



Hochschule
Kempten

University of Applied Sciences

Schriftenreihe, Band 3

Prof. Dr.-Ing. Andreas Rupp & Dr.-Ing. Reinhard Kolke (Hrsg.)

Unfallforschung 2017

Symposium für Unfallforschung und Sicherheit
im Straßenverkehr der ADAC Stiftung



ADAC

ADAC Stiftung



Cuvillier Verlag Göttingen
Internationaler wissenschaftlicher Fachverlag



Hochschule für angewandte Wissenschaften Kempten, Schriftenreihe

Band 3



Hochschule für angewandte Wissenschaften Kempten, Schriftenreihe

Band 3

Herausgegeben von

Prof. Dr.-Ing. Andreas Rupp

Dr.-Ing. Reinhard Kolke

Hochschule
Kempten

University of Applied Sciences



Prof. Dr.-Ing. Andreas Rupp & Dr.-Ing. Reinhard Kolke (Hrsg.)

Unfallforschung 2017

Symposium für Unfallforschung und Sicherheit
im Straßenverkehr der ADAC Stiftung



Cuvillier Verlag Göttingen
Internationaler wissenschaftlicher Fachverlag



Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

1. Aufl. - Göttingen : Cuvillier, 2017

© CUVILLIER VERLAG, Göttingen 2017

Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen

Telefon: 0551-54724-0

Telefax: 0551-54724-21

www.cuvillier.de

Alle Rechte vorbehalten. Ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages ist es nicht gestattet, das Buch oder Teile daraus auf fotomechanischem Weg (Fotokopie, Mikrokopie) zu vervielfältigen.

1. Auflage, 2017

Gedruckt auf umweltfreundlichem, säurefreiem Papier aus nachhaltiger Forstwirtschaft.

ISBN 978-3-7369-9499-7

eISBN 978-3-7369-8499-8



Vorwort ADAC Stiftung

„Der Mobilität verbunden. Dem Gemeinwohl verpflichtet.“ Unter diesem Leitgedanken ist die gemeinnützige und mildtätige ADAC Stiftung bürgerlichen Rechts seit 1. Oktober 2016 tätig.

Ihre Förderschwerpunkte leiten sich aus dem Selbstverständnis des Stifters ADAC e.V. ab, der Hilfe, Rat und Schutz für den mobilen Menschen ins Zentrum seines Handelns stellt. So fördert die ADAC Stiftung Maßnahmen zur Verbesserung der Verkehrssicherheit und der Sicherheit im Amateur-Motorsport, sowie die Mobilitätsforschung. Einen weiteren Schwerpunkt ihrer Arbeit legt die Stiftung in die Förderung der Rettung aus Lebensgefahr, insbesondere mit der ADAC Luftrettung – seit 1. Januar 2017 Tochtergesellschaft der ADAC Stiftung. Im Rahmen der Einzelfallhilfe unterstützt die ADAC Stiftung bedürftige Menschen, die aufgrund eines Unfalls in ihrer Mobilität deutlich eingeschränkt sind.

Von der Fahrzeugtechnik über die Verkehrsinfrastruktur und die Verkehrspsychologie bis hin zum medizinischen und technischen Rettungswesen – das „Symposium für Unfallforschung und Sicherheit im Straßenverkehr“ (UFO 2017) soll als erste Fachveranstaltung der neuen ADAC Stiftung den wissenschaftlichen Dialog zwischen Experten und Nachwuchswissenschaftlern aus allen Fachbereichen der Verkehrssicherheit unterstützen.

Im Rahmen des Symposiums sollen die von einem mit renommierten Experten besetzten Programmausschuss ausgewählten Forschungsarbeiten diskutiert sowie Maßnahmen und weiterer Forschungsbedarf abgeleitet werden.

Der vorliegende Tagungsband dokumentiert die ausgewählten Beiträge und ermöglicht damit eine Diskussion über den aktuellen Stand der Forschung auch außerhalb des Teilnehmerkreises. Nachwuchswissenschaftler sollen dazu motiviert werden, mit eigenen Ideen und Forschungsarbeiten zur Erhöhung der Verkehrssicherheit beizutragen. Besonders innovative und vielversprechende Forschungsarbeiten fördert die ADAC Stiftung – beispielsweise durch Vergabe von Stipendien.

Die ADAC Stiftung dankt der Hochschule Kempten für die Möglichkeit, diesen Tagungsband im Rahmen der Schriftenreihe der Hochschule Kempten veröffentlichen zu können.

Dr. Andrea David

Geschäftsführerin der ADAC Stiftung

Vorwort Herausgeber

Seit 2005 entwickelt das ADAC Technik Zentrum die Unfallforschung gemeinsam mit der ADAC Luftrettung gGmbH. In dieser Zeit wurde eine komplexe Datenbankbasis geschaffen und stetig weiterentwickelt. Viele Arbeiten der angewandten Wissenschaft wurden im Rahmen von Projektarbeiten und Abschlussarbeiten der Studiengänge Ingenieurwissenschaften, Verkehrswesen, Fahrzeugtechnik, technische Rettung und Medizin betreut. Der interdisziplinäre Ansatz der Arbeiten ist vielseitig von digitalen Steckkartensystemen über moderne Fahrzeugstrukturen und technische Rettungsstrategien, sowie Analysen von Traumaversorgung und Verletzungsmustern und zukünftig die Berücksichtigung von Unfallszenarien in der Modellierung von Fahrerassistenzsystemen. Im Zuge vielseitiger Hochschulkooperationen veröffentlichen wir bereits zum zweiten Mal in einer Schriftenreihe der Hochschule Kempten die Fachaufsätze des Symposiums für Unfallforschung und Sicherheit im Straßenverkehr der ADAC Stiftung. Die Hochschule Kempten gliedert sich in die Fakultäten Maschinenbau, Elektrotechnik, Informatik, Soziales und Gesundheit, Betriebswirtschaft und Tourismus; sie steht mit Ihrem Forschungsschwerpunkt „Vernetzte Mobilität und Fahrzeugtechnik“ Verbänden, Behörden und Industrie als kompetenter Forschungs- und Entwicklungspartner rund um Fragen zu Fahrzeugen und Mobilität zur Seite.

Forschung lebt vom Dialog und der kritischen Diskussion. Daher sollen mit diesem Schriftenwerk der Hochschule Kempten Experten der Fahrzeugtechnik, insbesondere aus den Bereichen Unfallforschung, Verkehrspsychologische und Fahrzeugsicherheit angesprochen werden. Darüber hinaus werden Forschungseinrichtungen, weitere Hochschulen, Verbraucherschutzorganisationen, Versicherungsgesellschaften, sowie Institutionen aus dem medizinischen und technischen Rettungswesen adressiert. Im Zuge einer solchen Schriftenreihe der Hochschule sollen auch junge Wissenschaftler die Möglichkeit erhalten, sich aus erster Hand zu informieren oder sich zukünftig mit eigenen fundierten Forschungsarbeiten einer hochkarätigen Fachwelt zu präsentieren.



Prof. Dr.-Ing. Andreas Rupp

Hochschule Kempten

Vizepräsident für Forschung und

Wissens-/Technologietransfer



Dr.-Ing. Reinhard Kolke

ADAC Technik Zentrum

Leiter Test und Technik



Inhaltsverzeichnis

Potentialabschätzung zur weiteren Reduktion von Schwerstverletzten und Getöteten	1
Dipl.-Ing. Henrik Liers	
Verbesserte Erfassung der Verletzungsschwere	17
Markus Muser, Kai-Uwe Schmitt	
Die Pkw-Kollision mit ungeschützten Verkehrsteilnehmern – gibt es mehr zu adressieren als die Fahrzeugfront?	19
Dr.-Ing. Matthias Kühn, Medienfachwirt Antje Lang, Dipl.-Ing (FH) Jenoe Bende, Dipl.-Ing. Roy Strzeletz	
Verletzungen von tödlich verunglückten Motorradfahrern	35
Wolfram Hell	
ADAC Unfallforschung – Retrospektive Unfallhäufungsstellenbefahrung – Konzept und erste Ergebnisse am Beispiel von Motorradunfallstellen	45
Volker Sandner	
Innovative Verkehrssicherheitsuntersuchung unter Berücksichtigung fahrzeug- und streckenspezifischer Fahrdynamik und Human Factors	59
Marianne Kraut, Dr. Ioana Koglbauer, Prof. Dr. Arno Eichberger	
Verkehrstechnische Analyse ausgewählter Motorradstrecken – Infrastrukturelle sowie menschliche Einflussfaktoren	61
Dipl.-Ing. David Nosé	
wuidi, das Wildwechsel-Radar – methodische und technologische Ansätze	73
Wolfgang Dorner, Raphaela Pagany, Alfons Weinzierl, Marco Heurich, Thomas Geiß	
ADAC Unfallforschung – Simulation der gefährlichsten Unfallszenarien als Basis zukünftiger Testkataloge	83
Prof. Dr. Stefan-Alexander Schneider, Thomas Unger, Masterand Johannes Ludwig Haslbeck	



