte, die aus der unterschiedlichen Entwicklung nach Fahrzeugalter (Neufahrzeuge und ältere Fahrzeuge) resultieren.

4.3 Ergebnisse

4.3.1 Unfälle

Die Auffahrunfälle von Neufahrzeugen auf BAB, bei denen ein GKfz oder Bus Hauptverursacher des Unfalls war, bildeten die Untersuchungsgruppe. In der Untersuchungsgruppe kam es im Vorzeitraum zwischen 2010-2012 zu 311 Auffahrunfällen (s. Tabelle 8). Im Analysezeitraum (2016-2018) sank die-

se Zahl auf 268 Unfälle. Dies entspricht einem deutlichen Rückgang der Unfälle um 13,8 %.

Als erste Vergleichsgruppe wurden die Auffahrunfälle älterer Fahrzeuge auf BAB gewählt, die von den GKfz- oder Bus-Fahrenden verursacht wurden. Die Fahrzeuge der ersten Vergleichsgruppe wurden jeweils sechs Jahre vor den für die Untersuchungsgruppe abgegrenzten Neufahrzeugen erstmalig zugelassen. In dieser Gruppe kam es zu 191 Auffahrunfällen im Vorzeitraum. Im Analysezeitraum ist dagegen ein Anstieg zu verzeichnen, in diesem Zeitraum ereigneten sich 216 Unfälle. Dies entspricht einer Zunahme der Unfallzahlen um 13,1 % gegenüber dem Vorzeitraum.

Der Vergleich der Untersuchungsgruppe mit der ersten Vergleichsgruppe ergibt ein Odds Ratio von 0,7620. Dies kann wie folgt interpretiert werden: Das $Odds_{Vor}$ beträgt 1,6283, das heißt im Vorzeitraum kommen auf jeden Unfall der Vergleichsgruppe 1,6 Unfälle der Untersuchungsgruppe. Im Analysezeitraum sinkt dieses Verhältnis auf 1,2 ($Odds_{Analyse}$ 1,2407). Damit haben sich die Odds gegenüber dem Vorzeitraum um 23,8 % verringert. Die Zahl der Auffahrunfälle hat sich in der Untersuchungsgruppe somit deutlich besser entwickelt als in der ersten Vergleichsgruppe. Das Odds Ratio ist signifikant kleiner als 1 ($p \leq 0,05$). Somit kann die Nullhypothese, dass kein Unterschied in der Entwicklung der Untersuchungs- und Vergleichsgruppe

bestand, für die erste Vergleichsgruppe abgelehnt werden.

Neben den Auffahrunfällen älterer Fahrzeuge wurde eine zweite Vergleichsgruppe herangezogen. Diese Gruppe setzte sich zusammen aus Unfällen von Neufahrzeugen auf BAB, die dem Unfallszenario „andere Unfälle“ zuzuordnen sind und bei denen die GKfz- bzw. Bus-Fahrenden Hauptverursacher des Unfalls waren. Auf diese Weise sollte geprüft werden, wie sich das Unfallgeschehen innerhalb der Gruppe der Neufahrzeuge durch das AEBS zwischen Vor- und Analysezeitraum änderte. Das Unfallszenario „andere Unfälle“ wurde dabei so abgegrenzt, dass das AEBS im Falle eines Unfalls nicht zum Tragen kommt.

Im Vorzeitraum waren in der zweiten Vergleichsgruppe 191 Unfälle zu verzeichnen (s. Tabelle 9). Ebenso wie in der ersten Vergleichsgruppe stieg die Zahl der Unfälle in der zweiten Vergleichsgruppe im Analysezeitraum an. In diesem Zeitraum kam es zu 215 Unfällen. Damit nahm die Zahl der Unfälle in der zweiten Vergleichsgruppe um 12,6 % zu.

Das Odds Ratio zwischen Untersuchungsgruppe und der zweiten Vergleichsgruppe beträgt 0,7655. Es ergibt sich ein $Odds_{Vor}$ von 1,6283, auf einen Unfall in der Vergleichsgruppe kommen im Vorzeitraum also 1,6 Unfälle in der Untersuchungsgruppe. Dieses Verhältnis reduziert sich im Analysezeitraum

	Zeitraum		Trend	Odds Ratio	Chi-Quadrat
	Vorzeitraum Unfalljahre 2010-12	Analysezeitraum Unfalljahre 2016-18			
Untersuchungsgruppe Neufahrzeuge (Zulassung 0-2 J. vor Unfall)	311	268	-13,8 %	0,7620	4,4019**
Vergleichsgruppe I Ältere Fahrzeuge (Zulassung 6-8 J. vor Unfall)	191	216	13,1 %		
Signifikanz: *** $p \leq 0,01$; ** $p \leq 0,05$; * $p \leq 0,1$.					BAST-U2I-05/2020

Tab. 8: Auffahrunfälle von Neufahrzeugen (UG) vs. älterer Fahrzeuge (VG I) im Vor- und Analysezeitraum (GKfz und Busse als Hauptverursacher auf BAB).

	Zeitraum		Trend	Odds Ratio	Chi-Quadrat
	Vorzeitraum Unfalljahre 2010-12	Analysezeitraum Unfalljahre 2016-18			
Untersuchungsgruppe Auffahrunfälle	311	268	-13,8 %	0,7655	4,2472**
Vergleichsgruppe II Andere Unfälle	191	215	12,6 %		
Signifikanz: *** $p \leq 0,01$; ** $p \leq 0,05$; * $p \leq 0,1$.					BAST-U2I-05/2020

Tab. 9: Auffahrunfälle (UG) vs. andere Unfälle (VG II) von Neufahrzeugen im Vor- und Analysezeitraum (GKfz und Busse als Hauptverursacher auf BAB).

	Zeitraum		Trend	Odds Ratio
	Vorzeitraum Unfalljahre 2010-12	Analysezeitraum Unfalljahre 2016-18		
Auffahrunfälle				
Untersuchungsgruppe: Neufahrzeuge (Zulassung 0-2 J. vor Unfall)	311	268	-13,8 %	0,7620
Vergleichsgruppe I: Ältere Fahrzeuge (Zulassung 6-8 J. vor Unfall)	191	216	13,1 %	
Andere Unfälle				
Vergleichsgruppe II: Neufahrzeuge (Zulassung 0-2 J. vor Unfall)	191	215	12,6 %	1,2101
Vergleichsgruppe III: Ältere Fahrzeuge (Zulassung 6-8 J. vor Unfall)	129	120	-7,0 %	
Gesamteffekt der Maßnahme				-37,0 %
BAST-U21-05/2020				

Tab. 10: Untersuchungsgruppe, Vergleichsgruppen I bis III und Maßnahmenereffekt.

auf 1,2 ($Odds_{Analyse} = 1,2465$). Die Odds sind damit vom Vor- zum Analysezeitraum um 23,4 % gesunken. Die Zahl der Unfälle unter den Neufahrzeugen hat sich damit in der Untersuchungsgruppe deutlich besser entwickelt als in der zweiten Vergleichsgruppe. Auch hier ist das Odds Ratio signifikant kleiner als 1 ($p \leq 0,05$). Die Nullhypothese kann damit auch für die zweite Vergleichsgruppe abgelehnt werden.

