

Lkw-Notbrems- assistenzsysteme

Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen

Fahrzeugtechnik Heft F 133

The logo consists of the word "bast" in a bold, lowercase, green sans-serif font. The letters are slightly shadowed, giving it a 3D appearance. The logo is positioned in the bottom right corner of the page.

Lkw-Notbrems- assistenzsysteme

von

Patrick Seiniger
Felix Heint
Jan-André Bühne
Jost Gail

Bundesanstalt für Straßenwesen
Bergisch Gladbach

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Fahrzeugtechnik Heft F 133

bast

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

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

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

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

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt bei der Carl 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 Öffentlichkeitsarbeit.

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

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt F1100.5116006
Lkw-Notbremsassistentensysteme

Referat
Aktive Fahrzeugsicherheit und Fahrerassistenzsysteme

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

Redaktion
Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit

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 978-3-95606-506-4

Bergisch Gladbach, Februar 2020



Kurzfassung – Abstract

Lkw-Notbremsassistenzsysteme

Notbremsassistenzsysteme für Lkw können einen großen Beitrag zur Verkehrssicherheit leisten, indem sie Unfälle, die von schweren Lkw verursacht werden, wirkungsvoll vermeiden helfen. Die aktuellen Anforderungen für diese Notbremsassistenzsysteme wurden allerdings vor über zehn Jahren festgelegt. Der Stand der Technik hat sich seitdem stark weiterentwickelt. Aufgabe der Bundesanstalt für Straßenwesen war daher, zu überprüfen, ob die technischen Anforderungen für Notbremsassistenz noch zeitgemäß sind oder ob eine Anpassung sinnvoll für die Verkehrssicherheit ist.

Der technische Fortschritt im Bereich der Fahrerassistenzsysteme ist so groß, dass die vor knapp 10 Jahren festgelegten Anforderungen an Notbremsysteme heute nicht mehr dem Stand der Technik entsprechen – sowohl hinsichtlich der in den derzeit geltenden Vorschriften explizit erlaubten Abschaltbarkeit der Notbremsysteme als auch hinsichtlich der geforderten Bremsleistung beziehungsweise des Geschwindigkeitsabbaus.

Es war daher zunächst zu prüfen, ob die derzeit zulässige Abschaltbarkeit erforderlich ist, und falls ja, ob sie auf bestimmte Verkehrssituationen und Fahrzeugtypen eingeschränkt werden kann.

Es war weiterhin zu prüfen, ob höhere Mindestverzögerungswerte gefordert werden können, insbesondere im Falle von stehenden Fahrzeugen vor dem Fahrzeug (z. B. am Stauende) Notbremsungen mit deutlich höherer Geschwindigkeitsreduktion eingeleitet werden können und durch die Systeme auch kleinere Fahrzeuge als bisher vorgeschrieben erkannt werden müssen.

In Notbremsituationen ist es denkbar, dass Fahrer unabsichtlich eine Übersteuerung (und damit eine Abschaltung des Notbremsystems) vornehmen, indem sie beispielsweise „in das Pedal fallen“. Es sollte daher untersucht werden, ob dieser Fall relevant ist und Abhilfe bedarf. Auch eine Anpassung der Regelkriterien an unterschiedliche Straßenverhältnisse (Niedrigreibwert) sowie die Möglichkeit einer Warnung von Fahrern bei geringen Sicherheitsabständen sollte geprüft werden.

Insbesondere die erforderlichen automatischen Geschwindigkeitsreduktionen bei bevorstehenden Kollisionsen auf stehende Ziele können deutlich angehoben werden.

Aus fahrdynamischen Grundlagen wurden, je nach Ausgangsfahrgeschwindigkeit, unterschiedliche Zeitpunkte für Bremsingriffe bestimmt. Als Voraussetzung für automatische Bremsingriffe wurde angenommen, dass diese spätestens dann gerechtfertigt sind, wenn ein menschlicher Fahrer keine Möglichkeit mehr hat, einem Zielobjekt auszuweichen. Messungen zeigen eine gute Übereinstimmung eines aus den Annahmen abgeleiteten Simulationsmodells mit den tatsächlichen Bremsingriffszeitpunkten und Bremsingriffen eines mit einem modernen Notbremsystem ausgerüsteten Lkw. Als Ergebnis wurden durchaus erzielbare Geschwindigkeitsreduktionen in Abhängigkeit von Ausgangsgeschwindigkeit und Fahrbahnoberfläche ermittelt, die sich als Anforderung für internationale Vorschriften eignen.

Bezüglich der Abschaltbarkeit von Notbremsassistenzsystemen wurde anhand der durchgeführten Untersuchungen festgestellt, dass sich Fehlwarnungen im Fahrbetrieb, selbst unter Nutzung eines der derzeit am weitesten entwickelten Notbremsysteme, nicht gänzlich vermeiden lassen. Grund dafür ist im Wesentlichen die unzureichende Erkennbarkeit der Fahrerintention in bestimmten Verkehrssituationen.

Fehlwarnungen in ungestörter Autobahnfahrt (= außerhalb von Autobahnbaustellen) konnten aber nicht gefunden werden. Aus technischer Sicht ist es daher sinnvoll, die Deaktivierbarkeit eines Notbremsystems nur in solchen Verkehrssituationen zu erlauben, in denen es durch Fehlinterpretationen seitens des Systems (Objekte abseits der Fahrbahn) zu Fehlfunktionen kommen kann. Ein Indikator hierfür kann eine bestimmte Geschwindigkeitsgrenze sein.

Für eine zusätzliche frühzeitige Warnung des Fahrers bei zu geringem Mindestabstand ist gegebenenfalls eine Verbesserung der Verkehrssicherheit denkbar. Der tatsächliche Nutzen einer Abstandswarnung hängt aber davon ab, ob der Abstand irrtümlich oder bewusst gering gehalten ist und ob die Lkw-Fahrenden auf eine Warnung durch eine Vergrößerung des Abstands reagieren.

Truck advanced emergency brake systems

Advanced emergency brake systems for trucks can make a major contribution to road safety by effectively helping to prevent accidents caused by heavy trucks. However, the current requirements for these advanced emergency brake systems were established over ten years ago. The state of the art has developed considerably since then. The task of the Federal Highway Research Institute was therefore to check whether the technical requirements for advanced emergency brake systems are still up to date or whether an adaptation would make sense for road safety.

Technical progress in the field of driver assistance systems is so great that the requirements for emergency braking systems laid down almost 10 years ago no longer correspond to the state of the art – both with regard to the ability to switch off emergency braking systems, which is explicitly permitted in the currently applicable regulations, and with regard to the required braking performance or speed reduction.

First it had to be examined whether the currently permitted manual deactivation is necessary, and if so, whether it can be restricted to certain traffic situations and vehicle types.

It was also necessary to examine whether higher minimum deceleration values could be demanded, whether emergency braking with a significantly higher speed reduction could be initiated, particularly in the case of stationary vehicles in front of the vehicle (e.g. at the end of a traffic jam), and whether the systems would also have to be able to detect smaller vehicles than previously prescribed.

In emergency braking situations, it is conceivable that drivers could inadvertently override (and thus switch off the emergency braking system), for example by „falling on the pedal“. It should therefore be investigated whether this case is relevant and needs remedial action. Adaptation of the control criteria to different road conditions (low coefficient of friction) and the possibility of warning drivers when safety distances are short should also be examined.

In particular, the required automatic speed reductions in the event of impending collisions with stationary targets can be increased significantly. Based on driving dynamics fundamentals, different

times for brake interventions were determined, depending on the initial driving speed. As a prerequisite for automatic braking interventions, it was assumed that these are justified at the latest when a human driver no longer has the possibility of avoiding a target object. Measurements show a good correspondence between a simulation model derived from the assumptions and the actual brake intervention times and braking interventions of a truck equipped with a modern emergency braking system. As a result, achievable speed reductions as a function of initial speed and road surface were determined, which are suitable as requirements for international regulations.

With regard to the manual deactivation of advanced emergency brake systems, the investigations showed that false warnings during driving cannot be completely avoided, even when using one of the most advanced emergency braking systems currently available. The main reason for this is the insufficient recognizability of driver intention in certain traffic situations.

However, false warnings in undisturbed motorway travel (= outside motorway construction sites) could not be found. From a technical point of view, it therefore makes sense to allow the deactivation of an advanced emergency braking system only in those traffic situations in which the system's misinterpretation (objects off the carriageway) can lead to malfunctions. An indicator for this can be a certain speed limit.

For an additional early warning of the driver if the minimum distance is too small, an improvement in traffic safety is conceivable. However, the actual benefit of a distance warning depends on whether the distance is inadvertently or deliberately kept short and whether truck drivers react to a warning by increasing the distance.

Inhalt

Glossar	7	3.1.6 Mögliche Geschwindigkeitsreduktion bei nicht mehr vermeidbaren Unfällen	20
1 Auftrag	9	3.1.7 Realistische technische Anforderungen an ein automatisches Notbremssystem unter idealen Bedingungen	21
2 Ausgangslage und Untersuchungsziele	9	3.2 Geschwindigkeitsreduktion auf nicht-trockener Fahrbahn	22
2.1 Generelle Anforderungen für Lkw-Notbremssysteme	9	3.3 Zusammenfassung der Anforderungen an ein Notbremssystem	24
2.2 Vorbemerkung: Notbremssysteme im Unfallgeschehen	10	4 Abschaltbarkeit von Notbremsassistentensystemen	24
2.3 Zielsetzung und Methodik	10	4.1 Ausgangslage	25
2.3.1 Einschränkung der Abschaltbarkeit von Notbremssystemen	10	4.2 Fahrversuche	25
2.3.2 Anpassung der Geschwindigkeitsreduktion (Mindestverzögerung) auf stehende und bewegte Fahrzeuge	11	4.2.1 Zusammensetzung der Messdaten ...	26
2.3.3 Erkennung kleinerer Fahrzeuge	12	4.3 Beobachtete Interventionen des AEBS-Systems	27
2.3.4 Abstandswarnung	12	4.3.1 Vorfahrende Fahrzeuge	28
2.3.5 Unabsichtliche Übersteuerung	13	4.3.2 Objekt abseits der Fahrbahn	29
2.3.6 Straßenverhältnisse	13	4.3.3 Warnung auf ein Objekt auf der Fahrbahn	30
2.4 Versuchsfahrzeug	14	4.3.4 Bewertung der Warnungen	30
3 Geschwindigkeitsreduktion	15	4.4 Folgerungen	31
3.1 Geschwindigkeitsreduktion auf trockener Fahrbahn	15	4.4.1 Situationsinterpretation und Grenzen der Sensorik	31
3.1.1 Dynamik des Brems- und Ausweichvorgangs	15	4.4.2 Fälschlich angenommene Systemgrenzen	31
3.1.2 Anforderungen an Warnzeitpunkte ...	17	4.4.3 Blockade von Notbremssystemen durch temporäre Anbauten	31
3.1.3 Mögliche Geschwindigkeitsreduktion und mögliche Warnzeitpunkte	17	4.5 Zusammenfassung und Ableitung von Empfehlungen	32
3.1.4 Realistisch erreichbare Geschwindigkeitsreduktion	19	5 Abstandswarnung	33
3.1.5 Vergleich der Modellvorstellung mit Messdaten	19	5.1 Dynamik des Bremsprozesses aus Folgefahrt	33

5.2	Simulationsmodell	34
5.2.1	Parameter und Eingangsgrößen	34
5.2.2	Aufbau des Simulationsmodells	35
5.2.3	Ergebnisse	35
5.3	Fazit	38
6	Ungewollte Übersteuerung	38
7	Erkennung kleinerer Fahrzeuge	39
8	Erfüllungsaufwand	41
8.1	Fallzahlen	41
8.2	Bürgerinnen und Bürger	41
8.3	Wirtschaft	42
8.4	Verwaltung	43
9	Zusammenfassung	43
	Literatur	45
	Bilder	47
	Tabellen	48

Glossar

AEBS	Advanced (teilweise Autonomous oder Automatic) Emergency Brake Systems: Fortschrittliche, autonome oder automatische Notbremssysteme	Lkw	Lastkraftwagen: Fahrzeuge der Kategorie N
		M ₁	Fahrzeugkategorie M ₁ nach Richtlinie 2007/46/EG: Pkw mit maximal 8 Sitzplätzen (ohne Fahrersitz)
ECE	Economic Commission for Europe: Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa	M ₂	Fahrzeugkategorie M ₂ nach Richtlinie 2007/46/EG: Busse mit mehr als 8 Sitzplätzen und zul. Gesamtmasse bis 5 Tonnen
Ego-Fzg.	In der Fahrerassistenzforschung das mit einem System ausgerüstete Fahrzeug. Hier: Der mit Notbremssystem ausgerüstete, auffahrende Lkw	M ₃	Fahrzeugkategorie M ₃ nach Richtlinie 2007/46/EG: Busse mit mehr als 8 Sitzplätzen und zul. Gesamtmasse über 5 Tonnen
ESC	Elektronic Stability Control: elektronische Stabilitätsregelung der Querdynamik von Kraftfahrzeugen	N ₁	Fahrzeugkategorie N ₁ nach Richtlinie 2007/46/EG: Lkw mit einer zulässigen Gesamtmasse bis 3,5 Tonnen
ETTC	Enhanced-Time-To-Collision: Erweiterung der Rechengröße TTC (siehe dort), sodass die verbleibende Zeit zu einer Kollision beschrieben wird unter der Annahme, dass das vordere der beiden Fahrzeuge konstant verzögert	N ₂	Fahrzeugkategorie N ₂ nach Richtlinie 2007/46/EG: Lkw mit einer zulässigen Gesamtmasse über 3,5 Tonnen und unter 12 Tonnen
		N ₃	Fahrzeugkategorie N ₃ nach Richtlinie 2007/46/EG: Lkw mit einer zulässigen Gesamtmasse über 12 Tonnen
Euro NCAP	European New Car Assessment Program: Verbraucherschutzverein mit dem Ziel, die Sicherheit von Neufahrzeugen vergleichend und vergleichbar zu bewerten. www.EuroNCAP.com	Pkw	Personenkraftwagen: Fahrzeuge der Kategorien M ₁
		TTB	Time-To-Brake: Rechengröße, die beschreibt, wie viel Zeit bis zum Beginn eines Bremsengriffs verbleibt
EVT	Euro NCAP Vehicle Target: 2D-Zielobjekt, das für übliche Sensorik wie ein Pkw-Heck erscheint und damit zum zerstörungsfreien Auslösen von Notbremsungen genutzt werden kann	TTC	Time-To-Collision: Rechengröße, die die verbleibende Zeit zu einer Kollision beschreibt, unter der Annahme, dass die Geschwindigkeiten zweier sich aufeinander zu bewegendes Fahrzeuge beibehalten werden
GIDAS	German In-Depth Accident Study – Deutsche Tiefenanalyse von Unfällen: Forschungsprogramm, dass Verkehrsunfälle vor Ort im Detail untersucht. Mehr Informationen unter www.gidas.org	UN	United Nations (Vereinte Nationen)
GVT	Global Vehicle Target: 3D-Zielobjekt, das für übliche Sensorik von allen Seiten wie ein Pkw erscheint und ebenfalls zum zerstörungsfreien Auslösen von Notbremsungen genutzt werden kann		

1 Auftrag

Die BASt wurde beauftragt, mögliche Anpassungen der technischen Anforderungen an Notbremssysteme von Lkw zu untersuchen, um die Sicherheit und Wirksamkeit von Notbremsassistenzsystemen zu erhöhen.

Der technische Fortschritt im Bereich der Fahrerassistenzsysteme ist so groß, dass die vor knapp 10 Jahren festgelegten Anforderungen an Notbremssysteme heute nicht mehr dem Stand der Technik entsprechen – sowohl hinsichtlich der in den derzeit geltenden Vorschriften explizit erlaubten Abschaltbarkeit der Notbremssysteme als auch hinsichtlich der geforderten Bremsleistung beziehungsweise des Geschwindigkeitsabbaus.

Es war daher zunächst zu prüfen, ob die derzeit zulässige Abschaltbarkeit erforderlich ist, und falls ja, ob sie auf bestimmte Verkehrssituationen und Fahrzeugtypen eingeschränkt werden kann.

Weiterhin war zu prüfen, ob höhere Mindestverzögerungswerte gefordert werden können, insbesondere ob im Falle von stehenden Fahrzeugen vor dem Fahrzeug (z. B. am Stauende) Notbremsungen mit deutlich höheren Verzögerungen eingeleitet werden können und durch die Systeme auch kleinere Fahrzeuge als bisher vorgeschrieben erkannt werden müssen.

In Notbremssituationen ist es denkbar, dass Fahrer unabsichtlich eine Übersteuerung (und damit eine Abschaltung des Notbremssystems) vornehmen, indem sie beispielsweise „in das Pedal fallen“. Auch eine Anpassung der Regelkriterien an unterschiedliche Straßenverhältnisse (Niedrigreibwert) sowie die Möglichkeit einer Warnung von Fahrern bei geringen Sicherheitsabständen sollte geprüft werden.

2 Ausgangslage und Untersuchungsziele

2.1 Generelle Anforderungen für Lkw-Notbremssysteme

Die Ausrüstung von schweren Nutzfahrzeugen und Bussen (im Folgenden als Lkw bezeichnet) wird in Europa geregelt über die Richtlinie 2007/46/EG sowie ergänzend über die sogenannte General Safety Regulation Verordnung (EG) Nr. 661/2009, in der erstmals Notbremssysteme für schwere Nutz-

fahrzeuge und Busse vorgeschrieben waren (Artikel 10). Die technischen Rahmenbedingungen regeln gleichlautend die Verordnung (EU) Nr. 347/2012¹ und die Regelung UN R 131².

Im Folgenden wird im Wesentlichen auf die Regelung UN R 131 Bezug genommen; es ist einerseits von der Europäischen Kommission kommuniziert, dass dieses Dokument im Rahmen der Überarbeitung der Verordnung (EG) Nr. 661/2009 die technischen Anforderungen abbilden wird, andererseits ist der Prozess zur Änderung der Regelung UN R 131 bei den Vereinten Nationen transparent.

Derzeit (Vorschriften-Stufe 2 in den entsprechenden Dokumenten) geltende technische Anforderungen für Lkw-Notbremssysteme:

- Geschwindigkeitsreduktion von 10 km/h (N₂-Lkw < 8 t, M₂ mit hydraulischer Bremsanlage) oder 20 km/h (N₃, N₂ > 8 t, M₃ mit pneumatischer Bremsanlage) aus 80 km/h auf das stehende Ziel.
- Geschwindigkeitsreduktion von 68 km/h (N₃, N₂ > 8 t, M₃ mit pneumatischer Bremsanlage) oder 13 km/h (N₂-Lkw < 8 t, M₂ mit hydraulischer Bremsanlage) aus 80 km/h auf das bewegte Ziel (12 km/h). Alle Geschwindigkeiten sind mit einer Toleranz von bis zu 4 km/h versehen.
- Maximal 15 km/h oder 30 % der Gesamtgeschwindigkeitsreduktion (es gilt der jeweils höhere Wert) in der Warnphase.
- Dauer der Warnphase 1,4 s (pneumatische Bremsanlagen) oder 0,8 s (hydraulische Bremsanlagen) vor Einsetzen der Notbremsphase (s. u.).
- In der Notbremsphase ist eine Verzögerung von mindestens 4 m/s² (Sollwert) zu erreichen.

Zielobjekt

- Pkw-Limousine (M1 AA Saloon)

Abschaltbarkeit

- Keine Einschränkungen, aber System bei jedem Motorstart zu reaktivieren

¹ [Reg. (EU) 347/2012]

² [UN R 131]

Übersteuerbarkeit

- Keine Einschränkungen

Forderung der Berücksichtigung wechselnder Reibkoeffizienten

- Nein

Forderung einer Warnung bei geringem Abstand auf weitgehend gleich schnell vorausfahrende Fahrzeuge

- Nein

2.2 Vorbemerkung: Notbremssysteme im Unfallgeschehen

Notbremssysteme für Lkw, insbesondere der deutlich erweiterten Stufe 2 (verbindlich für Typpendigungen ab 1. November 2016, Fahrzeugneuzulassungen ab 1. November 2018³), sind im Feld bisher nur eingeschränkt vertreten. Ihre Wirksamkeit lässt sich daher noch nicht belastbar retrospektiv bewerten.

In der Unfalldatenbank GIDAS sind Notbremsassistenzsysteme als Ausstattung bei unfallbeteiligten Lkw nur sehr selten vertreten, insbesondere gar nicht in für Notbremsassistenz relevanten Auffahrunfällen. Das könnte ein Zeichen für die große Wirksamkeit sein, das könnte aber auch bedeuten, dass die Marktdurchdringung noch zu gering für eine belastbare Aussage ist.

Eine Studie der BAST⁴ analysiert die Unfallsituation von Auffahrunfällen schwerer Güterkraftfahrzeuge im Detail, ebenfalls aber ohne auf die Wirkung von Notbremssystemen eingehen zu können.

Eine Studie von PETERSEN et al.⁵ gibt Hinweise auf das Potenzial verschärfter Anforderungen an Notbremssysteme und benennt mindestens einen Unfall eines Sattelzugs, bei dem das Notbremssystem ausgeschaltet gewesen sein soll.

Andere Studien⁶ kommen zum Schluss, dass der Anteil der Auffahrunfälle auf stehende Fahrzeuge bei Unfällen, die von Fahrzeugen mit verbautem Notbremssystem verursacht wurden, auffällig hoch ist. Dies deutet darauf hin, dass die technischen Anforderungen zumindest für die Erkennung von stehenden Fahrzeugen verbessert werden könnten.

Zusammenfassend lässt sich die Anpassung der Anforderungen des AEBS (automatic emergency

braking systems) insgesamt aber nur schwierig anhand der verfügbaren Unfalldaten motivieren.

Es ist jedoch prinzipiell zu erwarten, dass die Menge der durch AEBS adressierbaren Unfälle größer wird, wenn die Anforderungen an den Mindestgeschwindigkeitsabbau zunehmen.

2.3 Zielsetzung und Methodik

Im Folgenden werden Untersuchungsziele und Methodik zur Erreichung dieser Ziele zur Beantwortung der in Kapitel 2 wiedergegebenen Fragestellungen abgeleitet.

2.3.1 Einschränkung der Abschaltbarkeit von Notbremssystemen

Die Abschaltbarkeit von Notbremssystemen ist grundsätzlich eine Methode, um mit Unzulänglichkeiten der Abbiegeassistenzsystemen umzugehen.

Notbremsassistenzsysteme nutzen verschiedene Sensoren. Üblich sind in der Fahrzeugtechnik derzeit RADAR-Sensoren, Mono- und Stereokameras. Anhand einer Interpretation der Messdaten der Sensoren wird ein internes Modell des Umfeldes erstellt, aus dem dann die Gefährlichkeit einer Verkehrssituation und gegebenenfalls Bremsengriffe oder Warnungen abgeleitet werden.⁷ Sensoren nehmen aber stets nur einen Teil der Realität wahr; eine Bewertung des Umfeldes erfordert Annahmen, die auch falsch sein können.

Neben der gewünschten Aktivierung von Notbremssystemen in Notfallsituationen (Warnungen und Bremsungen auf objektiv kritische Fahrzeuge) kann es im Fahrbetrieb von Lkw daher auch zu Fehlwarnungen und Fehlbremssungen (sogenannten False Positives) kommen. Fehlbremssungen können deutlich schwerwiegendere Folgen haben als Fehlwarnungen, schlimmstenfalls indem nachfolgender Verkehr ohne ausreichenden Sicherheitsabstand auf das bremsende Fahrzeug auffährt. Aufgrund der in der Regelung UN R 131 vorgeschrie-

³ Siehe [UN R 131], [Regulation (EU) 347/2012]

⁴ [PANWINKLER, 2017], S. 90 ff.

⁵ [PETERSEN, 2016], S. 273 ff.

⁶ [PETERSEN, 2018] und [TRABERT, 2018]

⁷ [WINNER, 2012], S. 522 ff.

benen, zeitlich zwingend vor der Bremsung auftretenden Warnung wird aber angenommen, dass ein aufmerksamer Fahrer in der Regel in der Lage ist, eine drohende Fehlbremmung rechtzeitig zu übersteuern.

Fehlwarnungen haben das Potenzial, den Fahrer kurzfristig abzulenken. Bei hoher Auftretensfrequenz können sie dazu führen, dass die Signale nicht mehr ernstgenommen werden und damit auch berechnete Warnsignale keine Wirkung mehr entfalten können. Auch Fehlwarnungen sind daher zu vermeiden.

Ziel ist die Ableitung von Vorschlägen für sinnvolle Einschränkungen der Abschaltbarkeit von Notbremssystemen von Lkw. Hierzu gilt es, Argumente für eine Beibehaltung der Abschaltbarkeit auf Validität zu prüfen und gegebenenfalls Möglichkeiten zur Einschränkung der Abschaltbarkeit unter Berücksichtigung berechtigter Argumente für eine Abschaltbarkeit zu definieren.