Neue Herausforderungen an die Unfallforschung durch Fahrerassistenz und automatisiertes Fahren	93
Andre Seeck	
Mit Assistenten auf dem Weg zu Vision Zero	99
Dr. Ralf Tenzer	
Beitrag von Reifen und Assistenzsystemen zur Unfallvermeidung	105
Dr. Thomas Schulze, Bernd Hartmann	
Eine Bewertungsmethodik zur Inspektion automatisierter Fahrfunktionen Szenarien-basierte Plattform zur Inspektion automatisierter Fahrfunktionen. Das Projekt SePIA.	115
Prof. Dr. Günther Prokop, Prof. Dr. Lars Hannawald, Markus Köbe	
openPASS – eine Open-Source-Plattform zur Entwicklung flexibler und transparenter Tools für die Bewertung von Fahrzeugsicherheit	127
Jan Dobberstein, Jörg Bakker	
Sekundäre und tertiäre Sicherheit von modernen PKW-Karosserien	135
Udo Müller	
ADAC Unfallforschung – 3D-Laserscanning von Fahrzeugen zur Verbesserung der Unfallrekonstruktion	143
Guilene Patricia Tobit Nguelohe, Thomas Unger, Prof. Dr. Barbara Hahn	
Entwicklung einer Methodik zur Ableitung der Unfallschwere realer Verkehrsunfälle auf Basis von Standard-Crashtests	151
Alexander Theim	
Technische Rettung bei Fahrzeugen mit alternativen Antrieben	157
Dr. Rolf Erbe	
Tertiäre Sicherheit – Fahrzeigtüren als Nadelöhr bei der technischen Rettung	165
Thomas Unger	

Potentialabschätzung zur weiteren Reduktion von Schwerstverletzten und Getöteten

Dipl.-Ing. Henrik Liers

Bereichsleiter, Verkehrsunfallforschung an der TU Dresden GmbH

1. Motivation

Das Ziel der EU, die Zahl der Verkehrstoten in der Dekade von 2011-2020 zu halbieren, scheint nicht mehr realisierbar zu sein. Nach jeweils leichten Rückgängen in den Vorjahren stieg im Jahr 2015 erstmals seit 2001 die Zahl der Verkehrstoten in der EU leicht an. Auch in Deutschland war die Zahl der bei Verkehrsunfällen Getöteten zwei Jahre in Folge leicht gestiegen, bevor 2016 ein vergleichsweise starker Rückgang verzeichnet werden konnte (-7,1%). Das aktuelle Niveau von etwa 3.200 Getöteten liegt allerdings weit vom Ziel des deutschen Verkehrssicherheitsprogramms (VSP) von 2011 entfernt, bis zum Jahr 2020 eine Reduktion der Getöteten um 40% zu erreichen.

Das Maßnahmenpaket im Rahmen des Verkehrssicherheitsprogramms ist umfangreich, die Ansätze in den drei Aktionsfeldern Mensch, Infrastruktur und Fahrzeugtechnik sind vielschichtig. Allerdings werden viele Maßnahmen erst nach Jahren oder gar Dekaden eine messbare Wirksamkeit entfalten. Zudem führen aktuelle Trends wie der demographische Wandel, Ablenkung durch Smartphone-Nutzung, die stark steigende Anzahl von Pedelecs im Verkehr sowie das Streben nach hochautomatisiertem Fahren zu neuen Herausforderungen und Rahmenbedingungen für die Verkehrssicherheitsarbeit.

Aus den Verkehrsunfallstatistiken der letzten Jahre wird deutlich, dass der durch aktive und passive PKW-Sicherheitssysteme erhoffte stetige Rückgang nicht wie erwartet bzw. nur sehr verzögert einzutreten scheint. Ein Grund dafür ist unter anderen die älter werdende Fahrzeugflotte in Deutschland, die der schnell steigenden Marktdurchdringung neuer Sicherheitssysteme entgegenwirkt. Aber auch andere Verkehrsteilnehmerarten zeigen nahezu konstante bzw. nur leicht sinkende Getötetenzahlen. Das vorliegende Paper greift diese Entwicklung auf und setzt sich mit deren Gründen sowie Potentialen für zukünftige Reduktionen der Unfallzahlen auseinander. Grundlage ist neben nationalen Daten der Fachserie 8 / Reihe 7 vor allem die Unfalldatenbank GIDAS.

2. Deutsche Verkehrsunfallstatistik

Zunächst wird auf Basis der Veröffentlichung der deutschen Verkehrsunfallstatistik das Unfallgeschehen der letzten Dekade (2006-2015) in Deutschland zusammengefasst. Dabei können jedoch nur die Verletzungsschweren nach amtlicher Definition betrachtet werden, da der MAIS nicht Umfang der polizeilichen Unfallerhebung ist.



Aus Abbildung 1 wird ersichtlich, dass bei kontinuierlich steigenden Unfallzahlen (13% mehr polizeiliche erfasste Unfälle im Vergleich zu 2006) die Anzahlen der Personenschadensunfälle und Verunglückten zurückgehen. Der größte Rückgang ist bei den Getöteten zu verzeichnen. Die Reduktion bei den Leichtverletzten (6%) und Schwerverletzten (9%) fällt dagegen moderater aus. Weiterhin sind einige Jahre (2011, 2014, 2015) mit steigenden Verunglücktenzahlen und damit eine gewisse Stagnation zu erkennen.

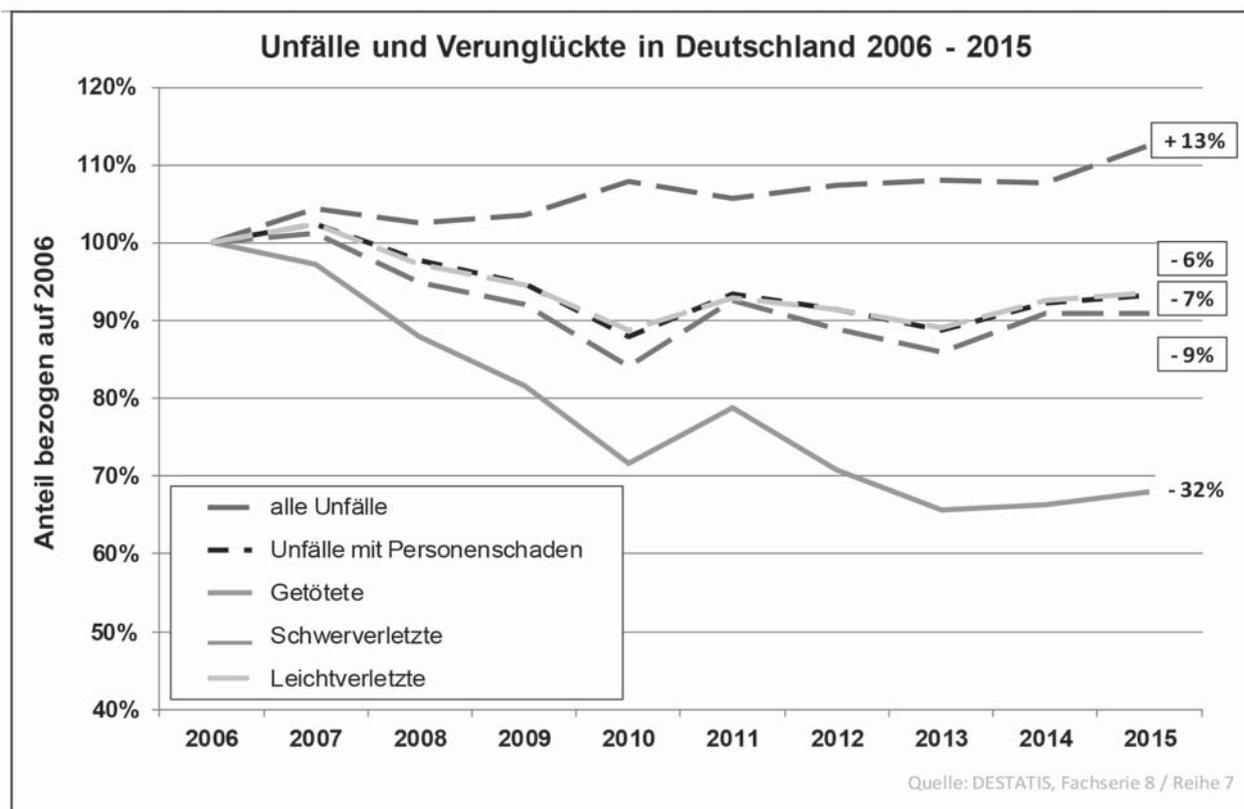


Abbildung 1: Unfälle und Verunglückte in Deutschland 2006-2015

Im nächsten Schritt wird die chronologische Entwicklung der zahlenmäßig vier größten Verkehrsbeteiligungsarten betrachtet. Der Vergleich (Abbildung 2) zeigt die Zu- bzw. Abnahme der Anzahlen leicht, schwer und tödlich verletzter Personen zwischen 2006 und 2015. Es wird ersichtlich, dass vor allem deutlich weniger PKW-Insassen verstarben. Schwache Verkehrsteilnehmer zeigen geringere Reduktionen bei den Getöteten.