Die Untersuchungsgruppe hat sich somit signifikant besser entwickelt sowohl verglichen mit Auffahrunfällen älterer Fahrzeuge (Vergleichsgruppe I) als auch verglichen mit den anderen Unfällen von Neufahrzeugen (Vergleichsgruppe II).

Mithilfe der dritten Vergleichsgruppe kann nun der Gesamteffekt der Maßnahme berechnet werden. Dazu wurde der Quotient des Odds Ratio der Auffahrunfälle (UG und VG I) und des Odds Ratio der anderen Unfälle (VG II und VG III) gebildet. So wurde in der Berechnung zum einen berücksichtigt, wie sich die Entwicklung nach Unfallszenario unterscheidet. Zum anderen wurde die Entwicklung nach Fahrzeugalter in der Kalkulation einbezogen. Das Ergebnis ist in Tabelle 10 dargestellt. Der Gesamteffekt beläuft sich auf 37,0 % und ist signifikant. Der Gesamteffekt gibt dabei an, wie stark sich die Unfallzahlen von GkFz und Bussen zwischen Vor- und Analysezeitraum durch das AEBS insgesamt reduziert haben.

4.3.2 Unfallschwere

Neben der Entwicklung der Unfallzahlen ist auch die Veränderung der Unfallschwere durch das AEBS von Interesse. Dazu wird untersucht, wie sich die Zahl der Unfälle mit Getöteten, mit Schwerverletzten, mit Leichtverletzten bzw. mit schwerem

Sachschaden in Untersuchungs- und Vergleichsgruppen geändert hat. Dabei gibt es zwei mögliche Mechanismen: Wie im vorherigen Kapitel gezeigt wurde, ist die Anzahl der Unfälle durch das AEBS deutlich zurückgegangen. Eine Möglichkeit wäre, dass vor allem die weniger folgenschweren Unfälle verhindert werden konnten, also die Unfälle mit schwerwiegendem Sachschaden oder die Unfälle mit Leichtverletzten. Die Unfälle mit Getöteten und Schwerverletzten wären dann nicht zurückgegangen, da das AEBS die Unfälle mit schwerem Personenschaden nicht verhindern konnte. Eine zweite Möglichkeit ist, dass die Unfälle mit schwerem Personenschaden stärker zurückgegangen sind als die Unfälle mit Leichtverletzten oder schwerwiegendem Sachschaden. Dann wäre neben der Zahl der Unfälle insgesamt auch die Unfallfolge der nicht verhinderten Unfälle durch das AEBS verringert worden. Ein Auffahrunfall, bei dem ohne AEBS ein Beteiligter beispielsweise schwer verletzt worden wäre, wäre durch die verringerte Aufprallgeschwindigkeit bedingt durch das AEBS z. B. nur leicht verletzt worden.

In Tabelle 11 sind die Unfälle der Untersuchungsgruppe und Vergleichsgruppe I im Vor- und Analysezeitraum nach Unfallkategorie aufgeteilt. In der Untersuchungsgruppe sanken in fast allen Unfallkategorien die Unfallzahlen deutlich. Einzige Ausnahme bildeten die Unfälle mit Leichtverletzten (U(LV)), die leicht zunahm (+4,3 %). Am stärksten gingen die Unfälle mit Getöteten (U(GT)) zurück. Hier halbierten sich die Unfallzahlen im Analysezeitraum im Vergleich zum Vorzeitraum (-55,6 %). Bei den Unfällen mit Schwerverletzten (U(SV)) nahm die Zahl

Auffahrunfall	Zeitraum				Trend		Odds Ratio	Chi-Quadrat
	Vorzeitraum Unfalljahre 2010-12		Analysezeitraum Unfalljahre 2016-18					
	UG: Neu- fahrzeuge	VG I: ältere Fahrzeuge	UG: Neu- fahrzeuge	VG I: ältere Fahrzeuge	UG: Neu- fahrzeuge	VG I: ältere Fahrzeuge		
U(GT)	18	9	8	7	-55,6 %	-22,2 %	0,5714	0,7269
U(SV)	81	41	58	67	-28,4 %	63,4 %	0,4382	10,030***
U(LV)	162	114	169	127	4,3 %	11,4 %	0,9364	0,1502
U(SS)	50	27	33	15	-34,0 %	-44,4 %	1,1880	0,1929

Signifikanz: *** $p \leq 0,01$; ** $p \leq 0,05$; * $p \leq 0,1$. BAST-U2I-05/2020

Tab. 11: Auffahrunfälle von Neufahrzeugen (UG) vs. älterer Fahrzeuge (VG I) nach Unfallkategorie im Vor- und Analysezeitraum (GKfz und Busse als Hauptverursacher auf BAB).

Neufahrzeuge	Zeitraum				Trend		Odds Ratio	Chi-Quadrat
	Vorzeitraum Unfalljahre 2010-12		Analysezeitraum Unfalljahre 2016-18					
	UG: Auf- fahrunfälle	VG II: ande- re Unfälle	UG: Auf- fahrunfälle	VG II: ande- re Unfälle	UG: Auf- fahrunfälle	VG II: ande- re Unfälle		
U(GT)	18	7	8	4	-55,6 %	-42,9 %	0,7778	0,1104
U(SV)	81	20	58	29	-28,4 %	45,0 %	0,4938	4,4409**
U(LV)	162	72	169	64	4,3 %	-11,1 %	1,1736	0,6165
U(SS)	50	92	33	118	-34,0 %	28,3 %	0,5146	6,4306**

Signifikanz: *** $p \leq 0,01$; ** $p \leq 0,05$; * $p \leq 0,1$. BAST-U2I-05/2020

Tab. 12: Auffahrunfälle (UG) vs. andere Unfälle (VG II) von Neufahrzeugen nach Unfallschwere im Vor- und Analysezeitraum (GKfz und Busse als Hauptverursacher auf BAB).

der Unfälle um 28,4 % ab, die U(SS) reduzierten sich um 34,0 %.

In der ersten Vergleichsgruppe verringerten sich die U(SS) am stärksten (-44,4 %), gefolgt von den U(GT) (-22,2 %). Die Unfälle in den anderen beiden Kategorien nahmen zu, insbesondere stiegen die U(SV) stark an (+63,4 %). Die U(LV) erhöhten sich um 11,4 %.