Erforderlich für die Beantwortung der Fragen nach Systemgrenzen ist eine Übersicht über die Charakteristika derzeit am Markt verfügbarer Notbremssysteme. Die zu untersuchende Arbeitshypothese lautet:

„Ein Notbremssystem, bestehend aus Fahrerwarnung und automatischen Bremsengriffen, führt in keinen Geschwindigkeitsbereichen und keinen Verkehrssituationen zu Fehlwarnungen oder Fehleingriffen.“

Diese Arbeitshypothese wird Falsifikationstests unterzogen. Gelingt dies nicht, hat sie sich bewährt: Fehlwarnungen und Fehleingriffe finden nicht statt. Eine Abschaltbarkeit aus Gründen von Fehlwarnungen oder Fehleingriffen ist daher nicht erforderlich. Wird sie für Teilbereiche falsifiziert (ist beispielsweise ein Geschwindigkeitsbereich oder eine Verkehrssituation identifiziert, in der häufig Fehlwarnungen auftreten), dann ist eine Beibehaltung der Abschaltbarkeit hier weiterhin sinnvoll.

Dafür ist es erforderlich, repräsentative Fahrten eines mit einem Notbremssystem ausgerüsteten Lkw durchzuführen und dabei die Häufigkeit von Fehlwarnungen und gegebenenfalls Fehlbremmungen zu bestimmen.

Der Wert der Bewährung einer Hypothese steigt mit der Anstrengung, die Hypothese zu falsifizieren. Die Anstrengung steigt sicher mit dem technischen

Stand des untersuchten Notbremssystems. Wird ein lediglich als Zusatzausstattung verfügbares Notbremssystem verwendet, ist davon auszugehen, dass dessen technischer Standard über den gesetzlich geforderten Standard, der ja bereits verbaut sein muss, deutlich hinausgeht.

Aus den am Markt verfügbaren Notbremssystemen wird daher das aktuelle Notbremssystem ABA 4 von Daimler Nutzfahrzeuge ausgewählt; es ist ein optionales System und als erstes Lkw-Notbremssystem in der Lage, auch auf Fußgänger zu bremsen. Es ist daher davon auszugehen, dass dieses System den derzeitigen Stand der Technik für Lkw-Notbremssysteme repräsentiert und sicherlich weniger Fehlwarnungen oder Fehlbremmungen auftreten werden als bei anderen, nicht derart technisch fortgeschrittenen Systemen.

Ziel

- Analyse bekannter Argumente für eine Beibehaltung der Abschaltbarkeit von Notbremsassistenzsystemen,
- Prüfen des Auftretens von Fehlwarnungen und -bremsungen bei einem modernen Notbremssystem eines Serien-Lkw.

Dazu

- Durchführung von realitätsnahen Lkw-Fahrversuchen im realen Straßenverkehr,
- Bestimmung von Fehlwarnungen und Fehlbremmungen und Ableitung von Bereichen, in denen auf eine Abschaltbarkeit nicht verzichtet werden kann.

2.3.2 Anpassung der Geschwindigkeitsreduktion (Mindestverzögerung) auf stehende und bewegte Fahrzeuge

Die technischen Anforderungen in der Regelung UN R 131 bezüglich der zu erzielenden Geschwindigkeitsreduktionen basieren auf dem Stand der Technik von Notbremssystemen zum Zeitpunkt der Entwicklung der Regelung (ca. 2010).

Im Rahmen der internationalen Diskussionen wurde damals aufgrund mangelnder Felderfahrung mit den Systemen und aufgrund der noch geringen Robustheit der Situations- und Objekterkennung und -klassifizierung der Systeme darauf geachtet,

die Anforderungen so zu gestalten, dass es möglichst nicht zu störenden Fehlwarnungen und Fehlbremungen kommt, um die Akzeptanz der Systeme nicht zu schmälern. Dies erklärt verhältnismäßig geringe Geschwindigkeitsreduktionen auf das stehende Ziel. Auch die Möglichkeit der Abschaltung durch den Fahrer wurde aus diesen Gründen eingeräumt.

Seitdem hat sich – im Pkw-Bereich zum Beispiel getrieben durch die aus Euro-NCAP-Tests resultierenden Anforderungen – die Technik stark weiterentwickelt. Zumindest die Eigenschaften von Pkw-Sensoren und damit verbunden die Warn- und Eingriffszeitpunkte für Notbremssysteme lassen sich weitgehend auf Lkw übertragen (Signalweg Sensor – Verarbeitung – Anforderung Bremsung). Denkbar ist bereits aus diesen verbesserten Eingriffszeitpunkten eine Erhöhung der möglichen Geschwindigkeitsreduktion.

Die Bremsanlagen selbst (Signalweg Anforderung Bremsung – Generierung Bremskraft – Radabbremmung) unterscheiden sich zwischen Pkw und Lkw aber stark, sodass eine Übertragung der Erfahrungen aus Notbremssystemen Pkw zunächst **nicht** möglich ist. Begrenzender Faktor für Eingriffszeitpunkte bei Pkw-Notbremssystemen ist im Wesentlichen die Möglichkeit, einem Ziel auszuweichen – erst, wenn diese Möglichkeit nicht mehr gegeben ist, wird in der Regel voll verzögert. Lkw und insbesondere schwere Lkw benötigen sehr viel mehr Zeit als Pkw zum Ausweichen, eine Bremsung kann also grundsätzlich früher geschehen.

Die Übertragung der Brems- und Eingriffszeitpunkte aus dem Pkw-Bereich auf Lkw ist sicher eine zu konservative Abschätzung (im Sinne daraus resultierender zu geringer Anforderungen an Lkw-Systeme). Aus physikalischen Grundlagen, angepasst für die besonderen Verhältnisse des Lkw, wird daher errechnet, welche Geschwindigkeitsreduktion (insbesondere auf ein stehendes Zielobjekt) als möglich angesehen werden kann.

Ziel

- Ermittlung der zu fordernden Geschwindigkeitsreduktion als Funktion von Ausgangs- und Zielobjektgeschwindigkeit unter der Annahme von Idealbedingungen (trockene Fahrbahn, kein seitlicher Versatz zwischen Lkw und Ziel) sowie Einfluss von geringerem Reibwert und seitlichem Versatz.

Dazu

- Bestimmung von Brems- und Warnzeitpunkten für Lkw,
- Ableitung möglicher Geschwindigkeitsreduktion aus den Bremszeitpunkten.

2.3.3 Erkennung kleinerer Fahrzeuge

Da das in der Regelung UN R 131 genannte Zielobjekt eine Pkw-Limousine repräsentiert, existiert die Befürchtung, dass kleinere Fahrzeuge schwierig von üblichen Notbremssystemen in Lkw erkannt werden würden. Analysen des Unfallgeschehens zeigen, dass üblicherweise Zweiradfahrzeuge nicht in Auffahrunfälle durch Lkw verwickelt sind. Sofern sich herausstellt, dass übliche Zielobjekte, die für die Homologation von Notbremssystemen verwendet werden, nicht von den in GIDAS gefundenen Kollisionspartnern von Lkw abweichen, kann davon ausgegangen werden, dass eine Anpassung des Zielobjekts nicht zu einer Verbesserung der Verkehrssicherheit führt.

Ziel

- Verifikation, dass Zweiräder keine relevanten Ziele in GIDAS sind,
- Identifikation möglicher Sicherheitsrisiken durch zu groß gewähltes Zielobjekt.

Dazu

- Bestimmung von Typen und Größen getroffener Fahrzeuge,
- Vergleich der Rückfläche von Zielobjekten und in GIDAS gefundenen Pkw.

2.3.4 Abstandswarnung

Es ist zu prüfen, ob eine zusätzliche Warnung bei zu geringem Abstand eines Lkw zu einer Erhöhung der Verkehrssicherheit führt.

Grundsätzlich ist eine Unterschreitung der Zeitlücke (= relativer Abstand geteilt durch Fahrgeschwindigkeit beider Fahrzeuge) nicht direkt unsicher, im Gegensatz zu einer Unterschreitung eines kritischen Time-To-Collision-Wertes (der in der Regelung UN R 131 als Grundlage für die Warn- und Bremskaskade dient), der ein Maß für die verbleibende Zeit bis

Messgröße	Zeitlücke [s]	Time-To-Collision [s]
Definition	$t_{Lücke} = \frac{\Delta x}{v_1},$ <p>gilt nur für annähernd gleiche v_1 (Zielobjekt) und v_2 (Egofahrzeug)</p>	$t_{TC} = \frac{\Delta x}{v_2 - v_1},$ <p>gilt für unbeschleunigte Fahrt und verschiedene Geschwindigkeiten. Wird für den Fall der beschleunigten Bewegung (beispielsweise der Bremsung eines vorausfahrenden Fahrzeugs) sehr schnell und nichtlinear kleiner.</p>
Bedeutung	Die Zeitlücke ist ein Maß für den Abstand zweier Fahrzeuge. Sie ist nur für annähernd gleich schnelle Fahrzeuge definiert. Die Time-To-Collision ist in solchen Fällen unendlich groß.	Die Time-To-Collision beschreibt, wie viel Zeit bis zu einer Kollision zweier Fahrzeuge bleibt, solange die Geschwindigkeiten beider Fahrzeuge beibehalten werden. Sie wird für konstanten Abstand unendlich groß und kann auch bei beginnender Bremsung nicht mehr angewendet werden.
Relevanz für AEBS	Nur relevant, wenn Fahrerreaktionszeiten oder Systemlatenzzeiten eine Rolle spielen; das ist der Fall wenn bereits kleine Zeitlücken sich weiter verringern.	Dient als Maß für die Gefährdung. Bei Unterschreiten einer vom Hersteller definierten Schwelle wird eine automatische Bremsung ausgelöst.

Tab. 1: Gegenüberstellung der Messgrößen Zeitlücke und Time-To-Collision

zu einer Kollision ist, siehe Tabelle 1. Umgekehrt kann ein sehr geringer Abstand zwischen zwei Fahrzeugen, die gleich schnell fahren, bei Geschwindigkeitsänderungen schnell kritisch werden, obwohl die Time-To-Collision zuvor unendlich groß war.

Daraus ergibt sich, dass Notbremssysteme (deren Regelkriterien auf TTC basieren) üblicherweise auch in Situationen reagieren sollten, in denen ein vorausfahrendes Fahrzeug – unabhängig vom Abstand – bremst. Diese Versuchsart ist bisher in Regelung UN R 131 nicht definiert. Sofern aber nachgewiesen werden kann, dass derartige Systeme bei Konstantfahrt mit geringen Abständen und darauf folgender Bremsung zuverlässig Kollisionen verhindern, oder aber entsprechende Anforderungen in die Regelung UN R 131 übernommen werden, wird davon ausgegangen, dass eine explizite Abstandswarnung nicht zu einem Sicherheitsgewinn gegenüber einem eingeschalteten Notbremssystem führt.

Ziel

- Ermittlung der Grenzen (Abstand zum Zielobjekt und Verzögerung des Zielobjektes), in denen übliche AEB-Systeme Kollisionen verhindern, und daraus Ableitung von Fahrbereichen, in denen eine ergänzende Warnung bei konstantem, aber geringem Abstand die Verkehrssicherheit erhöhen würde.

Dazu

- Aufbau eines Simulationsmodells für Fahrten von Lkw mit zunächst konstantem Abstand und

dann beginnender Bremsung des vorausfahrenden Fahrzeugs,

- Durchführung von Parametervariationen und Ableitung, in welchen Situationen und für welche Abstände sich durch Vorauswarnung ein Sicherheitsgewinn ergeben würde.

2.3.5 Unabsichtliche Übersteuerung

Es existiert die Vermutung, dass Lkw-Fahrer eine Notbremsfunktion unabsichtlich übersteuern könnten, sodass dies ursächlich zu Unfällen führen kann.⁸

Dieser Vermutung wird anhand einer Analyse der verfügbaren Literatur und Gegenüberstellung der Informationen aus dem Unfallgeschehen nachgegangen.

2.3.6 Straßenverhältnisse

Bei Nässe und noch stärker bei winterlichen Straßenverhältnissen sinkt die von Reifen übertragbare Kraft, und damit auch die von einem Fahrzeug erreichbare Brems- und Seitenkraft. Als Folge davon verlängert sich der Bremsweg. Die für einen Fahrstreifenwechsel erforderliche Zeit verlängert sich aber kaum, weil sie durch drohendes Kippen der Fahrzeuge begrenzt ist.

⁸ [PETERSEN, 2016]

Grundsätzlich erfordert die Kraftübertragung Gummireifen – Fahrbahn in Längsrichtung einen Rad-schlupf, in Querrichtung einen Schräglaufwinkel. Die übertragene Kraft steigt in etwa linear mit Rad-schlupf und Schräglauf. Die Steigung dieser Kurven unterscheidet sich aber im Wesentlichen nicht zwischen trockener und nasser Fahrbahn.

Mit heute üblichen Fahrdynamikregelsystemen ist daher eine belastbare Aussage über den verfügbaren Kraftschlussbeiwert erst dann möglich, wenn eines der Räder die Kraftschlussgrenze erreicht hat. Prognosemethoden über die Auswertung des Scheibenwischers oder Regensensors und ähnliche Daten können zwar einen Hinweis auf den vorhandenen Reibwert oder bestenfalls eine Schätzung des Reibwerts liefern, aber ausreichend belastbar zur Nutzung in einem sicherheitskritischen System ist diese Information sicher nicht. In [MÜLLER, 2017, S. 147] wird ein exemplarisch aufgebautes Schätzsystem dargestellt, das eine verbleibende Unsicherheit für den dimensionslosen Reibwert μ von 0,29 erreicht.

Sowohl aus der Beibehaltung der Eingriffszeiten als auch aus der fehlenden prospektiven Reibwertbestimmung ergibt sich, dass eine Anpassung der Regelkriterien als nicht machbar eingeschätzt wird.

Die Bestimmung von technisch möglichen Geschwindigkeitsreduktionen, basierend auf Bremsingriffszeiten auf trockener Straße, auch für nasse und winterliche Fahrbahnen ist dennoch sinnvoll, um abschätzen zu können, inwieweit die bisher in Regelung UN R 131 nur für einen einzigen Arbeitspunkt definierten Bestehenskriterien bei nasser Fahrbahn zu relativieren wären.

Ziel

- Ermittlung der möglichen Geschwindigkeitsreduktion als Funktion von Ausgangs- und Zielobjektgeschwindigkeit unter der Annahme nasser und winterlicher Fahrbahn (Reibwerte gemessen bei manuell ausgelösten Vollbremsungen).

2.4 Versuchsfahrzeug

Aus der Ableitung von Zielen und Methodik ergibt sich, dass ein Versuchsfahrzeug zur Bestimmung von Fehlwarnungen und Fehlbremssungen im Realverkehr sowie zur Bestimmung der möglichen Ge-



Bild 1: Versuchsfahrzeug Mercedes-Benz Antos 1833
(Quelle: BAST)

schwindigkeitsreduktion eines modernen Notbremssystems erforderlich ist.

Versuchsfahrzeug ist der in Bild 1 dargestellte Lkw „Mercedes Antos 1833“, ausgerüstet mit dem optionalen Bremssystem ABA4. Das Fahrzeug wurde regulär angemietet und bei der BAST mit folgender Messtechnik ausgerüstet:

- GeneSys ADMA GPS und Inertialmesssystem (Geschwindigkeitsgenauigkeit ca. 0,1 km/h),
- Omron Prototypen-Abstandssensor nach Messprinzip LIDAR (ohne Genauigkeitsangabe, aber auf Plausibilität geprüft anhand der im Fahrzeug vorhandenen Abstandsangabe),
- zur Messtechnik synchronisierte Kamera,
- Gerät zur Detektion des Warngeräuschs (Audio-Trigger),
- Taster zur Markierung von relevanten Fahrsituationen während der Fahrt.

Der Verbau der Messtechnik und das für die Nachstellung kritischer Fahrsituationen genutzte Zielobjekt (als Zielobjekt kam das in der BAST vorhandene 2D-Zielobjekt EuroNCAP-Vehicle-Target zum Einsatz⁹) sind in Bild 2 dargestellt. Alle Versuche wurden mit leerem Fahrzeug – also ohne Ballast – durchgeführt.

⁹ [Euro NCAP, 2015]

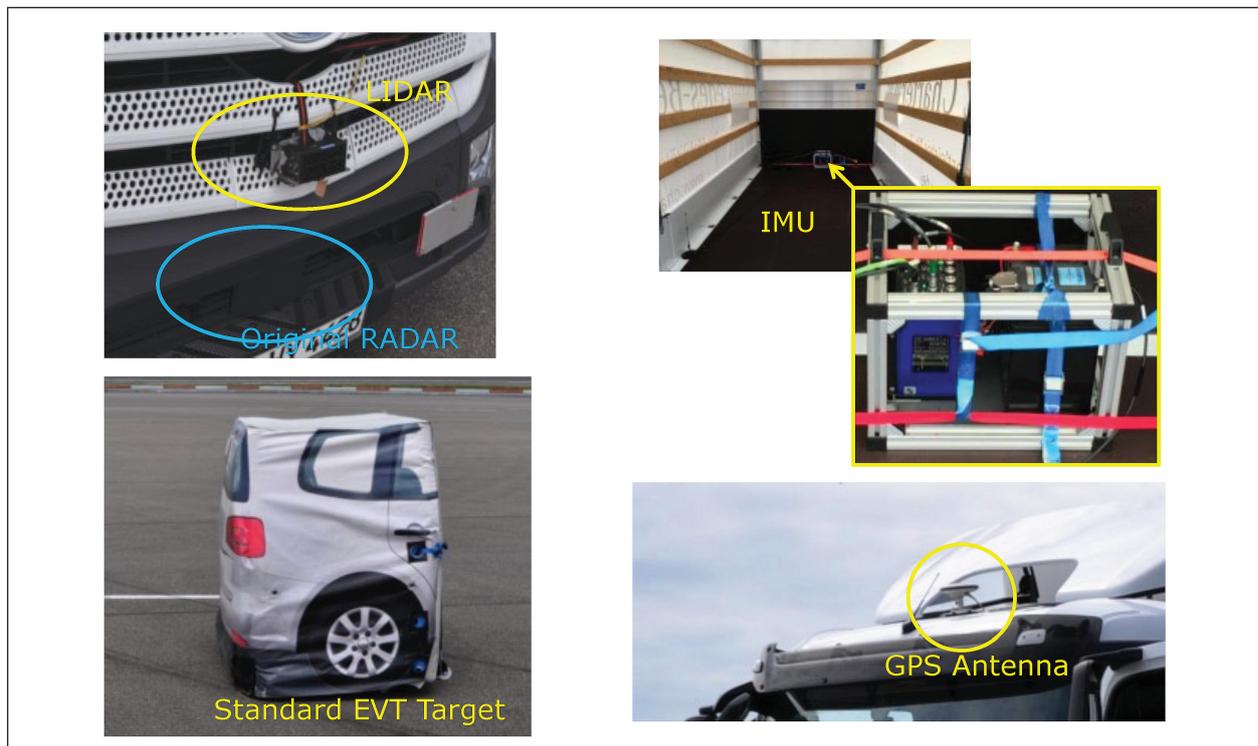


Bild 2: Verbau der Messtechnik (oben links: Abstandssensor LIDAR; oben rechts: Inertialmesseinheit; unten rechts: Antenne des GPS-Systems; unten links: Zielobjekt) (Quelle: BAST)

3 Geschwindigkeitsreduktion

Ziel

- Ermittlung der zu fordernden Geschwindigkeitsreduktion als Funktion von Ausgangs- und Zielobjektgeschwindigkeit unter der Annahme trockener Fahrbahn.

Dazu

- Bestimmung von Brems- und Warnzeitpunkten eines üblichen Lkw,
- Ableitung möglicher Geschwindigkeitsreduktion.

3.1 Geschwindigkeitsreduktion auf trockener Fahrbahn

Ziel dieses Kapitels ist es, zu bestimmen, welche Geschwindigkeitsreduktionen und welche Warnzeitpunkte bestenfalls gefordert werden könnten, also ohne Berücksichtigung von technischen (Sensorreichweite) oder wirtschaftlichen (Sensorkosten) Aspekten. Insbesondere soll hier auch herausgearbeitet werden, wie häufige Fehlwarnungen vermieden werden können – beispielsweise durch die Vorgabe, dass Bremsengriffe nur dann erfolgen soll-

ten, wenn ein Unfall durch ein Ausweichmanöver nicht mehr realistisch vermieden werden kann.

3.1.1 Dynamik des Brems- und Ausweichvorgangs

Die folgenden Ausführungen dieses Kapitels basieren auf [SEINIGER, 2013] und sind hier entsprechend für die Verhältnisse am Lkw angepasst.

Die Mechanik des Bremsvorgangs – insbesondere im Hinblick auf Notbremssysteme – ist von WINNER¹⁰ ausführlich hergeleitet und dargelegt. Sie soll an dieser Stelle zunächst kurz zusammengefasst werden:

Eine übliche Messgröße zum Beurteilen der Gefahrensituation ist die Zeit, die unter Annahme einer gleichförmigen Bewegung von Zielfahrzeug und Egofahrzeug (beide auf derselben Trajektorie) bis zur Kollision verbleiben würde:

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

¹⁰ [WINNER, 2012], S. 522 ff.

mit

TTC Time-to-Collision

Δx Abstand zwischen Ego- und Zielfahrzeug

Δv Geschwindigkeitsdifferenz

Eine konstante Bewegung der beiden Fahrzeuge kann für alle definierten Testszenarien (außer dem Szenario „Bremsendes Zielfahrzeug“) bis zum ersten Bremsenriff vorausgesetzt werden.

Ab dem Einsetzen einer Bremsung des Ego-Fahrzeugs kann dann nicht mehr mit simplen TTC-Berechnungen gearbeitet werden, da sich durch die Bremsverzögerung nicht nur die Geschwindigkeiten ändern, sondern auch die zur Verfügung stehende Zeit kontinuierlich vergrößert. Die TTC, die zum vollständigen Abbau der Relativgeschwindigkeit zur Verfügung stehen muss, ohne dass es zu einer Kollision kommt, ist

$$TTC_{Abbau} = \frac{\Delta v_0}{2 \cdot |a|} \quad (2)$$

mit

Δv_0 Geschwindigkeitsdifferenz zum Bremsbeginn

a Verzögerung

Reicht die noch verfügbare TTC nicht für eine Vermeidung aus, gilt folgende Gleichung:

$$\Delta v_{Rest} = \sqrt{\Delta v_0^2 - 2 \cdot |a| \cdot TTC_{verfügbar} \cdot \Delta v_0} \quad (3)$$

Ein Unfall ist aber auch dann vermieden, wenn es gelingt, den seitlichen Versatz zwischen beiden

Fahrzeugen so zu vergrößern, dass keine Überlapung mehr besteht (und dafür ausreichend Platz zur Verfügung steht). Vereinfacht ist die Querbewegung beschrieben durch

$$\Delta y = \iint \ddot{y} dt^2 + y_0 \quad (4)$$

mit

Δy seitl. Versatz

y_0 seitl. Versatz zu Beginn der Querbewegung

Für eine maximale Querbewegung von Lkw von 0,3 g bei (übliche Kippgrenze schwerer Lkw) ergibt sich die zum Ausweichen mindestens erforderliche Zeit zu

$$t = \sqrt{2} \cdot \sqrt{\frac{(y_{erforderlich} - y_0)}{0,3 \cdot g}} \quad (5)$$

Für eine Ausgangssituation mit voller Überdeckung der beiden Fahrzeuge und einer Fahrzeugbreite von 2,55 m ist die minimale Ausweichzeit etwa 1,3 Sekunden. Für den Fall einer 50%igen Überdeckung ist die minimale Ausweichzeit immer noch gut 0,9 Sekunden.

Einschränkend gelten diese Werte nur für den Fall eines Notausweichens, bei dem die Trajektorie des Ausweichenden nach erfolgreicher Vermeidung des Hindernisses irrelevant ist. Für den Fall eines regulären Spurwechsels, also bei Beibehaltung der ursprünglichen Orientierung nach dem Ausweichvorgang, steigen die Ausweichzeitpunkte an (siehe Bild 3).

