

Wirkungspotenziale von Adaptive Cruise Control und Lane Guard System bei schweren Nutzfahrzeugen

Dr.rer.nat. Johann Gwehenberger, Allianz Zentrum für Technik, Ismaning
Walter Schwertberger, MAN Nutzfahrzeuge AG, München
Dieter Daschner, Allianz Zentrum für Technik, Ismaning

1 Einführung

Die zentrale Lage Deutschlands, der steigende Gütertausch im immer größer werdenden europäischen Binnenmarkt und das Wirtschaftswachstum haben die Güterverkehrsleistung von 1991 bis 2003 um ca. 50 % ansteigen lassen (BGL, 2005). Die damit verbundene zusätzliche Erhöhung der Verkehrsdichte wird von Teilen der Gesellschaft als wachsende Bedrohung für die Verkehrssicherheit wahrgenommen. Auch in naher Zukunft ist nicht von einem Rückgang des Güterverkehrs auszugehen. Prognosen im Auftrag des Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (BMVBW, 2005) prognostizieren, dass die Güterfernverkehrsleistung bundesweit zwischen 1997 und 2015 von 371 Mrd. tkm auf rund 600 Mrd. tkm um mehr als 60 %, die Güternahverkehrsleistung von 67 Mrd. tkm auf 84 Mrd. tkm um rund 25 % anwachsen wird.

Im Gegensatz zum stetigen Abwärtstrend bei den Pkw-Unfällen blieben die Unfallzahlen von schweren Lkw über 7,5 Tonnen seit 1991 nahezu konstant. Jährlich werden in Deutschland rund 12.900 Fahrer oder Mitfahrer von Lkw durch einen Verkehrsunfall verletzt oder getötet. Während die Zahl der getöteten Pkw-Insassen von 1991 bis 2004 um etwa die Hälfte zurückgegangen ist, blieb die Zahl der getöteten Fahrer oder Mitfahrer von Lkw in diesem Beobachtungszeitraum weitgehend unverändert zwischen 219 und 283 (Bild 1). Allein im Jahr 2004 starben auf deutschen Straßen 223 Personen die im Lkw saßen. Bei dieser Betrachtung nicht berücksichtigt sind Unfallgegner, die bei Unfällen mit Lkw aufgrund der Masse-, Form und Steifigkeitsunterschiede meist mit erheblichen Folgen zu rechnen haben.

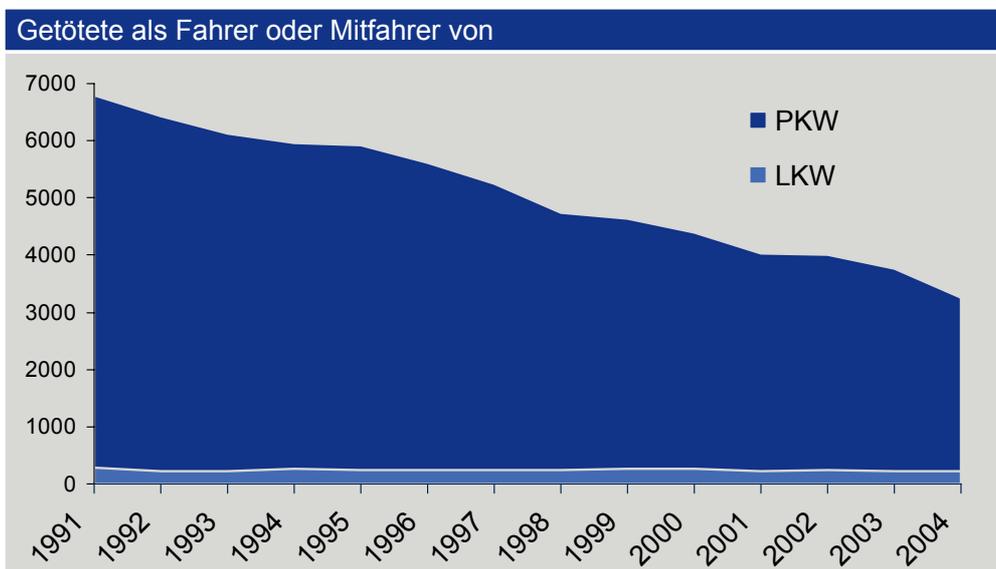


Bild 1: Getötete als Fahrer oder Mitfahrer von Pkw und Lkw (StBA, 2004)

Vor diesem Hintergrund hat die MAN Nutzfahrzeuge AG, im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Projekts „Safe Truck“, das Allianz Zentrum für Technik für eine Analyse von Lkw-Unfällen beauftragt. Deren Ziel ist es, Unfallursachen, -ablauf und -folgen zu identifizieren um daraus das Wirkungspotenzial der serienverfügbaren Systeme „Abstandsgeregelter Tempomat“ (ACC) und „Spurverlassenswarner“ (LGS) herauszuarbeiten. Ein weiterer Schwerpunkt ist die Erarbeitung von Auslegungskrite-

rien zukünftiger Systeme. Aktuell sind zwar Potenzial- und Wirksamkeitsanalysen zu ESP für Lkw vorhanden (Gwehenberger et al., 2003), nicht jedoch für ACC- und LGS-Systeme.

2 Untersuchungsmethode

In einem ersten Schritt wurden Kraftfahrzeug-Haftpflicht-Schäden (KH-Schäden) und Kraftfahrzeug-Vollkasko-Schäden (VK-Schäden) mit Beteiligung schwerer Nutzfahrzeuge* (Lkw ab 7,5t und Sattelzugmaschinen) aus dem Schadenarchiv der Bayerischen Allianz Versicherung (BVB: Bayerische Versicherungsbank) EDV-gestützt selektiert. Ausgewählt wurden alle Unfälle ab einer Schadensumme von 5.000 € in VK und 10.000 € in KH der Jahre 2002 bis 2004. Diese Abgrenzung entspricht in etwa den Unfällen mit Personenschaden U(P) und schwerem Sachschaden U(SS) gemäß Bundesstatistik.

Im zweiten Schritt erfolgte die manuelle Auswertung der einzelnen Schadenakten hinsichtlich Unfallhergang, -ursache und -folgen sowie die Zusammenführung der Daten in einer Datenbank mit festgelegten Feldern und Merkmalen. Die Schadenakten enthalten u. a. die polizeiliche Unfallanzeige, Zeugenaussagen, Anwaltsschreiben, Schadenmeldebogen der Versicherung und medizinische Gutachten. Hieraus konnten Informationen gewonnen werden, wie Ortslage, Unfallart, Unfalltyp, Anzahl Verletzte und Getötete, Schadenaufwand sowie fahrzeugspezifische Daten wie Fahrzeugkategorie, Hubraum, Leistung und Fahrzeuggewicht.

Zusätzlich wurde jeder einzelne Unfall hinsichtlich der Relevanz für Fahrerassistenzsysteme ACC und LGS bewertet. Die so genannten ACC und LGS-relevanten Fälle wurden detaillierter analysiert, u. a. nach der am Unfall beteiligten Fahrzeuge, Fahrgeschwindigkeiten, Licht- und Witterungsverhältnisse oder Beladungszustand. Für jeden dieser Fälle erfolgte darüber hinaus eine kurze Textbeschreibung über den genauen Unfallhergang. Besonders gut dokumentierte Fälle wurden schließlich mit Unfallrekonstruktionen anhand der Aktenlage untersucht. Primäres Ziel war es, eine möglichst gute „a priori Abschätzung“ zur Vermeidbarkeit bzw. Wirksamkeit dieser Fahrerassistenzsysteme zu gewinnen.