Den größten Unterschied in der Entwicklung zwischen Untersuchungs- und erster Vergleichsgruppe zwischen Vor- und Analysezeitraum war bei den U(SV) zu beobachten. Hier ergibt sich ein Odds Ratio von 0,4382. Im Vorzeitraum kamen auf einen U(SV) der ersten Vergleichsgruppe noch etwa 2 Unfälle der Untersuchungsgruppe ($Odds_{Vor} = 1,9756$), im Analysezeitraum sank diese Zahl auf 0,9 U(SV) in der Untersuchungsgruppe pro U(SV) in der ersten Vergleichsgruppe ($Odds_{Analyse} = 0,8656$). Dieser Unterschied ist signifikant.

Die U(GT) nahmen in der Untersuchungsgruppe ebenfalls deutlich stärker ab als in der ersten Vergleichsgruppe. Das Odds Ratio beträgt 0,5714, ist jedoch aufgrund der geringen Fallzahlen nicht signifikant. Auch bei Anwendung des exakten Tests von

Fisher sind die Unterschiede nicht signifikant.⁴ Bei den U(LV) sind in beiden Gruppen Zunahmen zu beobachten. Jedoch sind die U(LV) in der Untersuchungsgruppe weniger stark angestiegen als in der ersten Vergleichsgruppe, die Unterschiede sind allerdings nicht signifikant. Bei den U(SS) hat die Unfallzahl in der Untersuchungsgruppe weniger stark abgenommen als in der ersten Vergleichsgruppe. Allerdings ist auch dieser Unterschied nicht signifikant.

Der Vergleich der Untersuchungsgruppe mit der zweiten Vergleichsgruppe ist in Tabelle 12 abgebildet. Auch bei der zweiten Vergleichsgruppe war der größte Anstieg bei den U(SV) zu sehen (+45,0 %). Am stärksten reduzierte sich die Zahl der U(GT) (-42,9 %), jedoch besteht auch hier das Problem sehr kleiner Fallzahlen. Die U(LV) gingen um 11,1 % zurück, die U(SS) nahmen dagegen um 28,3 % zu.

Der größte Unterschied zwischen Untersuchungs- und zweiter Vergleichsgruppe liegt bei den U(SV) vor. Hier sank das Odds von 4,1 im Vorzeitraum auf

⁴ Bei sehr kleinen Stichproben (Faustregel: erwartete Häufigkeit in einem Feld kleiner als 5) wird anstatt des Chi-Quadrat-Tests der exakte Test nach Fisher verwendet, da der Chi-Quadrat-Test nur approximativ gilt.

2,0 im Analysezeitraum. Der Unterschied ist signifikant zum 5%-Niveau. Somit ist der Unterschied in der Entwicklung zwischen Untersuchungs- und Vergleichsgruppe sowohl für VG I als auch für VG II am größten bei den U(SV). Ähnlich stark unterscheidet sich die Entwicklung der U(SS) zwischen Untersuchungs- und zweiter Vergleichsgruppe. Auch hier hat sich die Untersuchungsgruppe deutlich besser entwickelt als die zweite Vergleichsgruppe, die Ergebnisse sind signifikant zum 5%-Niveau. Bei den U(GT) hat die Zahl der Unfälle in der Untersuchungsgruppe stärker abgenommen als in der zweiten Vergleichsgruppe. Jedoch waren die Unterschiede wie bei der ersten Vergleichsgruppe weder für den Chi-Quadrat-Test noch für den exakten Test nach Fisher signifikant. Die Zahl der U(LV) entwickelte sich in der Untersuchungsgruppe schlechter als in der zweiten Vergleichsgruppe, der Unterschied war aber ebenfalls nicht signifikant.

Die im vorherigen Kapitel festgestellte bessere Entwicklung der Unfallzahlen der Untersuchungsgruppe gegenüber den Vergleichsgruppen ist also vor allem auf einen überproportionalen Rückgang der U(SV) in der Untersuchungsgruppe zurückzuführen. Ebenfalls nahmen die U(GT) in der Untersuchungsgruppe deutlich stärker ab als in den Vergleichsgruppen. Aufgrund der geringen Fallzahlen sind die Unterschiede jedoch nicht signifikant. Bei den Unfällen mit weniger starken Unfallfolgen, den U(LV) und den U(SS) ergibt sich ein gemischtes Bild. Bis auf die U(SS) der zweiten Vergleichsgruppe entwickelt sich keine Gruppe signifikant besser. Die Ergebnisse deuten daher darauf hin, dass durch das AEBS nicht nur die Unfallzahlen an sich reduziert wurden, sondern auch die Unfallschwere bei den verbleibenden Unfällen zurückgegangen ist.

4.4 Diskussion

Im vorherigen Kapitel wurde ermittelt, dass die Zahl der Unfälle zwischen Vor- und Analysezeitraum in der Untersuchungsgruppe um -14 % zurückging, während die Zahl der Unfälle in den beiden Vergleichsgruppen um etwa 13 % stieg. Insgesamt konnte ein Maßnahmeneffekt von 37 % errechnet werden. Die Ergebnisse der Auswertung der Unfallschwere weisen zudem daraufhin, dass schwere Unfälle überproportional durch das AEBS vermieden werden konnten.

Analysezeitraum und Untersuchungsgruppe waren dabei so abgegrenzt, dass die Ausstattungsquote

der Fahrzeuge mit AEBS in dieser Gruppe und diesem Zeitraum 100 % betrug, da für alle diese Fahrzeuge die EU-Verordnung galt. In allen Gruppen bzw. zu allen anderen Zeiträumen lag die Ausstattungsquote dagegen deutlich darunter oder das Unfallszenario war so abgegrenzt, dass ein AEBS keinen Einfluss auf die Zahl der Unfälle hatte. Damit ist die bessere Entwicklung der Unfallzahlen in der Untersuchungsgruppe gegenüber den Vergleichsgruppen auf das AEBS zurückzuführen.

Der Analysezeitraum umfasste die Unfalljahre 2016-2018, der Vorzeitraum die Unfalljahre 2010-2012. Verglichen wurden dabei zum einen die Auffahrunfälle der Neufahrzeuge mit den anderen Unfällen der Neufahrzeuge. Die Neufahrzeuge waren dabei zum Zeitpunkt des Unfalls maximal zwei Jahre alt. Zum anderen wurden die Auffahrunfälle der Neufahrzeuge verglichen mit den Auffahrunfällen der älteren Fahrzeuge. Ältere Fahrzeuge hatten ein Fahrzeugalter zwischen sechs und acht Jahren. In Kapitel 3.4 wurde die zeitliche Entwicklung der Unfälle von GKfz und Bussen differenziert nach Fahrzeugalter und Unfallszenario beschrieben. In diesem Zusammenhang fiel insbesondere der starke Anstieg der Unfälle im Jahr 2010 auf. Dieser entfiel jedoch vor allem auf die Spurverlassen-Unfälle bzw. auf die zwei bis unter fünf Jahre alten Fahrzeuge. Beide Gruppen wurden in dieser Analyse nicht betrachtet. Daher hat diese Spitze auf die hier vorgenommene Analyse keinen Einfluss.