In diesem Fall ergibt sich unter Ausnutzung von Symmetrieeffekten:

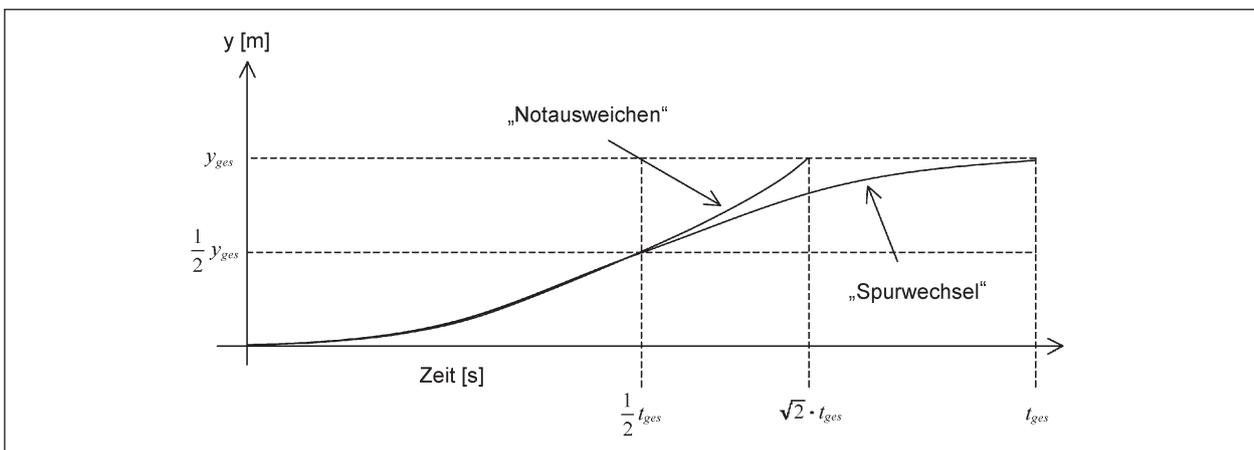


Bild 3: Ausweichvorgang als kompletter einfacher Spurwechsel

$$t_{ges} = 2 \cdot \sqrt{\frac{y_{ges}}{0,3 \cdot g}} \quad (6)$$

Die Ausweichzeiten steigen also unter der Annahme eines vollständigen Spurwechsels generell um den Faktor $\sqrt{2} \approx 1,4$ an, von 0,9 s auf 1,3 s (bei halber Überdeckung) und von 1,3 s auf 1,8 s (bei voller Überdeckung).

3.1.2 Anforderungen an Warnzeitpunkte

Geeignete Warnzeitpunkte sollten so gelegt sein, dass der Fahrer bei Befolgen einer Warnung den Unfall noch vermeiden kann, dass die Warnung aber auch nicht zu früh ausgelöst wird. Zu beachten ist, dass Falschwarnungen das Vertrauen des Fahrers in ein Sicherheitssystem stark beeinträchtigen.¹¹

Eine Warnung sollte also so ausgelöst werden, dass mit üblichen Reaktionszeiten und Vollverzögerung ein Unfall vermieden werden kann – entweder so, dass der Unfall mit üblicher Reaktionszeit von etwa 1,4 Sekunden¹² und folgendem Ausweichmanöver vermieden wird, oder so, dass der Unfall mit 1,4 Sekunden Reaktionszeit und der je nach Geschwindigkeit erforderlichen Bremszeit nach dem Vollbremsmanöver vermieden wird.

Eine Warnung sollte aber dann nicht erfolgen, wenn der Unfall durch eine übliche Verzögerung (von beispielsweise 3 m/s²) vermieden werden könnte – dann allerdings ohne Berücksichtigung der Reaktionszeit, weil ein geplantes Verhalten, das keine Reaktion auf ein externes Ereignis erfordert, unterstellt werden würde.

3.1.3 Mögliche Geschwindigkeitsreduktion und mögliche Warnzeitpunkte

Mit diesen Grundüberlegungen lassen sich erwartete Warn- und Bremszeitpunkte im Geschwindigkeits-TTC-Diagramm (Bild 4) eingrenzen.

Unterhalb der Kurve A wird ein Unfall durch eine Bremsverzögerung von 3 m/s² problemlos vermieden. In diesem Bereich sollte ein den Erwartungen

entsprechendes Bremssystem daher nicht eingreifen und auch nicht warnen, um den Fahrer nicht in seinem geplanten Verhalten zu stören.

Unterhalb der Kurve B ist ein Unfall nur noch durch Vollverzögerung (hier 8 m/s²: eigene Messungen der Fahrzeugverzögerung auf trockener Fahrbahn) vermeidbar. Wird die Vollverzögerung als Reaktion auf eine Warnung eingeleitet, ist der Unfall vermeidbar, wenn die Warnung unterhalb der Kurve B' erfolgt – dann ist auch nach einer Reaktionszeit von 1,4 Sekunden Vermeidung durch Vollverzögerung möglich.

Ein Unfall ist durch Ausweichen physikalisch nur rechts der Geraden C (für volle Überdeckung) beziehungsweise D (für halbe Überdeckung) vermeidbar. Diese Geraden sind im Diagramm senkrecht, weil die Ausweichzeit im Wesentlichen unabhängig von der Fahrgeschwindigkeit ist.. Praktisch ist allerdings nicht zu erwarten, dass diese physikalischen Grenzen von realen Fahrern noch erreicht werden [WINNER, 2012]. Unter Berücksichtigung eines vollständigen Spurwechsels, wie in Gleichung (6) beschrieben, ist ein Ausweichen noch rechts der Geraden D' (für 50 % Überdeckung) oder C' (für 100 % Überdeckung) möglich.

Ein geeigneter Bereich für eine Warnung liegt daher innerhalb des durch die Geraden A und B' begrenzten Bereichs.

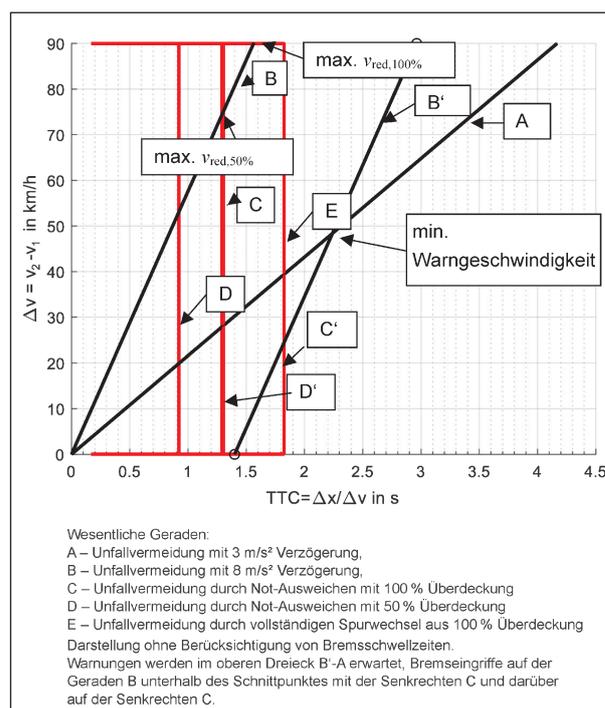


Bild 4: Zielbereich erwarteter Warnungen (nach [14], S. 538 f.)

¹¹ [MAGES, 2008], S. 7

¹² Abgeleitet aus der in UN R 131 geforderten Mindestwarnzeit.

Zu beachten ist, dass unterhalb einer Relativgeschwindigkeit von etwa 48 km/h eine Warnung unter den vorausgesetzten Randbedingungen schwierig darstellbar ist – die Reaktionszeit ist dann deutlich größer als die Zeit, die übliche Fahrer für eine Bremsung benötigen. Das heißt, wollte man bei dieser Relativgeschwindigkeit einer automatischen Notbremsung eine Warnung zur Einbindung des Fahrers vorschalten, käme diese entweder oft viel zu früh und würde stören, weil Bremsen oder Fahrstreifenwechsel geplant war oder sie wäre im Falle der späten Warnung sinnlos, weil das System schon innerhalb der Reaktionszeit des Fahrers anfangs automatisch notzubremsen (im letzteren Fall hätte die Warnung nur die Funktion der Untermauerung der Vollbremsung).

Nach den Herleitungen aus Kapitel 3.1.1 erscheint eine Vermeidbarkeit von Unfällen durch automatischen und idealen Bremseneingriff bis zu einer Geschwindigkeitsdifferenz jenseits der 90 km/h bei zunächst voller Überdeckung mit dem Zielfahrzeug denkbar, da unterhalb dieser Relativgeschwindigkeit ein Bremseneingriff später erfolgen kann als ein Ausweichen durch übliche Fahrer (vollständiger Spurwechsel, 1,8 s). Tatsächlich zeigen ausgeführte Bremssysteme, dass Relativgeschwindigkeiten bis zu 80 km/h unfallvermeidend und automatisch abgebaut werden können. Diese Systeme sind in nicht unerheblicher Zahl verkauft worden¹³, sodass davon ausgegangen werden kann, dass keine Beeinträchtigung des Fahrenden besteht¹⁴.

Überdecken sich das zu bremsende Fahrzeug und das Zielfahrzeug nur zu 50 %, so wäre bei einem eventuellen Ausweichvorgang eine entsprechend geringere seitliche Abweichung vorzunehmen. Eine Vermeidbarkeit bis zu einer Relativgeschwindigkeit von 75 km/h durch ein ideales Bremssystem erscheint dennoch möglich.

Diesen Zahlenwerten liegen folgende Annahmen zugrunde:

- **Ein automatischer Bremseneingriff sollte erst dann einsetzen, wenn ein Ausweichen durch einen typischen Fahrer nicht mehr zur Vermeidung eines Unfalls ausreicht.**
- Die Bremsverzögerung des Lkw liegt bei 8 m/s^2 und wird **ohne Zeitverzögerung** (Ansprechverhalten) aufgebaut (Begründung für 8 m/s^2 : eigene Messungen der Fahrzeugverzögerung auf trockener Fahrbahn).
- Die durch übliche Fahrer erreichbare Querbewegung liegt bei 3 m/s^2 und wird ohne Zeitverzögerung (Ansprechverhalten) aufgebaut (Begründung für 3 m/s^2 : höhere Querbewegungen können aufgrund der Schwerpunktlage von Lkw zu Kippen beziehungsweise einem Eingriff der Stabilitätsregelung führen).
- Die Reaktionszeit eines typischen Fahrers, die bei der Planung der Warnzeitpunkte berücksichtigt werden muss, liegt bei etwa 1,4 Sekunden (ableitbar aus den in der derzeitigen Fassung der Regelung UN R 131 angegebenen 1,4 Sekunden zwischen Fahrerwarnung und Bremsbeginn für den Fall konstanter Geschwindigkeiten).

Der Einfluss der Annahmen auf die angegebenen Zahlenwerte ist:

- Eine sinkende maximale Bremsverzögerung (z. B. kleiner als 8 m/s^2) führt zu einem flacheren Anstieg der Geraden B und damit einer **geringeren erreichbaren Geschwindigkeitsreduktion** für beide Fälle.
- Eine Berücksichtigung des Ansprechverhaltens führt für größere Geschwindigkeiten zu einer Parallelverschiebung der Geraden B und damit ebenfalls zu einer **geringeren erreichbaren Geschwindigkeitsreduktion**.
- Eine sinkende maximal erreichbare Querbewegung verschiebt die Senkrechten C und D in Richtung höherer Zahlenwerte, sodass deren Schnittpunkt mit der Geraden B zu höheren Geschwindigkeiten verschoben wird und entsprechend die **erreichbare Geschwindigkeitsreduktion steigt**.
- Eine Verzögerung des Aufbringens der Querbewegung, beispielsweise durch Berücksichtigung von Ansprechverhalten in der Lenkung oder beim Aufbringen des Lenkwinkels durch den Fahrer, führt ebenfalls zu einer Verschiebung der Senkrechten C und D, als Konsequenz

¹³ Das System EBA2 von MAN ist in der Lage, aus 80 km/h Differenzgeschwindigkeit bis zum Stillstand zu bremsen. Es ist seit 2015 in allen Fahrzeugen der Baureihe TG verbaut. Quelle: <https://www.eurotransport.de/themen/alles-was-sie-ueber-den-notbremsassistenten-von-man-wissen-muessen-10387586.html>, Abruf am 17.4.2019.

¹⁴ Es ist nach Aussagen von Fahrzeugherstellern auch kein permanentes oder häufiges Abschalten dieser Systeme im realen Verkehr festgestellt worden.

zu einer möglichen Bremsung bei höheren TTC-Werten (also früher!) und damit zu einer **höheren erreichbaren Geschwindigkeitsreduktion**.

- Eine geringere Fahrerreaktionszeit als die hier angenommenen 1,4 Sekunden (s. o.) verschieben die Grenzgeschwindigkeit, bis zu der eine Fahrerwarnung sinnvoll ist, hin zu geringeren Geschwindigkeiten.

Ganz entscheidende Einflussfaktoren auf die erreichbare Geschwindigkeitsreduktion sind die mögliche **Längsverzögerung** und deren **Ansprechzeit** bei automatischer Bremsung.

Dieses Kapitel hat gezeigt, dass sich sowohl Warnzeitpunkte als auch Bremszeitpunkte aus der Fahrdynamik ableiten lassen: Bremszeitpunkte basierend auf Relativgeschwindigkeit und für die Abbremsung notwendiger Zeit, Warnzeitpunkte aus der Addition der Reaktionszeit.

Eine Limitierung der Geschwindigkeitsreduktion während einer Warnphase, wie sie derzeit in Regelung UN R 131 vorgesehen ist¹⁵, lässt sich aus diesen Überlegungen nicht für den niedrigen Geschwindigkeitsbereich begründen. **Besser wäre es daher, diese Limitierung dafür aus der Vorschrift zu streichen**. Sie gilt formal ohnehin nur für den Testfall mit 80 km/h Fahrgeschwindigkeit.

3.1.4 Realistisch erreichbare Geschwindigkeitsreduktion

Die in Kapitel 3.1.1 bis 3.1.3 herausgearbeitete Geschwindigkeitsreduktion gilt nur unter der Einschränkung, dass Brems- und auch Querbeschleunigung unverzüglich aufgebracht werden. Wenn davon abgewichen wird, verwandeln sich die Geraden B und B' aus Bild 4 in Kurven, siehe Bild 5 (angenommen: Ansprechzeit von Bremsen und Reifen pauschal 0,1 Sekunden, Bremsdruckaufbau bei automatischer Bremsung mit 10 m/s^3 , bei manueller geplanter Bremsung von 3 m/s^3). Es zeigt sich, dass die erreichbare Geschwindigkeitsreduktion unter der Annahme eines Bremsengriffs nach Verstreichen der Ausweichzeit

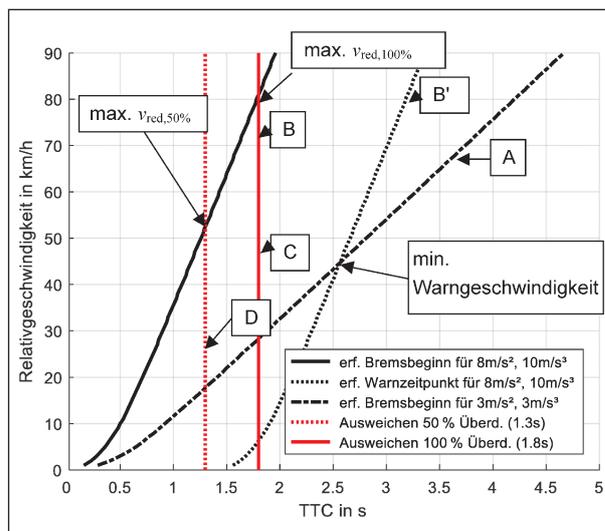


Bild 5: Brems- und Warnzeitpunkte unter Annahme realistischer System- und Fahrereigenschaften. Ausweichzeiten aus Kapitel 3.1.1 bis Kapitel 3.1.3 für vollständigen Spurwechsel (NICHT für reines Ausweichen) gewählt

- für volle Überdeckung bei etwa 80 km/h liegt,
- bei halber Überdeckung bei etwa 52 km/h.
- Warnungen an den Fahrer sind nur oberhalb von etwa 43 km/h sinnvoll, um Unfälle zu vermeiden.

Diese Betrachtung deckt sich mit der Beobachtung, dass ausgeführte Lkw-Notbremssysteme in der Lage sind, bis zu 80 km/h Relativgeschwindigkeit Unfälle zu vermeiden, und zeigt, dass für ausgeführte Systeme in der Praxis offensichtlich die Ausweichzeiten des vollständigen Spurwechsels relevant sind.

3.1.5 Vergleich der Modellvorstellung mit Messdaten

Es wurden mit dem in Kapitel 2.4 beschriebenen Mercedes-Benz Antos Notbremsversuche auf ein ebenfalls dort beschriebenes stehendes Zielobjekt durchgeführt, anhand derer die Warnzeitpunkte (für Geschwindigkeiten 20 bis 70 km/h) und automatisch erreichten Geschwindigkeitsreduktionen (50 bis 90 km/h) bestimmt werden können.

Ein Vergleich der Messwerte mit der in Kapitel 3.1.1 bis Kapitel 3.1.4 erarbeiteten Modellvorstellung des Lkw-Notbremsvorgangs zeigt, dass die Annahmen im Wesentlichen zutreffen (siehe auch Bild 6):

- Es wurden weder Fahrerwarnungen (im Diagramm als Pentagrame dargestellt) noch Teilbremsungen (erkennbar am leichten Abfall der

¹⁵ "Any speed reduction during the warning phase, shall not exceed either 15 km/h or 30 per cent of the total subject vehicle speed reduction, whichever is higher" (6.4.2.3, UN R131, Revision 1).

Fahrgeschwindigkeit) oberhalb der Linie, die eine Fahrerbremsung mit 3 m/s^2 und 3 m/s^3 kennzeichnet, beobachtet. Vielmehr liegen die Warnungen teilweise exakt auf dieser Linie.

- Die Linie, ab der eine Vollbremsung eingesteuert werden muss, um einen Unfall vermeiden zu können, wird nur wenig überschritten. Dies ist in diesem Fall möglich, weil das Fahrzeug die Linie bereits mit einer Teilbremsung erreicht, es genügt daher eine kürzere Zeit für den Bremsdruckaufbau.
- Die ermittelten Geschwindigkeitsreduktionen decken sich mit den von [RIGLING, 2017] in vergleichbaren Situationen gemessenen Geschwindigkeitsreduktionen ähnlicher Fahrzeuge (MAN, Daimler: 80 km/h auf stehendes Ziel, Volvo: 70 km/h auf stehendes Ziel).
- Eine Verzögerung von $7 - 8 \text{ m/s}^2$ ist durch heutige Lkw auf trockener Fahrbahn im Neuzustand erreichbar (eigene Messung: 8 m/s^2 ; in [RIGLING, 2017] wurden ebenfalls Verzögerungen zwischen 7 und 8 m/s^2 beobachtet, in [IRZIK, 2016, S. 50]) ließen sich bei Fahrzeugen im Betrieb und auf realen Fahrbahnen Verzögerungen von 7 m/s^2 beobachten).

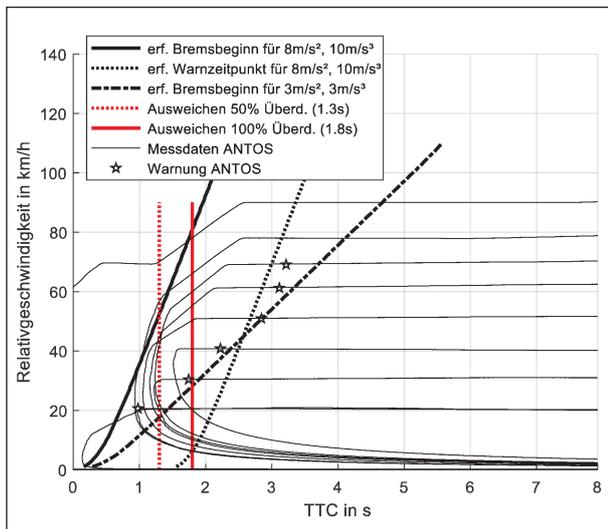


Bild 6: Modellvorstellung aus Kapitel 3.1.3 und Messdaten aus Notbremsversuchen auf ein stehendes Fahrzeug-Ersatzobjekt, Versuchsfahrzeug Mercedes ANTOS 1833, leer (für Anfangsgeschwindigkeiten 30 und 40 km/h wurde die Bremsung nach Fahrerwarnung manuell durchgeführt; diese Fahrten sind dennoch abgebildet, um den Warnzeitpunkt zu zeigen)

Es zeigt sich, dass bei geringeren Geschwindigkeiten als 45 km/h dennoch Warnungen ausgelöst werden, obgleich es einem menschlichen Fahrer schwerfallen würde, noch entsprechend zu reagieren.

3.1.6 Mögliche Geschwindigkeitsreduktion bei nicht mehr vermeidbaren Unfällen

Aus der Überlegung, dass ein Bremsengriff erst dann stattfinden sollte, wenn der Unfall durch einen vollständigen Spurwechsel nicht mehr vermieden werden kann, leitet sich eine (weitestgehend geschwindigkeitsunabhängige) Bremsengriffszeit ab $1,8$ Sekunden Time-To-Collision ab. Oberhalb von 73 km/h (bei 7 m/s^2) reicht diese Eingriffszeit nicht mehr aus, um einen Unfall bei erst dann einsetzender Vollverzögerung vollständig zu vermeiden. Aus Gleichung (3) ergibt sich, dass die Geschwindigkeitsreduktion dann nicht konstant bleibt, sondern ebenfalls sinkt. Numerisch errechnet mit den für das Fahrzeug angenommenen Parametern Verzögerung 7 m/s^2 und Verzögerungsgradient 10 m/s^3 ergibt sich der in Bild 7 dargestellte Verlauf der Geschwindigkeitsreduktion als Funktion der Ausgangs-Relativgeschwindigkeit.

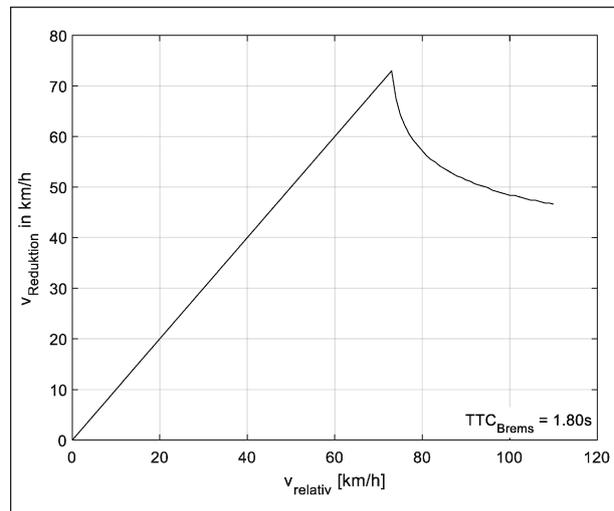


Bild 7: Erreichbare Geschwindigkeitsreduktion, basierend auf einem Bremsengriff ab $TTC = 1,8$ Sekunden, maximaler Verzögerung von 7 m/s^2 , aufgebaut mit einem Gradienten von 10 m/s^3 . Vermieden werden Unfälle noch bis zu einer Relativgeschwindigkeit von 73 km/h . Bei 80 km/h beträgt die Geschwindigkeitsreduktion noch $57,2 \text{ km/h}$, bei 100 km/h Ausgangsgeschwindigkeit $48,4 \text{ km/h}$, bei 110 km/h Ausgangsgeschwindigkeit $46,6 \text{ km/h}$ (höhere Geschwindigkeitsbereiche sind relevant für schnellfahrende Busse)

3.1.7 Realistische technische Anforderungen an ein automatisches Notbremssystem unter idealen Bedingungen

Dieses Kapitel fasst die bisherigen Überlegungen und Erkenntnisse zur Leistungsfähigkeit und zu den Grenzen von Notbremssystemen zusammen und leitet Anforderungen an Bremssysteme für ideale Bedingungen ab.

Folgende Annahmen sollen gelten:

- Eine Verzögerung von mindestens 7 m/s^2 ist durch heutige Lkw auf trockener Fahrbahn im Neuzustand erreichbar (spätester Warnzeitpunkt gerechnet für 8 m/s^2).
- Diese Verzögerung kann durch übliche Lkw mit einem Gradienten von 10 m/s^2 erreicht werden. Es wird also eine Zeitdauer von 0,7 Sek zum Erreichen der Verzögerung von 7 m/s^2 angesetzt.