3 Ergebnisse zur Unfallstruktur in Schwerpunkten

Im Folgenden werden wichtige Ergebnisse zur Unfallstruktur der Allianz-Nutzfahrzeugunfalldatenbank (583 auswertbare Fälle) vorgestellt. Dabei wird zusätzlich zwischen KH- und VK-Fällen differenziert, wenn wesentliche bemerkenswerte Unterschiede erkennbar sind.

Ortslage: Insgesamt ereigneten sich die Unfälle zu 28 % auf Autobahnen, zu 30 % außerorts und zu 42 % innerorts. Ein Vergleich der Ortslagenverteilung mit der Bundesstatistik (StBA, 2003) von Unfällen mit Personenschaden U(P) und Unfällen mit Sachschaden U(SS) zeigt eine relativ gute Übereinstimmung mit den aus der BVB-Unfalldatenbank ermittelten Werten (Bild 2).

* : Die Abkürzung „Lkw“ wird in diesem Aufsatz für Lastkraftwagen, Sattelzugmaschinen mit/ohne Auflieger und Gliederzüge gleichermaßen verwendet. Bei Abweichungen wird explizit hingewiesen.

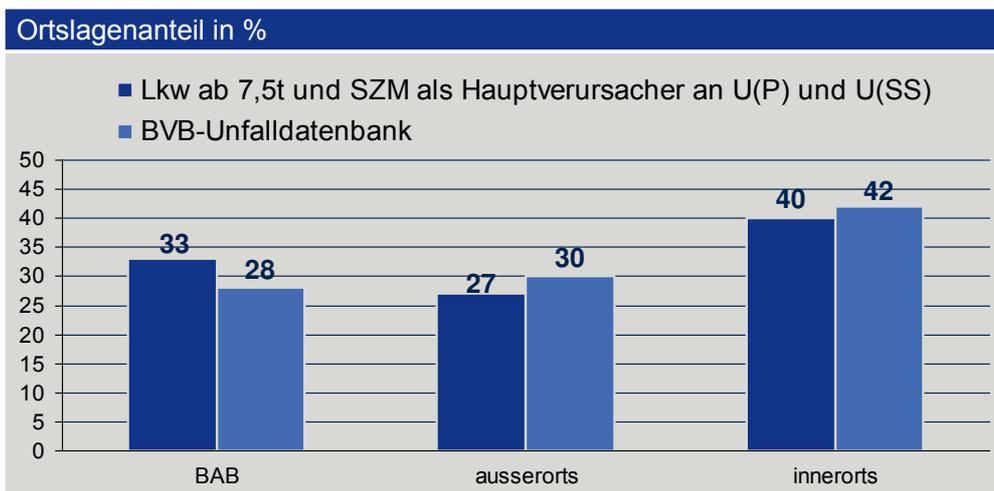


Bild 2: Vergleich der Ortslagenverteilung der Unfälle mit beteiligten Lkw ab 7,5t als Hauptverursacher an Unfällen mit Personenschaden U(P) und Unfällen mit Sachschaden U(SS) nach StBA (StBA, 2003) und der erstellten BVB-Datenbank (n = 583)

Unfallart: Die Unfallart beschreibt vom gesamten Unfallablauf die Bewegungsrichtung der beteiligten Fahrzeuge zueinander beim ersten Zusammenstoß auf der Fahrbahn oder, wenn es nicht zum Zusammenstoß gekommen ist, die erste mechanische Einwirkung auf einen Verkehrsteilnehmer (vgl. FGSV, 2003). Von den 10 möglichen Unfallarten dominiert deutlich mit einem Anteil von knapp einem Viertel (24 %) die Unfallart 2 „Zusammenstoß mit anderem Fahrzeug, das vorausfährt oder wartet“. Die zweithäufigste Unfallart stellt mit 13 % das Abkommen von der Fahrbahn dar, gefolgt von der Unfallart „Zusammenstoß mit anderem Fahrzeug, das einbiegt oder kreuzt“ mit 12 %.

Unfalltyp: Der Unfalltyp beschreibt die Konfliktsituation, die zum Unfall führte, d.h. die Phase des Verkehrsgeschehens, in der ein Fehlverhalten oder eine sonstige Ursache den weiteren Ablauf nicht mehr kontrollierbar machte. Im Gegensatz zur Unfallart geht es also beim Unfalltyp nicht um die Beschreibung der wirklichen Kollision, sondern um die Art der Konfliktauslösung vor diesem eventuellen Zusammenstoß (vgl. FGSV, 2003). Von den 7 möglichen Unfalltypen weist - in guter Übereinstimmung mit der Unfallart 2 - der Unfalltyp 6 „Unfall im Längsverkehr“ mit 32 % die größte Häufigkeit auf. Der Fahrnfall steht mit 20 % an zweiter Stelle, gefolgt von „Einbiegen/Kreuzen-Unfall“ mit 9 %. Hieraus kann auf ein hohes Potenzial für Fahrerassistenzsysteme, speziell im Längsverkehr, durch Abstandskontrollsysteme oder Notbremssysteme geschlossen werden.

ACC und LGS Relevanz:

ACC-Relevanz bezeichnet den Anteil aller Auffahrunfälle auf Fahrzeuge, die sich in der gleichen Fahrspur bewegen oder stehen und bei denen gleichzeitig ein ACC-System den Unfallverlauf hätte positiv verändern können. Es ergab sich eine ACC-Relevanz von 21,8 % (127 Fälle) aller 583 ausgewerteten Schadenfälle mit schweren Nutzfahrzeugen.

LGS-relevant sind alle Unfälle bei denen das Fahrzeug aus Unachtsamkeit, wegen Sekundenschlaf oder aus unbekannter Ursache von der Straße abgekommen ist. Zudem wurden Auffahrunfälle, die durch unbeabsichtigten Spurwechsel zustande kamen, mit berücksichtigt (Beispiel: Ein Lkw geriet aufgrund eines Sekundenschlafes auf den Standstreifen einer BAB und fuhr auf ein Pannenfahrzeug auf). Nicht dazu gehören Fälle, bei denen der Fahrer die Kontrolle aufgrund überhöhter Geschwindigkeit verloren hat. Insgesamt waren 7,5 % (44 Fälle) LGS-relevant.

Im Gegensatz zur ACC-Relevanz, die bei KH- und VK-Schäden mit knapp über 20 % ähnlich hoch liegt, unterscheidet sich die LDW-Relevanz mit 4,3 % in KH und mit 14,7 % in VK erheblich (Bild 3). Diese Differenz erklärt sich dadurch, dass beim Abkommen von der

Fahrbahn, vor allem auf Autobahnen, häufig ein hoher Sachschaden am eigenen Fahrzeug (VK-Schaden) entsteht, der Fremdschaden (KH) jedoch meist nur gering ausfällt (z.B. Flurschäden, Schäden an Leitplanken).