Ein unerwarteter Anstieg (oder Rückgang) würde in einem Vorher-Nachher-Vergleich mit Analyse- und Vergleichsgruppe nur dann das Ergebnis verfälschen, wenn dieser nur auf eine der beiden Gruppen gewirkt hätte. Da aber weder die Auffahrunfälle noch die anderen Unfälle der unter zwei Jahre bzw. fünf bis unter zehn Jahre alten Fahrzeuge im Jahr 2010 diesen starken Anstieg der Unfälle aufweisen, hat dieser keinen Effekt auf das Ergebnis.

Die Fahrleistung von GKfz auf BAB insgesamt ist etwa konstant geblieben zwischen Vorzeitraum und Analysezeitraum (s. Kapitel 3.6). Dabei unterscheidet sich jedoch die Fahrleistung je nach Alter des Fahrzeugs. Laut BÄUMER et al. (2017) liegt die Fahrleistung eines bis zu zwei Jahre alten Lkw mit mehr als 3,5 Tonnen zGM 1,5-mal so hoch wie die Fahrleistung eines fünf bis unter zehn Jahre alten Fahrzeugs dieser Art. Bei Zugmaschinen beträgt dieser Faktor 1,7. Der Bestand von bis zu zwei Jahre alten Zugmaschinen ist zwischen 2010-2012 und 2016-2018 um 27,9 % angestiegen. Dagegen ist

der Bestand von fünf bis unter zehn Jahre alten Zugmaschinen um 50,7 % gewachsen (s. Kapitel 3.6). Anders ausgedrückt gab es im Zeitraum 2010-2012 pro fünf bis unter zehn Jahre altem Fahrzeug 1,1 Zugmaschinen unter zwei Jahren. Dieser Quotient sank im Zeitraum 2016-2018 auf 0,9. Die Unfallbelastung der unter zwei Jahre alten Zugmaschinen nahm zwischen 2010-2012 und 2016-2018 zudem stärker ab als die Unfallbelastung der fünf bis unter zehn Jahre alten Zugmaschinen (vgl. Kap. 3.7).

Die deutlich bessere Entwicklung der Untersuchungsgruppe (Auffahrunfälle von Neufahrzeugen) im Vergleich zur ersten Vergleichsgruppe (Auffahrunfälle älterer Fahrzeuge) ist damit möglicherweise auch zum Teil darauf zurückzuführen, dass die Wachstumsrate des Bestands bei älteren Fahrzeugen deutlich höher ist als bei neuen Fahrzeugen. Dabei ist jedoch zu beachten, dass die Altersgruppen, auf die sich diese Zahlen beziehen, jeweils anders abgegrenzt sind als die Untersuchungs- und Vergleichsgruppen. Zudem heißt dies nicht, dass die Fahrleistung der Neufahrzeuge bzw. der älteren Fahrzeuge proportional zum Bestand angestiegen ist. Zum einen ist die Fahrleistung von GKfz auf BAB insgesamt in Vor- und Analysezeitraum etwa konstant geblieben (BAG 2019). Zum anderen liegt die Fahrleistung je Neufahrzeug wie dargelegt deutlich über der Fahrleistung je älterem Fahrzeug. Unter der Annahme, dass die Fahrleistung pro Fahrzeug konstant ist, bedeutet dies, dass die absolute Fahrleistung von Neufahrzeugen durch ein zusätzliches Fahrzeug stärker steigt, als die absolute Fahrleistung von älteren Fahrzeugen durch ein zusätzliches Fahrzeug wächst. Der Unterschied bei der Entwicklung der Fahrleistung nach Fahrzeugalter fällt also weniger stark aus als beim Bestand. Zusätzlich sollte bei der Interpretation auch noch berücksichtigt werden, dass sich die Bestandszahlen nur auf eine Teilgruppe der hier betrachteten Fahrzeuge (GKfz und Busse) beziehen, nämlich auf Zugmaschinen. Insbesondere für Lkw liegen keine vergleichbaren Bestandszahlen für Vor- und Analysezeitraum vor. Trotz dieser Einschränkungen ist es möglich, dass die sehr unterschiedliche Unfallentwicklung von Untersuchungs- und Vergleichsgruppe zu einem Teil auf den unterschiedlich stark wachsenden Bestand zurückzuführen ist.

Auf den Vergleich der Untersuchungsgruppe mit der zweiten Vergleichsgruppe hat der sich unterschiedlich entwickelte Bestand jedoch keine Auswirkung. Da sowohl in der Untersuchungs- als auch

in der Vergleichsgruppe Neufahrzeuge betrachtet wurden, wirkten sich unterschiedliche Entwicklungen in Bestand oder Fahrleistung auf beide Gruppen gleichermaßen aus.

Fortschritte in der aktiven bzw. passiven Fahrzeugsicherheit können ebenfalls einen unterschiedlichen Einfluss auf die Entwicklung der Gruppen haben. Wenn die Fahrzeugsicherheit mit einem konstanten Trend zunahm, wäre diese Entwicklung im zeitlichen Trend abgebildet. Gab es aber Sprünge in der Entwicklung, hätte dies Einfluss auf die Ergebnisse der ersten Vergleichsgruppe, da in Untersuchungs- und erster Vergleichsgruppe Fahrzeuge unterschiedlichen Alters betrachtet wurden. Zu diesem Zweck wurden Spurverlassen-Unfälle von der Analyse ausgenommen, um Verzerrungen der Ergebnisse durch die Einführung des LDWS zu verhindern.

Auch wenn alle Fahrzeuge in der Untersuchungsgruppe mit einem AEBS ausgestattet sein mussten, ist unklar, ob dieses zum Zeitpunkt des Unfalls auch aktiv war, da das System manuell durch die Fahrenden abgeschaltet werden kann. Durch die Einschränkung auf BAB sollte dieses Problem in der Unfallanalyse verringert werden. Weil die Fahrsituation auf BAB weniger komplex ist als bei anderen Ortslagen, wird das AEBS dort mutmaßlich seltener deaktiviert. Jedoch kann anhand der vorhandenen Daten keine Aussage darüber gemacht werden, in wie vielen Fällen das System zum Zeitpunkt des Unfalls deaktiviert war. Es ist geplant, die Abschaltbarkeit des AEBS zukünftig zu verbieten (BMVI 2020). Andererseits sind bei den Fahrzeugen mit AEBS auch solche dabei, deren AEBS ein höheres Leistungsvermögen aufweist als es die Vorschrift von einem Stufe-1-System fordert, was die ermittelte Wirksamkeit vergrößert haben könnte.