Prüfgeschwindigkeit v_0 [km/h]	Reduktion um v_{Red} [km/h]	Spätester Warnzeitpunkt	Frühester Warn- und Bremszeitpunkt
10	10 (Vermeidung)	– (Keine Warnung erforderlich)	TTC = 1 s
20	20 (Vermeidung)	– (Keine Warnung erforderlich)	TTC = 1,5 s
30	30 (Vermeidung)	– (Keine Warnung erforderlich)	TTC = 2 s
40	40 (Vermeidung)	– (Keine Warnung erforderlich)	TTC = 2,4 s
50	50 (Vermeidung)	TTC = 2,6 s	TTC = 2,9 s
60	60 (Vermeidung)	TTC = 2,8 s	TTC = 3,3 s
70	70 (Vermeidung)	TTC = 3 s	TTC = 3,8 s
80	57,2 (Kollision)	TTC = 3,1 s	TTC = 4,2 s
90	51,4 (Kollision)	TTC = 3,3 s	TTC = 4,7 s
100	48,4 (Kollision) ¹	TTC = 3,5 s	TTC = 5,2 s
110	46,6 (Kollision)	TTC = 3,6 s	TTC = 5,6 s

¹ Ab hier besondere Anforderungen an die Prüfmittel, derzeit beträgt die maximale Kollisionsgeschwindigkeit üblicher Zielobjekte nicht mehr als 50 km/h

Tab. 2: Anforderungen an Geschwindigkeitsreduktion, Warn- und Bremszeitpunkte für ein technisch machbares Notbremssystem auf trockener Fahrbahn bei vollständiger Überdeckung mit dem stehenden Zielobjekt und Geradeausfahrt (seitliche Abweichung der Mittenachsen jederzeit kleiner als $\pm 50 \text{ cm}$). Für Prüfgeschwindigkeiten außerhalb der Stützstellen ist bis zur Vermeidungsgeschwindigkeit und wieder ab der Vermeidungsgeschwindigkeit eine lineare Interpolation ausreichend

Prüfgeschwindigkeit v_0 [km/h]	Reduktion um v_{Red} [km/h]	Spätester Warnzeitpunkt	Frühester Warn- und Bremszeitpunkt
10	10 (Vermeidung)	– (Keine Warnung erforderlich)	TTC = 1 s
20	20 (Vermeidung)	– (Keine Warnung erforderlich)	TTC = 1,5 s
30	30 (Vermeidung)	– (Keine Warnung erforderlich)	TTC = 2 s
40	40 (Vermeidung)	– (Keine Warnung erforderlich)	TTC = 2,4 s
50	41,1 (Kollision)	TTC = 2,1 s	TTC = 2,9 s
60	33,8 (Kollision)	TTC = 2,3 s	TTC = 3,3 s
70	31 (Kollision)	TTC = 2,5 s	TTC = 3,8 s
80	29,7 (Kollision) ¹	TTC = 2,6 s	TTC = 4,2 s
90	28,7 (Kollision)*	TTC = 2,7 s	TTC = 4,7 s
100	28,2 (Kollision)*	TTC = 3 s	TTC = 5,2 s
110	27,7 (Kollision)*	TTC = 3,1 s	TTC = 5,6 s

¹ Ab hier besondere Anforderungen an die Prüfmittel, derzeit beträgt die maximale Kollisionsgeschwindigkeit üblicher Zielobjekte nicht mehr als 50 km/h

Tab. 3: Anforderungen an Geschwindigkeitsreduktion, Warn- und Bremszeitpunkte für ein technisch machbares Notbremssystem auf trockener Fahrbahn bei Teilüberdeckung mit dem Zielobjekt und Geradeausfahrt (seitliche Abweichung der Mittenachsen mindestens zu einem Zeitpunkt größer als $\pm 50 \text{ cm}$). Für Prüfgeschwindigkeiten außerhalb der Stützstellen ist bis zur Vermeidungsgeschwindigkeit und wieder ab der Vermeidungsgeschwindigkeit eine lineare Interpolation ausreichend

- (Voll-)Bremseingriffe erfolgen frühestens zum Zeitpunkt $TTC = 1,8$ Sekunden, da ab diesem Zeitpunkt nicht mehr von einer realistischen Vermeidbarkeit eines Unfalls durch Lenken ausgegangen werden kann.

Unter diesen Randbedingungen können die in Tabelle 2 zusammengefassten Werte erreicht werden.

Für Abweichungen von der vollen Überdeckung (beispielsweise Überdeckung lediglich 50 % der Fahrzeugbreite) gelten andere Ausweichzeiten (eine Vollbremsung wäre bei Überdeckung von 50 % der Fahrzeugbreite ab 1,3 s TTC gerechtfertigt, denn bis zu diesem Zeitpunkt sind vollständige Spurwechsel bei dieser Überdeckung noch möglich). Die erreichbaren Geschwindigkeitsreduktionen sinken dadurch, und auch die spätesten Warnzeitpunkte sind um 0,5 Sekunden verringert, siehe Tabelle 3.

3.2 Geschwindigkeitsreduktion auf nicht-trockener Fahrbahn

Ziel

Ermittlung der zu fordernden Geschwindigkeitsreduktion als Funktion von Ausgangs- und Zielobjektgeschwindigkeit unter der Annahme nasser und winterlicher Fahrbahn.

Auf nassen Fahrbahnen ist die übertragbare Längsverzögerung stark eingeschränkt. Bei einer für schlechte Bedingungen angenommenen möglichen Längsverzögerung von 4 m/s^2 (z. B. nasses Kopfsteinpflaster nach [BREUER, 1997, S. 205]), erreicht mit dem bekannten Gradienten 10 m/s^3 und voller Überdeckung, ergibt sich unter Beibehaltung der Bremszeitpunkte¹⁶ die in Bild 8 dargestellte Geschwindigkeitsreduktion.

Eine Vermeidung eines Unfalls ist nur bis zu Relativgeschwindigkeiten knapp über 45 km/h möglich.

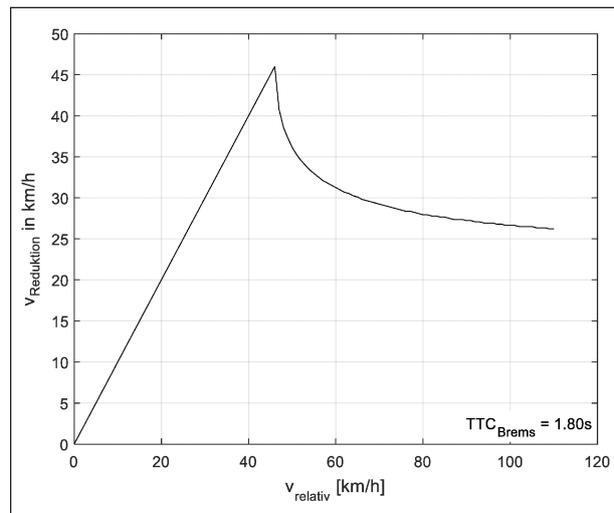


Bild 8: Erreichbare Geschwindigkeitsreduktion, basierend auf einem Bremsingriff ab $TTC = 1,8$ Sekunden (volle Überdeckung), maximaler Verzögerung von 4 m/s^2 (erwartete Verzögerung auf nasser Fahrbahn), aufgebaut mit einem Gradienten von 10 m/s^3

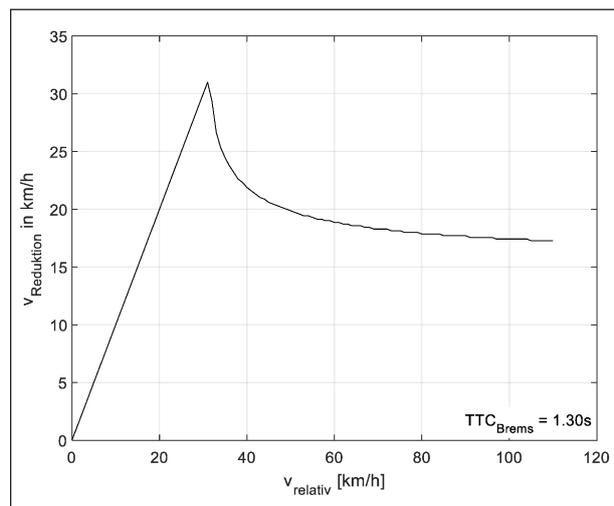


Bild 9: Erreichbare Geschwindigkeitsreduktion, basierend auf einem Bremsingriff ab $TTC = 1,3$ Sekunden (halbe Überdeckung), maximaler Verzögerung von 4 m/s^2 (erwartete Verzögerung auf nasser Fahrbahn), aufgebaut mit einem Gradienten von 10 m/s^3

Für Teilüberdeckung reduziert sich die mögliche Geschwindigkeitsreduktion auf maximal 31 km/h (siehe Bild 9).

Denkbar sind dann die in Tabelle 4 (volle Überdeckung) und Tabelle 5 (Teilüberdeckung) dargestellten Anforderungen an die Geschwindigkeitsreduktion im Sinne einer Anpassung der Regelung UN R 131.

¹⁶ Das Ausweichverhalten von Lkw ist weniger durch den Querreibwert eingeschränkt als durch das Kippverhalten; Kippen kann bei Lkw bereits bei Querbeschleunigungen von 3 m/s^2 auftreten. Auch auf der angenommenen nassen Fahrbahn mit $\mu = 0,4$ lässt sich problemlos eine Querbeschleunigung von 3 m/s^2 erreichen. Eine Beibehaltung der Bremszeitpunkte ist daher gerechtfertigt.

Prüfgeschwindigkeit v_0 [km/h]	Reduktion um v_{Red} [km/h]	Spätester Warnzeitpunkt	Frühester Warn- und Brems- zeitpunkt
10	10 (Vermeidung)	– (Keine Warnung erforderlich)	TTC = 1 s
20	20 (Vermeidung)	– (Keine Warnung erforderlich)	TTC = 1,5 s
30	30 (Vermeidung)	– (Keine Warnung erforderlich)	TTC = 2 s
40	40 (Vermeidung)	– (Keine Warnung erforderlich)	TTC = 2,4 s
50	35 (Kollision)	TTC = 2,6 s	TTC = 2,9 s
60	30 (Kollision)	TTC = 2,8 s	TTC = 3,3 s
70	27 (Kollision)	TTC = 3 s	TTC = 3,8 s
80	25 (Kollision) ¹	TTC = 3,1 s	TTC = 4,2 s
90	25 (Kollision)	TTC = 3,3 s	TTC = 4,7 s
100	25 (Kollision)	TTC = 3,5 s	TTC = 5,2 s
110	25 (Kollision)	TTC = 3,6 s	TTC = 5,6 s

¹ Ab hier besondere Anforderungen an die Prüfmittel, derzeit beträgt die maximale Kollisionsgeschwindigkeit üblicher Zielobjekte nicht mehr als 50 km/h

Tab. 4: Anforderungen an Geschwindigkeitsreduktion, Warn- und Bremszeitpunkte für ein technisch machbares Notbremssystem **auf nasser Fahrbahn bei vollständiger Überdeckung** mit dem Zielobjekt und Geradeausfahrt (seitliche Abweichung der Mittenachsen jederzeit kleiner als ± 50 cm). Für Prüfgeschwindigkeiten außerhalb der Stützstellen ist bis zur Vermeidungsgeschwindigkeit und wieder ab der Vermeidungsgeschwindigkeit eine lineare Interpolation ausreichend

Prüfgeschwindigkeit v_0 [km/h]	Reduktion um v_{Red} [km/h]	Spätester Warnzeitpunkt	Frühester Warn- und Brems- zeitpunkt
10	10 (Vermeidung)	– (Keine Warnung erforderlich)	TTC = 1 s
20	20 (Vermeidung)	– (Keine Warnung erforderlich)	TTC = 1,5 s
30	30 (Vermeidung)	– (Keine Warnung erforderlich)	TTC = 2 s
40	20 (Kollision)	– (Keine Warnung erforderlich)	TTC = 2,4 s
50	20 (Kollision)	TTC = 2,1 s	TTC = 2,9 s
60	18 (Kollision)	TTC = 2,3 s	TTC = 3,3 s
70	15 (Kollision) ¹	TTC = 2,5 s	TTC = 3,8 s
80	15 (Kollision)	TTC = 2,6 s	TTC = 4,2 s
90	15 (Kollision)	TTC = 2,7 s	TTC = 4,7 s
100	15 (Kollision)	TTC = 3 s	TTC = 5,2 s
110	15 (Kollision)	TTC = 3,1 s	TTC = 5,6 s

¹ Ab hier besondere Anforderungen an die Prüfmittel, derzeit beträgt die maximale Kollisionsgeschwindigkeit üblicher Zielobjekte nicht mehr als 50 km/h

Tab. 5: Anforderungen an Geschwindigkeitsreduktion, Warn- und Bremszeitpunkte für ein technisch machbares Notbremssystem **auf nasser Fahrbahn bei Teilüberdeckung (von 50 %)** mit dem Zielobjekt und Geradeausfahrt (seitliche Abweichung der Mittenachsen mindestens zu einem Zeitpunkt größer als ± 50 cm). Für Prüfgeschwindigkeiten außerhalb der Stützstellen ist bis zur Vermeidungsgeschwindigkeit und wieder ab der Vermeidungsgeschwindigkeit eine lineare Interpolation ausreichend

Auf Testgeländen sind nasse, schnee- oder eisglatte Bedingungen jedoch nur eingeschränkt reproduzierbar darstellbar, sodass eine Prüfung unter diesen Randbedingungen für die Typgenehmigung eher nicht infrage kommt. Es ist jedoch wichtig, die Regelung so zu fassen, dass das Notbremssystem

im realen Betrieb unter nichttrockenen Bedingungen anderen Anforderungen als im Hochreibwertfall (Tabelle 2 und Tabelle 3) genügen darf, ohne dass dabei die Performance im Sinne des Geschwindigkeitsabbaus deutlich stärker als durch die Änderung des Reibwerts bedingt abnimmt.

3.3 Zusammenfassung der Anforderungen an ein Notbremssystem

In Abhängigkeit von Fahrbahnzustand und Überdeckung sollte das Notbremssystem mindestens die in Kasten 1 aufgeführten Kennwerte erreichen.

In Abhängigkeit von der Überdeckung sollte die Warnung die in Kasten 2 gezeigten Anforderungen erfüllen.

4 Abschaltbarkeit von Notbremsassistenzsystemen

Ziel ist die Identifikation bestimmter Fahrsituationen, bei denen die Abschaltung des Notbremsassistenzsystems durchaus sinnvoll sowie die Identifikation von Fahrsituationen bei denen die Abschaltbarkeit des Notbremsassistenzsystems nicht sinnvoll ist. Zur Erfüllung des Ziels wurden realitätsnahe Lkw-Fahrversuche im Straßenverkehr durchgeführt, um die Anzahl der systemseitigen Fehlwarnungen und Fehlbremungen zu bestimmen. Diese Vorgehensweise kann erste Hinweise auf Situationen schaffen, in denen auf eine Abschaltbarkeit nicht verzichtet werden kann beziehungsweise in denen sie durchaus sinnvoll ist.

v_0 [km/h]	v_{Red} [km/h] 100 % Überdeckung, Trocken	v_{Red} [km/h] 50 % Überdeckung, Trocken	v_{Red} [km/h] 100 % Überdeckung, Nass	v_{Red} [km/h] 50 % Überdeckung, Nass
10	10 (Vermeidung)	10 (Vermeidung)	10	10
20	20 (Vermeidung)	20 (Vermeidung)	20	20
30	30 (Vermeidung)	30 (Vermeidung)	30	30
40	40 (Vermeidung)	40 (Vermeidung)	40	20 (Kollision)
50	50 (Vermeidung)	41,1 (Kollision)	35 (Kollision)	20 (Kollision)
60	60 (Vermeidung)	33,8 (Kollision)	30 (Kollision)	18 (Kollision)
70	70 (Vermeidung)	31 (Kollision)	27 (Kollision)	15 (Kollision)
80	57,2 (Kollision)	29,7 (Kollision)	25 (Kollision)	15 (Kollision)
90	51,4 (Kollision)	28,7 (Kollision)	25 (Kollision)	15 (Kollision)
100	48,4 (Kollision)	28,2 (Kollision)	25 (Kollision)	15 (Kollision)
110	46,6 (Kollision)	27,7 (Kollision)	25 (Kollision)	15 (Kollision)

Kasten 1

v_0 [km/h]	100 % Überdeckung		50 % Überdeckung	
10	–	TTC \leq 1 s	–	TTC \leq 1 s
20	–	TTC \leq 1,5 s	–	TTC \leq 1,5 s
30	–	TTC \leq 2 s	–	TTC \leq 2 s
40	–	TTC \leq 2,4 s	–	TTC \leq 2,4 s
50	TTC \geq 2,1 s	TTC \leq 2,9 s	TTC \geq 2,6 s	TTC \leq 2,9 s
60	TTC \geq 2,3 s	TTC \leq 3,3 s	TTC \geq 2,8 s	TTC \leq 3,3 s
70	TTC \geq 2,5 s	TTC \leq 3,8 s	TTC \geq 3 s	TTC \leq 3,8 s
80	TTC \geq 2,6 s	TTC \leq 4,2 s	TTC \geq 3,1 s	TTC \leq 4,2 s
90	TTC \geq 2,7 s	TTC \leq 4,7 s	TTC \geq 3,3 s	TTC \leq 4,7 s
100	TTC \geq 3 s	TTC \leq 5,2 s	TTC \geq 3,5 s	TTC \leq 5,2 s
110	TTC \geq 3,1 s	TTC \leq 5,6 s	TTC \geq 3,6 s	TTC \leq 5,6 s

Kasten 2

Ziele

- Analyse bekannter Argumente für eine Beibehaltung der Abschaltbarkeit von Notbremsassistenzsystemen,
- Prüfen des Auftretens von Fehlwarnungen und -bremsungen bei einem modernen Notbremssystem eines Serien-Lkw,
- Ableitung von Fahrsituationen, in denen eine Abschaltung zur Vermeidung von Fehlfunktionen sinnvoll sein kann.

Dazu

- Durchführung von realitätsnahen Lkw-Fahrversuchen im realen Straßenverkehr,
- Bestimmung von Fehlwarnungen und Fehlbremssungen und Ableitung von Bereichen, in denen diese Fehlfunktionen vorwiegend auftreten beziehungsweise nicht gefunden werden.

4.1 Ausgangslage

Notbremssysteme für Lkw nutzen derzeit überwiegend RADAR-Sensoren, eventuell in Fusion mit Kameradaten, und sind im Wesentlichen ausgelegt auf den Einsatz auf Autobahnen. Autobahnen sind vergleichsweise einfach strukturierte Umgebungen, in denen nach Auskunft von Sensorherstellern üblicherweise eine zuverlässige Interpretation des Umfeldes erreicht wird und Fehlfunktionen von Notbremsassistenzsystemen daher nicht zu erwarten sind. Das gilt so sicher nicht für komplexe Umgebungen wie den Stadtverkehr, in denen Lkw auch unterwegs sein müssen. Es kann dort stets zu vom Fahrzeughersteller nicht erwartbaren Situationen kommen, in denen eine Fehlbremssung nicht ausgeschlossen werden kann. Ähnliches gilt für komplexe Situationen auf Autobahnen, wie z. B. Baustellen.

Eine Beibehaltung der Abschaltbarkeit von Notbremssystemen in derart anspruchsvollen Verkehrsräumen könnte grundsätzlich gerechtfertigt sein, um eine Gefährdung durch Fehlauflösungen zu vermeiden.

Neben den infrastrukturellen Gegebenheiten könnten bei bestimmten Umständen auch das Notbremssystem seitens des Fahrers ausgeschaltet werden; diese Umstände sind zum Beispiel:

1. Fehlende Systemkenntnis

Es zeigt sich zusätzlich, dass Lkw-Fahrende möglicherweise nicht korrekt über die Funktion der Systeme im Bilde sind und eine Abschaltung möglicherweise aus Unkenntnis vornehmen.

2. Fahrverhalten, z. B. Überholmanöver

Generell verkleinern Lkw-Fahrer vor dem Ausscheren zum Überholen oftmals den Abstand auf das vorausfahrende Fahrzeug. Sie können so im Windschatten besser Differenzgeschwindigkeit aufbauen. Es könnte Systemauslegungen von Notbremssystemen geben, die dieses Herantasten an andere Lkw durch einen Bremsingriff unterbinden, was vom Fahrer durch ein Abschalten des Systems umgangen wird.¹⁷

Ein weiteres, in der Praxis auftretendes Problem kann die Blockade von Sensoren von Notbremssystemen durch temporäre Anbauteile (beispielsweise Schneepflüge o. Ä) sein.¹⁸

Über die Häufigkeit von in der Praxis vorgenommenen Abschaltungen von Notbremssystemen liegen der BAST keine belastbaren Zahlen vor, da es bisher keine rechtliche Möglichkeit gibt, diese Daten zu erhalten. Eine Veröffentlichung¹⁹ kommt zum Schluss, dass bei mindestens einem im Detail bekannten Unfall eines Lkw ein deaktiviertes Notbremssystem wahrscheinlich ist. Darüber hinaus liegen der BAST auch aus dem Unfallgeschehen keine Erkenntnisse über im Fahrbetrieb auftretende Deaktivierung von Notbremssystemen vor.

4.2 Fahrversuche

Ziel dieses Kapitels ist es, Fahrbereiche zu identifizieren, in denen eine Abschaltbarkeit von Notbremsassistenzsystemen gerechtfertigt ist. Dies

¹⁷ VERWEYEN, G. und A. BREITENBACH: Lkw-Notbremssysteme. ZDF WISO vom 23. Januar 2017. Verfügbar unter <https://www.zdf.de/verbraucher/wiso/deaktivierte-notbremssysteme-fuer-lkw-gefaehrden-verkehr-100.html>

¹⁸ OICA, CLEPA: OICA-CLEPA comments on ECE/TRANS/WP29/GRRF/2017/24. Informal document GRRF-84-21, 84th GRRF session, 19 – 22 September 2017

¹⁹ PETERSEN, E.; SIMON, N.; KRUPITZER, U.: Lkw-Unfälle mit schweren Personenschäden auf niedersächsischen Autobahnen und deren Relevanz sowie Vermeidbarkeit durch aktuelle Notbrems-Assistenzsysteme. In: Zeitschrift für Verkehrssicherheit 5/2016, S. 276

sind Bereiche, in denen es zu Fehlfunktionen des Notbremsassistentensystems kommt.

Zur Gewinnung von Informationen über diese Fehlfunktionen (Fehlwarnungen und Fehlbremungen) wurden Fahrten des mit Messtechnik ausgerüsteten Versuchsfahrzeugs im realen Straßenverkehr durchgeführt. Der Fahrauftrag an den Versuchsfahrer war in allen Fällen, reguläre Fahrten durchzuführen und – neben der automatischen Detektion des Warngeräuschs – relevante Situationen mit einem Taster zu bestätigen.

4.2.1 Zusammensetzung der Messdaten

Insgesamt wurden ca. 1.300 km hauptsächlich auf Autobahnen im Raum südlich von Köln, aber auch auf Landstraßen und im Stadtbereich (Köln) eingefahren (siehe Bild 10).

Die Verteilung der Fahrgeschwindigkeit ist in Bild 11 dargestellt. Zu etwa 10 % der Zeit wurde die Fahrgeschwindigkeit durch den im Fahrzeug verbauten Geschwindigkeitsbegrenzer limitiert.

Die Abstandsmessung anhand des eigens montierten LIDAR-Sensors zeigte grundsätzlich eine gute Übereinstimmung mit den vom Fahrzeug über das ACC-System gemessenen und im Zentralinstrument angezeigten Abstandswerten; allerdings benötigte die Zielerfassung etwas Zeit, sodass die

vorhandenen Abstandsmessungen zwar plausibel sind, aber nicht alle Fahrzeuge erfasst sind (bei Nichterfassung ist der Abstand 0 eingetragen).

Insgesamt wurde Folgefahrt (= ein vorausfahrendes Fahrzeug vom Abstandssensor detektiert) bei 852,2 km der 1.372,2 km Gesamtfahrstrecke festgestellt. Aufgrund der Zeitverzugsprobleme des Sensors ist dies eine konservative Abschätzung; tatsächlich waren mehr als 852,2 km Folgefahrt. Abstand, Zeitlücke und Geschwindigkeit bei Folgefahrt sind in Bild 12 bis Bild 14 dargestellt.

Es ist festzustellen, dass

- die Zeitlücke bei Folgefahrt im Median leicht über 2 Sekunden liegt,
- der Abstand im Median leicht unter dem vorgeschriebenen Abstand von 50 m liegt,
- auch bei Folgefahrt die Fahrgeschwindigkeit in 10 % der Zeit im Bereich der limitierten Geschwindigkeit (90 km/h) liegt. Dies zeigt, dass nicht nur der spezifische Versuchsfahrer diese Fahrgeschwindigkeit fährt, sondern die ganz überwiegende Zahl der im Versuch beobachteten äußeren Lkw.

Es ist davon auszugehen, dass die gesammelten Fahrsituationen gut dem realen Verkehr von Lkw entspricht.