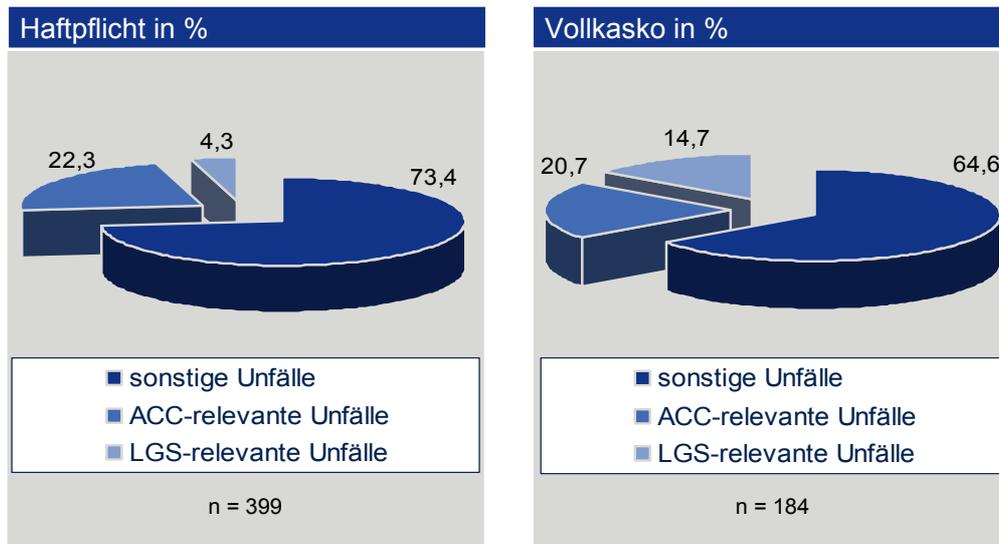


Bild 3: ACC- und LDW-Relevanz unterteilt nach der Versicherungsart

4 Funktionsbeschreibung der Systeme ACC und LGS

Adaptive Cruise Control (ACC) ist die bei MAN serienverfügbare abstandsabhängige Fahrgeschwindigkeitsregelung. Es ist somit eine Erweiterung des herkömmlichen Tempomaten um die Fähigkeit, einen konstanten Abstand zu vorausfahrenden Fahrzeugen einzuhalten. Durch einen in den Stoßfänger integrierten Radarsensor werden Informationen über das Vorfeld des Fahrzeugs zur Verfügung gestellt (Bild 4).



Bild 4: ACC-Radarprinzip (MAN)

Das System leitet zum Anpassen von Geschwindigkeit und Abstand selbstständig Beschleunigungen und Bremsen ein. Für diese Bremsen wird das Motorschleppmoment ausgenutzt. Bei zusätzlichem Bedarf wird auch die Motorbremse, Retarder und Betriebsbremse angesteuert. Aus Sicherheitsgründen sind die Bremsen auf ca. 30 % einer maximal möglichen Verzögerung begrenzt, was ca. $2,5 \text{ m/s}^2$ entspricht. Die Regelung des Systems kann jederzeit durch Gasgeben übersteuert oder durch Bremsen vom Fahrer abgebrochen werden.

Derzeit ist das System für Fahrten auf Autobahnen und ausgebauten Bundesstraßen ausgelegt. Bei engem Kurvenradius kann es zu Zielverlusten kommen. Stehende Objekte werden nicht berücksichtigt. Dies soll Fehlfunktionen zum Beispiel bei Pannenfahrzeugen am Straßenrand, Brückenpfeiler, usw. verhindern. Dabei ist aber zu beachten, dass stehende Fahrzeuge am Stauende ebenfalls nicht erkannt werden. Die Verantwortung wird und kann dem Fahrer nicht abgenommen werden. Es wird nur bis zu einer Geschwindigkeit von 25 km/h geregelt. Es muss also der Fahrer bei einer ACC-Regelung beim Unterschreiten von 25 km/h selbst eingreifen. Das momentane ACC-System ist primär ein Komfortsystem, das den Fahrer bei weitgehend konstantem Kolonnenverkehr entlastet.

Lane Guard System (LGS) bzw. **Lane Departure Warning (LDW)** ist als Komfortsystem für die Autobahn gedacht. Mittels einer Videokamera wird die Fahrspur erfasst und ausgewertet (Bild 5). Der Fahrer wird bei unbeabsichtigtem Befahren der Fahrbahnmarkierung mit einem akustischen Warnsignal darauf aufmerksam gemacht, eine Kurskorrektur vorzunehmen.

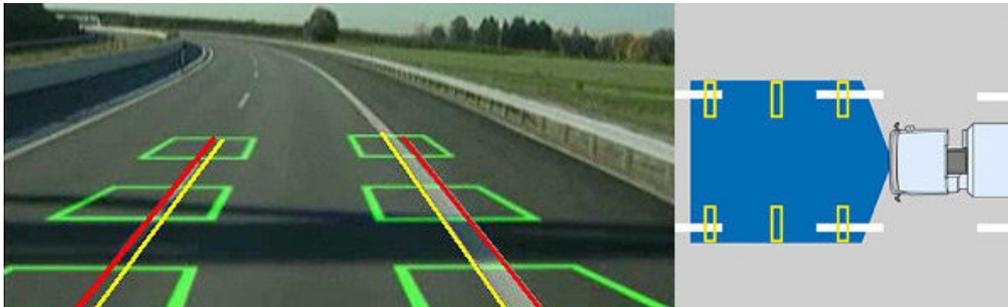


Bild 5: Fahrspurdetektion (MAN)

Das System warnt nicht bei Geschwindigkeiten unter 60 km/h oder bei eingeschaltetem Fahrtrichtungsanzeiger. Es kann zum Funktionsausfall kommen, wenn die Erkennung beider Fahrbahnmarkierungen nicht einwandfrei möglich ist, beispielsweise durch eine verschneite, verschmutzte oder ausgebeesserte Fahrbahn, bei mehreren Markierungen (Baustellen), bei kleinen Kurvenradien oder extrem ungünstigen Lichtverhältnissen.

5 In-depth Analyse der ACC-relevanten Fälle

5.1 Unfallstruktur

Ortslage: 43 % der ACC-relevanten Fälle ereigneten sich innerhalb von geschlossenen Ortschaften, 39 % auf Bundesautobahnen und 18 % auf Landstraßen (Bild 6). Unterscheidet man weiter nach der Fahrzeugart, so entfällt die Hälfte aller Auffahrunfälle mit Beteiligung von Sattelzugmaschinen auf Autobahnen. Dies spiegelt den überwiegenden Einsatzbereich der SZM im Fernverkehr wieder.

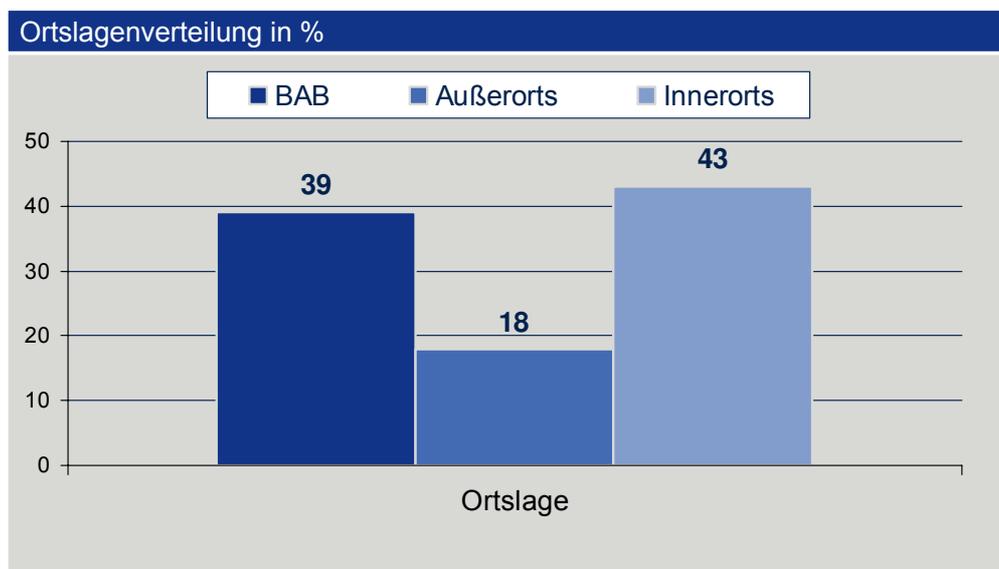


Bild 6: Ortslagenverteilung der ACC-relevanten Fälle (n = 127)

Lichtverhältnisse: Die Untersuchung nach den Lichtverhältnissen zum Unfallzeitpunkt ergab, dass sich 19 % der Auffahrunfälle bei Dunkelheit und 4 % bei Dämmerung ereigneten. Hauptsächlich herrschte jedoch zum Unfallzeitpunkt Tageslicht (77 %) vor. Betrachtet

man die Autobahnunfälle getrennt, liegt der Dunkelheit/Dämmerungsanteil mit 50 % deutlich höher.