Insgesamt entwickelten sich die Unfallzahlen in der Untersuchungsgruppe deutlich positiver als in den beiden Vergleichsgruppen. Möglicherweise hatten die zuvor geschilderten Einschränkungen zur Folge, dass die Wirkung des AEBS der ersten Stufe in dieser Analyse leicht überschätzt wurde. Da die berechnete Wirkung jedoch sehr hoch ist, kann sie nicht allein durch die einschränkenden Faktoren erklärt werden. Somit wurde die Zahl der Auffahrunfälle durch das AEBS auf BAB von GKfz und Bussen deutlich gesenkt.

5 Zusammenfassung und Fazit

Notbremsassistentensysteme (AEBS) tragen als Element der aktiven Fahrzeugsicherheit zu einer Verringerung der Unfallzahlen sowie einer Abschwächung nicht mehr vermeidbarer Unfälle bei. Über ein besonders hohes Potenzial sollten Notbremsysteme in Konfliktsituationen verfügen, die zu Auffahrunfällen führen, wie sie im Besonderen auf Bundesautobahnen auftreten. Auffahrunfälle von schweren Güterkraftfahrzeugen und Bussen sind zusätzlich durch eine hohe Unfallschwere gekennzeichnet. Aus diesem Grund hat die Europäische Kommission im Jahr 2012 die Verordnung (EU) 347/2012 verabschiedet, die in einem zweistufigen Verfahren die verpflichtende Ausstattung von schweren Güterkraftfahrzeugen und Bussen mit einem Notbremssystem vorschreibt. Die Verordnung trat in der ersten Genehmigungsstufe für neue Fahrzeugtypen am 1. November 2013 und für Neufahrzeuge am 1. November 2015 in Kraft. Das Inkrafttreten der zweiten Genehmigungsstufe mit verschärften Anforderungen an den Geschwindigkeitsabbau war für neue Fahrzeugtypen auf den 1. November 2016 und für Neufahrzeuge auf den 1. November 2018 terminiert.

Das Ziel der Untersuchung war es, den Maßnahmeneffekt der verpflichtenden AEBS Ausstattung von schweren Güterkraftfahrzeugen und Bussen auf die Verkehrssicherheit im Rahmen einer ex-post-Analyse zu ermitteln. Die dazu notwendige Auswertung des Unfallgeschehens basiert auf den Einzeldaten der amtlichen Straßenverkehrsunfallstatistik der Jahre 2009-2018 und fahrzeugtechnischen Angaben des Kraftfahrtbundesamts. Letztere Angaben liegen nur für in Deutschland zugelassene Fahrzeuge vor, wodurch sich der Untersuchungsbereich auf eben diese Fahrzeuge beschränkte. Untersucht wurden Unfälle mit Personenschaden und schwerwiegende Unfälle mit Sachschaden im engeren Sinne, die von Güterkraftfahrzeugen und Bussen auf Bundesautobahnen verursacht wurden. Anhand des Unfalltyps und der Unfallart wurden die drei Unfallszenarien Auffahrunfall, Spurverlassen-Unfall und anderer Unfall abgegrenzt.

Zunächst erfolgte eine deskriptive Analyse des Unfallgeschehens der Güterkraftfahrzeuge und Busse. Anschließend wurde ausgewertet, wie sich das Unfallgeschehen der betreffenden Fahrzeugklassen durch die Einführung des AEBS geändert hat. Die Anzahl der Unfälle mit den als GKfz bzw. Busse abgegrenzten Fahrzeugen als Hauptverursacher auf

BAB stieg im untersuchten Zeitraum von 2009 bis 2018 leicht an (6,5 %), wobei sich die Unfallzahlen besser entwickelten, je jünger die Fahrzeuge waren (rückläufige Unfallzahlen für Fahrzeuge jünger als fünf Jahre). Während die Unfallzahlen für Spurverlassen- und andere Unfälle nahezu konstant bis leicht rückläufig waren, konnte ein deutlicher Zuwachs an Auffahrunfällen verzeichnet werden. Diese sind häufig gekennzeichnet durch eine hohe Unfallschwere und weisen als Unfallgegner zumeist Pkw, Sattelzugmaschinen und Lkw mit Anhängern als Unfallgegner auf.

Die Fahrleistung der inländischen mautpflichtigen Fahrzeuge war im Zeitverlauf relativ konstant. Gleichzeitig war der Bestand von Lkw und Zugmaschinen über 8 t zulässiger Gesamtmasse im Zeitraum von 2012 bis 2018 ansteigend, wobei der Bestand älterer Fahrzeuge deutlich stärker gewachsen ist als von neueren Fahrzeugen.

Der Effekt der AEBS-Regulierung und dessen Stärke wurde mithilfe der Odds Ratios ermittelt. Dafür wurden neben der Untersuchungsgruppe, also der Gruppe an Unfällen, für die die Maßnahme ihre Wirkung entfalten sollte, drei Vergleichsgruppen definiert, die nicht von der Maßnahme betroffen waren. Dadurch konnte der Maßnahmeneffekt um den allgemeinen Trend des Unfallgeschehens bereinigt werden. Der Untersuchungszeitraum zur Ermittlung des Maßnahmeneffekts wurde in den Analysezeitraum von 2016 bis 2018 und den Vorzeitraum von 2010 bis 2012 aufgeteilt. Die Untersuchungsgruppe umfasste Auffahrunfälle mit Neufahrzeugen, die im jeweiligen Untersuchungszeitraum erstmals zugelassen wurden. Die erste Vergleichsgruppe beinhaltet analog Fahrzeuge, die jeweils sechs Jahre vor den in der Untersuchungsgruppe betrachteten Fahrzeugen erstmalig zugelassen wurden. Um eine Verzerrung durch die nahezu gleichzeitige Einführung von Spurhaltewarnsystemen zu vermeiden, umfasste die zweite Vergleichsgruppe Unfälle mit Neufahrzeugen im Unfallszenario „Andere Unfälle“ mit mindestens zwei Beteiligten. Die dritte Vergleichsgruppe beinhaltete wieder Fahrzeuge, die jeweils sechs Jahre vor den in der zweiten Vergleichsgruppe betrachteten Fahrzeugen erstmalig zugelassen wurden und war ansonsten zu dieser äquivalent.

Der sich ergebende Gesamteffekt (Maßnahmeneffekt) berechnet sich auf 37 % und ist signifikant. Der Gesamteffekt gibt dabei an, wie stark sich die Unfallzahlen von Güterkraftfahrzeugen und Bussen in

der Auffahrunfallkonstellation vom Vor- zum Analysezeitraum durch das AEBS insgesamt reduziert haben. Aufgrund der sehr trennscharfen Eingrenzung der Untersuchungsgruppe auf Fahrzeuge, die sicher mit AEBS ausgestattet sind, und auf Auffahrunfälle, auf deren Vermeidung AEBS bestimmungsgemäß abzielt, ist ein Effekt von 37 % in Bezug auf seine Größenordnung durchaus zu erwarten. Die Wirkung der ersten Stufe der EU-Verordnung mit noch verhältnismäßig geringen Anforderungen wird mit dem ermittelten Gesamteffekt vermutlich etwas überschätzt, da sich unter den Fahrzeugen mit AEBS auch solche befinden, die bereits vorzeitig das geforderte Leistungsvermögen der zweiten Stufe der EU-Verordnung erfüllen, und auch solche, die in Bezug auf ihr Leistungsvermögen freiwillig noch weiter darüber hinausgehen.