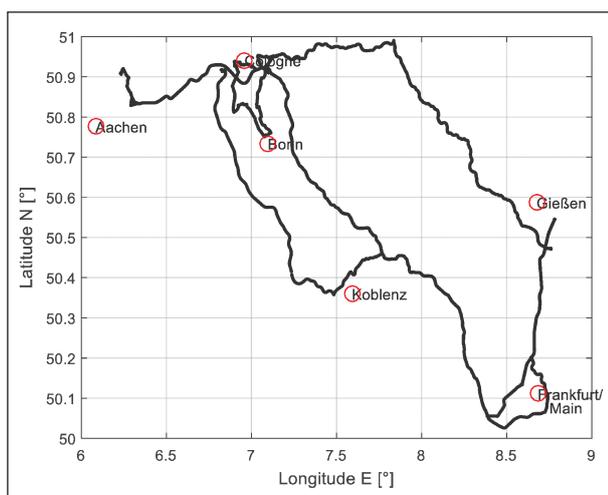


Bild 10: Realfahrten

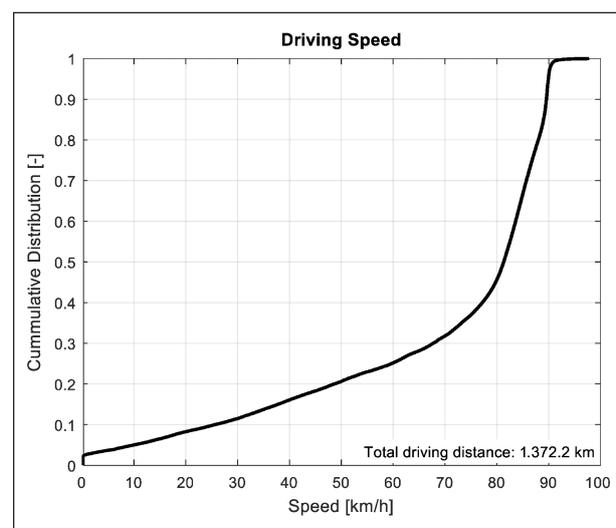


Bild 11: Verteilung der Fahrgeschwindigkeit

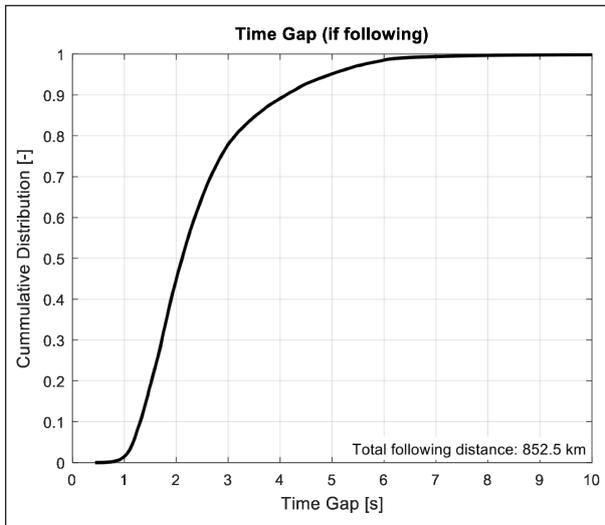


Bild 12: Zeitlücke bei Folgefahrt

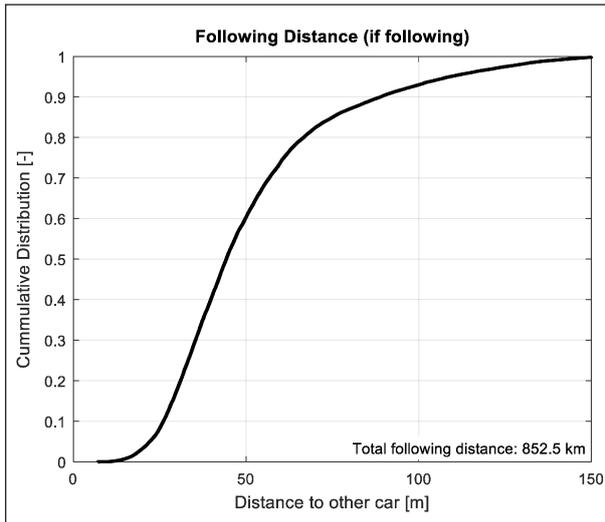


Bild 13: Abstand bei Folgefahrt

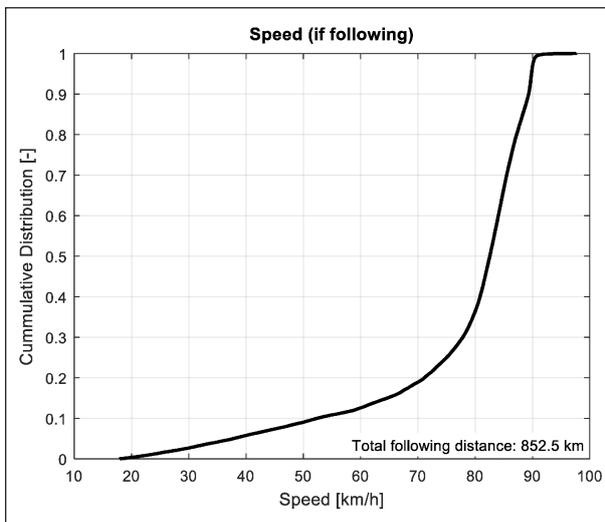


Bild 14: Geschwindigkeit bei Folgefahrt

4.3 Beobachtete Interventionen des AEBS-Systems

Grundsätzlich sind Fehlwarnungen als weniger kritisch für die Verkehrssicherheit anzusehen als Fehlbremungen. Mit Recht wird von Fahrzeugherstellern aber viel Aufwand betrieben, um Fehlbremungen zu vermeiden, sodass von einer sehr viel höheren Quote von Fehlwarnungen als Fehlbremungen im Straßenverkehr auszugehen ist – auch, weil Fehlwarnungen in der Regel vom Fahrer übersteuert werden können, bevor eine Fehlbremung einsetzt.

Zur Quantifizierung des Verhältnisses Fehlwarnungen zu Fehlbremungen liegen nur wenige veröffentlichte Daten vor. Eine Quelle ist [ÖRTLUND, 2017, S. 31]: Hier sind die Interventionen eines AEBS-Systems eines spezifischen Herstellers (ermittelt über Fernabfrage von 261 in Kundenhand befindlichen Fahrzeugen) hinsichtlich Pre-Brake (annähernd einer haptischen Warnung vergleichbar) und Full-Brake (Vollbremsung) unterschieden und gegenübergestellt (siehe Tabelle 6). Zu beachten ist, dass es hier nur um Fahrzeuge mit AEBS-Interventionen geht und diese Zahlen weder repräsentativ für die Flotte des Fahrzeugherstellers noch für den gesamten Fahrzeugbestand in Europa sind. Aus Sicht der Verfasser können die Daten aber einen Hinweis auf das Verhältnis Warnung – Vollbremsung geben.

Es zeigt sich, dass etwa 75 % der Fahrzeuge mehr als 6 Prebrake-Events gespeichert hatten, während für nur 7 % der Fahrzeuge mehr als 6 Vollbremseingriffe aufgezeichnet waren. Ein Verhältnis von 10:1 für Warnungen zu Vollbremseingriffen kann daher angenommen werden.

Bei den eigenen Untersuchungen im Realverkehr wurden insgesamt fünf Warnungen, aber keine Fehlbremungen beobachtet:

- 2 Warnungen, hervorgerufen durch vorausfahrende Fahrzeuge,

Anzahl der Interventionen je Fahrzeug	0	1 – 3	4 – 6	> 6
Prebrake	1 %	9 %	15 %	75 %
Fullbrake	0 %	64 %	30 %	7 %

Tab. 6: Anteile von Prebrake (Warnung) und Fullbrake (Vollbremsung), nach [ÖRTLUND, 2017]

- 2 Warnungen durch ein Objekt abseits der Fahrbahn,
- 1 Warnung durch ein Objekt auf der Fahrbahn.

Basierend auf der Abschätzung 10 : 1 kann daher abgeleitet werden, dass eine Fahrstrecke weit über 10.000 km in verschiedenen Verkehrsumgebungen erforderlich gewesen wäre, um belastbare Daten zu Fehlbremstungen zu gewinnen. Aus Kapazitätsgründen ist dies durch die BASt nicht zu leisten.

Im Folgenden werden daher Fehlwarnungen als Indikator für Interventionen des AEBS herangezogen. Es wird davon ausgegangen, dass die Erkenntnisse grundsätzlich unter Beachtung der oben beschriebenen Auftretenshäufigkeitsrelation auf Fehlbremstungen übertragbar sind.

4.3.1 Vorausfahrende Fahrzeuge

Es wurden zwei Warnungen beobachtet, die durch bremsende Fahrzeuge hervorgerufen wurden (siehe Bild 15 und 16). Beide Warnungen erscheinen plausibel angesichts der zuvor auf abgesperrtem Versuchsgelände gemessenen Charakteristik des Fahrzeugs (Warnzeitpunkt als Funktion der Relativgeschwindigkeit). In Bild 15 und Bild 16 werden zwei Warnungen dargestellt.

Die eine Warnung erfolgte auf einer Autobahnüberleitung am Kreuz Köln-Ost (A 3 aus Süden kommend zur A 4 nach Osten). Die Relativgeschwindigkeit beträgt ca. 40 km/h, die Warnung wurde bei einem Abstand von ca. 50 m ausgelöst, entsprechend einer TTC von ungefähr 2,3 Sekunden (Fahrgeschwindigkeit des Lkw knapp unter 60 km/h).



Bild 15: Warnung auf vorausfahrendes Fahrzeug



Bild 16: Warnung auf bremsendes Fahrzeug

Die andere Warnung erfolgte auf einer Landstraße. Das vorausfahrende Fahrzeug bremst und biegt in eine untergeordnete Straße ab. Es hat zu diesem Zeitpunkt eine Längsgeschwindigkeitskomponente (bezogen auf die Fahrtrichtung des Lkw) nahe Null. Die Warnung erfolgte bei einem Abstand von ca. 40 m, die Lkw-Fahrgeschwindigkeit beträgt etwa 55 km/h (für diese Fahrt sind aufgrund eines Sensorausfalls keine Positionsdaten verfügbar; sie ist auch bei der Gesamtfahrstrecke nicht mitgerechnet).

Unter Annahme einer Längsgeschwindigkeit von 0 für das abbiegende Fahrzeug ergibt sich eine Warnung bei einer Time-To-Collision unter 3 Sekunden.

4.3.2 Objekt abseits der Fahrbahn

Zwei Warnungen wurden auf ein Objekt abseits der Fahrbahn beobachtet (siehe Bild 17 und Bild 18). Beide Warnungen erscheinen ebenfalls plausibel angesichts der auf abgesperrtem Versuchsgelände gemessenen Charakteristik des Fahrzeugs (Warnzeitpunkt als Funktion der Relativgeschwindigkeit).

Beide Warnungen, insbesondere aber die zweite Warnung, zeigen, dass die falsche Prädiktion der zukünftigen Fahrzeugposition zu Fehlwarnungen führen kann. Das wahrscheinlich ausschlaggebende Verkehrszeichen im zweiten Fall hätte mit einer



Bild 17: Warnung auf statisches Objekt abseits der Fahrbahn 1



Bild 18: Warnung auf statisches Objekt abseits der Fahrbahn 2

weit vorausschauenden Fahrspurerkennung gegebenenfalls als unkritisch erkannt werden können.

Die erste Warnung wurde beobachtet auf einer Überleitung auf die A 5 im Raum Gießen im Baustellenbereich. Die Fahrgeschwindigkeit des Lkw betrug etwa 75 km/h. Angenommen wird, dass die Warnung auf eine beginnende Schutzplanke für die Fahrbahnverschwenkung erfolgt. Bei 75 km/h erfolgt die Warnung auf statische Objekte mit einem Abstand von ca. 66 m.

Die andere Warnung wurde auf einer Landstraße in einer leichten Linkskurve beobachtet. Die Fahrgeschwindigkeit des Lkw betrug zum Zeitpunkt der Warnung 55 km/h, der daraus resultierende Abstand von ca. 45 m erscheint plausibel für den Abstand des Verkehrszeichens, das vermutlich die Warnung ausgelöst hat.

Das Vermeiden dieser Art von Fehlwarnung erfordert eine genaue Kenntnis der zukünftigen Bewegung des Fahrzeugs. Das ist mit heute überwiegend verbauten RADAR-Sensoren alleine nicht möglich. In Zukunft kann eine Fusion mit den Daten anderer Sensoren, z. B. einer Kamera, diese Art von Fehlwarnungen vermutlich wirkungsvoll vermindern.

4.3.3 Warnung auf ein Objekt auf der Fahrbahn

Eine Warnung wurde beobachtet und zwar auf eine Baustellenabspernung auf der Fahrbahn (siehe Bild 19). Die Fahrgeschwindigkeit des Lkw betrug zu diesem Zeitpunkt 37 km/h, der Warnabstand von etwa 20 m erscheint plausibel. Eine derartige Warnung lässt sich nicht durch bessere Sensorik abfangen; sie hat genau so ihre Berechtigung, da das Fahrzeug nicht abschätzen kann, ob der Fahrer das Objekt wahrgenommen hat.

4.3.4 Bewertung der Warnungen

Zusammenfassend zeigt sich, dass sich alle beobachteten Warnungen mit der im Fahrversuch bestimmten Warncharakteristik des Versuchsfahrzeugs erklären lassen. Zwei Warnungen auf Objekte abseits der Fahrbahn könnten sich möglicherweise anhand einer Fusion der Sensordaten mit einer Fahrspurerkennung vermeiden lassen. Die beiden Warnungen auf verzögernde Fahrzeuge (Autobahnüberleitung, Landstraße, Fahrgeschwindigkeiten ca. 65 und ca. 55 km/h) wären auch mit einer Sensorfusion nicht vermeidbar; es ist denkbar, dass eine Anpassung des Warnzeitpunktes, der in UN R 131 nur für 80 km/h Fahrgeschwindigkeit explizit benannt ist, zu einer Vermeidung dieser Warnungen beitragen könnte.

Eine Warnung auf das Hindernis auf der Fahrbahn ist originäre Aufgabe eines Notbremsystems und lässt sich nicht vermeiden.



Bild 19: Warnung auf eine Baustellenabspernung auf der Fahrbahn

4.4 Folgerungen

4.4.1 Situationsinterpretation und Grenzen der Sensorik

In Kapitel 2.3.1 wurde folgende Arbeitshypothese aufgestellt:

„Ein Notbremssystem, bestehend aus automatischen Bremsengriffen und einer Fahrerwarnung, führt in keinen Geschwindigkeitsbereichen und keinen Verkehrssituationen zu Fehlwarnungen oder Fehleingriffen.“

Fehleingriffe wurden nicht beobachtet; es wurden aber insgesamt 5 Warnungen bei einer Fahrtstrecke von ca. 1.300 km (Stadt, Landstraße, überwiegend Autobahn) beobachtet. Diese 5 Warnungen sind alle plausibel, 3 davon können aber als Fehlwarnungen betrachtet werden, weil keine konkrete Gefahr bestand. Eine Falsifizierung der Arbeitshypothese ist damit erfolgt für

- Landstraßen, Stadtbereich (bremsendes Fahrzeug, Verkehrszeichen abseits der Fahrbahn),
- Autobahnbaustellen (Schutz-/Leitplanken-anfang).

Umgekehrt lässt sich feststellen, dass bei **unge störter Autobahnfahrt** (= Einsatzzweck des Notbremssystems) keine Warnung beobachtet werden konnte.

Fehlwarnungen auf Objekte abseits der Fahrbahn können in Zukunft vermutlich wirkungsvoll durch Einbeziehung weiterer Sensorik, z. B. der Fahrspurkamera, in die Sensorik des Notbremsassistentensystems vermindert werden.

4.4.2 Fälschlich angenommene Systemgrenzen

In Kapitel 4.1 wurde aufgeführt, dass von Lkw-Fahrern angenommen werden könnte, dass Notbremssysteme bei Überholmanövern im Windschatten eingreifen könnten.

Eine Darstellung der bei den Realfahrten gefundenen Kombinationen aus Relativgeschwindigkeit und Time-To-Collision zeigt, dass dies sehr unwahrscheinlich ist. Selbst in Fällen, in denen relativ geringe TTC-Werte gemessen wurden, war die Relativgeschwindigkeit zwischen beiden Fahrzeugen derart gering, dass weder von einer Warnung,

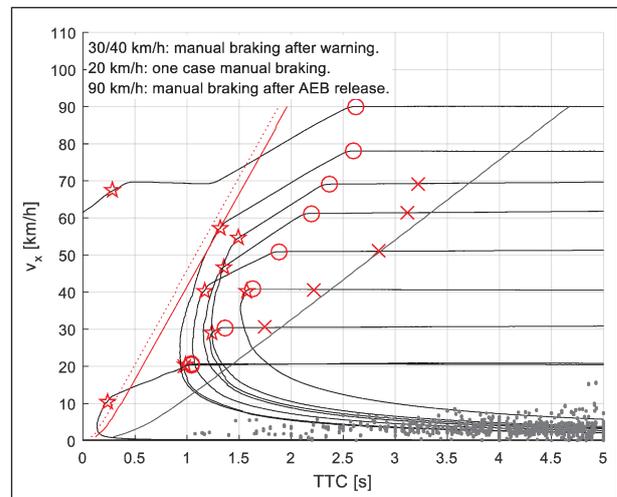


Bild 20: Bremscharakteristik des Versuchsfahrzeugs, überlagert mit TTC-Relativgeschwindigkeitswerten aus den Realfahrten (dargestellt als graue Punkte)

noch von einem Bremsengriff ausgegangen werden kann (Bild 20, basierend auf Bild 6).

Es ist also weiterhin davon auszugehen, dass bei ungestörter Autobahnfahrt keine Fehlwarnungen auftreten.

4.4.3 Blockade von Notbremssystemen durch temporäre Anbauten

Es ist davon auszugehen, dass in bestimmten Fahrzeugkategorien temporäre Anbauten die Sensorik von Notbremssystemen stören können. Heutige Sensorik ist aber üblicherweise so ausgelegt, dass sie Störungen selbsttätig erkennt. Gerade für ein Notbremssystem, das aufgrund der Anforderungen an komplexe elektronische Systeme in Anhang 4 der UN R 131 (Special requirements to be applied to the safety aspects of complex electronic vehicle control systems, [1], S. 19) über einen Nachweis der funktionalen Sicherheit nach Stand der Technik (beispielsweise ähnlich ISO 26262) verfügen muss, kann dies vorausgesetzt werden.

Eine automatische Deaktivierung des Notbremssystems im Fehlerfall ist in UN R 131 bereits vorgesehen [1], S. 7:

„5.2.1.2. A failure warning when there is a failure in the AEBS that prevents the requirements of this Regulation of being met. The warning shall be as specified in paragraph 5.5.4. below.“

Die betreffenden Abschnitte könnten gegebenenfalls derart angepasst werden, dass eine Deak-

tivierung aufgrund Sensorblockade berücksichtigt wird.

Eine weitergehende Möglichkeit wäre, z. B. für Fahrzeuge, die mit Trägern für Schneepflüge ausgestattet werden, die derzeitige Formulierung – Deaktivierung möglich ohne Einschränkungen – zu erlauben.

4.5 Zusammenfassung und Ableitung von Empfehlungen

Anhand der durchgeführten Untersuchungen wurde festgestellt, dass sich Fehlwarnungen im Fahrbetrieb, selbst unter Nutzung eines der derzeit am weitesten entwickelten Notbremssysteme, nicht gänzlich vermeiden lassen. Grund dafür ist im Wesentlichen die unzureichende Erkennbarkeit der Fahrerintention. Fehlbremungen des Versuchsfahrzeugs wurden nicht beobachtet, wobei aus der Literatur bekannt ist, dass diese sehr viel seltener als Fehlwarnungen auftreten (etwa eine Größenordnung seltener).

Warnungen in ungestörter Autobahnfahrt (= außerhalb von Autobahnbaustellen) konnten aber nicht gefunden werden. Die in der Öffentlichkeit genannten Fehlwarnungen und -eingriffe bei Lkw-Überholvorgängen konnten nicht nachvollzogen werden. Aus technischer Sicht sinnvoll ist daher, **die Deaktivierbarkeit eines Notbremssystems zumindest für ungestörte Autobahnfahrten zu verbieten.**

Fehlwarnungen wurden auf Landstraßen gefunden, weil die im Versuchsfahrzeug – und in vielen weiteren Systemen – für das Notbremsassistentensystem verbaute Sensorik (allein RADAR) nicht in der Lage ist, Ziele abseits der Fahrbahn, die sich jedoch vor dem Lkw befinden, als irrelevant zu erkennen. Sollten in Zukunft verbesserte Systeme mit Sensorfusion Standard werden, so würden Fehlwarnungen auf Landstraßen und innerhalb geschlossener Ortschaften vermutlich wirkungsvoll verringert werden können. Zu diesem Zeitpunkt könnte dann auch die Anforderung nach Nichtabschaltbarkeit ausgedehnt werden, die zurzeit nur für die ungestörte Autobahnfahrt erhoben wird.

Parallel dazu sollten aber Möglichkeiten geschaffen werden, das Abschalten des Notbremssystems für solche Lkw, deren Sensor durch Anbauten blockiert ist, weiterhin zuzulassen. Aus Gründen der funktionalen Sicherheit werden Notbremssysteme das Vorhandensein von Sensorabdeckungen sicher au-

tomatisch erkennen. Denkbar wäre die Erweiterung des Abschnitts über Fehlfunktionen in UN R 131 zur Ermöglichung der automatisierten Abschaltung (bei Beibehaltung der Anzeige des Abgeschaltetseins).

Sollte das technisch nicht sinnvoll machbar sein, könnte für bestimmte (Sonder-)Fahrzeuge die herkömmliche Variante – keine Einschränkung der Deaktivierbarkeit – beibehalten werden.

Mögliche Lösungen für das Problem der Abschaltung von Notbremssystemen sind

1. ein vollständiges Verbot der Abschaltung in zu bestimmenden Geschwindigkeitsbereichen,
2. eine zeitliche Begrenzung der Abschaltung mit automatischer Wiederaktivierung, gegebenenfalls mit vorheriger Ankündigung der Wiederaktivierung, für Fahrgeschwindigkeiten außerhalb eines bestimmten Bereichs.

Der Geschwindigkeitsbereich sollte sich an der üblichen Geschwindigkeit in solchen Situationen orientieren, in denen Objekte seitlich der Fahrbahn zu Fehlauflösungen führen können. Dies sind typischerweise Fahrsituationen im urbanen, suburbanen oder ländlichen Umfeld, nicht auf Autobahnen außerhalb von Baustellen.

Aus Sicht der Verkehrssicherheit zu bevorzugen ist Variante 1, weil dadurch die Aktivierung der Notbremssysteme auf Autobahnen grundsätzlich gewährleistet ist.

Denkbar ist aber, dass auch auf Autobahnen Situationen entstehen, in denen wiederholt Fehlauflösungen des Notbremssystems auftreten können. In der vorliegenden Studie wurden zwei der Warnungen hier beobachtet: eine Warnung auf ein langsam vorausfahrendes Fahrzeug, eine Warnung auf ein irrtümlich der Fahrbahn zugeordnetes Objekt abseits der Fahrbahn im Baustellenbereich.

Sinnvoll ist dann eine Wiedereinschaltung nach der maximal angenommenen Fahrtdauer im Baustellenbereich.

Vorgeschlagen wird daher folgendes Konzept:

- Deaktivierbarkeit unterhalb einer Grenzhöhegeschwindigkeit, die sich am Vorkommen von zu Fehlwarnungen führenden Objekten abseits der Fahrbahn orientiert,
- automatische und sofortige Wiederaktivierung bei Überschreiten dieser Fahrgeschwindigkeit,

- Deaktivierbarkeit bei höherer Fahrgeschwindigkeit für einen Zeitraum, der der typischen Verweildauer in Baustellen entspricht und anschließende Sperre der Deaktivierung für einen gewissen Zeitraum,
- automatische Deaktivierung des Notbremssystems (spätestens 10 Minuten nach Fahrtbeginn) bei Sensorblockade und optische Anzeige analog zum Fehlerfall.

5 Abstandswarnung

Ziel

- Ermittlung der Grenzen (Abstand zum Zielobjekt und Verzögerung des Zielobjekts), in denen ein übliches AEB-System Kollisionen verhindert.

Es ist zu prüfen, inwiefern eine Abstandswarnung das Unfallgeschehen von Lkw verbessern kann. Abstandswarnsysteme können in solchen Verkehrssituationen helfen, in denen der Abstand zwischen zwei annähernd gleich schnell fahrenden Fahrzeugen – beispielsweise durch Fahrerirrtum – falsch eingestellt ist, und das vordere Fahrzeug eine Bremsung einleitet. Wird auf diese Bremsung vom Fahrenden des hinteren Fahrzeugs nicht korrekt reagiert (beispielsweise eben nicht durch Einleiten einer Bremsung) und behält das hintere Fahrzeug also seine ursprüngliche Geschwindigkeit bei, dann kommt es unweigerlich zu einer Kollision.

Ein Abstandswarnsystem kann in einem solchen Fall den Fahrenden des hinteren Fahrzeugs auf den nicht korrekten Abstand hinweisen. Sollte der Abstand allerdings bewusst falsch gewählt sein, wird die Warnung keinen deutlichen Einfluss auf die Verbesserung der Verkehrssicherheit haben. Veröffentlichungen²⁰ legen den Schluss nahe, dass dies in der Praxis häufig der Fall ist.

Weiterhin sind technische Anforderungen an Fahrzeugsicherheitssysteme in der Regel europaweit, oftmals sogar weltweit harmonisiert festzulegen, es gibt aber bei weitem nicht in allen Staaten festge-

schriebene Mindeststandards in Bezug auf den einzuhaltenden Abstand, die Lkw einhalten müssen. In Deutschland, beispielsweise, gibt es sogar nur für Lkw spezifische Abstandsvorschriften – für alle anderen Fahrzeuge ist der einzuhaltende Abstand nur explizit über den Bußgeldkatalog definiert. Der Abstimmungsaufwand wird daher vermutlich eine große Hürde darstellen, wollte man derartige Abstandswarnsysteme international verbindlich vorschreiben.