Unfalltyp: Um den Grund für das Auffahren bzw. den zum Unfall führenden Konflikt zu erfahren, wurde der Unfalltyp genauer analysiert. Hierbei stellte sich heraus, dass fast bei der Hälfte aller Unfälle auf einen Wartepflichtigen (47 %) aufgefahren wurde. Dies geschah am häufigsten innerorts, aber auch auf Landstraßen beim Linksabbiegen des Vorderfahrzeugs und gleichzeitigem Gegenverkehr. Zweithäufigster Unfalluntertyp war mit 29 % das „Auffahren auf einen Vorfahrenden“ und bei 17 % der Auffahrnfälle lag eine Stausituation vor.

Unfallbeteiligung: Bei 60 % der ACC-relevanten Unfälle fuhr ein Lkw auf einen Pkw und in knapp 40 % auf einen anderen Lkw auf. Betrachtet man nur VK-Schäden, war mit 91 % ein weiterer Lkw bzw. SZM am Unfall beteiligt, bei den KH-Schäden hingegen nur in 26 % der Fälle. Grund dafür ist der Massen-, Form- und Steifigkeitsunterschied von Pkw und Lkw. Im Fall eines Auffahrnfalls auf einen Pkw ist der VK-relevante eigene Sachschaden am Lkw meist gering, nicht so bei Lkw/Lkw-Kollision. Hier treten nicht selten neben Personenschaden beim auffahrenden Lkw erhebliche Sachschäden an beiden Fahrzeugen auf.

Geschwindigkeit: Die Fahrgeschwindigkeit des auffahrenden Güterkraftfahrzeugs vor der Kollision lag in 97 % der Auffahrnfälle über 20 km/h. 38 % fahren im Geschwindigkeitsbereich über 60 km/h. Bild 7 zeigt in diesem Zusammenhang die Geschwindigkeitsunterschiede (Δv) der beiden Kollisionspartner kurz vor dem Unfall. Dieser betrug in 26 % weniger als 20 km/h, in jeweils 29 % 21 bis 40 km/h bzw. 41 bis 60 km/h sowie in 16 % über 60 km/h.

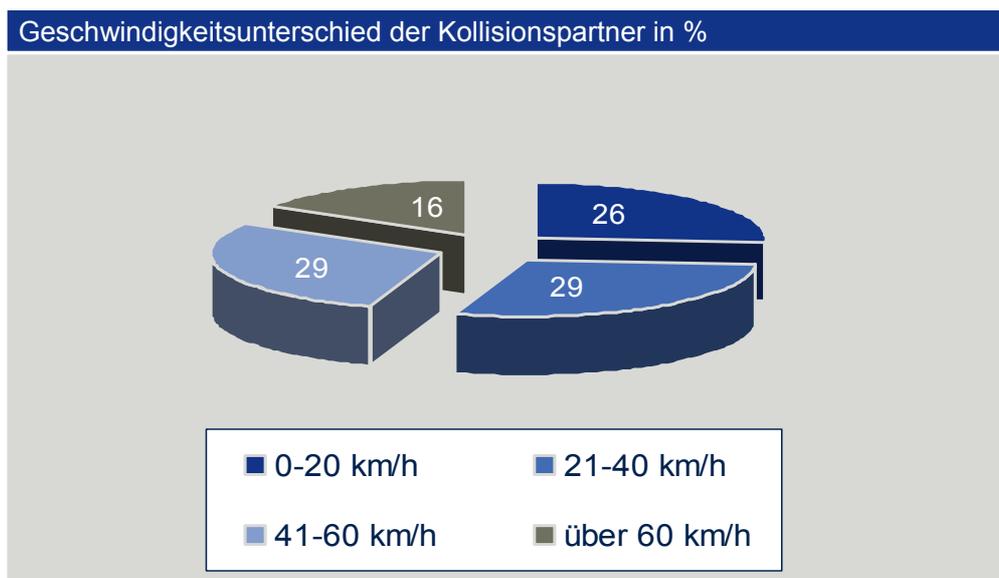


Bild 7: Geschwindigkeitsunterschied der Kollisionspartner kurz vor der Kollision (n = 31)

Fahrer-Aussagen zum Unfallhergang: Schließlich sind nachfolgend Fahreraussagen aus der polizeilichen Unfallanzeige oder Schadenmeldung, absteigend nach ihrer Häufigkeit, zitiert:

- „Habe die Geschwindigkeit des vorfahrenden falsch eingeschätzt.“
- „Vorfahrender LKW bremste plötzlich.“
- „Habe die Bremslichter zu spät gesehen.“
- „Habe den links abbiegenden PKW übersehen.“ (Bundesstraße kein Abbiegestreifen)
- „Der vor mir fahrende PKW bremste an orangefarbener Ampel stark ab. Ich habe nicht damit gerechnet und bin aufgefahren.“

- „Ich wollte den vor mir fahrenden LKW überholen, sah in den Außenspiegel. Als ich wieder nach vorne sah, war es bereits zu spät.“
- „Habe die Geschwindigkeit von den vor mir auf die BAB einfahrenden Lkw falsch eingeschätzt, wollte überholen jedoch rückwärtiger Verkehr, Bremsung reichte nicht mehr aus.“
- „Die Sonne hat mich geblendet, deswegen bin ich auf den auf der Standspur stehenden Lkw der Autobahnmeisterei gefahren.“
- „Aus Unachtsamkeit und unterschätzter Geschwindigkeit“ auf Sicherungsfahrzeug für Schwertransport aufgefahren.“
- „Hatte wohl einen Sekundenschlaf.“
- „Auf 2-spuriger BAB, kurz vor dem Stauende auf beiden Spuren zog ein PKW von der linken auf die rechte Spur vor meinen LKW und bremste.“
- „Der vor mir fahrende LKW zog nach links zum Überholen, ich erkannte nicht sofort die langsame Geschwindigkeit (wg. technischem Defekt) des davor fahrenden LKW.“

5.2 A priori - Analyse zur Unfallvermeidbarkeit

Wegen der derzeit noch geringen Ausrüstungsquote von ACC bei Lkw ist eine „a posteriori - Analyse“ von Unfällen mit der Beteiligung von Fahrzeugen mit/ohne ACC nicht möglich. Um dennoch Aussagen über die Wirksamkeit von ACC treffen zu können, musste jeder einzelne Fall detailliert auf eine mögliche Unfallvermeidung analysiert und bewertet werden. Vorweg wurden drei Szenarien definiert, die unterschiedliche Entwicklungsstufen von ACC repräsentieren. Anschließend wurden alle ACC-relevanten Unfälle in Kategorien gleichen oder ähnlichen Unfallhergangs eingeteilt. Anhand von Unfallrekonstruktionen der besonders gut dokumentierten Unfälle (40 Fälle) wurde die Vermeidbarkeit der einzelnen Szenarien analysiert und auf die einzelnen Kategorien hochgerechnet. Die Ergebnisse sind zusammenfassend in Tabelle 1 dargestellt.