Bei den Schwerverletzten liegen PKW-Insassen, Aufsassen motorisierter Zweiräder und Fußgänger auf einem ähnlichen, mit ca. 10% Reduktion niedrigen Niveau. Noch geringer sind (außer bei Krad- und Mopedaufsassen) die Rückgänge bei den Leichtverletzten. Eine besondere Rolle nehmen Fahrradfahrer ein. Deren Anzahlen bei Schwerverletzten waren in den Jahren 2006 und 2015 gleich. Bei den Leichtverletzten war sogar ein geringer Anstieg zu verzeichnen. Inwiefern hier die zunehmende Beliebtheit von Pedelecs und deren Nutzungsverhalten (insbesondere durch ältere Verkehrsteilnehmer) ursächlich ist, wurde hier nicht untersucht.



Abschließend kann für das deutsche Verkehrsunfallgeschehen der letzten Dekade ein positives Resümee gezogen werden, das von gegenläufigen Expositionsdaten (u.a. mehr zugelassene PKW, Krafträder) flankiert wird.

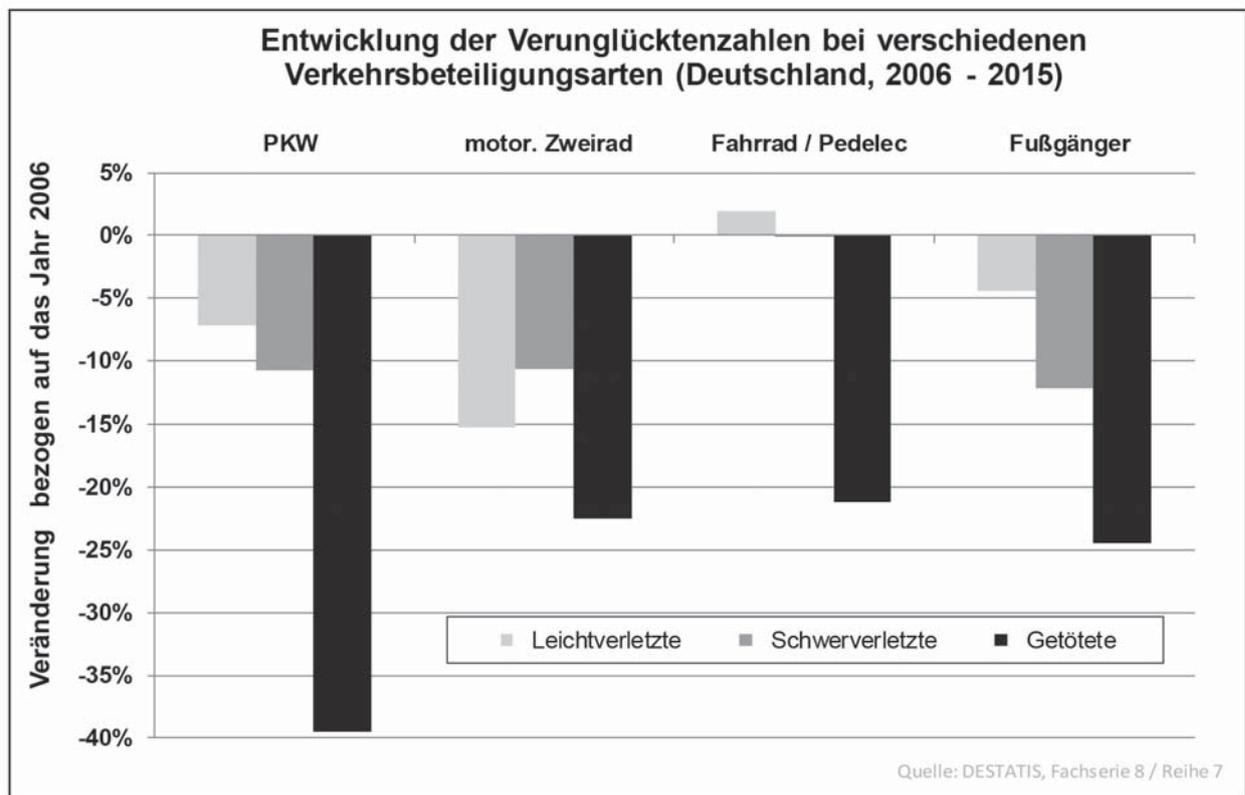


Abbildung 2: Verunglücktenzahlen verschiedener Verkehrsbeteiligungsarten

Die Darstellung unterstreicht allerdings auch die Notwendigkeit, die einzelnen Verkehrsbeteiligungsarten differenziert voneinander zu betrachten, um die Ableitung geeigneter Maßnahmen zu ermöglichen. Dies betrifft insbesondere die Unterschiede in den Unfallkonstellationen, Verletzungsmechanismen und verletzten Körperregionen.

3. Unfallgeschehen von Schwerstverletzten und Getöteten

3.1 Definitionen der Verletzungsschwere

Die Begriffe „Schwerverletzter“ bzw. „Schwerstverletzter“ werden von verschiedenen Fachdisziplinen und Anwendern unterschiedlich definiert. Im Folgenden werden ausgewählte Verletzungsschwereklassifikationen aufgeführt und hinsichtlich ihrer Nutzung für die Definition Schwer- und Schwerstverletzter bewertet.

Sehr häufig findet die amtliche Verletzungsschweredefinition Anwendung, die auch international weit verbreitet ist. Sie definiert all jene Personen als „schwerverletzt“, die nicht innerhalb von 30 Tagen nach dem



Personenschaden für die Analysen zur Verfügung stehen. Diese wurden auf das deutsche Verkehrsunfallgeschehen des Jahres 2015 gewichtet.³ Die Analysen werden i.d.R. auf Personenebene durchgeführt.

Zunächst ist für die vier größten Gruppen von Verkehrsteilnehmern die Verteilung des MAIS sowie der Getöteten-Anteil aller verletzten Personen dargestellt. Personen mit unbekanntem MAIS-Werten wurden dabei ausgeschlossen, was insbesondere bei Getöteten, die nicht obduziert wurden, zu Verzerrungen führen kann.

Aus Abbildung 3 wird ersichtlich, dass die Anteile schwer (MAIS2+) bzw. schwerst (MAIS3+) verletzter Personen zwischen den Verkehrsbeteiligungsarten stark differieren. Jeder 11. (verletzte) PKW-Insasse, jeder sechste Radfahrer, jeder vierte Fußgänger und beinahe jeder dritte verletzte Kradaufgänger erleidet mindestens eine AIS2+ Verletzung.

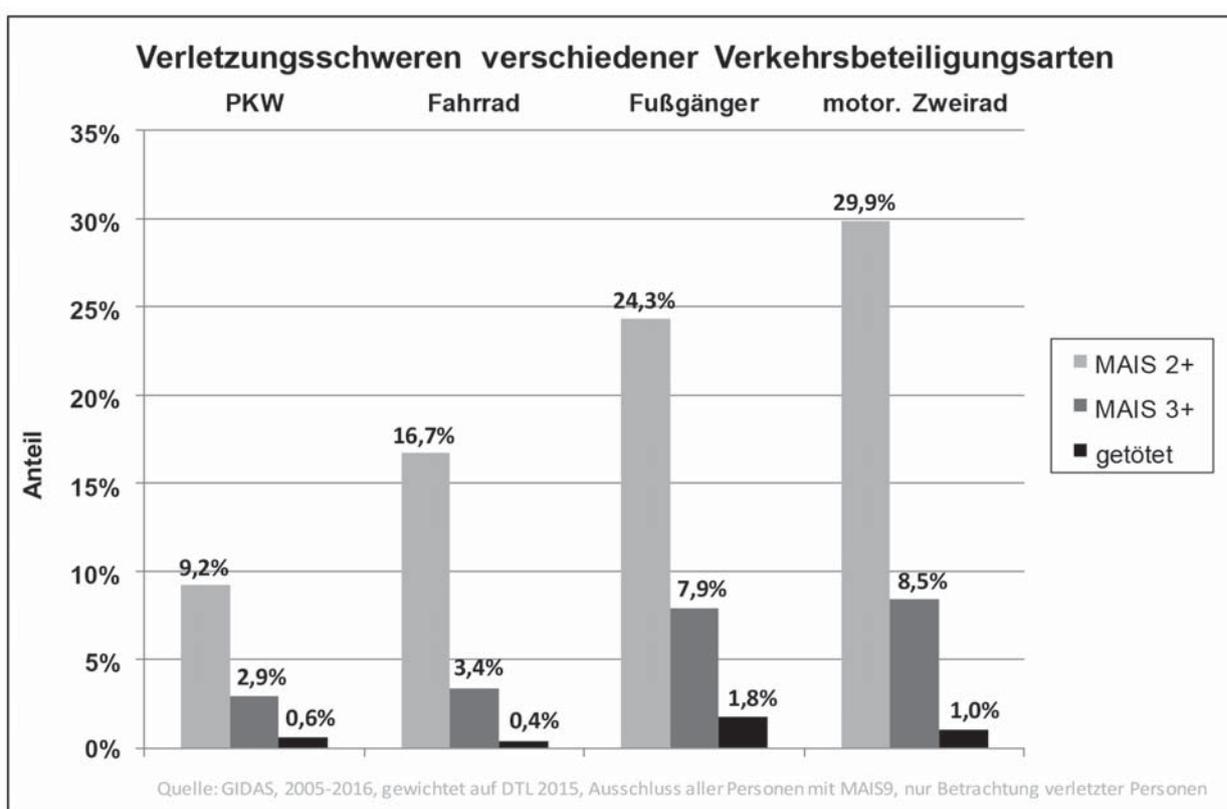


Abbildung 3: Verletzungsschweren verschiedener Verkehrsbeteiligungsarten

Auch die MAIS3+ Anteile unterscheiden sich stark zwischen den Gruppen und liegen bei Kradaufgänger fast dreimal höher als bei PKW-Insassen. Die höchste Getötetenrate besitzen verletzte Fußgänger, die einerseits im Gegensatz zu fast allen Kradaufgänger und einigen Fahrradfahrern gar keine persönliche Schutzausrüstung tragen und andererseits den mit Abstand höchsten Anteil älterer Personen aufweisen (s. Abbildung 4).