Notbremssysteme, andererseits, könnten bei entsprechender Auslegung auch Unfälle, bei denen sich Fahrzeuge zunächst in Folgefahrt und möglicherweise kleinem Abstand befinden, wirkungsvoll verhindern.

Derartige Situationen sind für übliche Sensorik (beispielsweise RADAR) überwiegend gut zu erkennen: Das relevante Zielfahrzeug ist bereits als solches erkannt und es wird aufgrund der kurzen Reaktionszeit ganz überwiegend kein Ausweichen mehr stattfinden, das erkannt werden müsste. Die Relativgeschwindigkeit zwischen den Fahrzeugen wird vom RADAR-Sensor direkt gemessen und muss nicht aus anderen Größen abgeleitet werden.

5.1 Dynamik des Bremsprozesses aus Folgefahrt

Die in Kapitel 3.1 vorgenommenen Ableitungen von geeigneten Brems- und Warnstrategien gelten für die Folgefahrt nicht: Die entscheidende Kenngröße Time-To-Collision (TTC) ist nur für konstante Bewegung beider Objekte definiert, daher lassen sich die dort abgeleiteten Eingriffsstrategien nicht übertragen.

Ausgehend von vergleichbaren Bremssystemeigenschaften (maximale Verzögerung 8 m/s², Verzögerungsgradient 10 m/s³) kann aber bewertet werden, in welchen Grenzen Kollisionen vermeidbar sind.

Analog zur TTC definiert [WINNER 2012, S. 530] die sog. Enhanced-Time-To-Collision (ETTC) als Funktion von Relativabstand d , Relativverzögerung a_{rel} und Relativgeschwindigkeit v_{rel} zweier Fahrzeuge zu

$$ETTC = \frac{\sqrt{v_{rel}^2 + 2a_{rel} \cdot d} - v_{rel}}{a_{rel}} . \quad (7)$$

²⁰ Siehe z. B. <https://www.wa.de/nordrhein-westfalen/lkw-fahrerhalten-abstand-nrw-autobahnen-nicht-ein-1300-verstoessesuefnf-tagen-gezaehlt-9562673.html>, abgerufen am 19.12.2018.

Der ETTC-Wert, zu dem ein Bremsingriff erfolgen muss, um bei gegebener Bremskraftaufbauzeit (hier umgerechnet 0,8 s für 8 m/s²) die Kollision zu verhindern, ergibt sich unter Zuhilfenahme der maximalen Relativverzögerung

$$a_{\max,rel} = a_{\max} - a_{Ziel} \quad (8)$$

und der Bremsenverlustzeit (in erster Näherung die Bremskraftaufbauzeit) τ_B zu

$$ETTC_{Brems} = \tau_B + \frac{v_{rel} + a_{rel} \cdot \tau_B}{2a_{\max,rel}}. \quad (9)$$

5.2 Simulationsmodell

Tatsächlich gelten die Gleichungen nur für den eingeschwungenen Zustand, also bei zeitlich konstanter Verzögerung. Um eine Verzerrung des Ergebnisses durch diesen Umstand auszuschließen, bietet sich eine einfache numerische Simulation der Verkehrssituation unter Beachtung der Verzögerungsaufbauzeiten beider Fahrzeuge an.

5.2.1 Parameter und Eingangsgrößen

Gleichung 9 geht außerdem davon aus, dass die Information über eine Geschwindigkeitsänderung des vorausfahrenden Fahrzeugs ohne Zeitverzug zur Verfügung steht. In der Realität ist allerdings mit Latenzen in der Signalübertragung und Auswertung sowie im Sensor selbst zu rechnen, sowie sicherlich mit einem Bremsbefehl erst dann, wenn eine gewisse Sicherheit der Umfeldwahrnehmung erreicht ist – beispielsweise durch wiederholte Messungen.

RADAR-Sensoren, für die Informationen verfügbar sind²¹, aktualisieren Zielinformationen alle 50 – 60 ms und messen die Geschwindigkeit des vorausfahrenden Fahrzeugs mit einer Genauigkeit von $\pm 0,1$ km/h, eine Annahme von 100 ms für die Aktualisierungsrate und für die Gesamtgenauigkeit der Geschwindigkeit von $\pm 0,5$ km/h deckt sicher die überwiegende Mehrzahl der am Markt verfügbaren und in Lkw-Notbremssystemen eingesetzten Sensoren ab. Zusätzlich können der reinen Signalverarbeitung und Filterung im Bremssystem bis zu

200 ms zugestanden werden (Abschätzung nach [WINNER, 2015], S. 911).

Für die Bremsentscheidung wird eine längere Beobachtung des Zielobjekts erforderlich sein. Als Stand der Technik wird angenommen, dass etwa insgesamt 0,5 Sekunden ausreichen, um die Situation sicher einzuschätzen und die Signalverarbeitung abzuschließen (Abschätzung ebenfalls nach [WINNER, 2015], S. 911).

Die Reaktionszeit eines automatischen Bremssystems auf plötzlich auftretende Situationen liegt also im Bereich 0,5 s, die Messgenauigkeit im Bereich 0,5 km/h. Für Situationen, die vom System bereits hinreichend interpretiert sind (zum Beispiel bereits seit geraumer Zeit vorliegende Verzögerung des Zielobjekts) werden keine Latenzen erwartet, weil das System die Reaktion zeitlich exakt abstimmen kann.

Im Simulationsmodell werden die getroffenen Annahmen insofern berücksichtigt, als dass eine automatische Bremsung frühestens 0,5 Sekunden nach Überschreitung einer Relativgeschwindigkeit von 0,5 km/h zwischen den beiden Fahrzeugen stattfinden kann, selbst wenn ein ETTC-Bremsschwellwert vorher überschritten wird. Außerdem findet die ETTC-Berechnung unter Berücksichtigung einer um die Genauigkeit von 0,5 km/h verringerten Relativgeschwindigkeit statt, was den schlimmsten anzunehmenden Fall bei der betrachteten Sensorgenauigkeit darstellt (hinteres Fahrzeug fährt schneller als angenommen).

Ein wesentlicher Einfluss auf die Fähigkeit von Bremssystemen, auftretende kritische Situationen positiv zu beeinflussen, ist die vom Folgefahrzeug erreichbare maximale Verzögerung. Dieser Wert hängt ab vom Beladungszustand, den von den Radbremsen erreichbaren Bremsmomenten, den Reifen- und Fahrbahneigenschaften und nicht zuletzt von den Eigenschaften eines eventuell mitgeführten Anhängers oder Aufliegers.

Die von schweren Nutzfahrzeugen mindestens zu erreichende Verzögerung ist in der Regelung UN R 13 auf 5 m/s² festgelegt, typische Lkw erreichen aber Verzögerungen bis zu 8 m/s² auf trockener Straße (siehe Kapitel 3.1.5).

Da das Zielobjekt auch ein Pkw oder Motorrad mit einer maximalen Verzögerung von etwa 10 m/s² auf trockener Fahrbahn sein kann, wird die maximale Verzögerung des vorausfahrenden Fahrzeugs als 10 m/s² festgelegt.

²¹ Siehe <https://www.continental-automotive.com/de-DE/Pas-senger-Cars/Chassis-Safety/Advanced-Driver-Assistance-Systems/Radars>

5.2.2 Aufbau des Simulationsmodells

Basis des Simulationsmodells ist die numerische Integration von Beschleunigungsverläufen zu Geschwindigkeit und Ort unter Beachtung von Ausgangsbedingungen für Abstand und Fahrgeschwindigkeit, wobei die Beschleunigung jeweils entweder linear ansteigend oder konstant sein kann. Die Integration der jeweiligen Beschleunigungen stoppt für Stillstand des jeweiligen Fahrzeugs. Tabelle 7 führt die angesetzten Parameter und Annahmen des Si-

mulationsmodells auf: Es fließen keine Fahrzeugparameter im eigentlichen Sinne ein.

5.2.3 Ergebnisse

Zeitschriebe für die Extremwerte demonstrieren die Funktionsweise des Simulationsmodells (siehe Bild 21 bis Bild 24).

Die Einzelergebnisse der Simulationsrechnungen deuten bereits darauf hin, dass im Wesentlichen

Parameter	Werte
Maximale Verzögerung Folgefahrzeug	8 m/s ² (typisch), 5 m/s ² (minimal)
Verzögerungsgradient Folgefahrzeug	10 m/s ²
Reaktionszeit der automatischen Bremsanlage im Folgefahrzeug	0,5 s
Messgenauigkeit der Relativgeschwindigkeit	± 0,5 km/h
Ausgangsabstand	10 bis 50 m mit Schrittweite 0,25 m
Verzögerung des Zielfahrzeugs	1 bis 10 m/s ² mit Schrittweite 0,25 m/s ²
Verzögerungsaufbauzeit des Zielfahrzeugs	1 Sekunde (unabhängig von der erreichten Verzögerung)
Bremszeitpunkt Folgefahrzeug	zum Zeitpunkt ETTC = ETTC _{Brems} nach Gleichungen (7) und (9)
Bremszeitpunkt Zielfahrzeug	$t = 0$ s
Simulation	ab $t = -2$ s
Relativgeschwindigkeit für Kollisionserkennung	5 km/h

Tab. 7: Parameter des Simulationsmodells

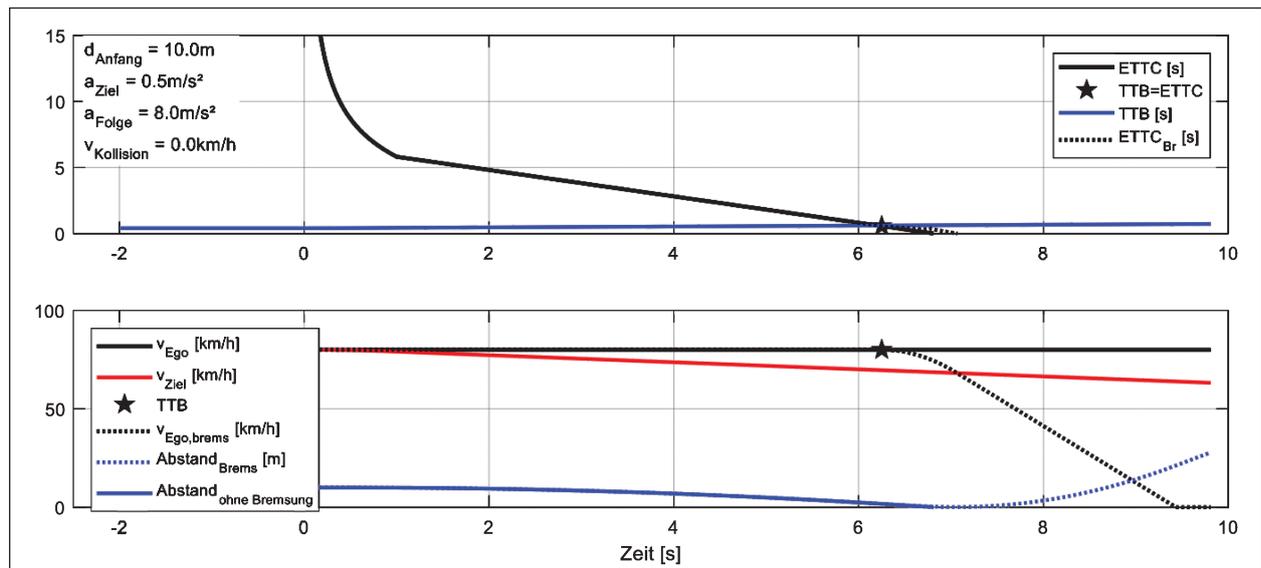


Bild 21: Zeitverläufe von Fahrzeuggeschwindigkeiten, Abstand und Rechengrößen ETTC nach Gleichung (7) und Bremszeitpunkt nach Gleichung (9). Beispiel für 10 m Anfangsabstand und 0,5 m/s² Verzögerung des Zielfahrzeugs zum Zeitpunkt $t = 0$ s, maximale Verzögerung des Folgefahrzeugs 8 m/s². Die blauen Kurven zeigen den für jeden Zeitpunkt berechneten Wert an, zu dem eine Bremsung erfolgt sein muss, um den Unfall verhindern zu können (unter Berücksichtigung der angesprochenen Einschränkungen hinsichtlich der Sensorik). Schneiden sie sich mit der zunächst viel größeren ETTC-Ist-Kurve (oberes Diagramm schwarz), bedeutet das, dass der entsprechende Zeitpunkt erreicht ist – in der Simulationsrechnung wird eine Bremsung ausgelöst (erkennbar im unteren Diagramm an den gestrichelten Zeitverläufen gegenüber den durchgezogenen Zeitverläufen, bei denen keine Bremsung erfolgt)

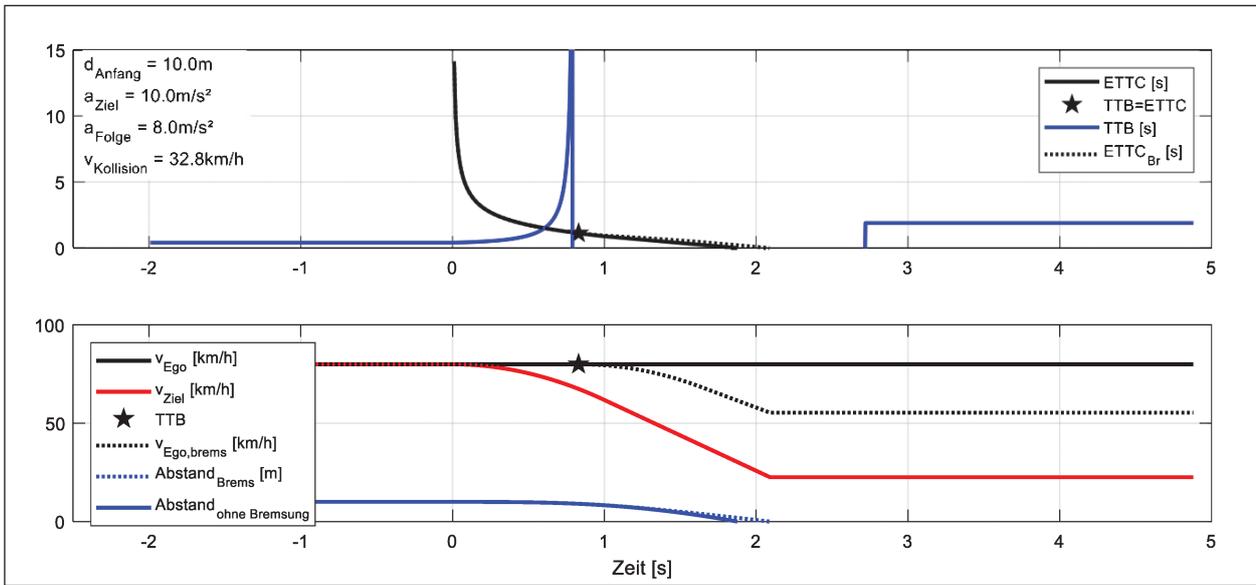


Bild 22: Wie in Bild 21, jedoch mit Ausgangs-Abstand 10 m und mit Verzögerung des Zielobjekts von 10 m/s². In diesem Fall ist wegen der deutlich höheren Verzögerung des Zielfahrzeugs keine Vermeidung des Unfalls mehr möglich. Die relative Kollisionsgeschwindigkeit liegt hier bei 33 km/h (die blaue rechtwinklige Kurve von TTB ab ca. 2,7 s stellt lediglich ein Artefakt der Simulation dar und ist bedeutungslos)

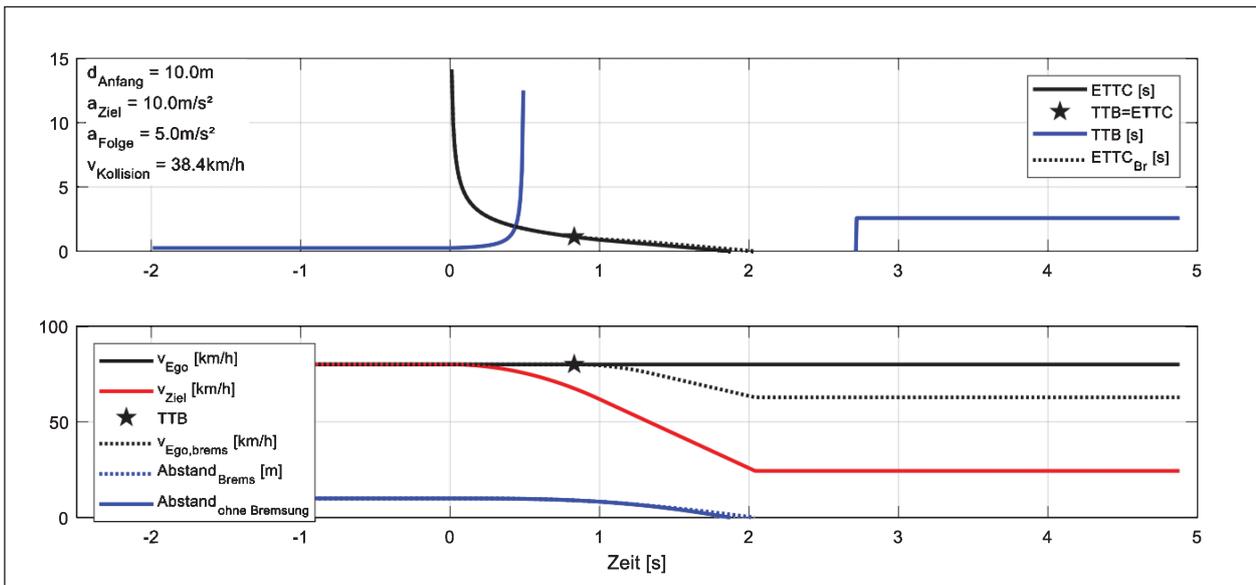


Bild 23: Wie in Bild 21, jedoch unter der Annahme, dass das Folgefahrzeug lediglich die auf trockener Fahrbahn minimal zu erreichende Verzögerung von 5 m/s² erreicht. Die Kollisionsgeschwindigkeit verändert sich nicht stark und liegt nun bei knapp 40 km/h

solche kritischen Fahrsituationen nicht vollständig durch ein automatisches Notbremssystem entschärft werden können, bei denen ein kleiner Abstand sowie eine hohe Verzögerung des Zielfahrzeugs vorliegt.

Die Gesamtübersicht der erreichten Kollisionsgeschwindigkeit als Funktion von Ausgangsabstand und maximaler Verzögerung des vorausfahrenden Zielfahrzeugs zeigt die erwarteten Grenzen von

Notbremssystemen für diese Verkehrssituationen: Je nach möglicher Verzögerung des Folgefahrzeugs können Notbremssysteme entweder bei einem Abstand von etwa 23 m (für typische Verzögerungen des Folgefahrzeugs, Bild 25) oder etwa 37 m (für die minimal zu erreichbare Verzögerung des Folgefahrzeugs, Bild 26) sämtliche auftretenden Situationen lösen (= es tritt dann keine Kollision mit einer Relativgeschwindigkeit größer als 5 km/h auf).

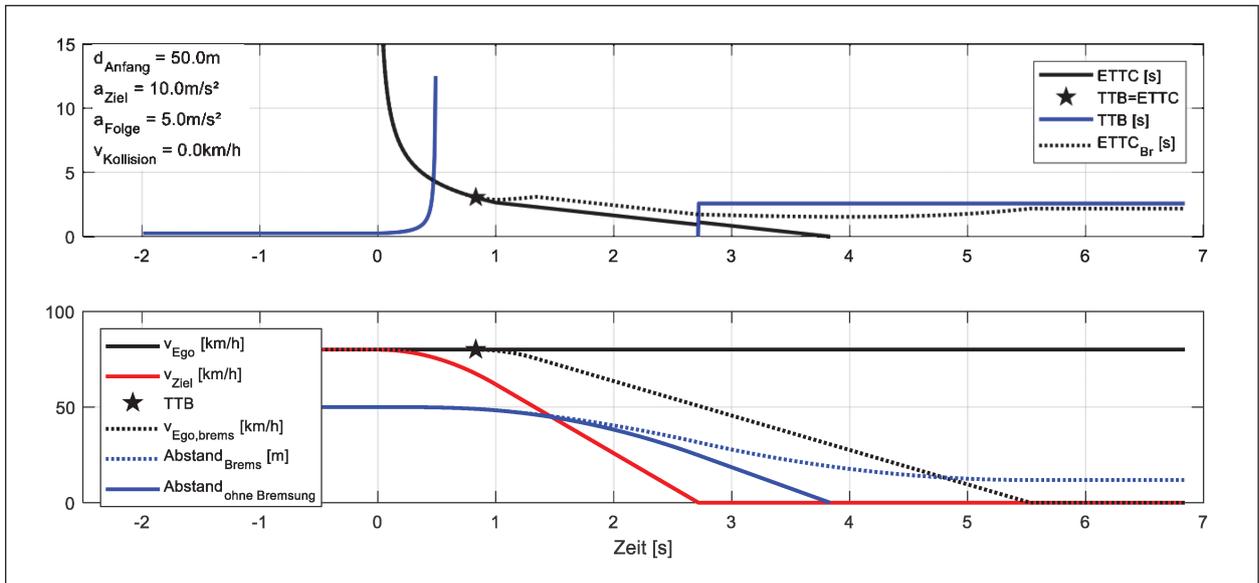


Bild 24: Wie in Bild 21. Hier liegt der Ausgangs-Abstand bei 50 m. In diesem Fall reicht auch bei der hohen Zielverzögerung von 10 m/s² bereits ein (früherer) Bremsenriff mit 5 m/s², um den Unfall zu verhindern (die blaue rechtwinklige Kurve von TTB ab ca. 2,7 s stellt lediglich ein Artefakt der Simulation dar und ist bedeutungslos)

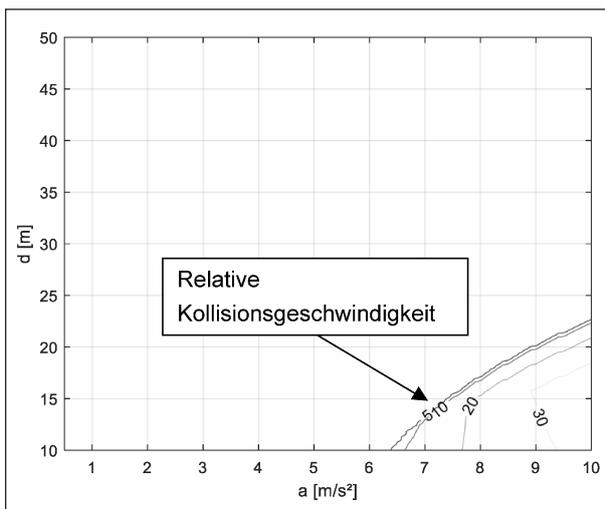


Bild 25: Konturdiagramm der relativen Kollisionsgeschwindigkeit in km/h als Funktion von Ausgangsabstand d und Zielfahrerverzögerung a für den Fall der typischen Verzögerung des Folgefahrzeugs von 8 m/s²

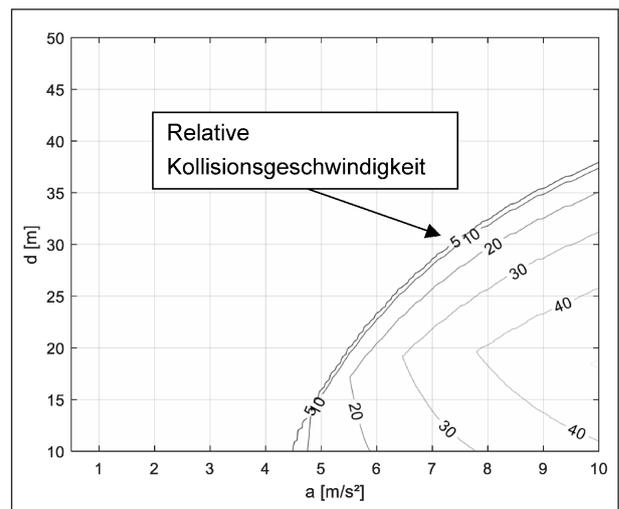


Bild 26: Wie Bild 25, für den Fall eines Folgefahrzeugs, das eine maximale Verzögerung von 5 m/s² erreicht (schlechtester anzunehmender Fall)

Wird angenommen, dass das vorausfahrende Fahrzeug nicht die maximale Verzögerung von 10 m/s² erreichen kann, sondern beispielsweise nur 8 m/s², verringern sich die für das Notbremssystem erforderlichen Abstände auf etwa 17 m oder etwa 33 m.

Alle diese Angaben beziehen sich auf auftretende Notsituationen, bei denen eine Vollverzögerung des vorausfahrenden Fahrzeugs auftritt. Für Verzögerungen des Vorausfahrenden bis zu 4,5 m/s² beziehungsweise 6 m/s² werden Kollisionen wirkungsvoll durch beide untersuchten Notbremssystemparameter vermieden.

Zu erkennen ist insbesondere in Bild 26, dass die größte Kollisionsgeschwindigkeit nicht bei minimalem Abstand entsteht, sondern bei einem Abstand von 20 m – dies resultiert daraus, dass bei besonders kleinen Abständen vor der Kollision nur eine geringere Zeit bleibt, um Relativgeschwindigkeit aufzubauen.