Szenario	Beschreibung	Vermeidbarkeit	
		Auffahrunfälle	Alle Unfälle
0	bestehendes ACC-System - ausgelegt für BAB/Bundesstraße - ohne Fahrereingriff (30% der max. möglichen Verzögerung)	28 %	6 %
	- mit Fahrereingriff (max. mögliche Verzögerung)	34 %	7 %
1	erweitertes ACC-System - durch besondere Auslegungskriterien*) auch innerorts geeignet - ohne Fahrereingriff (30% der max. möglichen Verzögerung)	37 %	8 %
	- mit Fahrereingriff (max. mögliche Verzögerung)	78 %	17 %
2	wie Szenario 1 - mit zusätzlicher Erkennung stehender Fahrzeuge - mit Fahrereingriff (max. mögliche Verzögerung)	98 %	21 %

*) Auslegungskriterien:
 ■ System muss eingeschaltet sein (gilt auch für Szenario 0)
 ■ Kombination des vom System eingehaltenen Abstandes von „Halber Tacho“ und MAN-Einstellung „Gesetzlich“, um einen Einsatz im Stadtverkehr zu ermöglichen
 ■ System regelt (bremst) bis zum Stillstand
 ■ Mittlere Verzögerung während des Bremsingriffs von 2 m/s²

Tabelle 1: Unfallvermeidbarkeit durch ACC bezogen auf Auffahrunfälle und auf alle Unfälle

Mit einem derzeit verfügbaren ACC-System könnten ca. 6 % aller schweren Nutzfahrzeugunfälle vermieden werden, ohne dass ein Bremsingriff durch den Fahrer notwendig ist. Leitet der Fahrer eine Vollbremsung innerhalb von zwei Sekunden nach dem ACC-Eingriff ein, so könnten 7 % vermieden werden. Erweitert man die ACC-Funktion, um bis zum Stillstand regeln zu können und somit auch innerorts aktiviert werden zu können, ergibt sich eine Vermeidbarkeit von 8 %. Leitet der Fahrer zusätzlich innerhalb von zwei Sekunden nach dem ACC-Eingriff eine Vollbremsung ein, erhöht sich die Vermeidbarkeit auf 17 %. Ergänzt man schließlich noch die Funktion so, dass auch stehende Ziele von der Sensorik wahrgenommen werden, so könnten nahezu alle Auffahrunfälle vermieden werden.

Bemerkenswert ist, dass bereits mit dem heutigen System 28 % der Auffahrunfälle vermieden werden könnten. Bezogen auf die Lkw-Auffahrunfälle auf der Autobahn, für die das aktuelle ACC-System in erster Linie ausgelegt ist, liegt die Vermeidbarkeit sogar bei rund 70% bzw. mit Fahrereingriff bei 86%. Gründe genug, um für eine beschleunigte Marktdurchdringung zu sorgen. Die übrigen beschriebenen Systemausprägungen erweitern die Systemverfügbarkeit auf die Bereiche Landstrasse und Stadtverkehr, oder durch Einbeziehung stehender Hindernisse.

5.3 Fallbeispiel

Folgender Fall soll exemplarisch die prinzipielle Vorgehensweise bei der a priori-Vermeidbarkeitsanalyse zeigen. Der LKW 01 fährt mit $v_1 = 85 \text{ km/h}$ (23,6 m/s) auf einer zweispurigen BAB ungebremst auf einen schlecht beleuchteten LKW 02 auf, der mit ca. $v_2 = 25 \text{ km/h}$ (6,9 m/s) unterwegs ist (Bild 8). Zum Unfallzeitpunkt war die Fahrbahn nass und es herrschte Dunkelheit. Fahreraussage des 01: „Der LKW tauchte urplötzlich vor mir auf, habe diesen vorher nicht bemerkt.“

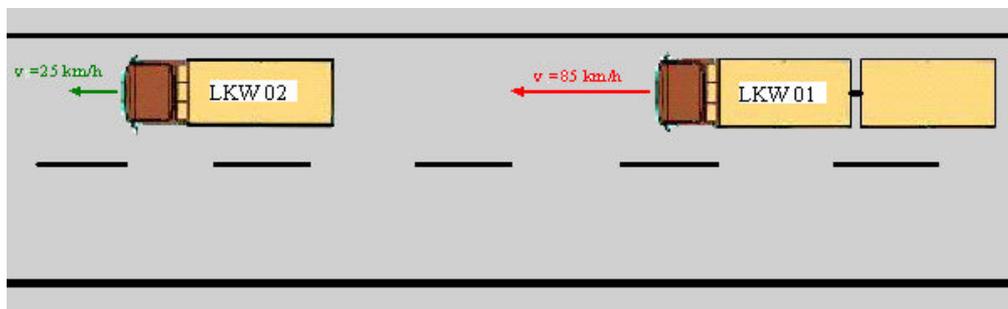


Bild 8: Ausgangssituation des Auffahrunfalls - schematisch

Prüfung der Vermeidbarkeit nach Szenario 0: aktuelles ACC ohne Fahrereingriff

Mit eingeschaltetem ACC wird der Folge-Abstand nach folgender Formel berechnet (MAN):

$$s_G = (1,3 \text{ sec} \cdot v_1) + 33 \text{ m} = 63,7 \text{ m}$$

ACC regelt beim Annähern auf ein langsames Fahrzeug jedoch bereits früher; bei gegebener Geschwindigkeit $v_2 = 85 \text{ km/h}$ ergibt sich aus dem ACC-Regelkennfeld von MAN ein Wert von 30 m. Demnach berechnet sich der Abstand s_{ACC} , ab dem das Fahrzeug mit einer durchschnittlichen Verzögerung $a = 2 \text{ m/s}^2$ automatisch abgebremst wird wie folgt.

$$s_{ACC} = s_G + 30 \text{ m} = 93,7 \text{ m}$$

Zeit t und Weg s_1 des LKW 01 zur automatischen Verzögerung mit $a = 2 \text{ m/s}^2$ bis zu einer Geschwindigkeit $v_2 = 6,9 \text{ m/s}$ berechnen sich weiter nach

$$t = \frac{v_1 - v_2}{a} = 8,4 \text{ s}$$

$$s_1 = \frac{v_1^2 - v_2^2}{2 \cdot a} = 127,3 \text{ m}$$

Zur Vermeidung des Unfalles müsste der LKW 02 in 8,4 s mindestens den Weg $s_K = s_1 - s_{ACC} = 33,6 \text{ m}$ zurücklegen.

Der LKW 02 legt in 8,4 s folgende Strecke zurück: $s_2 = v_2 \cdot t = 58,0 \text{ m}$

Fazit: Da $s_2 > s_K$ ist der Unfall mit dem aktuellen ACC und ohne Bremseneingriff durch den Fahrer sehr wahrscheinlich vermeidbar. Dies gilt auch für die Szenarien 1 und 2. Bemerkenswert sei, dass im Realfall der Fahrer - selbst bei Sekundenschlaf - innerhalb von 8,4 s höchstwahrscheinlich selbst bremsen würde, bedingt durch die starke Verzögerung von 2 m/s^2 . Demnach wäre die Unfallvermeidbarkeit noch wahrscheinlicher.

6 In-Depth-Analyse der LGS-relevanten Fälle

6.1 Unfallstruktur

Ortslage: 74 % der LGS-relevanten Unfälle ereigneten sich auf Autobahnen und 23 % auf Landstraßen und 3 % auf Innerortsstraßen (Bild 9). Differenziert nach der Versicherungsart ergibt sich auf der Autobahn für KH-Schäden ein Anteil von 88 % und für VK-Schäden ein Anteil von 65 %.