Ebenfalls wurde untersucht, ob neben den Unfallzahlen auch eine Veränderung der Verletzungsschwere erfolgte: Es ist ein deutlicher Rückgang der Zahl der Schwerverletzten vom Vor- zum Analysezeitraum beim Vergleich von Untersuchungsgruppe und der ersten Vergleichsgruppe zu verzeichnen.

Insgesamt konnte somit die Wirksamkeit von Notbremssystemen mithilfe der amtlichen Verkehrsunfallstatistik sowohl hinsichtlich einer Reduzierung der Unfallzahlen als auch einer Reduzierung der Unfallschwere eindrucksvoll nachgewiesen werden.

Ungeachtet dessen zeigt die Analyse, dass trotz AEBS nach wie vor eine große Zahl nicht vermiedener Auffahrunfälle zu verzeichnen ist und hier somit weitere Schritte zur Verbesserung der Verkehrssicherheit von schweren Güterkraftfahrzeugen und Bussen erforderlich sind.

Literatur

BAG (2019): Mautstatistik. Jahrestabellen 2018. Köln.

BÄUMER, M.; HAUZINGER, H.; PFEIFFER, M.; STOCK, W.; LENZ, B.; KUHNIMHOF, T.; KÖHLER, K. (2017): Fahrleistungserhebung 2014 - Inländerfahrleistung. Bremen: Fachverlag NW (Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen Verkehrstechnik).

BMVI (2020): Wir werden das Abschalten von Lkw-Notbremsassistenzen verbieten - für mehr Verkehrssicherheit. Online verfügbar unter <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/StV/Strassenverkehr/notbremsassistent.html>, zuletzt geprüft am 15.04.2020.

Daimler AG (2014): Betriebsanleitung Actros, Arocs, Antos.

Deutscher Wetterdienst (2010): WitterungsReport Express 01/2010. Offenbach am Main.

Deutscher Wetterdienst (2011): WitterungsReport Express 12/2010. Offenbach am Main.

Deutscher Wetterdienst (2013): WitterungsReport Express 01/2013. Offenbach am Main.

Europäische Kommission (2012a): Verordnung (EU) Nr. 347/2012 der Kommission vom 16. April 2012 zur Durchführung der Verordnung (EG) Nr. 661/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates über die Typgenehmigung von Notbremsassistentensystemen für bestimmte Kraftfahrzeugklassen. 347/2012.

Europäische Kommission (2012b): Verordnung (EU) Nr. 351/2012 der Kommission vom 23. April 2012 zur Durchführung der Verordnung (EG) Nr. 661/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich der Anforderungen an die Typgenehmigung von Spurlaltewarnsystemen in Kraftfahrzeugen. 351/2012.

Europäische Kommission (2015): zur Änderung der Verordnung (EU) Nr. 347/2012 der Kommission zur Durchführung der Verordnung (EG) Nr. 661/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates über die Typgenehmigung von Notbremsassistentensystemen für bestimmte Kraftfahrzeugklassen. 2015/562.

GÖTZE, M. (2018): Entwicklung und Evaluation eines integrativen MMI Gesamtkonzeptes zur Handlungsunterstützung für den urbanen Verkehr. Unter Mitarbeit von Klaus Bengler. München: Universitätsbibliothek der TU München.

HUMMEL, T. (2011): Fahrerassistenzsysteme. Ermittlung des Sicherheitspotenzials auf Basis des Schadensgeschehens der deutschen Versicherer. Berlin: GDV (Forschungsbericht

- / Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V FS, Fahrzeugsicherheit / Unfallforschung der Versicherer, 03).
- KBA (2010): Fahrzeugzulassungen (FZ). Bestand an Nutzfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach technischen Daten (Größenklassen, Motorisierung, Fahrzeugklassen und Aufbauarten). FZ 25. Flensburg.
- KBA (2011): Fahrzeugzulassungen (FZ). Bestand an Nutzfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach technischen Daten (Größenklassen, Motorisierung, Fahrzeugklassen und Aufbauarten). FZ 25. Flensburg.
- KBA (2012): Fahrzeugzulassungen (FZ). Bestand an Nutzfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach technischen Daten (Größenklassen, Motorisierung, Fahrzeugklassen und Aufbauarten). FZ 25. Flensburg.
- KBA (2013): Fahrzeugzulassungen (FZ). Bestand an Nutzfahrzeugen, Kraftfahrzeugen insgesamt und Kfz-Anhängern nach technischen Daten (Größenklassen, Motorisierung, Fahrzeugklassen und Aufbauarten). FZ 25. Flensburg.
- KBA (2014): Fahrzeugzulassungen (FZ). Bestand an Nutzfahrzeugen, Kraftfahrzeugen insgesamt und Kraftfahrzeuganhängern nach technischen Daten (Größenklassen, Motorisierung, Fahrzeugklassen und Aufbauarten). FZ 25. Flensburg.
- KBA (2015): Fahrzeugzulassungen (FZ). Bestand an Nutzfahrzeugen, Kraftfahrzeugen insgesamt und Kraftfahrzeuganhängern nach technischen Daten (Größenklassen, Motorisierung, Fahrzeugklassen und Aufbauarten). FZ 25. Flensburg.
- KBA (2016): Fahrzeugzulassungen (FZ). Bestand an Nutzfahrzeugen, Kraftfahrzeugen insgesamt und Kraftfahrzeuganhängern nach technischen Daten (Größenklassen, Motorisierung, Fahrzeugklassen und Aufbauarten). FZ 25. Flensburg.
- KBA (2017): Fahrzeugzulassungen (FZ). Bestand an Nutzfahrzeugen, Kraftfahrzeugen insgesamt und Kraftfahrzeuganhängern nach technischen Daten (Größenklassen, Motorisierung, Fahrzeugklassen und Aufbauarten). FZ 25. Flensburg.
- KBA (2018): Fahrzeugzulassungen (FZ). Bestand an Nutzfahrzeugen, Kraftfahrzeugen insgesamt und Kraftfahrzeuganhängern nach technischen Daten (Größenklassen, Motorisierung, Fahrzeugklassen und Aufbauarten). FZ 25. Flensburg.
- KNECHT, S. (2017): Ein Beitrag zur Erhöhung der Straßenverkehrssicherheit durch ein pyrotechnisches Notbremsystem. Dissertation.
- PANWINKLER, T. (2018): Unfallgeschehen schwerer Güterkraftfahrzeuge. Bremen: Fachverlag NW (Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen M, Mensch und Sicherheit, Heft M 277).
- Parlament und Rat der Europäischen Union (2007): Rahmenrichtlinie zur Schaffung eines Rahmens für die Genehmigung von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern sowie von Systemen, Bauteilen und selbstständigen technischen Einheiten für diese Fahrzeuge. 2007/46/EG.
- Parlament und Rat der Europäischen Union (2009): Verordnung (EG) Nr. 661/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Juli 2009 über die Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen, Kraftfahrzeuganhängern und von Systemen, Bauteilen und selbstständigen technischen Einheiten für diese Fahrzeuge hinsichtlich ihrer allgemeinen Sicherheit. 661/2009.
- PETERSEN, E. (2016): Notbrems-Assistenzsysteme für Nutzkraftwagen. Wissenspapier. Hg. v. Landesverkehrswacht Niedersachsen e.V. Online verfügbar unter https://www.landesverkehrswacht.de/fileadmin/user_upload/ALLGEMEIN_FILES/LVW_Wissensblatt/LVW-Wissensblatt-18_Notbrems-Assistenzsysteme-fuer-Nutzkraftwagen.pdf, zuletzt geprüft am 22.04.2020.
- SEINIGER, P.; HEINL, F.; BÜHNE, J.-A.; GAIL, J. (2020): Lkw-Notbremsassistentensysteme. Bremen: Fachverlag NW (Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen F, Fahrzeugtechnik, Heft F 133).