³ Alle auf GIDAS-Daten basierenden Auswertungen stellen jeweils gewichtete GIDAS-Fallzahlen dar, wobei relative Gewichtungsfaktoren benutzt wurden. Die Gewichtung erfolgte anhand der Parameter Unfallkategorie, Ortslage und Unfalltyp. Eine Hochrechnung auf Deutschland fand nicht statt, wobei in der vorliegenden Untersuchung ein GIDAS-Unfall ca. 15 Unfälle mit Personenschaden in Deutschland repräsentiert.



Generell wirken sich neben den individuellen Schutzniveaus durch passive Maßnahmen auch die üblichen Ausgangs- und Kollisionsgeschwindigkeiten, Ortslagen und Verkehrssituationen auf die Anteile Schwerstverletzter und Getöteter aus. So verfügen Kradfahrer deutlich häufiger über einen (i.d.R. auch hochwertigen) Helm als Radfahrer, verunglücken allerdings bei deutlich höheren Geschwindigkeiten.

Nur verletzte Personen / Alter und Geschlecht bekannt Quelle: GIDAS 2005-2016, gewichtet auf DTL 2015		Verkehrsbeteiligungsart			
		PKW n = 14.185	Fahrrad n = 5.353	Fußgänger n = 1.829	motor. Zweirad n = 2.932
Altersgruppe	<18 Jahre	6%	13%	23%	10%
	19-64 Jahre	83%	72%	50%	85%
	65+ Jahre	11%	15%	27%	5%
Geschlecht	männlich	49%	60%	46%	83%
	weiblich	51%	40%	54%	17%

Abbildung 4: Alter und Geschlecht verletzter Verkehrsteilnehmer

3.3 Analyse von PKW-Insassen

Verletzte und getötete PKW-Insassen stellen in Deutschland zahlenmäßig immer noch die größte Gruppe von Verkehrsteilnehmern dar. Für die MAIS3+ Verletzten unter ihnen wird ein Überblick über die relevanten Unfall- und Anprallkonstellationen gegeben.

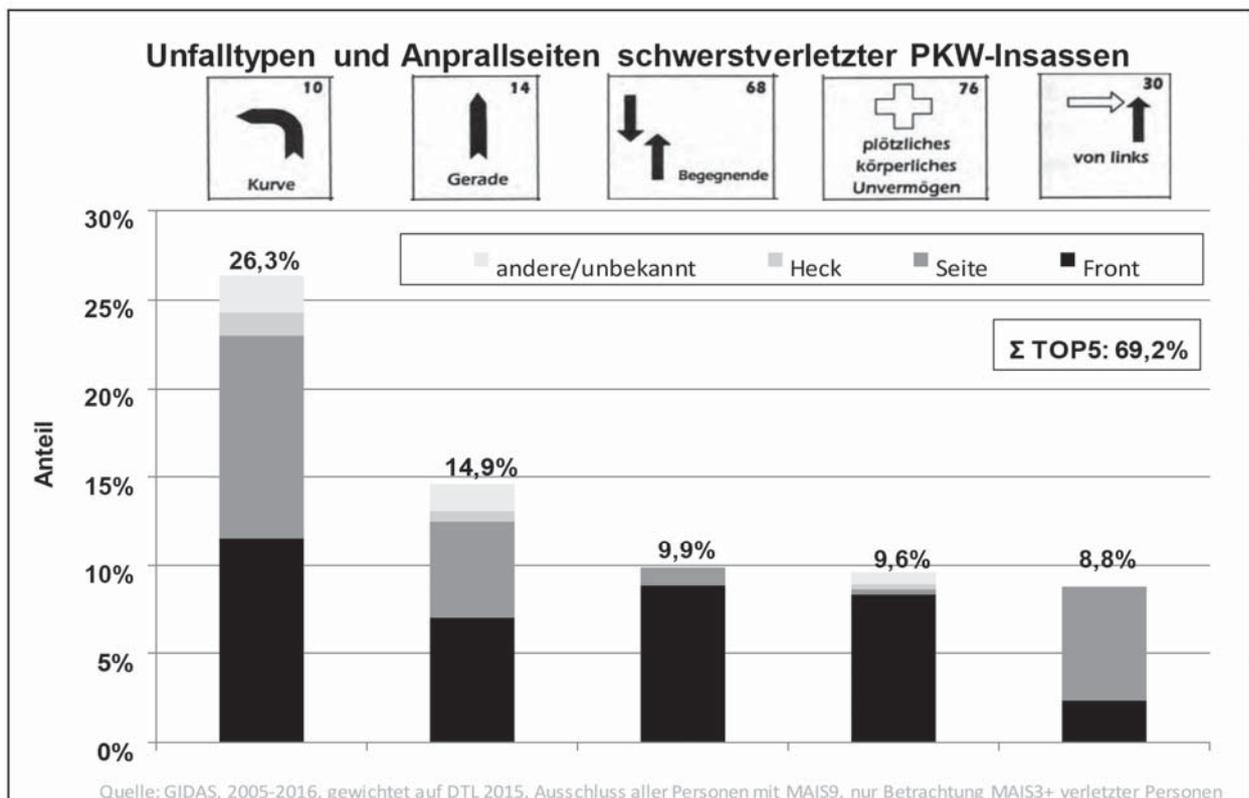


Abbildung 5: Unfalltypen und Anprallseiten schwerstverletzter PKW-Insassen



Abbildung 5 stellt die fünf häufigsten Unfalltypen-Klassen (1. und 2. Stelle des Unfalltyps) dar. Zusätzlich sind die Verteilungen der Anprallseiten (bei multiplen Kollisionen die der schwersten Kollision) aufgeführt. Aus der Abbildung lässt sich zunächst ableiten, dass Fahrurfälle in Kurven bzw. auf Geraden (Kontrollverlust des Fahrzeugführers) mit etwa 41% den größten Anteil darstellen. In diesen Fällen ist zudem der hohe Anteil an Seitenkollisionen auffällig, welche fast genauso oft zu schweren und tödlichen Verletzungen führen wie Frontalanpralle. Dies sind zumeist Anpralle an pfahlähnliche Objekte (bspw. Bäume) neben der Fahrbahn oder laterale Kollisionen mit entgegenkommenden Fahrzeugen (Schleudern nach Kontrollverlust). Etwa jeder zehnte MAIS3+ verletzte PKW-Insasse verletzt sich in einem Längsverkehrsunfall mit einem entgegenkommenden Beteiligten (keine Überholsituation). Ähnlich häufig sind Unfälle aufgrund eines plötzlichen körperlichen Unvermögens (bspw. Müdigkeit, Schwächeanfall, Herzinfarkt etc.). Beide Gruppen führen fast immer zu einer Frontalkollision mit dem entgegenkommenden Fahrzeug. Die fünfthäufigste Unfalltypen-Klasse ist der Einbiegen-/Kreuzen-Unfall mit einem Bevorrechtigten von links. Hier spielen wiederum vorrangig Seitenanpralle am PKW eine Rolle. Heckanpralle (v.a. im Längsverkehr) sind zwar im gesamten PKW-Unfallgeschehen bedeutsam, weisen allerdings für MAIS3+ verletzte Insassen nahezu keine Relevanz auf. Dominiert wird das Unfallgeschehen MAIS3+ verletzter PKW-Insassen von Landstraßenunfällen (61,5%) Unfälle im Innerortsbereich machen knapp ein Viertel aus (22,6%), der Rest (15,9%) entfällt auf Autobahnen.

Bezüglich der Insassencharakteristik lassen sich die folgenden Aspekte festhalten:

- 69,4% der MAIS3+ verletzten Personen sind Fahrer, weitere 18,6% Beifahrer.
- 10,7% der Verletzten waren Rücksitzinsassen der 2. Reihe, weitere 1,3% befanden sich auf der 3. Sitzreihe oder anderswo im Fahrzeug (bspw. Kofferraum).
- Nur 79,1% der Insassen waren angeschnallt, 15% nachweislich nicht. Für 5,9% lag keine gesicherte Information zum Anschnallstatus fest. Damit liegt die Anschnallquote deutlich unter der im Verkehrsgeschehen (ca. 95-96%).
- Den MAIS3+ verletzten Insassen standen im Vergleich zu weniger schwer verletzten Insassen (MAIS1-2) etwas seltener passive Sicherheitssysteme in Form von Front-, Seiten- oder Kopfairbags zur Verfügung. Ein Grund ist der etwas höhere Altersdurchschnitt der beteiligten PKW bei MAIS3+ verletzten Insassen.