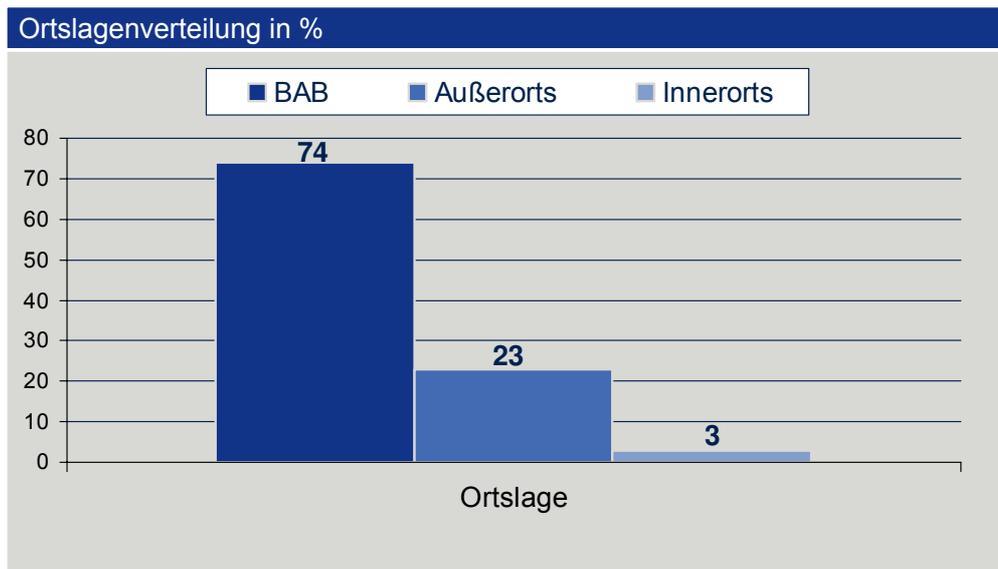


Bild 9: Ortslagenverteilung der LGS-relevanten Unfälle (n = 44)

Fahrbahn- und Markierungszustand: Die zum Unfallzeitpunkt vorherrschenden Straßenverhältnisse in Folge der Witterung waren mit 81 % größtenteils trocken, bei 13 % der Unfälle war die Fahrbahn nass. In den restlichen 6 % lag eine "mit Schneematsch bedeckte Fahrbahn" vor. Die den Schadenakten beigefügten Bilder, Gutachten und Zeitungsausschnitte ergaben weiterhin hinreichend guten Aufschluss über den Zustand der Fahrbahnmarkierungen am Unfallort. In 94 % der Fälle war der Zustand der Markierung sehr gut. Bei den Autobahnunfällen ereignete sich keiner im Baustellenbereich mit orangefarbener Zusatzmarkierung. In 6 % der Fälle war keine Markierung vorhanden (Kreis- und Verbindungsstraßen).

Lichtverhältnisse: Mit 59 % ereigneten sich die Unfälle überwiegend bei Tageslicht, in 41 % herrschte Dunkelheit oder Dämmerung. Bei getrennter Betrachtung der LGS-relevanten Autobahnunfälle verteilen sich Fälle jeweils zur Hälfte auf Dunkelheit/Dämmerung und Tageslicht.

Unfallart: Die häufigste Unfallart bei den LGS-relevanten Unfällen stellt erwartungsgemäß mit 77 % das Abkommen von der Fahrbahn dar. Dies waren Alleinunfälle, bei denen das Fahrzeug ohne Fremdbeteiligung in den Straßengraben, an Leitplanken oder gegen sonstige bauliche Einrichtungen gefahren ist. Zweithäufigste Unfallart mit 13 % ist der „Zusammenstoß mit einem anderen Fahrzeug, das anfährt, anhält oder im ruhenden Verkehr steht“. Dieser Zusammenstoß wurde durch das unbeabsichtigte Verlassen des eigenen Fahrstreifens verursacht. Hierin sind Kollisionen mit Pannenfahrzeugen und Autobahnmeistereifahrzeugen auf der Standspur enthalten. Bei 8 % der Unfälle handelt es sich um einen „Zusammenstoß mit einem anderen Fahrzeug, das anfährt, anhält oder im ruhenden Verkehr steht“.

menstoß mit einem anderen Fahrzeug, das seitlich in die gleiche Richtung fährt“. Diese Unfälle ereigneten sich meist mit Pkw-Beteiligung und sind die Folge eines unbeabsichtigten Abdriftens bzw. nicht gewollter Fahrspurwechsel auf die links liegende Spur einer Autobahn. Ein Unfall mit Frontalkollision ereignete sich auf einer außerörtlichen Bundesstraße durch unbeabsichtigtes Befahren der Gegenspur.

Unfalltyp: Häufigster Unfalltyp ist der Fahrnfall mit 85 %. Hierzu werden alle Unfälle gezählt, bei denen der Ausgangskonflikt, der zum Verlassen der Fahrspur führte, laut Fahrerangaben Unaufmerksamkeit oder Ablenkung war. Zeugenaussagen zur Beschreibung des Unfallhergangs legen aber die Vermutung nahe, dass ein nicht unwesentlicher Anteil von ca. 30 % ermüdungsbedingt war. Dementsprechend kann davon ausgegangen werden, dass der Anteil, bei dem die Fahrer explizit angegeben haben, eingeschlafen zu sein (13 %), in Wirklichkeit höher liegt.

Geschwindigkeit: Der Löwenanteil mit 88 % ereignete sich mit einer Fahrgeschwindigkeit von über 60 km/h. In 4 % der LGS-relevanten Fälle fuhr der Lkw zwischen 21 und 40 km/h und in 8 % zwischen 41 und 60 km/h. Auf Autobahnen trat kein Unfall unter 60 km/h auf; in 95 % der Unfälle fuhr der Lkw über 75 km/h.

6.2 A priori - Analyse zur Unfallvermeidbarkeit

Vergleichbar zum ACC wurden für LGS verschiedene Szenarien gebildet, welche verschiedenen Entwicklungsstufen entsprechen. Anschließend erfolgte ebenso eine Kategorisierung der LGS-relevanten Unfälle gleichen Unfallhergangs. Eine Unfallrekonstruktion, wie sie bei gut dokumentierten ACC-relevanten Fällen durchgeführt wurde, war hier jedoch nicht möglich, da die entsprechenden Unfallparameter wie z.B. Austrittsort, -zeit und -winkel nicht ausreichend gut aus den Unfallakten hervorgingen. Dennoch konnte durch die Kenntnis der Funktion eines LGS-Systems sowie bestimmter Bewertungskriterien und Annahmen die Vermeidbarkeit qualitativ hinreichend gut bewertet werden. Tabelle 2 zeigt zusammenfassend die Ergebnisse unterteilt nach den einzelnen Szenarien. Die darin enthaltenen Bewertungskriterien und Annahmen werden nachfolgend erläutert.

Szenario	Kurzbeschreibung	Vermeidbarkeit bezogen auf	
		alle Unfälle <i>in %</i>	alle LDW-relevanten Unfälle <i>in %</i>
0	bestehendes LGS-System, mit Lenkeingriff des Fahrers	4	49
1	bestehendes LGS-System mit Annahmen* und automatischer Spurkorrektur	6	72
2	wie Szenario 1, jedoch auch auf Landstraßen einsetzbar	7	92

* Annahmen werden nachfolgend erläutert

Tabelle 2: Unfallvermeidbarkeit durch LGS bezogen auf alle Unfälle und auf LGS-relevante Unfälle

Szenario 0 - Bewertungskriterien und Annahmen: Dem Fahrer wird nach Ertönen des akustischen Warnsignals eine Reaktionszeit von einer Sekunde unterstellt, bevor er durch einen Lenkeingriff auf seine Fahrspur zurücksteuert. Bei diesem Szenario wird aufgrund der vorliegenden Informationen zum Unfallhergang bewertet, ob ein Gegenlenken nach einer Sekunde ausreicht, nicht ins Bankett zu kommen bzw. eine eventuelle Kollision mit dem anderen Fahrzeug vermeidbar wäre. Auf Autobahnen wird von einer durchschnittlichen Standstreifenbreite von 2,5 m ausgegangen. Des Weiteren wird ein Austrittswinkel zwischen

2° und 4° angenommen. Bei Autobahnen mit Standstreifen reicht die Reaktionszeit von einer Sekunde aus, um noch vor dem Erreichen des Banketts gegensteuern zu können (In einer Sekunde legt der Lkw bei einer Geschwindigkeit von 80 km/h (22,2 m/s) und einem Winkel von 4° seitlich nach rechts eine Strecke von ca. 1,6 m zurück). Selbst bei einer Standstreifenbreite von nur 2 m wäre die Möglichkeit einer Korrektur durch den Fahrer gegeben. Auf Straßen ohne Standstreifen wäre mit Szenario 0 der Unfall somit nicht vermeidbar.