- TIGGES, G.; OETTING, F.; HÖLTING, C.; BERNWIESER, L. (2016): Neue Generation Notbremsystem im Nutzfahrzeug. In: ATZ Extra 21 (S8), S. 30–35. DOI: 10.1007/s35778-016-0023-7.
- TRABERT, T.; SHEVCHENKO, I.; MÜLLER, G.; MALCZYK, A. (2018): In-depth Analyse schwerer Unfälle mit schweren Lkw. Hg. v. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V.
- Volvo Trucks (2020). Kollisionswarnung mit Notbremse. Online verfügbar unter <http://driverhandbook.volvotrucks.com/#/config/de-DE/a0000fh/Topics/Topic-126928>, zuletzt geprüft am 15.04.2020.
- WINNER, H.; HAKULI, S.; LOTZ, F.; SINGER, C. (2015): Handbuch Fahrerassistenzsysteme. Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort. 3., überarb. und erg. Aufl. Hg. v. Hermann Winner. Wiesbaden: Springer Vieweg (ATZ/MTZ-Fachbuch).
- Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen (UN/ECE) (2007): Berichtigung der Regelung Nr. 107 der Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen (UN/ECE) — Einheitliche Bestimmungen für die Genehmigung von Fahrzeugen der Klasse M. UN R 107.
- Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen (UN/ECE) (2013): Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung der Kraftfahrzeuge hinsichtlich ihres Spurhaltewarnsystems. UN R 130.
- Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen (UN/ECE) (2014): Regelung Nr. 131 der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (UNECE) — Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung von Kraftfahrzeugen hinsichtlich des Notbremsassistentensystems (AEBS).
- ## Bilder
- Bild 1: Entwicklung der Unfälle mit Hauptverursacher GKfz bzw. Bus auf BAB 2009-2018.
- Bild 2: Entwicklung der Unfälle mit Hauptverursacher GKfz bzw. Bus auf BAB nach Alter der Fahrzeuge 2009-2018.
- Bild 3: Entwicklung der Unfälle mit Hauptverursacher GKfz bzw. Bus auf BAB nach Unfallszenarien 2009-2018.
- Bild 4: Entwicklung der Auffahrunfälle mit Hauptverursacher GKfz bzw. Bus auf BAB nach Alter der Fahrzeuge 2009-2018.
- Bild 5: Entwicklung der Spurverlassen-Unfälle mit Hauptverursacher GKfz bzw. Bus auf BAB nach Alter der Fahrzeuge 2009-2018.
- Bild 6: Entwicklung der anderen Unfälle mit Hauptverursacher GKfz bzw. Bus auf BAB nach Alter der Fahrzeuge 2009-2018.
- Bild 7: Unfallgegner von Unfällen mit Hauptverursacher GKfz oder Bus auf BAB 2009-2018.
- Bild 8: Unfallursachen bei Unfällen insg. und Auffahrunfällen mit Hauptverursacher GKfz bzw. Bus auf BAB 2009-2018.
- Bild 9: Fahrleistung von im Inland bzw. Ausland zugelassenen mautpflichtigen Fahrzeugen auf Bundesautobahnen 2007-2018.
- Bild 10: Inländer-Fahrleistung nach zulässiger Gesamtmasse und Fahrzeugalter 2014.
- Bild 11: Bestand an Lkw nach Fahrzeugalter 2010-2018.
- Bild 12: Bestand an Zugmaschinen nach Fahrzeugalter 2010-2018.
- Bild 13: Unfallrate 2009-2018
- Bild 14: Unfallbelastung nach Fahrzeugalter 2012-2018.

Bild 15: Unfallbelastung der Zugmaschinen nach Fahrzeugalter 2009-2018 (pro 100.000 Fahrzeuge).

Bild 16: Vor- und Analysezeitraum und Einführung des AEBS.

Tabellen

Tab. 1: Die Tabelle enthält die Anforderungen an das AEBS eines schweren Güter- oder Personenverkehrsfahrzeug gemäß der ersten Genehmigungsstufe.

Tab. 2: Die Tabelle enthält die Anforderungen an das AEBS eines schweren Güter- oder Personenverkehrsfahrzeug gemäß der zweiten Genehmigungsstufe.

Tab. 3: Verkehrsbeteiligungsarten von Bussen, Lkw und Zugmaschinen.

Tab. 4: Unfälle 2018 in Prozent nach Unfalltyp und -art auf BAB von GKfz und Bussen

Tab. 5: Unfallkategorien bei den drei Unfallszenarien mit GKfz bzw. Bus als Hauptverursacher auf BAB 2009-2018.

Tab. 6: Vier-Felder-Tafel.

Tab. 7: Abgrenzung der Gruppen nach Unfalljahr und Zulassungsalter.

Tab. 8: Auffahrunfälle von Neufahrzeugen (UG) vs. älterer Fahrzeuge (VG I) im Vor- und Analysezeitraum

Tab. 9: Auffahrunfälle (UG) vs. andere Unfälle (VG II) von Neufahrzeugen im Vor- und Analysezeitraum

Tab. 10: Untersuchungsgruppe, Vergleichsgruppen I bis III und Maßnahmeneffekt.