3.4 Analyse von Fahrradfahrern

Im Gegensatz zu PKW-Insassen zeigen Fahrradfahrer deutlich geringere Rückgänge bei den Verletzten- und Getötetenzahlen (s. Abbildung 2). Sie profitieren (bisher) kaum von Entwicklungen bei der passiven und aktiven PKW-Sicherheit. Zudem sind die passiven Eigenschutzmaßnahmen auf das Tragen eines Fahrradhelmes limitiert. Neben der Nutzung eines technisch einwandfreien Fahrrades können Radfahrer ihre Sicherheit durch verstärkte Regelkonformität (bspw. Akzeptanz roter LSA, Nutzung der korrekten Fahrbahn(seite)) oder die Erhöhung ihrer Wahrnehmbarkeit (v.a. bei Dunkelheit) erhöhen. Diese Aspekte spiegeln sich in der Verteilung der Top10-Konfliktsituationen MAIS3+ verletzter Radfahrer wieder (Abbildung



6). Am häufigsten sind Konflikte zwischen einem einbiegenden Fahrzeug und einem vom Fahrrad- oder Gehweg kommenden Fahrrad. Neben weiteren Konflikten an Knotenpunkten sind Fahrnfälle bedeutsam. Dies sind meistens Stürze auf Geraden, Gefälle Strecken oder unebenen Fahrbahnen. Jeder vierte (26,2%) MAIS3+ verletzte Radfahrer verunfallte allein (kein weiterer Beteiligter). Im Jahr 2015 verstarben in Deutschland 21,9% der getöteten Radfahrer bei Alleinunfällen.

3.5 Unfalltypen schwerstverletzter Fahrradfahrer

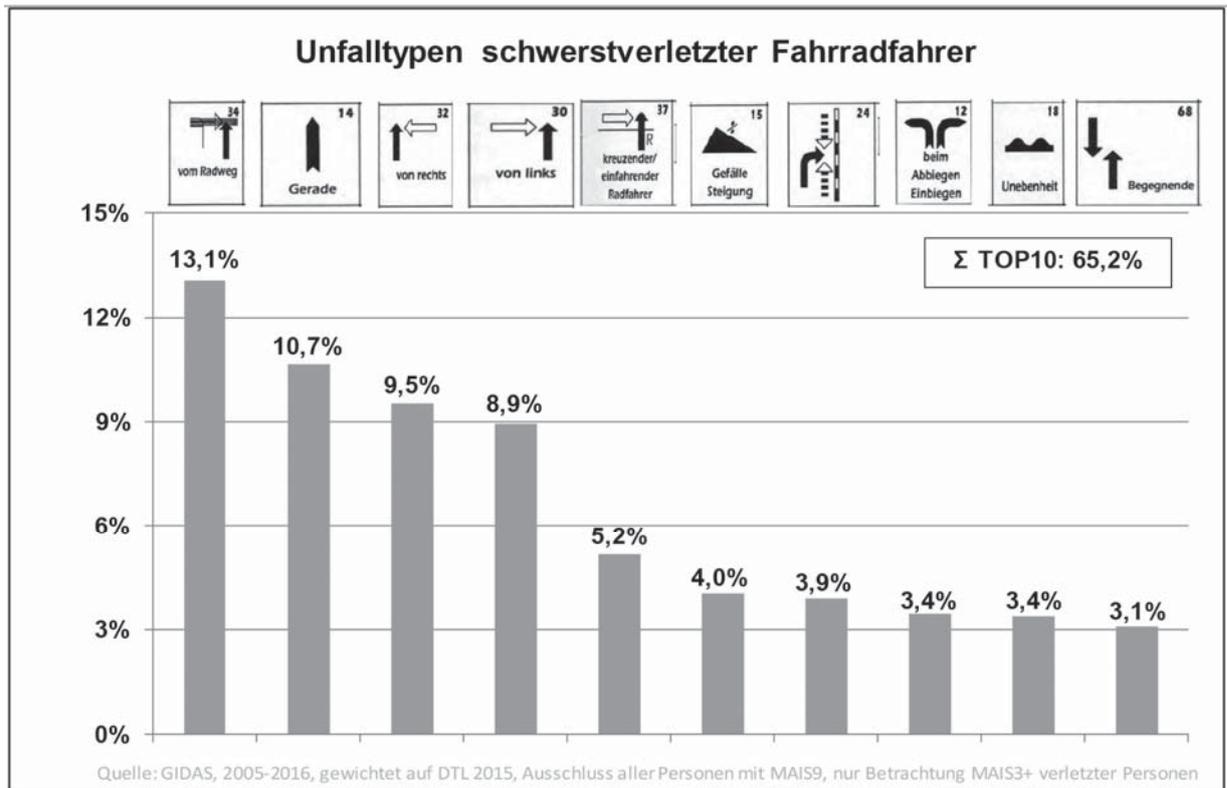


Abbildung 6: Unfalltypen schwerstverletzter Fahrradfahrer

PKW sind mit 48,4% erwartungsgemäß die häufigsten Kollisionsgegner von schwerstverletzten Radfahrern in der Primärkollision. Es folgt der Sturz auf die Fahrbahnoberfläche (24,6%) sowie Kollisionen gegen feste Objekte (9,0%). Etwas seltener treten LKW (7,1%) und andere Fahrräder (5,8%) als Anprallgegner in Erscheinung.

Abschließend wird der Fokus auf den Fahrradhelm gelegt. Die Analyse verletzter Körperregionen (Abbildung 9) hebt die Bedeutung des Kopfes als die am häufigsten schwer verletzte Region bei Radfahrern hervor. Erhebungen der BASt zufolge steigt die Helmtragequote im deutschen Verkehrsgeschehen kontinuierlich, liegt allerdings immer noch auf geringem Niveau (2015: 18%). Inwiefern die Nutzung eines Fahrradhelms das Auftreten schwerer und tödlicher Kopfverletzungen verhindern kann, lässt sich u.a. mit GIDAS überprüfen. Basierend auf den Daten von mehr als 1.300 verletzten Helmträgern und über 8.000 Radfahrern ohne Helm ist der positive Effekt des Radhelms statistisch signifikant nachgewiesen. Radfahrer ohne Helm tragen fast fünf Mal so oft AIS3+ Kopfverletzungen davon wie Helmträger.



Bei den MAIS3+ verletzten Radfahrern trugen 13,5% einen Fahrradhelm. In Einzelfällen, bei denen es zum Überrollen des Kopfes durch das gegnerische Fahrzeug kam, stößt der Fahrradhelm an die Grenzen seiner Schutzwirkung. Analyse von Fußgängern

Fußgänger stellen in vielerlei Hinsicht eine Besonderheit dar. Sie bewegen sich i.d.R. räumlich getrennt von anderen Verkehrsteilnehmern, verfügen über keinerlei passiven Schutz und müssen für die Verkehrsteilnahme keine Erlaubnis erwerben. Naturgemäß ist der größte Anteil (63%) aller Unfälle mit Fußgängerbeteiligung im Bereich der Überschreitensituationen zu finden. Allerdings finden sich auch Abbiegeunfälle, Konflikte beim Parken und Rückwärtsfahren und Unfälle im Längsverkehr unter den ursächlichen Situationen für MAIS3+ verletzte Fußgänger. Besonders relevant für die Schwerstverletzten sind dabei Unfälle bei Dunkelheit. Jeder dritte schwerstverletzte Fußgänger (33,3%) verunfallt nachts oder bei Dämmerung, obwohl zu diesen Zeiten deutlich weniger Fußgänger unterwegs sind. In der Gruppe aller verletzten Fußgänger liegt dieser Anteil bei 25%. Zudem verschiebt sich bei MAIS3+ verletzten Fußgängern auch die Ortslage in Richtung höherer Außerortsanteile. Während knapp 6% aller Fußgänger außerorts verunfallen, steigt dieser Wert für Schwerstverletzte auf 12%. Beide Aspekte sind i.d.R. mit höheren Kollisionsgeschwindigkeiten und damit höheren Verletzungsschweren verbunden.

Als Kollisionsgegner für schwerstverletzte Fußgänger dominieren erwartungsgemäß PKW (69,4%), gefolgt von LKW (12,5%) und Straßenbahnen (8,1%). Weniger relevant sind Kollisionen mit Bussen und Zweirädern. Die Analyse der Anprallseite am Kollisionsgegner (Abbildung 7) zeigt, dass 77% der mit einem PKW kollidierten Fußgänger an dessen Front anprallen. Etwa jeder achte Fußgänger wird jedoch beim Rückwärtsfahren (bei geringen Geschwindigkeiten) schwerstverletzt. Heckanpralle machen bei LKW sogar ein Drittel der Unfälle aus (Rangieren, häufig mit Überrollen).