Szenario 1 - Bewertungskriterien und Annahmen: Eine automatische Spurkorrektur (ohne Lenkeingriff) könnte grundsätzlich durch Einzelradbremsung erreicht werden. Laut Simulationsberechnungen der MAN Nutzfahrzeuge AG ist der für diesen Zweck erforderliche Querversatz durch Einzelradbremsungen realisierbar. Szenario 1 geht demnach davon aus, dass es zu keinem oder nur sehr kurzzeitigem Verlassen der Fahrspur kommt. Um dies zu erreichen, wird als Warnschwelle die Markierungssinnenseite benutzt.

Szenario 2 - Bewertungskriterien und Annahmen: Zusätzlich zu Szenario 1 soll bei diesem System durch eine verbesserte Sensorik die Anzahl von Systemausfällen, vor allem bei ungünstigen Lichtverhältnissen und teilweise fehlenden Fahrbahnmarkierungen, minimiert werden. Dadurch wird die Systemverfügbarkeit vor allem auf Landstraßen und innerörtlichen Straßen deutlich erhöht. Ein früherer Warnzeitpunkt wird durch Auswertung des Spurverlassenswinkels und einer damit möglichen Vorhersage des Spurverlassenszeitpunkts möglich. Zudem wird unterstellt, dass diese Funktion bereits bei niedrigen Geschwindigkeiten verfügbar ist. Zusätzlich verfügt Szenario 2 ebenfalls über eine automatische Spurkorrektur.

7 Volkswirtschaftlicher Nutzen

Zur Berechnung des durch ACC und LGS vermeidbaren volkswirtschaftlichen Schadens in Deutschland wurde die Unfallkostenrechnungsmethode der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt, 1999, 2004) zu Grunde gelegt. Das Berechnungsmodell beinhaltet volkswirtschaftliche Kosten für Unfälle mit schweren Sachschaden U(SS) und für Personenschäden nach Schweregrad. Dazu war es zunächst erforderlich, die prozentuale Vermeidbarkeit auf die relevanten Auffahrunfälle und Unfälle durch Abkommen von der Fahrbahn des gesamten Bundesgebiets gemäß Bundesstatistik (StBA, 2003) anzuwenden. Diese wurden wiederum mit den volkswirtschaftlichen Kostensätzen für Verunglückte (Getötete, Schwerverletzte, Leichtverletzte) und Unfälle mit schwerem Sachschaden multipliziert. Eine zusammenfassende Aufstellung der vermeidbaren volkswirtschaftlichen Kosten in Deutschland bei flächendeckender Ausrüstung von ACC und LGS, unterteilt nach den jeweiligen Szenarien, ist in der Tabelle 3 dargestellt.

Einschränkend sei darauf hingewiesen, dass zur Realisierung des Nutzens die Systeme eingeschaltet sein müssen. In der Realität ist jedoch heute davon auszugehen, dass die Systeme vom Fahrer nicht in allen Situationen immer eingeschaltet sein werden. Beispielsweise könnte ACC deaktiviert werden auf Autobahnen oder ähnlichen Straßen mit vielen Zu- und Abfahrten und damit verbundenen häufigen Spurwechseln anderer Verkehrsteilnehmer oder das LGS im Baustellenbereich mit zusätzlicher Fahrbahnmarkierung (Fehlwarnungen).

Schaden vermeidbar mit	Get		SV		LV		U (SS)		Summe Mio. €
	Anzahl	Mio. €							
ACC									
Szenario 0 ohne Fahrereingriff	22	26,9	144	14,2	621	9,0	212	3,0	52,8
Szenario 0 mit Fahrereingriff	26	31,8	173	17,0	744	10,8	254	3,6	63,2
Szenario 1 ohne Fahrereingriff	29	35,4	193	19,0	829	12,1	283	4,0	70,5
Szenario 1 mit Fahrereingriff	62	75,0	407	40,0	1751	25,5	598	8,4	148,9
Szenario 2	78	94,6	514	50,6	2213	32,2	755	10,7	188,1
LGS									
Szenario 0	14	16,5	90	8,8	386	5,6	132	1,9	32,8
Szenario 1	20	24,2	131	12,9	565	8,2	193	2,7	48,0
Szenario 2	25	30,2	164	16,1	706	10,3	241	3,4	60,0

Tabelle 3: Vermeidbare volkswirtschaftliche Kosten durch ACC- und LGS-Systeme bei flächendeckender Ausrüstung (Basis: Lkw-Unfälle mit Personenschaden und schwerem Sachschaden in Deutschland, 2003)

8 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Safe Truck ist ein vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördertes Projekt mit dem Ziel der Entwicklung aktiver, vorausschauender Sicherheitssysteme für Nutzfahrzeuge, die Unfälle vermeiden bzw. Unfallfolgen mindern. Das Allianz Zentrum für Technik unterstützte dabei im Auftrag der MAN AG die drei Arbeitspakete Unfallanalyse, wirtschaftliche Folgebetrachtung und Bewertung.

In einem ersten Schritt war es erforderlich, eine Datenbank mit aktuellen Lkw-Unfällen aus den Jahren 2002 bis 2004 aufzubauen. Die Datenbasis umfasst insgesamt 674 Schadensfälle einschließlich 68 im Ausland vorgefallener Unfälle und setzt sich wie folgt zusammen:

Haftpflicht- und Vollkaskoschäden mit Sattelzugmaschinen (SZM) und Lastkraftwagen (Lkw) der Bayerischen Allianz Versicherung (BVB: Bayerische Versicherungsbank)

- ab 10.000 € im KH-Fall und 5.000 € im Kaskofall
- mit Lkw ab einer Nutzlast von 3t (entspricht einem z.G.G. $\geq 7,5t$)
- mit SZM ab einer Leistung von 130 KW

Im Anschluss daran folgten eine Strukturanalyse aller auswertbaren Unfälle sowie eine detaillierte Analyse hinsichtlich Unfallvermeidbarkeit durch Adaptive Cruise Control (ACC) und Lane Guard System (LGS). Abschließend erfolgte eine Abschätzung des zu erwartenden volkswirtschaftlichen Nutzens.