Tab. 11: Auffahrunfälle von Neufahrzeugen (UG) vs. älterer Fahrzeuge (VG I) nach Unfallkategorie im Vor- und Analysezeitraum

Tab. 12: Auffahrunfälle (UG) vs. andere Unfälle (VG II) von Neufahrzeugen nach Unfallschwere im Vor- und Analysezeitraum

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Fahrzeugtechnik“

2014

F 93: **Entwicklung eines Verfahrens zur Erfassung der Fahrerbeanspruchung beim Motorradfahren**
Buld, Will, Kaussner, Krüger € 17,50

F 94: **Biokraftstoffe – Fahrzeugtechnische Voraussetzungen und Emissionen**
Pellmann, Schmidt, Eckhardt, Wagner € 19,50

F 95: **Taxonomie von Fehlhandlungen bei der Fahrzeugführung**
Oehme, Kolrep, Person, Byl € 16,50

F 96: **Auswirkungen alternativer Antriebskonzepte auf die Fahrdynamik von Pkw**
Schönemann, Henze € 15,50

F 97: **Matrix von Lösungsvarianten Intelligenter Verkehrssysteme (IVS) im Straßenverkehr Matrix of alternative implementation approaches of Intelligent Transport Systems (ITS) in road traffic**
Lotz, Herb, Schindhelm, Vierkötter
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 98: **Absicherungsstrategien für Fahrerassistenzsysteme mit Umfeldwahrnehmung**
Weitzel, Winner, Peng, Geyer, Lotz Sefati € 16,50

F 99: **Study on smoke production, development and toxicity in bus fires**
Hofmann, Dülsen € 16,50

2015

F 100: **Verhaltensbezogene Kennwerte zeitkritischer Fahrmanöver**
Powelleit, Muhrer, Vollrath, Henze, Liesner, Pawellek € 17,50

F 101: **Altersabhängige Anpassung von Menschmodellen für die passive Fahrzeugsicherheit**
Wagner, Segura, Mühlbauer, Fuchs, Peldschus, Freßmann € 19,00

F 102: **6th International Conference on ESAR „Expert Symposium on Accident Research“**
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 103: **Technische Möglichkeiten für die Reduktion der CO₂-Emissionen von Nutzfahrzeugen**
Süßmann, Lienkamp
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 104: **Abbiege-Assistenzsystem für Lkw – Grundlagen eines Testverfahrens**
Schreck, Seiniger € 14,50

F 105: **Abgasverhalten von in Betrieb befindlichen Fahrzeugen und emissionsrelevanten Bauteilen – Feldüberwachung**
Schmidt, Georges € 14,50

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

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

F 106: **Untersuchung des Abgasverhaltens von in Betrieb befindlichen Fahrzeugen und emissionsrelevanten Bauteilen – Austauschkatysatoren**
Schmidt, Johannsen € 13,50

F 106b: **Examination of pollutants emitted by vehicles in operation and of emission relevant components – Replacement catalytic converters**
Schmidt, Johannsen
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 107: **Sicherheitsaspekte beim Laden von Elektrofahrzeugen**
Vogt, Link, Ritzinger, Ablingyte, Reindl € 16,50

F 108: **Interoperabilität zwischen öffentlichem Verkehrsmanagement und individuellen Navigationsdiensten – Maßnahmen zur Gewährleistung**
von der Ruhren, Kirschfink, Ansorge, Reusswig, Riegelhuth, Karina-Wedrich, Schopf, Sparmann, Wöbbeking, Kannenberg € 17,50

F 109: **Ermittlung des Umfangs von Abweichungen bei Durchführung der Abgasuntersuchung zwischen Messung am Auspuff und Abfrage des On-Board-Diagnosesystems**
Schröder, Steickert, Walther, Ranftl
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 110: **Wahrnehmung und Bewertung von Fahrzeugaußengeräuschen durch Fußgänger in verschiedenen Verkehrssituationen und unterschiedlichen Betriebszuständen**
Altinsoy, Landgraf, Rosenkranz, Lachmann, Hagen, Schulze, Schlag
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 111: **Geräuschminderung von Dünnschichtbelägen**
Schulze, Kluth, Ruhnau, Hübelt
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2016

F 112: **Ersatz von Außenspiegeln durch Kamera-Monitor-Systeme bei Pkw und Lkw**
Schmidt, Hoffmann, Krautscheid, Bierbach, Frey, Gail, Lotz-Keens € 17,50

F 112b: **Final Report Camera-Monitor-Systems as a Replacement for Exterior Mirrors in Cars and Trucks**
Schmidt, Hoffmann, Krautscheid, Bierbach, Frey, Gail, Lotz-Keens
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 113: **Erweiterung der Software TREMOD um zukünftige Fahrzeugkonzepte, Antriebe und Kraftstoffe**
Bergk, Heidt, Knörr, Keller € 15,50

F 114: **Barrierefreiheit bei Fernlinienbussen**
Oehme, Berberich, Maier, Böhm € 17,50

F 115: **Statischer und dynamischer Fahrsimulator im Vergleich – Wahrnehmung von Abstand und Geschwindigkeit**
Frey
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2017

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

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

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

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

F 118: Bedeutung kompensativer Fahrerstrategien im Kontext automatisierter Fahrfunktionen

Voß, Schwalm € 16,50

F 119: Fahrzeugtechnische Eigenschaften von Lang-Lkw

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

F 120: Emissionen von über 30 Jahre alten Fahrzeugen

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

F 121: Laufleistungsabhängige Veränderungen der 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: Motorradshutzelme – Identifizierung ihres Verbesserungspotenzials unter Berücksichtigung des Motorradunfallgeschehens

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

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

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

F 125: Untersuchung zu Elektrokleinstfahrzeugen

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

2019

F 126: Einfluss zunehmender Fahrzeugautomatisierung auf Fahrkompetenz und Fahrkompetenzerwerb

Weißgerber, Grattenthaler, Hoffmann € 15,50

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

Kupschick, Bürglen, Jürgensohn € 16,50

F 128: Potenzieller gesellschaftlicher Nutzen durch zunehmende Fahrzeugautomatisierung

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

F 129: Anforderungen an die dynamische Leuchtweitenregelung zur Vermeidung der Blendung entgegenkommender Verkehrsteilnehmer

Kosmas, Kobbert, Khanh € 15,50

F 130: Infrastrukturbedarf automatisierten Fahrens – Grundlagenprojekt

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

F 131: Fahrerassistenz- und Fahrerinformationssysteme (FAS/FIS) – Personale Voraussetzungen ihres Erwerbs und Nutzung durch ältere Kraftfahrerinnen und -fahrer

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

2020

F 132: Handbuch Barrierefreiheit im Fernbuslinienverkehr

Boenke, Grossmann, Nass, Schäfer € 17,50

F 133: Lkw-Notbremsassistentensysteme

Seiniger, 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, Zwickel, Schade, Petzold € 16,50

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

Straßgütl, Sander € 14,50

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.