Auftretende Kollisionsgeschwindigkeiten für Abstände von 10 m liegen unter 37 km/h beziehungsweise 51 km/h.

5.3 Fazit

Es war zu prüfen, ob ein System, das vor zu geringen Abständen im Folgeverkehr warnt, zur Erhöhung der Verkehrssicherheit beiträgt.

Basierend auf plausiblen Regelstrategien für Notbremssysteme und plausiblen Annahmen für Fahrzeugeigenschaften konnte gezeigt werden, dass Notbremssysteme **nicht alle in Fahrgeschwindigkeit auftretenden Verkehrssituationen entschärfen können**.

Bis zu einer maximalen Verzögerung des Vorausfahrenden von $4,5 \text{ m/s}^2$ gelingt dies zwar, aber in Notsituationen mit hoher Verzögerung des Vorausfahrenden sind Abstände von 37 m (bei minimaler Verzögerung des Folgefahrzeugs) beziehungsweise 23 m (typische Verzögerung des Folgefahrzeugs) erforderlich, um Kollisionen vollständig vermeiden zu können.

Als Schlussfolgerung aus diesen Ergebnissen lässt sich ableiten:

- Eine Warnung bei zu geringem Abstand zum Vorausfahrenden kann aus Sicht der Verkehrssicherheit sinnvoll sein.
- Die erforderliche Warnschwelle hängt im Wesentlichen vom Bremsvermögen der jeweiligen Fahrzeugkombination ab und liegt zwischen 23 m Abstand (bei minimaler Verzögerung des Folgefahrzeugs) und 37 m Abstand (bei typischer Verzögerung des Folgefahrzeugs).
- Für die Bewertung des tatsächlichen Nutzens einer Abstandswarnung für die Verbesserung der Verkehrssicherheit ist sicher die Frage wichtig, ob der Abstand vorsätzlich klein gehalten wird und ob eine Abstandswarnung dies ändern würde oder nicht.
- Geringe Abstände bei Nässe sind für Notbremssysteme im Folgefahrzeug weniger kritisch, weil die Verzögerung des Vorausfahrenden dann entsprechend auch geringer sein wird und sicher nicht den Extremwert von 10 m/s^2 erreicht, sodass sich das Folgefahrzeug während der Reaktionszeit bzw. während der Latenzzeiten des Systems (u. a. für die Signalverarbeitung) dem Vorausfahrenden weniger stark nähert. Selbstverständlich kann auch vom Folgenden nicht die Verzögerung wie im Trockenen erreicht werden.

6 Ungewollte Übersteuerung

Stand der Technik und Wissenschaft

Das Thema der ungewollten Übersteuerung von automatischen Notbremsungen ist bereits 2011 umfassend in der Dissertation KOBIELA²² untersucht worden. Die dort präsentierten Ergebnisse zeigen, dass es möglich ist, aus einer Analyse der Art der Betätigung des Gaspedals (Geschwindigkeit, Absolutwert) auf die Fahrerintention (= liegt eine bewusste Übersteuerung vor oder nicht) schließen zu können, und dass darüber hinaus eine Intentionserkennung aufgrund von häufig beobachteten unabsichtlichen Gaspedalbetätigungen bei Notbremseingriffen ein wesentlicher Baustein für die Realisierung von Notbremssystemen ist. Insofern kann davon ausgegangen werden, dass eine entsprechende Absicherung gegen unabsichtliche Übersteuerung dem Stand der Technik entspricht.

Die Intentionserkennung kann durch eine vor dem Bremsen eingeleitete Kollisionswarnung positiv beeinflusst werden:

„Kollisionswarnungen beeinflussen die Fahrerreaktion vor allem dann, wenn sie vor einem autonomen Notbremseingriff einsetzen. Durch eine Vorwarnung können nichtintentionelle Gaspedalbetätigungen deutlich abgemildert und kürzere Reaktionszeiten ab Eingriffsbeginn erreicht werden. Die Intensität intentionaler Gaspedalbetätigungen wird durch eine Vorwarnung nicht negativ beeinflusst. Weiterhin reagieren viele Fahrer bei Vorwarnung schon vor Eingriffsbeginn, sodass sich ihre Reaktionen anschließend sehr schnell im Hinblick auf eine Fahrerintention interpretieren lassen“ ([KOBIELA, 2011], S. 255).

Weiterhin ist denkbar, innerhalb kurzer Eingriffsdauern (wie sie beispielsweise bei geringen Fahrgeschwindigkeiten auftreten, bei denen wiederum eine Fahrerwarnung nicht sinnvoll ist) auf eine Intentionserkennung zu verzichten:

„Eine zweite Rahmenbedingung für die sinnvolle Anwendung der Fahrerintentionserkennung besteht in der zu erwartenden Dauer des Eingriffs. Ist dessen Dauer voraussichtlich kürzer als die typischen Erkennungszeiten für Fahrerintentionen (vgl. die

²² [KOBIELA, 2011]

Erkennungszeiten²³ in den empirischen Kapiteln dieser Arbeit und in [KOBIELA, 2009]), ist nicht davon auszugehen, dass die Fahrer rechtzeitig reagieren können. Dies kann zum Beispiel auf Eingriffe im niedrigen Geschwindigkeitsbereich zutreffen“ ([KOBIELA, 2011], S. 262).

Aus diesen Literaturstellen lassen sich folgende Schlüsse ziehen:

- Eine Intentionserkennung scheint eine grundlegende Voraussetzung für funktionierende Notbremssysteme zu sein: Bei Bewertung lediglich der Betätigung des Gaspedals als Kriterium für eine Übersteuerung könnten derartige Systeme nicht zufriedenstellend funktionieren, denn leichte, unabsichtliche Betätigungen des Gaspedals seien während Notbremseingriffen häufig.
- Die entsprechenden Algorithmen erfordern eine kombinierte Bewertung der Parameter Pedalbetätigungsdauer, -geschwindigkeit und -weg und lassen sich nicht ohne weiteres in eine technologie neutrale Regelung wie die UN-Regelung Nr. 131 aufnehmen.
- Die Güte der Intentionserkennung steigt, wenn kurz vor (auch < 1 s vor) einem Bremsenriff eine Kollisionswarnung aktiviert wird.
- Die Dauer der Intentionserkennung liegt etwa bei 0,8 s – denkbar ist, bei kleinen Geschwindigkeiten und kurzen Notbremseingriffen auf eine Intentionserkennung zu verzichten. Ein Verzicht auf eine Fahrerwarnung im niedrigen Geschwindigkeitsbereich scheint daher gerechtfertigt.

Übersteuerung von Notbremssystemen im Unfallgeschehen

Aus [PETERSEN, 2016, S. 276], ist bekannt, dass es während eines Auffahrunfalls eines mit einem Notbremssystem ausgestatteten Lkw zu einer Übersteuerung der automatischen Bremsung mittels Kick-down, also des vollen Durchtretens des Gaspedals gekommen ist. Eine solche Betätigung des Gaspedals geschieht aber sicher nicht unbewusst, sondern – sicherlich weiterhin fälschlich – bewusst.

Die Möglichkeit einer Übersteuerung eines Notbremseingriffs ist aus technischer Sicht unbedingt erforderlich, da eine Bewertung von Verkehrssituationen durch Sensoren niemals absolut korrekt sein kann und damit die finale Bewertung einer Verkehrssituation dem Fahrer obliegt. Gefahren durch falsch einsetzende Bremsenriffe, beispielsweise für den rückwärtigen Verkehr, lassen sich nur vermeiden, wenn es den Fahrenden möglich ist, Fehlbremungen schnell und intuitiv abzubrechen. Die Kriterien zur Bewertung einer Gaspedalbetätigung als Übersteuerung der Bremsung sind in der Literatur diskutiert; ganz sicher gehört aber ein Kick-down, teilweise über einen zusätzlichen mechanischen Widerstand hinaus, zu den klarsten Zeichen einer Übersteuerung der Bremsung. Es ist aus Sicht der Technik daher nicht möglich, die Übersteuerung mittels Kick-down zu verbieten, ohne neue Risiken einzuführen.

Über diesen Einzelfall hinaus liegen der BAST derzeit keine Informationen über Auffahrunfälle von mit Notbremssystemen ausgestatteten Lkw vor, aus denen sich eine Relevanz von fälschlichen Übersteuerungen im Unfallgeschehen ableiten lässt. Vielmehr ist eine Übersteuerung von automatischen Notbremssystemen insbesondere vor dem Hintergrund der geplanten Einschränkung der Abschaltbarkeit dieser Systeme wichtig.

Eine Anpassung der Regelung 131 in Bezug auf eine Verhinderung ungewollter Übersteuerung eines Notbremssystems sollte daher zu einer Verbesserung der Unfallsituation führen.

7 Erkennung kleinerer Fahrzeuge

Es ist die Frage zu beantworten, ob die Prüfung der Notbremssystemeigenschaften mit kleineren Zielobjekten zur Steigerung der Verkehrssicherheit beiträgt.

Aus der Unfalldatenbank GIDAS können Kollisionspartner von Lkw identifiziert werden. Kriterien für die Unfallabfrage sind:

- Datenbankabzug 12/2018,
- nur vollständig rekonstruierte Unfälle ab 2005,
- Unfalltyp: Unfälle im Längsverkehr, d. h. UTYP 600-699,

²³ Als Zeit, die zur Erkennung einer Übersteuerungsintention erforderlich ist, wird im Mittel 0,82 Sekunden genannt ([KOBIELA, 2011], S. 168).

Die Außenmaße dieses Zielobjekts (Breite 1,6 m, Höhe 1,35 m) sind geringer als diejenigen eines Mini-Pkw Mercedes Benz Smart, Baureihe 435 (Breite: 1,66 m, Höhe: 1,55 m).

Basierend auf den geringen Größenunterschieden zwischen Zielobjekt und Smart Baureihe 435 als Beispiel eines kleinen Pkw wird nicht angenommen, dass heutige Notbremssysteme ein systematisches Problem mit der Erkennung von kleinen Pkw haben. Da auch Zweiräder im Unfallgeschehen mit Lkw auf Autobahnen praktisch nicht auftreten, wird für eine exaktere Spezifizierung des Testobjekts keine deutliche Verbesserung der Verkehrssicherheit erwartet.

8 Erfüllungsaufwand

Derzeit wird eine Änderung der technischen Anforderungen an Lkw-Notbremssysteme gemäß der Regelung UN R 131 diskutiert, welche insbesondere eine Anhebung der erforderlichen automatischen Geschwindigkeitsreduktionen bei bevorstehenden Kollisionen auf stehende Ziele sowie mehrere verschiedene Testgeschwindigkeiten sowohl für stehende als auch bewegte Ziele vorsieht. Die Anforderungen für Notbremsungen auf bewegte Zielobjekte, wie derzeit in UN R 131 festgeschrieben, sind nur für den Testfall 80 km/h definiert. Die Berechnungen des Erfüllungsaufwands beruhen auf den nachfolgenden angenommenen zusätzlichen Anforderungen:

- Eingeschränkte Abschaltbarkeit des Systems durch den/die Fahrer/in (Annahme: bis zu einer Geschwindigkeit von 30 km/h, analog zum Vorschlag von Deutschland in Dokument ECE/TRANS/WP.29/GRRF/2017/24);
- Bis einschließlich 70 km/h vollständige Vermeidung der Kollision bei vollständiger Überdeckung mit dem stehenden Zielobjekt (trockene Fahrbahn und Geradeausfahrt);
- Erhöhung der Anzahl an Prüfgeschwindigkeiten (Annahme: Faktor 5) im Vergleich zur bisherigen Testgeschwindigkeit von 80 km/h (Annahme: Gilt für Test-Anforderungen auf stehende als auch bewegte Ziele).

Der Erfüllungsaufwand wird berechnet für die Bereiche Bürgerinnen und Bürger, Wirtschaft und Verwaltung. Dabei wird unterschieden in a) einmalig

anfallenden Erfüllungsaufwand und b) jährlich anfallenden Erfüllungsaufwand. Basiszahlen für die Berechnung sind die Zahl der erteilten Genehmigungen, der durchzuführenden Prüfungen sowie der Neuzulassungen.

8.1 Fallzahlen

Im Jahr 2017 wurden vom KBA 49 Genehmigungen von Lkw-Notbremssystemen an 8 Hersteller erteilt. Davon waren 3 Neugenehmigungen im Rahmen eines Typpergenehmigungsverfahrens und 46 Nachtragsgenehmigungen. Da keine verlässlichen Daten über die zukünftige Entwicklung von Genehmigungsanträgen vorliegen werden die Werte auch für die Zukunft angenommen.

Im Jahre 2016 wurden insgesamt 87.502 Fahrzeuge, für die eine Änderung der Regelung UN R 131 relevant ist, neu zugelassen. Dabei entfielen auf die Fahrzeugklassen M₂ und M₃ (Kraftomnibusse) insgesamt 6.683 Fahrzeuge, von denen 201 auf Arbeitnehmer und Nichterwerbspersonen zugelassen wurden. Bei den relevanten Fahrzeugen der Klassen N₂ und N₃ (Lastkraftwagen > 3,5 t zulässige Gesamtmasse, bei Sattelzugmaschinen wurden Klassen N₁₋₃ berücksichtigt, da nach FZ 24 des KBA diese nicht gesondert ausgewiesen werden) wurden 2016 insgesamt 80.819 Fahrzeuge zugelassen (Lkw: 43.852, Sattelzugmaschinen: 36.967), von denen 2.600 Lkw bzw. 1.744 Sattelzugmaschinen Arbeitnehmern und Nichterwerbspersonen zuzurechnen sind. Insgesamt entfielen im Jahre 2016 damit 82.957 Fahrzeuge auf den Normadressat Wirtschaft (M₂/M₃ (Kraftomnibusse): 6.683 – 201 = 6.482; N₂/N₃ (Lkw): 43.852 – 2.600 = 41.252; Sattelzugmaschinen: 36.967 – 1.744 = 35.223) sowie 4.545 Fahrzeuge auf Bürgerinnen und Bürger (M₂/M₃ (Kraftomnibusse): 201; N₂/N₃ (Lkw): 2.600; Sattelzugmaschinen: 1.744).

8.2 Bürgerinnen und Bürger

a) Einmaliger Erfüllungsaufwand

Es entsteht kein einmaliger Erfüllungsaufwand für Bürgerinnen und Bürger.

b) Jährlicher Erfüllungsaufwand

Da die Hersteller aufgrund der geänderten Anforderungen an das AEBS bei den Systemkos-

ten nicht von Kostensteigerungen ausgehen, ist auch beim Fahrzeugkauf nicht mit höheren Preisen zu rechnen. Dementsprechend entsteht bei jährlich ca. 5 Tsd. privaten Neuzulassungen von Lkw, Sattelzugmaschinen und Kraftomnibussen kein zusätzlicher jährlicher Erfüllungsaufwand.

8.3 Wirtschaft

a) Einmaliger Erfüllungsaufwand

Im Bereich der Wirtschaft wird laut Angabe eines Herstellers zur Erfüllung der neuen Vorgaben an das AEBS für Lkw und Omnibusse von einem einmaligen Umstellungsaufwand i. H. v. ca. 330 Tsd. Euro für Sachaufwand und ca. 200 Tsd. Euro für Personal ausgegangen. Bei angenommenen zwei Unternehmen entspricht dies insgesamt einem einmaligen Sachaufwand von 660 Tsd. Euro und 400 Tsd. Euro für Personal.

Der Aufwand auf Seiten der Technischen Dienste (TD) wird dem Normadressat Wirtschaft zugeordnet, da die Kosten durch freie Preisverhandlungen mit den Herstellern an diese übergewälzt werden. Die verwendeten Daten zur Ermittlung des einmaligen und jährlichen Erfüllungsaufwands beruhen auf Angaben des Verbands der Technischen Überwachungs-Vereine (VdTÜV). Die konsolidierten Angaben des VdTÜV bilden dabei das Meinungsbild von sechs befragten Technischen Diensten als Durchschnittswerte ab. Der einmalige Umstellungsaufwand aufgrund geänderter Testanforderungen bei den TD umfasst laut Auskunft des VdTÜV nur einmaligen Personalaufwand. Der Sachaufwand ist vernachlässigbar, da die Prüfeinrichtungen entweder vorhanden sind oder die Prüfungen auf Herstellereinrichtungen erfolgen. Der einmalige Personalaufwand beträgt je Technischem Dienst unter 10 Tsd. Euro. Zur Bestimmung des gesamten einmaligen Aufwands für Personal wird für die sechs befragten Technischen Dienste (TÜV Hessen, TÜV Nord, TÜV Rheinland, TÜV Süd, TÜV Thüringen, DEKRA) ein Wert von insgesamt ca. 60 Tsd. Euro angenommen.

Insgesamt erhöht sich der einmalige Erfüllungsaufwand für die Wirtschaft um ca. 660 Tsd. Euro für Sachaufwendungen und ca. 460 Tsd. Euro für Personal (400 Tsd. Euro + 60 Tsd. Euro = 460 Tsd. Euro).

b) Jährlicher Erfüllungsaufwand

Der zusätzliche jährliche Erfüllungsaufwand bei den TD ergibt sich aus den geänderten Testanforderungen beim Einsatz der Messtechnik bzw. bei der aufwendigeren Prüfung und Berichtserstellung. Der Mehraufwand für Sachleistungen wird laut VdTÜV auf unter 15 Tsd. Euro je Typgenehmigung pro TD geschätzt. Für die geschätzten 3 neuen Typgenehmigungen pro Jahr (siehe Fallzahlen) ergibt sich somit ein jährlicher Mehraufwand von ca. 45 Tsd. Euro ($3 \times 15.000 \text{ Euro} = 45.000 \text{ Euro}$). Laut Auskunft des KBA können die Nachtragsgenehmigungen in Abhängigkeit des Grundes für den Nachtrag geringere Aufwände verursachen. Es wird für die jährlichen 46 Genehmigungen daher der hälftige Sachaufwand i. H. v. ca. 345 Tsd. Euro angesetzt ($46 \times 15.000 \text{ Euro} \times 50 \% = 345.000 \text{ Euro}$). Insgesamt erhöht sich der jährliche Sachaufwand für alle Genehmigungen um ca. 390 Tsd. Euro. Der jährliche Mehraufwand für Personal wird auf 90 Stunden je AEBS Typgenehmigung geschätzt. Da keine Daten zu Lohnkosten der TD vorliegen, werden diese analog zur Nr. 199 GebOST (15,30 bis 61,40 Euro) verwendet. Bei einem gemittelten Stundensatz von 38,35 Euro ($(15,30 \text{ Euro} + 61,40 \text{ Euro})/2 = 38,35 \text{ Euro}$) ergibt sich ein jährlicher Mehraufwand für Personal für die Neu- und Nachtragsgenehmigungen i. H. v. ca. 90 Tsd. Euro ($3 \times 90 \text{ Stunden} \times 38,35 \text{ Euro/h} = 10.355 \text{ Euro}$; $46 \times 90 \text{ Stunden} \times 38,35 \text{ Euro/h} \times 50 \% = 79.385 \text{ Euro}$). Der jährliche Mehraufwand der TD für Personal- und Sachaufwendungen i. H. v. 480 Tsd. Euro wird letztlich durch die Hersteller getragen.

Da die Hersteller aufgrund der geänderten Anforderungen an das AEBS bei den Systemkosten nicht von Kostensteigerungen ausgehen, ist auch beim Fahrzeugkauf nicht mit höheren Preisen zu rechnen. Dementsprechend entsteht bei jährlich ca. 83 Tsd. gewerblichen Neuzulassungen von Lkw, Sattelzugmaschinen und Kraftomnibussen kein zusätzlicher jährlicher Erfüllungsaufwand.

Insgesamt erhöht sich der jährliche Erfüllungsaufwand für die Wirtschaft um ca. 390 Tsd. Euro für Sachaufwendungen und ca. 90 Tsd. Euro für Personal.

8.4 Verwaltung

Erfüllungsaufwand des Bundes

a) Einmaliger Erfüllungsaufwand

Im Rahmen der Marktüberwachung entsteht beim KBA aufgrund von geänderten Anforderungen ein einmaliger Umstellungsaufwand i. H. v. ca. 25 Tsd. Euro für Sachaufwände und ca. 21 Tsd. Euro für Personal (100 Stunden x 86,39 Euro/h (Stundensatz Beamte KBA A12) + 200 Stunden x 61,71 Euro/h (Stundensatz Angestellte KBA E9) = 20.981 Euro). Im Bereich der Typgenehmigung ist der einmalige Erfüllungsaufwand des KBA aufgrund der Vorschriftenanpassung im Rahmen der Genehmigungserteilung unerheblich.

b) Jährlicher Erfüllungsaufwand

Der jährliche Mehraufwand des KBA für die Marktüberwachung beträgt je geprüftem Lkw ca. 3.500 Euro für Sachaufwand und ca. 11 Tsd. Euro (64 Stunden x 86,39 Euro/h (Stundensatz Beamte KBA A12) + 88 Stunden x 61,71 Euro/h (Stundensatz Angestellte KBA E9) = 10.959 Euro) für Personal. Bei angenommenen 3 Überprüfungen pro Jahr beträgt der jährliche zusätzliche Sachaufwand ca. 11 Tsd. Euro (3 x 3.500 Euro = 10.500 Euro) und der zusätzliche Personalaufwand ca. 33 Tsd. Euro (3 x 10.959 = 32.877 Euro). Im Bereich der Typgenehmigung ist der jährliche Erfüllungsaufwand des KBA aufgrund der Vorschriftenanpassung im Rahmen der Genehmigungserteilung unerheblich.

Erfüllungsaufwand der Länder (inklusive Kommunen)

a) Einmaliger Erfüllungsaufwand

Es entsteht kein einmaliger Erfüllungsaufwand im Bereich der Länder.

b) Jährlicher Erfüllungsaufwand

Es entsteht kein jährlicher Erfüllungsaufwand im Bereich der Länder.

9 Zusammenfassung

Im vorliegenden Bericht wurde im Detail untersucht, inwiefern eine Anpassung der technischen Anforderungen an Notbremssysteme für Lkw (geregelt unter anderem in UN R 131) technisch und aus Gründen der Verkehrssicherheit sinnvoll ist.

Insbesondere die erforderlichen automatischen Geschwindigkeitsreduktionen bei bevorstehenden Kollisionen auf stehende Ziele können deutlich angehoben werden. Aus fahrdynamischen Grundlagen wurden, je nach Ausgangsfahrgeschwindigkeit, unterschiedliche Bremszeitpunkte bestimmt. Als Voraussetzung für Bremseingriffe wurde angenommen, dass automatische Bremseingriffe spätestens dann gerechtfertigt sind, wenn ein menschlicher Fahrer keine Möglichkeit mehr hat, einem Zielobjekt auszuweichen. Einflussgrößen sind die physikalischen Eigenschaften eines Bremssystems, die Überdeckung zwischen bremsendem Fahrzeug und Hindernis sowie der zur Verfügung stehende Fahrbahnreibwert. Messungen zeigen eine gute Übereinstimmung eines aus den Annahmen abgeleiteten Simulationsmodells mit den tatsächlichen Bremseingriffszeitpunkten und Bremseingriffen eines mit einem modernen Notbremssystem ausgestatteten Lkw.

Anhand der ermittelten Eingriffszeitpunkte wurden mögliche Geschwindigkeitsreduktionen für verschiedene Relativgeschwindigkeiten sowie die folgenden Fälle abgeschätzt:

- trockene Fahrbahn, volle Überdeckung der Fahrzeuge (höchste Geschwindigkeitsreduktion),
- trockene Fahrbahn, halbe Überdeckung,
- nasse Fahrbahn, volle Überdeckung,
- nasse Fahrbahn, halbe Überdeckung (geringste Geschwindigkeitsreduktion).

Eine Unterscheidung zwischen stehenden und bewegten Zielobjekten wird – bei gleicher Relativgeschwindigkeit – nicht mehr vorgenommen; diese lässt sich aus den fahrdynamischen Annahmen nicht ableiten.

Tabelle 2 bis Tabelle 5 können als Basis für eine Anpassung der Anforderungen in UN R 131 dienen. Die Anforderungen für Notbremsungen auf bewegte Zielobjekte, wie sie derzeit in UN R 131 festgeschrieben sind, sind grundsätzlich ausreichend, allerdings nur für den Testfall 80 km/h definiert. Es

wird daher empfohlen, mehrere verschiedene Testgeschwindigkeiten vorzuschreiben, bei denen entsprechend die spezifizierten Geschwindigkeitsreduktionen erreicht werden sollten. Die Tabellen bilden grundsätzlich Relativgeschwindigkeiten ab; eine Anpassung der Anforderungen für Bremsungen auf bewegte Zielobjekte kann daher basierend auf den hier definierten Werten ebenfalls vorgenommen werden.

Eine Limitierung der Geschwindigkeitsreduktion während einer Warnphase, wie sie derzeit in Regelung UN R 131 vorgesehen ist²⁵ lässt sich aus den in Kapitel 3.1.3 vorgenommenen Überlegungen für den niedrigen Geschwindigkeitsbereich nicht begründen. **Besser wäre es daher, diese Limitierung aus der Vorschrift zu streichen.** Sie gilt formal ohnehin nur für den Testfall mit 80 km/h Fahrgeschwindigkeit.