3.6 Anprallseiten schwerstverletzter Fußgänger

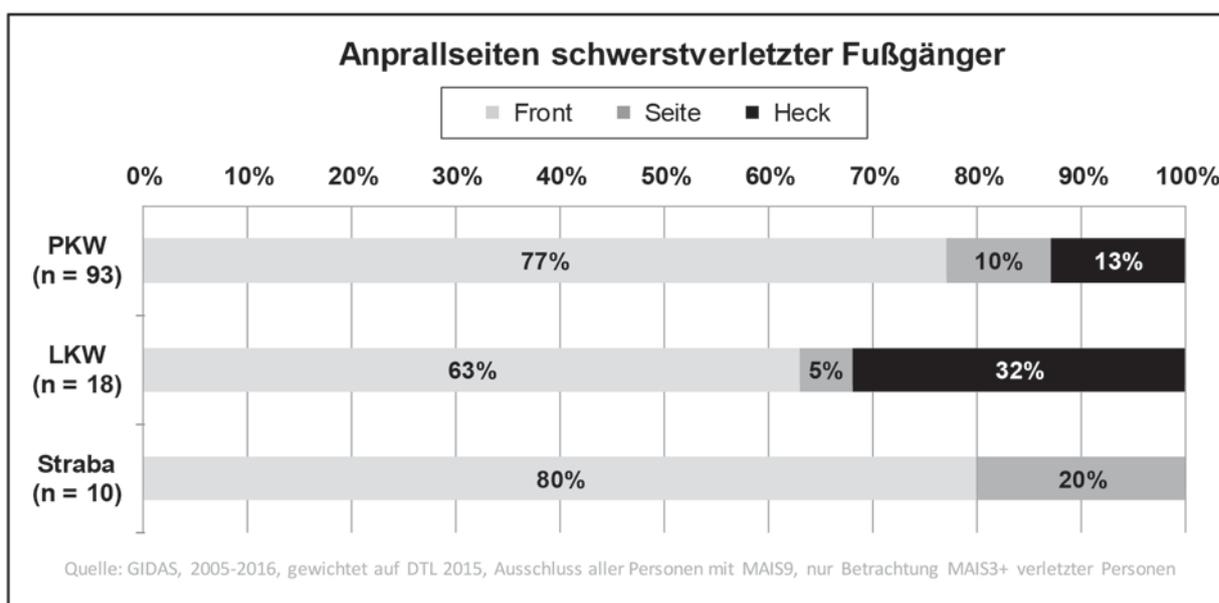


Abbildung 7: Anprallseiten schwerstverletzter Fußgänger



3.7 Analyse von Aufsassen motorisierter Zweiräder

Kradaufsassen gehören neben Fußgängern und Fahrradfahrer ebenfalls zur Gruppe der ungeschützten Verkehrsteilnehmer. Sie sind in etwa 90% der Fälle männlich und zeichnen sich durch eine von anderen Verkehrsteilnehmern stark abweichende, charakteristische Nutzungsweise aus (viele Freizeitfahrten, kaum nachts und bei schlechter Witterung, meist saisonale Nutzung). Neben Fahrern von Krafträdern sind auch Mopedfahrer in dieser Gruppe zu finden, die wiederum eine abweichende Nutzungscharakteristik zeigen. In dieser Studie findet keine Trennung zwischen beiden Gruppen statt.

Abbildung 8 zeigt die häufigsten kritischen Situationen für MAIS3+ verletzte Aufsassen. Neben selbstverursachten Fahrnfällen (v.a. in Kurven) spielen jene Situationen eine große Rolle, in denen der Zweiradfahrer nicht oder zu spät wahrgenommen wird. Typisch hierfür sind Abbiegesituationen (Typ 21x, 20x), normale Einbiegen-/Kreuzen-Szenarien (Typ 30x) und das Wenden (Typ 72x). Ebenfalls relevant für schwerstverletzte Motorradfahrer sind Überhol- und Begegnungsunfälle, v.a. im Außerortsbereich. Generell verunfallen Krafträder vorrangig auf Landstraßen schwer (58%), während schwere Mopedunfälle erwartungsgemäß ihre Häufung im Innerortsbereich haben (60%).

3.8 Unfalltypen schwerstverletzter Aufsassen motor. Zweiräder

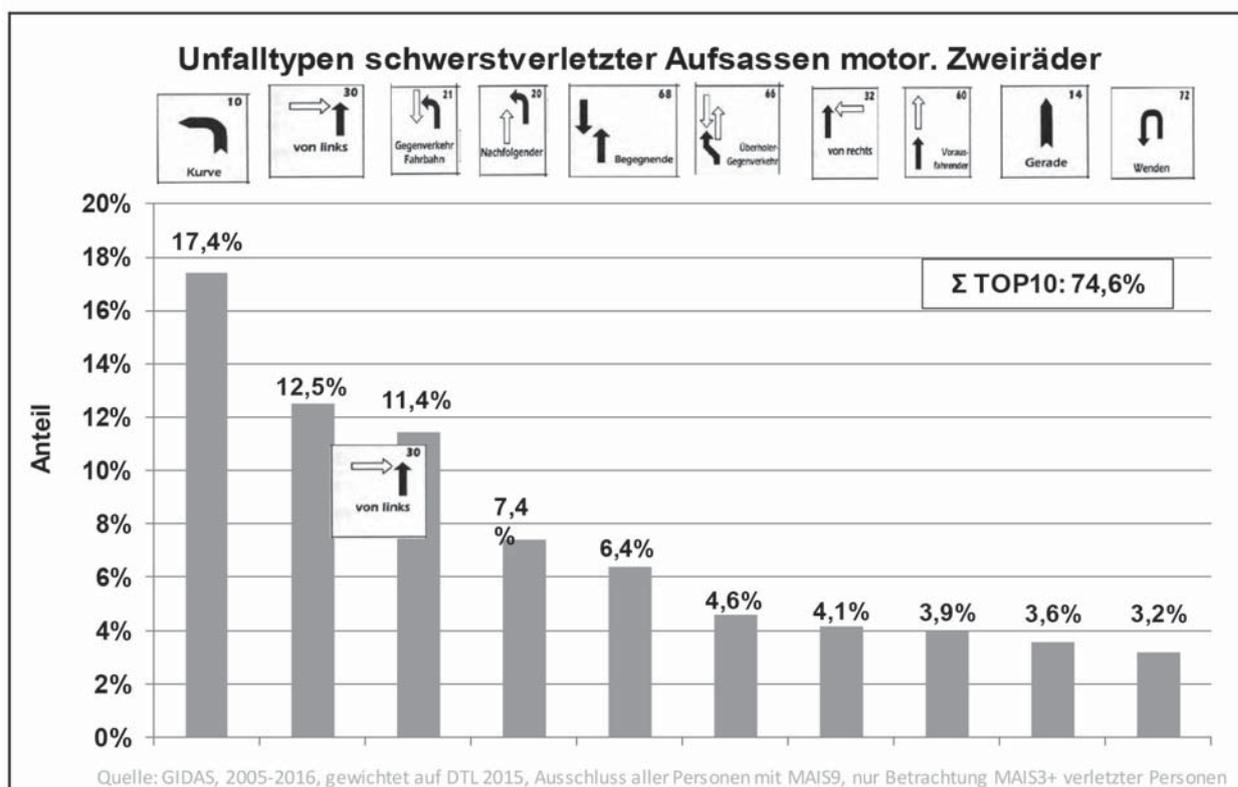


Abbildung 8: Unfalltypen schwerstverletzter Aufsassen motorisierter Zweiräder



Die relevanten Kollisionsgegner sind PKW (46%), die Fahrbahn (Sturz; 25%) sowie Objekte (inkl. Tiere; 16%), LKW (8%) und seltener andere motorisierte Zweiräder (4%).

3.9 Verletzte Körperregionen

Abschließend werden alle MAIS3+ verletzten Personen hinsichtlich der Verletzungsmuster betrachtet, wobei keine Differenzierung zwischen überlebenden und verstorbenen Personen vorgenommen wird. In Abbildung 9 ist für verschiedene Körperregionen dargestellt, wie häufig diese schwer (AIS3+) verletzt wurden. Die Basis (100%) sind jeweils alle MAIS3+ verletzten Personen der entsprechenden Verkehrsbeteiligungsart.

Nur MAIS3+ verletzte Personen / Alter und Geschlecht bekannt Quelle: GIDAS 2005-2016, gewichtet auf DTL 2015		Anteil AIS3+ verletzter Körperregion			
		PKW	Fahrrad	Fußgänger	motor. Zweirad
Anzahl MAIS3+ verletzter Personen:		n = 406	n = 181	n = 142	n = 244
	Kopf & Gesicht	33%	47%	42%	21%
	Hals (ohne HWS)	2%	2%	2%	3%
	Thorax (ohne BWS)	61%	31%	35%	40%
	Abdomen (ohne LWS)	14%	5%	6%	10%
	Wirbelsäule	11%	5%	6%	8%
	obere Extremitäten	2%	2%	3%	5%
	untere Extremitäten	28%	33%	53%	54%

Abbildung 9: AIS3+ verletzte Körperregionen von MAIS3+ verletzten Personen

Die Darstellung verdeutlicht einerseits, dass die betrachteten Personengruppen verschiedene Verletzungsmuster aufweisen. Bei schwerstverletzten und getöteten PKW-Insassen ist der Thorax mit Abstand die am häufigsten verletzte Körperregion. Fast zwei von drei Insassen erleiden eine schwere Thoraxverletzung (v.a. Rippenserienfraktur, Lungenkontusion). Die zweithäufigste Körperregion ist der Kopf (v.a. aufgrund von Schädelfrakturen, SHTs). Bei Fahrradfahrern ist der Kopf die am häufigsten AIS3+ verletzte Körperregion (ähnliche Verletzungen wie bei PKW-Insassen). Fußgänger und Aufsassen motorisierter Zweiräder zeigen dagegen die höchsten AIS3+ Anteile im Bereich der unteren Extremitäten. Mehr als jeder zweite schwerst-



verletzte Fußgänger und Kradaufsasse zieht sich hier eine AIS3+ Verletzung zu (Femur-, Femurschaft-, Becken(ring)fraktur).