Struktur der Unfälle: Auf der Basis von insgesamt 583 auswertbaren Unfällen in Deutschland ergaben sich folgende Ergebnisse:

- 43 % der Unfälle ereigneten sich innerhalb von Ortschaften, 28 % auf der BAB und 30 % auf der Landstraße
- Häufigste Unfallart ist mit 24 % der „Zusammenstoß mit einem anderem Fahrzeug, das vorausfährt oder verkehrsbedingt wartet“, gefolgt von „Abkommen von der Fahrbahn“ mit 13 % und dem „Zusammenstoß mit einem anderen Fahrzeug, das einbiegt oder kreuzt“ (12 %)

- Häufigster Unfalltyp ist der „Unfall im Längsverkehr“ mit 32 %. Zweithäufigster Unfalltyp mit 20 % ist der „Fahrerunfall“, gefolgt vom „Einbiegen/Kreuzen-Unfall“ mit 9 %
- 22 % sind ACC-relevant und 8 % LDW-relevant

ACC-relevante Unfälle: sind alle Auffahrunfälle auf Fahrzeuge, die sich in der gleichen Fahrspur bewegen oder stehen. Die detaillierte Untersuchung der 113 Fälle ergab folgende Schwerpunkte:

- 43 % ereigneten sich innerorts, 39 % auf der BAB und 18 % auf Landstraßen
- der überwiegende Anteil mit 77 % geschah bei Tageslicht
- „Auffahren auf einen Wartepflichtigen“ stellt mit 47 % den häufigsten Unfalltyp dar, gefolgt von „Auffahren auf einen Vorausfahrenden“ mit 29 % und „Auffahren aufgrund eines Staus“ mit 17 %
- In 60 % fuhr der Lkw/SZM einem Pkw auf, in 39 % war das vordere Fahrzeug ein Lkw bzw. eine Sattelzugmaschine und in 1 % ein Motorrad
- Der Fahrgeschwindigkeitsunterschied (Δv) zwischen beiden unfallbeteiligten Fahrzeugen betrug in 26 % weniger als 20 km/h, in jeweils 29 % 21 bis 40 km/h bzw. 41 bis 60 km/h sowie in 16 % über 60 km/h

LGS-relevante Unfälle: sind Fälle, bei denen das Fahrzeug beispielsweise durch Unachtsamkeit oder Sekundenschlaf von der Fahrbahn abkam. Dazu gehören nicht Fälle, bei denen der Fahrer die Kontrolle aufgrund überhöhter Geschwindigkeit verloren hat. Die detaillierte Untersuchung der 40 LGS-relevanten Fälle ergab folgende Schwerpunkte:

- 74 % ereigneten sich auf der BAB, gefolgt von 23 % auf der Landstraße und nur 3 % auf Innerortsstraßen
- in 81 % der Unfälle war die Fahrbahn zum Unfallzeitpunkt trocken
- in 94 % der Fälle war der Fahrbahnmarkierungszustand sehr gut
- 41 % der Unfälle ereigneten sich bei Dunkelheit/Dämmerung, 59 % bei Tageslicht
- 77 % sind Alleinunfälle, in 23 % kam es in Folge des Spurverlassens zu einer Kollision mit einem anderen Fahrzeug
- in 88 % fuhr der Lkw unmittelbar vor dem Unfall über 60 km/h, in 8 % der Fälle betrug die Fahrgeschwindigkeit zwischen 41 und 60 km/h

Unfallvermeidbarkeit: Die Wirkungsanalyse zu schweren Nutzfahrzeugunfällen belegt ein hohes Potenzial für Abstands- und Spurhaltesysteme. Bei schweren Nutzfahrzeugen könnten, bei flächendeckender Ausrüstung, mit aktuell ausgelegten ACC Systemen bis zu 7 %, mit LGS-Systemen bis zu 4 % der KH-Schäden > 10.000 Euro bzw. VK-Schäden > 5.000 Euro (entspricht Unfälle mit Personenschaden und schweren Sachschaden gemäß StBA) vermieden werden. Besonders hohe Wirksamkeit erzielen diese Systeme auf der Autobahn, für die sie in erster Linie ausgelegt sind. Dort könnten mit dem heutigen ACC über zwei Drittel der schweren Auffahrunfälle vermieden werden und mit LGS knapp zwei Drittel der LGS-relevanten Unfälle.

Die Realisierung der Unfallvermeidbarkeit sowie des damit verbundenen Nutzens setzt jedoch dringend voraus, dass das jeweilige System vom Fahrer verantwortungsvoll genutzt wird und im Fahrbetrieb eingeschaltet ist.

Mit erweiterten, bislang noch nicht auf dem Markt verfügbaren Systemen, hier als Szenarien bezeichnet, liegt die Vermeidbarkeit nochmals höher. So zeigt die Analyse ein hohes Potenzial der ACC-Szenarien 1 und 2. Diese „Ausbaustufen“ zu realisieren ist eine Aufgabe, der sich die MAN Nutzfahrzeuge AG stellt.

Um eine weitere Reduktion von Personenschäden durch Verkehrsunfälle in Deutschland zu erreichen, werden in Zukunft aktive Sicherheitssysteme sowie Fahrerassistenzsysteme unverzichtbar sein. Ein möglichst hoher Ausrüstungsgrad ist dringend erwünscht und kann

durch attraktive Anschaffungskosten erreicht werden. Auch die Versicherungswirtschaft kann ihren Beitrag leisten, indem sie die Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen konstruktiv und kritisch begleitet, Unfallforschungsergebnisse hinsichtlich Wirksamkeit neuer Fahrerassistenzsysteme erarbeitet und die Lkw-Betreiber und -fahrer aufklärt. Das Allianz Zentrum für Technik sieht dies als eine seiner wesentlichen zukünftigen Kernaufgaben.

Schließlich darf man nicht, wie Fahrerbefragungen deutlich aufzeigen (Fastenmeier et al., 2002, Hipp et al., 2006), am Fahrer „vorbei entwickeln“. Man muss die Bedürfnisse und Befürchtungen der Fahrer im Systemdesign berücksichtigen. Um eine hohe Akzeptanz bei den LKW-Fahrern zu erreichen, ist es wichtig, die Anzahl der Fehlwarnungen gering zu halten und Warnungen bzw. Eingriffe nachvollziehbar durchzuführen. Ergänzend muss durch eine breit angelegte Informationsstrategie den Fahrern die Angst vor der Elektronik genommen werden und der Nutzen von Fahrerassistenz- und Sicherheitssystemen nahe gebracht werden. ABS und ESP haben diese Schwelle bereits überwunden, sie werden auf breiter Basis akzeptiert, ja sogar gefordert. Neue Sicherheitssysteme wie zum Beispiel zur Vermeidung des Spurverlassens, Notbremswarner und -assistent werden, zum Nutzen aller Verkehrsteilnehmer, ebenfalls ihre Akzeptanz finden müssen.

9 Literatur

BAST, Bundesanstalt für Straßenwesen (Hrsg.). (1999). Mensch und Sicherheit. Schriftenreihe der BAST, Heft M102. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW.

BAST, Bundesanstalt für Straßenwesen (Hrsg.). (2004). Wissenschaftliche Informationen, Info 4/04. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW.

BMVBW, Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen. (2001). Schlussbericht: Verkehrsprognose für die Verkehrswegeplanung.

BGL, Bundesverband Güterkraftverkehr, Logistik und Entsorgung. (2005). Daten und Fakten, Verkehrsleistungen, Prognosen.

Fastenmeier, W., Gwehenberger, J. & Finsterer H. (2002). LKW-Fahrerbefragung. Ein Beitrag zur Analyse des Unfallgeschehens. Schriftenreihe des Gesamtverbandes der Deutschen Versicherungswirtschaft, IFM 0212. Berlin: GDV.

FGSV, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen. (2003). Merkblatt für die Auswertung von Straßenverkehrsunfällen, Teil 1: "Führen und Auswerten von Unfalltypen-Steckkarten".

Gwehenberger, J., Langwieder, K., Heißing, B., Gebhart, C. & Schramm, H. (2003): Unfallvermeidungspotential durch ESP bei Lastkraftwagen, ATZ Automobiltechnische Zeitschrift, Wiesbaden, Mai 2003.

Hipp, E., Schwertberger, W. & Gwehenberger, J. (2006). Wirkungspotenziale von Fahrerassistenzsystemen im Nutzfahrzeug – Unfallvermeidbarkeit und Nutzen, VDA Technischer Kongress München, 2006.

StBA, Statistisches Bundesamt Wiesbaden (Hrsg.). (2004). Verkehrsunfälle 2003, Fachserie 8, Reihe 7. Stuttgart: Metzler-Poeschel.