Bezüglich der Abschaltbarkeit von Notbremsassistenzsystemen wurde anhand der durchgeführten Untersuchungen festgestellt, dass sich Fehlwarnungen im Fahrbetrieb, selbst unter Nutzung eines der derzeit am weitesten entwickelten Notbremsysteme, nicht gänzlich vermeiden lassen. Grund dafür ist im Wesentlichen die unzureichende Erkennbarkeit der Fahrerintention.

Fehlwarnungen in ungestörter Autobahnfahrt (= außerhalb von Autobahnbaustellen) konnten aber nicht gefunden werden. Die in der Öffentlichkeit genannten Fehlwarnungen und -eingriffe bei Lkw-Überholvorgängen konnten nicht nachvollzogen werden. Aus technischer Sicht ist es daher sinnvoll, **die Deaktivierbarkeit eines Notbremsystems nur in solchen Verkehrssituationen zu erlauben, in denen es durch Fehlinterpretationen seitens des Systems (Objekte abseits der Fahrbahn) zu Fehlfunktionen kommen kann.** Ein Indikator hierfür kann eine bestimmte Geschwindigkeitsgrenze sein.

Denkbar ist eine automatische Aktivierung eines abgeschalteten Notbremsassistenzsystems bei Überschreiten einer Geschwindigkeit, oberhalb derer nicht mehr zu erwarten ist, dass Objekte seitlich der Fahrbahn zu Fehlwarnungen führen können. Bei höheren Geschwindigkeiten könnte eine zeitlich

begrenzte Abschaltung erlaubt sein, um Fehlfunktionen auf Autobahnbaustellen zu vermeiden.

Für eine Berücksichtigung **wechselnder Reibkoeffizienten** (z. B. nasse Straßenoberfläche) in den Warn- und Regelkriterien der Systeme ist die Entwicklung von robusten, zuverlässigen Reibwertschätzsystemen, die sich, weil es sich um sicherheitskritische Systeme handelt, nicht nur auf weiche Kriterien wie aktivierte Scheibenwischsysteme stützen können, erforderlich. Nach Kenntnis der BAST gibt es diese Systeme derzeit nicht: Anhand fahrdynamischer Messungen (z. B. Radschlupf) lässt sich zwar der Fahrbahnreibwert präzise bestimmen, aber nur bei Einsetzen der Radblockade, also deutlich nach Beginn einer Notbremsung.

Im Rahmen dieses Forschungsprojekts wurden technisch mögliche Geschwindigkeitsreduktionen auf Fahrbahnen mit verringertem Reibwert definiert, die in eine Anpassung der Regelung UN R 131 aufgenommen werden könnten, um eine Mindestleistung von Notbremsystemen auf solchen Fahrbahnoberflächen festzuschreiben bzw. um klarzustellen, dass die bei trockener Fahrbahn geforderten Werte bei nasser Fahrbahn nicht erreicht werden müssen.

Nach Auswertung von der BAST zugänglichen Unfalldaten besteht kein besonderes Risiko für kleine Pkw oder Motorräder. Es wird daher keine Notwendigkeit gesehen, die **Erkennung kleinerer Fahrzeuge** (z. B. kleinerer Pkw oder Motorräder) zu verbessern. Obwohl in UN R 131 kein spezifisches Zielobjekt oder dessen Größe vorgeschrieben ist, wird in der Praxis doch ganz überwiegend das European Vehicle Target (EVT) genutzt, dessen Heckfläche der eines kleinen Pkws entspricht. In Zukunft wird sicher vermehrt das derzeit in internationale Standards eingeführte Global Vehicle Target (GVT) genutzt werden, das äußerlich und in der Sensorcharakteristik einem Ford Fiesta entspricht, also einem Fahrzeug der Kompaktklasse. **Es ist also davon auszugehen, dass ausgeführte Notbremsysteme keine Schwierigkeiten mit kleinen Pkw haben werden.** Denkbar wäre aber die Spezifizierung des zu verwendenden Zielobjekts in UN R 131 anhand der entsprechenden, derzeit entstehenden ISO-Norm 19206.

Für eine zusätzliche **frühzeitige Warnung des Fahrers bei zu geringem Mindestabstand** ist gegebenenfalls eine Verbesserung der Verkehrssicherheit denkbar: Simulationen zeigen, dass Notbremsysteme nicht in allen Fahrsituationen der

²⁵ „Any speed reduction during the warning phase, shall not exceed either 15 km/h or 30 per cent of the total subject vehicle speed reduction, whichever is higher“ (6.4.2.3, UN R 131, Revision 1).

Folgefahrt von Lkw Kollisionen vermeiden können. Insbesondere nicht vermeidbar sind Kollisionen in folgenden Situationen:

- Zwischen einem Folgefahrzeug, das nur die minimale Verzögerung von 5 m/s^2 erreicht, und einem mit 10 m/s^2 verzögerndem Vorfahrer bei einem Abstand unter 37 m,
- zwischen einem Folgefahrzeug, das eine Verzögerung von 8 m/s^2 erreicht und einem mit 10 m/s^2 verzögerndem Vorfahrer bei einem Abstand unter 23 m.

Der tatsächliche Nutzen einer Abstandswarnung hängt aber sicher davon ab, ob der Abstand irrtümlich oder bewusst gering gehalten ist und ob die Lkw-Fahrer auf eine Warnung durch eine Vergrößerung des Abstands reagieren.

Für ein Eingrenzen der **Übersteuerungsmöglichkeiten**, um ungewolltes Übersteuern durch den Fahrer in Gefahrensituationen zu verhindern, wird – über das im Stand der Technik bereits berücksichtigte Maß hinaus – keine Erhöhung der Verkehrssicherheit erwartet:

Einerseits ist das Problem, dass es während Notbremsengriffen zu unbewussten Betätigungen des Gaspedals kommen kann, durch die Dissertation KOBIELA [KOBIELA, 2011] hinreichend bekannt. Diese Arbeit zeigt unter anderem, dass Fahrerintentionserkennungen technisch möglich sind, sie durch eine der Notbremsphase vorausgehende Warnung unterstützt werden können, und dass für kurze Bremsengriffe unterhalb üblicher Reaktionszeiten, beispielsweise im geringen Geschwindigkeitsbereich, auf Fahrerintentionserkennungen verzichtet werden kann.

In der Literatur wird ein Unfall beschrieben, bei dem ein Kick-Down des Gaspedals zur Übersteuerung einer Notbremsung geführt hat; aus derzeitiger Sicht ist es aber sicher nicht sinnvoll, eine Übersteuerung mindestens mittels Kick-Down zu verbieten, weil nur so Fehlbremssungen schnell und intuitiv abgebrochen werden können. Wäre dies nicht mehr möglich, wären neue Risiken bedingt durch Fehlbremssungen zu erwarten.

Über diesen Einzelfall hinaus sind der BAST keine Fälle bekannt, aus denen eine Relevanz ungewollter Übersteuerungen im Unfallgeschehen hervorgeht. Es ist daher derzeit kein Handlungsbedarf gegeben.

Literatur

[BREUER, 1997]

BREUER, B. et al.: Kraftfahrzeugtechnik 1. Skriptum zur Vorlesung an der TU Darmstadt: Darmstadt, 1997

[Euro NCAP, 2015]

Euro NCAP: Euro NCAP Test Protocol – AEB Systems. Version 1.1, Juni 2015. Verfügbar unter <https://cdn.euroncap.com/media/17719/euro-ncap-aeb-test-protocol-v11.pdf>

[IRZIK, 2016]

IRZIK, M. et al.: Feldversuch mit Lang-Lkw. Abschlussbericht. Bergisch Gladbach: Bundesanstalt für Straßenwesen, November 2016

[KOBIELA, 2011]

KOBIELA, F.: Fahrerintentionserkennung für autonome. Dissertation an der TU Dresden, 2010. Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden 2011

[KOBIELA, 2009]

KOBIELA, F.; ENGELN, A.: Erkennbarkeit von Überstimmungs- und Vollbremsabsichten während autonomer Notbremsmanöver mit und ohne Fahrerwarnung. In: VDI-Berichte, Nr. 2085 (S. 167 – 180). Düsseldorf: VDI-Verlag

[MAGES, 2008]

MAGES, M.: Top-Down-Funktionsentwicklung eines Einbiege- und Kreuzenassistenten. In: Fortschrittsberichte VDI, Reihe 12, Nr. 694. Düsseldorf: VDI-Verlag

[MÜLLER, 2017]

MÜLLER, G. et al.: Unfallvermeidung durch Reibwertprognosen. FAT-Schriftenreihe 299, verfügbar unter <https://www.vda.de/de/services/publikationen/fat-schriftenreihe-299.html>

[ÖRTLUND, 2017]

ÖRTLUND, R.: Evaluation of AEBS Real Life Performance – A Method for Using Limited Log Data Applied on Volvo Trucks. Master Thesis, Department of Applied Mechanics, Chalmers University of Technology. Göteborg, Schweden, 2017. Verfügbar unter <http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/250465/250465.pdf>

[PANWINKLER, 2017]

PANWINKLER, T.: Unfallgeschehen schwerer Güterkraftfahrzeuge. In: Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft M 277. Verfügbar unter http://bast.opus.hbz-nrw.de/volltexte/2018/1924/pdf/M277_Anhang.pdf

[PETERSEN, 2016]

PETERSEN et al.: Lkw-Unfälle mit schweren Personenschäden auf niedersächsischen Autobahnen und deren Relevanz sowie Vermeidbarkeit durch aktuelle Notbrems-Assistenzsysteme. In: ZVS 5/2016

[PETERSEN, 2018]

PETERSEN, E.; BERG, F. A.: Über den Umgang mit automatischen Notbremsystemen. In: ZVS 2/2019 und ZVS 3/2019

[Reg. (EU) 347/2012]

Europäische Kommission: 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 Notbremsassistenten für bestimmte Kraftfahrzeugklassen. Brüssel, 2012

[RIGLING, 2017]

RIGLING, A.: ADAC-Test Lkw Notbremsassistenten. verfügbar unter https://www.adac.de/infotestrat/tests/assistentensysteme/lkw_notbremsassistent_2017/default.aspx. Messdaten zur Verfügung gestellt durch den ADAC

[SEINIGER, 2013]

SEINIGER, P. et al.: Ein validiertes Testverfahren für Notbremsysteme-Ergebnisse des ASSESS-Projekts. 6. Konferenz Fahrerassistenzsysteme des TÜV Süd, München, 28./29.11.2013

[SEINIGER, 2017]

SEINIGER, P.: Abschlussbericht Abschaltbarkeit von Notbremsassistentensystemen. Übermittelt an BMVI mit Schreiben 539/17

[TRABERT, 2018]

TRABERT, T.; SHEVCHENKO, I.; MÜLLER, G. A. MALCZYK: In-Depth Analyse schwerer Unfälle mit schweren Lkw. Gesamtverband der Deutschen Versicherer. Forschungsbericht Nr. 54. Berlin: Unfallforschung der Versicherer

[UN R 131]

WP.29 der Vereinten Nationen: Regulation 131 Uniform provisions concerning the approval of motor vehicles with regard to the Advanced Emergency Braking Systems (AEBS), Supplement 1 to 01 series of amendments. Genf, 2014

[VERWEYEN, 2017]

VERWEYEN, G.; BREITENBACH, A.: Lkw-Notbremsysteme. ZDF WISO vom 23. Januar 2017. Verfügbar unter <https://www.zdf.de/verbraucher/wiso/deaktivierte-notbremsysteme-fuer-lkw-gefaehrden-verkehr-100.html>

[WINNER, 2012]

WINNER, H.; HAKULI, S.; WOLF, G.: Handbuch Fahrerassistenzsysteme, 2. Auflage. Wiesbaden: Springer-Verlag, 2012

[WINNER, 2015]

WINNER, H.; HAKULI, S.; LOTZ, F.; SINGER, C.: Handbuch Fahrerassistenzsysteme, 3. Auflage. Wiesbaden: Springer-Verlag, 2015

Bilder

- Bild 1: Versuchsfahrzeug Mercedes-Benz Antos 1833 (Quelle: BAST)
- Bild 2: Verbau der Messtechnik (oben links: Abstandssensor LIDAR; oben rechts: Inertialmesseinheit; unten rechts: Antenne des GPS-Systems; unten links: Zielobjekt) (Quelle: BAST)
- Bild 3: Ausweichvorgang als kompletter einfacher Spurwechsel
- Bild 4: Zielbereich erwarteter Warnungen (nach [14], S. 538 f.)
- Bild 5: Brems- und Warnzeitpunkte unter Annahme realistischer System- und Fahrereigenschaften. Ausweichzeiten aus Kapitel 3.1.1 bis Kapitel 3.1.3 für vollständigen Spurwechsel (NICHT für reines Ausweichen) gewählt
- Bild 6: Modellvorstellung aus Kapitel 3.1.3 und Messdaten aus Notbremsversuchen auf ein stehendes Fahrzeug-Ersatzobjekt, Versuchsfahrzeug Mercedes ANTOS 1833, leer (für Anfangsgeschwindigkeiten 30 und 40 km/h wurde die Bremsung nach Fahrerwarnung manuell durchgeführt; diese Fahrten sind dennoch abgebildet, um den Warnzeitpunkt zu zeigen)
- Bild 7: Erreichbare Geschwindigkeitsreduktion, basierend auf einem Bremseingriff ab $TTC = 1,8$ Sekunden, maximaler Verzögerung von 7 m/s^2 , aufgebaut mit einem Gradienten von 10 m/s^3 . Vermieden werden Unfälle noch bis zu einer Relativgeschwindigkeit von 73 km/h. Bei 80 km/h beträgt die Geschwindigkeitsreduktion noch 57,2 km/h, bei 100 km/h Ausgangsgeschwindigkeit 48,4 km/h, bei 110 km/h Ausgangsgeschwindigkeit 46,6 km/h (höhere Geschwindigkeitsbereiche sind relevant für schnellfahrende Busse)
- Bild 8: Erreichbare Geschwindigkeitsreduktion, basierend auf einem Bremseingriff ab $TTC = 1,8$ Sekunden (volle Überdeckung), maximaler Verzögerung von 4 m/s^2 (erwartete Verzögerung auf nasser Fahrbahn), aufgebaut mit einem Gradienten von 10 m/s^3
- Bild 9: Erreichbare Geschwindigkeitsreduktion, basierend auf einem Bremseingriff ab $TTC = 1,3$ Sekunden (halbe Überdeckung), maximaler Verzögerung von 4 m/s^2 (erwartete Verzögerung auf nasser Fahrbahn), aufgebaut mit einem Gradienten von 10 m/s^3
- Bild 10: Realfahrten
- Bild 11: Verteilung der Fahrgeschwindigkeit
- Bild 12: Zeitlücke bei Folgefahrt
- Bild 13: Abstand bei Folgefahrt
- Bild 14: Geschwindigkeit bei Folgefahrt
- Bild 15: Warnung auf vorausfahrendes Fahrzeug
- Bild 16: Warnung auf bremsendes Fahrzeug
- Bild 17: Warnung auf statisches Objekt abseits der Fahrbahn 1
- Bild 18: Warnung auf statisches Objekt abseits der Fahrbahn 2
- Bild 19: Warnung auf eine Baustellenabspernung auf der Fahrbahn
- Bild 20: Bremscharakteristik des Versuchsfahrzeugs, überlagert mit TTC -Relativgeschwindigkeitswerten aus den Realfahrten (dargestellt als graue Punkte)
- Bild 21: Zeitverläufe von Fahrzeuggeschwindigkeiten, Abstand und Rechengrößen $ETTC$ nach Gleichung (7) und Bremszeitpunkt nach Gleichung (9). Beispiel für 10 m Anfangsabstand und $0,5 \text{ m/s}^2$ Verzögerung des Zielfahrzeugs zum Zeitpunkt $t = 0 \text{ s}$, maximale Verzögerung des Folgefahrzeugs 8 m/s^2 . Die blauen Kurven zeigen den für jeden Zeitpunkt berechneten Wert an, zu dem eine Bremsung erfolgt sein muss, um den Unfall verhindern zu können (unter Berücksichtigung der angesprochenen Einschränkungen hinsichtlich der Sensorik). Schneiden sie sich mit der zunächst viel größeren $ETTC$ -Ist-Kurve (oberes Diagramm schwarz), bedeutet das, dass der entsprechende Zeitpunkt erreicht ist

– in der Simulationsrechnung wird eine Bremsung ausgelöst (erkennbar im unteren Diagramm an den gestrichelten Zeitverläufen gegenüber den durchgezogenen Zeitverläufen, bei denen keine Bremsung erfolgt)

- Bild 22: Wie in Bild 21, jedoch mit Ausgangs-Abstand 10 m und mit Verzögerung des Zielobjekts von 10 m/s^2 . In diesem Fall ist wegen der deutlich höheren Verzögerung des Zielfahrzeugs keine Vermeidung des Unfalls mehr möglich. Die relative Kollisionsgeschwindigkeit liegt hier bei 33 km/h (die blaue rechtwinklige Kurve von TTB ab ca. $2,7 \text{ s}$ stellt lediglich ein Artefakt der Simulation dar und ist bedeutungslos)
- Bild 23: Wie in Bild 21, jedoch unter der Annahme, dass das Folgefahzeug lediglich die auf trockener Fahrbahn minimal zu erreichende Verzögerung von 5 m/s^2 erreicht. Die Kollisionsgeschwindigkeit verändert sich nicht stark und liegt nun bei knapp 40 km/h
- Bild 24: Wie in Bild 21. Hier liegt der Ausgangs-Abstand bei 50 m . In diesem Fall reicht auch bei der hohen Zielverzögerung von 10 m/s^2 bereits ein (früherer) Bremseneingriff mit 5 m/s^2 , um den Unfall zu verhindern. Die blaue rechtwinklige Kurve von TTB ab ca. $2,7 \text{ s}$ stellt lediglich ein Artefakt der Simulation dar und ist bedeutungslos
- Bild 25: Konturdiagramm der relativen Kollisionsgeschwindigkeit in km/h als Funktion von Ausgangsabstand d und Zielfahrzeugverzögerung a für den Fall der typischen Verzögerung des Folgefahrzeugs von 8 m/s^2
- Bild 26: Wie Bild 25, für den Fall eines Folgefahrzeugs, das eine maximale Verzögerung von 5 m/s^2 erreicht (schlechtester anzunehmender Fall)
- Bild 27: EuroNCAP Vehicle Target nach ([Euro NCAP, 2015] S. 19) Höhe: $1,35 \text{ m}$, RCS: $2,5 \text{ m}^2 @ 77 \text{ Ghz}$

Tabellen

- Tab. 1: Gegenüberstellung der Messgrößen Zeitlücke und Time-To-Collision
- Tab. 2: Anforderungen an Geschwindigkeitsreduktion, Warn- und Bremszeitpunkte für ein technisch machbares Notbremssystem auf trockener Fahrbahn bei vollständiger Überdeckung mit dem stehenden Zielobjekt und Geradeausfahrt (seitliche Abweichung der Mittenachsen jederzeit kleiner als $\pm 50 \text{ cm}$). Für Prüfungsgeschwindigkeiten außerhalb der Stützstellen ist bis zur Vermeidungsgeschwindigkeit und wieder ab der Vermeidungsgeschwindigkeit eine lineare Interpolation ausreichend
- Tab. 3: Anforderungen an Geschwindigkeitsreduktion, Warn- und Bremszeitpunkte für ein technisch machbares Notbremssystem auf trockener Fahrbahn bei Teilüberdeckung mit dem Zielobjekt und Geradeausfahrt (seitliche Abweichung der Mittenachsen mindestens zu einem Zeitpunkt größer als $\pm 50 \text{ cm}$). Für Prüfungsgeschwindigkeiten außerhalb der Stützstellen ist bis zur Vermeidungsgeschwindigkeit und wieder ab der Vermeidungsgeschwindigkeit eine lineare Interpolation ausreichend
- Tab. 4: Anforderungen an Geschwindigkeitsreduktion, Warn- und Bremszeitpunkte für ein technisch machbares Notbremssystem auf nasser Fahrbahn bei vollständiger Überdeckung mit dem Zielobjekt und Geradeausfahrt (seitliche Abweichung der Mittenachsen jederzeit kleiner als $\pm 50 \text{ cm}$). Für Prüfungsgeschwindigkeiten außerhalb der Stützstellen ist bis zur Vermeidungsgeschwindigkeit und wieder ab der Vermeidungsgeschwindigkeit eine lineare Interpolation ausreichend
- Tab. 5: Anforderungen an Geschwindigkeitsreduktion, Warn- und Bremszeitpunkte für ein technisch machbares Notbremssystem auf nasser Fahrbahn bei Teilüberdeckung (von 50%) mit dem Zielobjekt und

Geradeausfahrt (seitliche Abweichung der Mittenachsen mindestens zu einem Zeitpunkt größer als ± 50 cm). Für Prüfungsgeschwindigkeiten außerhalb der Stützstellen ist bis zur Vermeidungsgeschwindigkeit und wieder ab der Vermeidungsgeschwindigkeit eine lineare Interpolation ausreichend

Tab. 6: Anteile von Prebrake (Warnung) und Fullbrake (Vollbremsung), nach [ÖRTLUND, 2017]

Tab. 7: Parameter des Simulationsmodells

Tab. 8: Unfallgegner von auffahrenden Lkw aus GIDAS

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Fahrzeugtechnik“

2013

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

Hoffmann, Wipking, Blanke, Falkenstein € 16,50

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

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

F 88: Comparative tests with laminated safety glass panes and polycarbonate panes

Gehring, Zander € 14,00

F 89: Erfassung der Fahrermüdigkeit

Platho, Pietrek, Kolrep € 16,50

F 90: Aktive Systeme der passiven Fahrzeugsicherheit

Nuß, Eckstein, Berger € 17,90

F 91: Standardisierungsprozess für offene Systeme der Straßenverkehrstelematik

Kroen € 17,00

F 92: Elektrofahrzeuge – Auswirkungen auf die periodisch technische Überwachung

Beyer, Blumenschein, Bönninger, Grohmann, Lehmann, Meißner, Paulan, Richter, Stiller, Calker € 17,00

2014

F 93: Entwicklung eines Verfahrens zur Erfassung der Fahrerbeanspruchung beim Motorradfahren

Buld, Will, Kaussner, Krüger € 17,50

F 94: Biokraftstoffe – Fahrzeugtechnische Voraussetzungen und Emissionen

Pellmann, Schmidt, Eckhardt, Wagner € 19,50

F 95: Taxonomie von Fehlhandlungen bei der Fahrzeugführung

Oehme, Kolrep, Person, Byl € 16,50

F 96: Auswirkungen alternativer Antriebskonzepte auf die Fahrdynamik von Pkw

Schönemann, Henze € 15,50

F 97: Matrix von Lösungsvarianten Intelligenter Verkehrssysteme (IVS) im Straßenverkehr Matrix of alternative implementation approaches of Intelligent Transport Systems (ITS) in road traffic

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

F 98: Absicherungsstrategien für Fahrerassistenzsysteme mit Umfeldwahrnehmung

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

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

Hofmann, Dülsen € 16,50

2015

F 100: Verhaltensbezogene Kennwerte zeitkritischer Fahrmanöver

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

F 101: Altersabhängige Anpassung von Menschmodellen für die passive Fahrzeugsicherheit

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

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

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

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

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

F 104: Abbiege-Assistenzsystem für Lkw – Grundlagen 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 <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

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

Schmidt, Johannsen € 13,50

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

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

F 107: Sicherheitsaspekte beim Laden von Elektrofahrzeugen

Vogt, Link, Ritzinger, Ablingyte, Reindl € 16,50

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

von der Ruhren, Kirschfink, Ansorge, Reusswig, Riegelhuth, Karina-Wedrich, Schopf, Sparmann, Wöbbeking, Kannenberg € 17,50

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

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

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

Altinsoy, Landgraf, Rosenkranz, Lachmann, Hagen, Schulze, Schlag
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 111: Geräuschminderung von Dünnschichtbelägen

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

2016

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

Schmidt, Hoffmann, Krautscheid, Bierbach, Frey, Gail, Lotz-Keens € 17,50

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

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

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

Bergk, Heidt, Knörr, Keller € 15,50

F 114: Barrierefreiheit bei Fernlinienbussen

Oehme, Berberich, Maier, Böhm € 17,50

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

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

2017

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

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

F 117: 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 <http://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 <http://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 <http://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 <http://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 <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

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

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

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

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

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

Kosmas, Kobbert, Khanh € 15,50

F 130: Infrastrukturbedarf automatisierten Fahrens – Grundlagenprojekt

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

2020

F 132: Handbuch Barrierefreiheit im Fernbuslinienverkehr

Boenke, Grossmann, Nass, Schäfer in Vorbereitung

F 133: Lkw-Notbremsassistenzsysteme

Seiniger, Heini, Bühne, Gail € 15,50

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 03-63

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.