Allen Verkehrsteilnehmergruppen gemein ist die hohe Relevanz der drei Körperregionen Kopf, Thorax und untere Extremitäten Diese sind, wenn auch in unterschiedlicher Reihenfolge, jeweils die drei am häufigsten AIS3+ verletzten Regionen.

4. Ableitung von Maßnahmen

Basierend auf den Analysen zu MAIS3+ verletzten Personen werden im Folgenden einige Maßnahmen für die zukünftige Verkehrssicherheitsarbeit abgeleitet. Für eine weitere nachhaltige Reduktion der Zahlen getöteter und schwerstverletzter Verkehrsteilnehmer erscheint es umso wichtiger, den Schwerpunkt nicht ausschließlich auf aktive und passive Maßnahmen für PKW zu legen. Generell sind technische Maßnahmen nur bedingt in der Lage, die enorme Bandbreite an Situationen, ursächlichem Fehlverhalten und komplexen Interaktionen zu adressieren. Zudem dauert deren Einführung selbst bei optimistischen Marktdurchdringungsszenarien viele Jahre. Daher erlangt neben dem technischen System „Fahrzeug“ vor allem der Bereich „Mensch“ eine hohe Bedeutung. Präventive und ggf. auch legislative Maßnahmen sind insbesondere für die „schwachen“ Verkehrsteilnehmer, die kaum von technischen Maßnahmen profitieren, essentiell.

4.1 PKW-Insassen

Ein Großteil der schwerstverletzten PKW-Insassen resultiert aus Landstraßen- und Abkommensunfällen. Die Gründe für den Kontrollverlust bzw. die Kollision mit entgegenkommenden Fahrzeugen sind vielfältig und müssen durch geeignete Systeme adressiert werden. Neben dem für Neufahrzeuge bereits verpflichtenden ESP sind dafür in erster Linie Spurverlassenswarner (LDW), Spurhaltesysteme (LKA), Assistenten zur Vermeidung überhöhter Geschwindigkeit (bspw. Traffic Sign Recognition, intelligente Navigationssysteme) hilfreich. Auch die Überwachung des Fahrer-/Fahrzeugzustandes und eine Assistenz bei kritischen Situationen (bspw. Ablenkung, Müdigkeit, medizinischer Notfall) erscheint sinnvoll. Zudem ist langfristig die Nutzung von C2C-/C2X-Technologien anzustreben, um insbesondere schwere Knotenpunktunfälle zu verhindern. Trotz kontinuierlicher Fortschritte im Bereich der aktiven Sicherheit sind auch Weiterentwicklungen bei der passiven Sicherheit zu forcieren. Der hohe AIS3+ Anteil im Bereich des Thorax unterstreicht die Notwendigkeit adaptiver Rückhaltesysteme, unter dem Aspekt des demographischen Wandels auch und besonders für ältere Personen.

Eine vermeintlich einfache Aufgabe ist die anzustrebende Erhöhung der Anschnallquoten, die ggf. auch durch strengere legislative Maßnahmen unterstützt werden muss.



4.2 Fahrradfahrer

Da beim Fahrrad selbst nur sehr limitierte Möglichkeiten zur Erhöhung der Verkehrssicherheit bestehen, gilt es einerseits, den Fahrradfahrer bestmöglich zu schützen. Entgegen einiger bis in die Gegenwart vorgebrachter Zweifel am Nutzen des Radhelms ist dessen Schutzpotential unbestritten. Die Steigerungsraten bei der Helmnutzungsquote sind allerdings äußerst unbefriedigend. Zudem existieren Personengruppen, deren Helmtragequote noch deutlich unter dem Durchschnitt liegt. Aus Abbildung 10 geht hervor, dass Frauen und Senioren seltener einen Helm tragen. Insbesondere bei letztgenannten ist dies kritisch zu sehen, da Senioren in den letzten Jahren durch Pedelecs und die generell steigende Altersmobilität wieder deutlich häufiger am Verkehrs- und Unfallgeschehen partizipieren und eine besonders hohe Verletzlichkeit aufweisen.

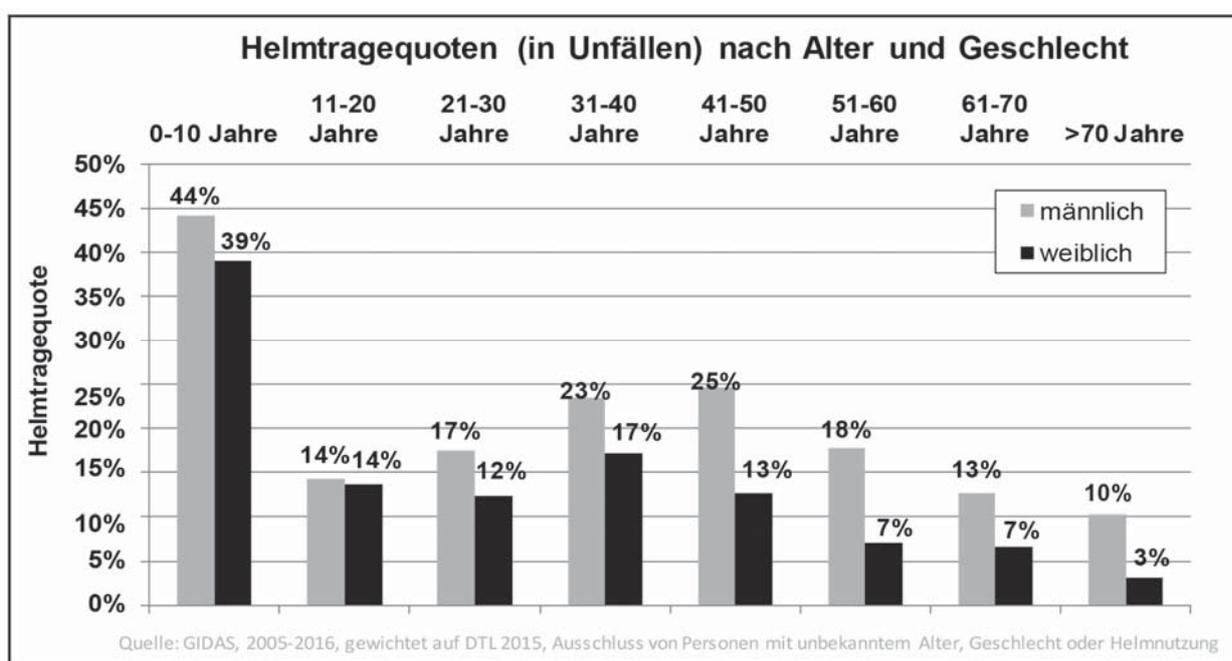


Abbildung 10: Helmtragequoten (in Unfällen) nach Alter und Geschlecht

Weiterhin ist bei Radfahrern auf die Notwendigkeit der Erhöhung der Regelakzeptanz hinzuweisen. Dies betrifft vor allem Aspekte wie die Vermeidung von Fahrten auf der falschen Fahrbahn(seite) oder unter starkem Alkoholeinfluss sowie die Ignoranz roter Lichtsignale. Auf der anderen Seite ist auch den Fahrradfahrern gegenüber mehr Toleranz und Regelbewusstsein, bspw. bei der Einhaltung des seitlichen Abstandes beim Überholen, einzuräumen. Da Radfahrer keine Fahrerlaubnis erwerben müssen, sind Überlegungen zu geeigneten Präventions- und Aufklärungskampagnen anzustellen. Abschließend sei auf die Rolle der Infrastruktur hingewiesen, die bspw. bei der Planung von Radverkehrsanlagen oder der Auslegung der Verkehrstechnik zum Tragen kommt.



4.3 Fußgänger

Das Thema Fußgängerschutz besitzt v.a. für PKW-Hersteller eine lange Historie. Die Analyse bestätigt, dass der Großteil der schwerstverletzten Fußgänger mit einem PKW kollidiert. Aktuell werden vermehrt Notbremsysteme (AEB) für Fußgänger angeboten, die – u.a. getrieben von EuroNCAP und Verbraucherschutzorganisationen – auch immer wirksamer werden. Hier ist zeitnah ein verpflichtender Einbau in Neufahrzeuge anzustreben. Bei der aktuellen Marktdurchdringung dieser Systeme und der stetig alternden PKW- Flotte werden selbst hochgradig performante AEB-Systeme in den nächsten Jahren nur wenige schwerstverletzte Fußgänger sparen. Realistisch gesehen werden nie alle Fußgängerunfälle durch fahrzeugeigene Sensorik vermieden werden können. Darüber hinaus sollte auch der Anteil an Heck-Kollisionen nicht vernachlässigt werden. Dieser ist sowohl bei PKW und im Besonderen bei LKW relevant und sollte mit geeigneten Maßnahmen (bspw. Kamerasysteme) adressiert werden. Generell spielt Unfallvermeidung beim Fußgänger die größte Rolle, da der sehr häufig auftretende Sekundäranprall des ungeschützten Fußgängers mit keinerlei Maßnahmen adressiert werden kann, egal wie gut die passiven Fußgängerschutzmaßnahmen des Kollisionsgegners ausgelegt sind.

4.4 Motorrad- und Mopedfahrer

Ähnlich wie beim Fahrradfahrer gibt es bei der Erhöhung der Verkehrssicherheit für Aufsassen motorisierter Zweiräder verschiedene Ansätze. Einer der wichtigsten ist die Verhinderung von Fahrunfällen, da diese häufig mit folgenreichen Anprallen an Objekten im Seitenraum oder Kollisionen mit dem Gegenverkehr enden. Der Einbau geeigneter Regelsysteme (bspw. MSC) sollte analog zum PKW Pflicht sein. Zudem sollte der Anteil von Krafträdern mit ABS (Pflicht seit 2016) schnellstmöglich erhöht werden. Auch Mopeds würden aufgrund ihres hohen Anteil von Innerorts-Konflikten von ABS profitieren, da viele kritische Situationen und Gefahrenbremsungen mit einem Sturz enden. Ein weiterer substantieller Punkt ist die Erhöhung der Sicht- bzw. Wahrnehmbarkeit des motorisierten Zweirades. Dies kann aktuell vorrangig durch geeignete Lichtsysteme realisiert werden. Zukünftig kann hier auch C2X-Kommunikation hilfreich sein.

Neben dem obligatorischen Helm ist auch Schutzkleidung sinnvoll, wenngleich diese selten schwerste Verletzungen adressiert. Der Nutzen kleidungsintegrierter Airbags kann im Feld aufgrund sehr geringer Fallzahlen noch nicht nachgewiesen werden.

Geeignete passive Schutzeinrichtungen am Fahrbahnrand können nur punktuell zur Unfallfolgenminderung beitragen. Hauptziel muss die Verhinderung von Unfällen sein.



Quellen

BAST; „Gurte, Kindersitze, Helme und Schutzkleidung – 2015“; Forschung kompakt Nr. 15/16; 2016

Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V.; Unfallforschung der Versicherer; „Unfalltypen-Katalog – Leitfaden zur Bestimmung des Unfalltyps“; Januar 2016

DESTATIS (Statistisches Bundesamt); Fachserie 8, Reihe 7; „Verkehrsunfälle“; Juli 2016 GIDAS; Datenbankabzug vom 31.12.2016

Liers, H. „Analyse des Unfallgeschehens zwischen PKW und Fahrrädern im Hinblick auf passive Schutzmaßnahmen“; Praxiskonferenz Fußgängerschutz 2011





Verbesserte Erfassung der Verletzungsschwere

Markus Muser, Kai-Uwe Schmitt

AGU Zürich

Während in der Vergangenheit die Anzahl der im Straßenverkehr Getöteten größte Aufmerksamkeit erhalten hat, verschiebt sich derzeit der Fokus hin zu schwerverletzten Personen. Die Mitgliedstaaten der EU sowie verschiedene assoziierte Staaten haben vereinbart detailliertere Informationen zur Verletzungsschwere zu erheben, da zu (schwer) verletzten Personen bisher nur sehr grobe Angaben zur Verfügung stehen. Die Verletzungsschwere soll dabei auf Basis der sogenannten Abbreviated Injury Scale (AIS) erhoben werden. Die Staaten sollen insbesondere den Anteil der im Straßenverkehr erlittenen Verletzungen der Schwere MAIS3+ angeben. Eine einheitliche Methode, wie diese AIS-Daten erstellt werden sollen, besteht momentan nicht. Es werden unterschiedliche Ansätze verfolgt, die AIS-Daten zu generieren, wobei die nationalen Unfallstatistiken in der Regel jedoch keine geeigneten, differenzierten Angaben enthalten.

In der Schweiz wurden im Rahmen mehrerer Studien zwei Ansätze zur verbesserten Erfassung der Verletzungsschwere evaluiert. Im ersten Ansatz wurde die nationale Unfallstatistik mit der Krankenhausstatistik verknüpft. Die Krankenhausstatistik erhebt für jeden stationär aufgenommenen Patienten die Diagnosen (in Form des Diagnose-Codes ICD). Es wurde eine Systematik entwickelt, die aus diesem ICD-Code die maximale Verletzungsschwere MAIS ableitet. Diese Systematik wurde mittlerweile auf nationaler Ebene implementiert, so dass der Anteil der MAIS3+ Verletzten angegeben werden kann. Ferner können detaillierte Auswertungen (beispielsweise zu konkreten Verletzungen oder speziellen Personengruppen) auf Basis der AIS-Einteilungen erfolgen; solche Analysen waren bisher nicht möglich. Ein Nachteil dieses Vorgehens besteht jedoch im zeitlichen Verzug der Angaben; die AIS-Daten können erst erzeugt werden, wenn die Behandlung eines Patienten abgeschlossen ist und die zugrundeliegenden Statistiken zur Verfügung stehen. Daher wurde ein zweiter Ansatz untersucht, der eine zeitnahe Erfassung der AIS-Daten anstrebt.

Dieser zweite Ansatz berücksichtigt, dass bei Unfällen mit Schwerverletzten in der Regel der Rettungsdienst vor Ort ist. Der Rettungsdienst kategorisiert seine Einsätze mit Hilfe des sogenannten NACA-Codes. Dieser 7-stufige Code weist auch einen Bezug zur Verletzungsschwere auf. So reicht die Kodierung von NACA1 (leichte Verletzung) bis NACA5 (lebensbedrohliche Verletzung) und erfasst zudem Reanimationen (NACA6) und Tod (NACA7). Eine kürzlich abgeschlossene Forschungsarbeit konnte zeigen, dass eine Korrelation zwischen NACA4+ und MAIS3+ besteht. Somit könnte der Anteil an MAIS3+ Verletzungen auch anhand der vom Rettungsdienst vor Ort erstellten NACA Kodierung abgeschätzt werden. Da der NACA Code keine persönlichen Gesundheitsdaten (z.B. Diagnosen) enthält, ist auch eine Rapportierung durch die Polizei im Unfallprotokoll möglich. Erste Schritte zur Etablierung dieser Erfassungsmethode wurden unternommen.

Zusammenfassend wurden somit zwei verschiedene Ansätze untersucht, die die Erfassung der Verletzungsschwere erheblich verbessern. Die Unfalldaten der Schweiz gewinnen dadurch an Qualität und ermöglichen weiterführende Analysen.





Die Pkw-Kollision mit ungeschützten Verkehrsteilnehmern – gibt es mehr zu adressieren als die Fahrzeugfront?

Dr.-Ing. Matthias Kühn

Medienfachwirt Antje Lang

Dipl.-Ing (FH) Jenoe Bende

UDV, Berlin

Dipl.-Ing. Roy Strzeletz

Unfallanalyse Berlin

1. Einleitung

Die bisherigen Anstrengungen um eine fußgängerfreundliche Gestaltung der Pkw-Form konzentrierten sich auf die Fahrzeugfront. Dies wird künftig auch das primäre Ziel beim Radfaherschutz sein. Die derzeit verfügbaren passiven und aktiven Sicherheitsmaßnahmen am Pkw sind deshalb für den Anprall eines Fußgängers oder eines Radfahrers gegen die Fahrzeugfront, einschließlich der Kotflügel, ausgelegt. Aus der Unfallforschung ist seit langem bekannt, dass dieser Ansatz richtig ist und dass die genannten Fahrzeugbereiche die höchste Priorität besitzen und den größten Aufwand bei der Erarbeitung von Maßnahmen erfordern [1, 2]. Die Erkenntnisse aus der Unfallforschung zeigen aber auch, dass es außer der Frontalkollision noch weitere Unfallmuster bei Kollisionen von Pkw mit ungeschützten Verkehrsteilnehmern (VRU) gibt, denen man Aufmerksamkeit schenken sollte, zumal es bereits technische Maßnahmen gibt, die diese Unfallmuster adressieren könnten [3].

2. Datenbasis

Die vorliegende Studie basiert auf der Analyse von Unfalldaten der Deutschen Versicherer. Die dafür benutzte Unfalldatenbank (UDB) enthält einen repräsentativen Ausschnitt aller Haftpflichtschäden, die in den Jahren 2002 bis 2012 dem GDV gemeldet wurden. Dabei wurden nur Personenschäden mit einem Aufwand von mindestens 15.000€ berücksichtigt. Das Unfallmaterial berücksichtigt alle Arten der Verkehrsteilnahme. Für die folgende Untersuchung wurden aus ca. 5.000 Unfällen mit Pkw Beteiligung alle Pkw-Kollisionen mit Radfahrern und Fußgängern herausgefiltert. Der zugrundeliegende Datenpool besteht aus $n=416$ Pkw/Radfahrer-Unfällen und $n=390$ Pkw/Fußgänger-Unfällen.



3. Pkw/Fußgänger-Kollision

Die Abbildung 1 zeigt die Häufigkeit der Erstkontaktstellen des Fußgängers beim Pkw-Anprall. Es wird deutlich, dass der Aufprall eines Fußgängers an der Fahrzeugseite mit 23 % der zweithäufigste ist. Dabei ist der links- bzw. rechtsseitigen Anprall in etwa gleich häufig, aber auch der Anprall am Fahrzeugheck ist mit 17 % beachtenswert.

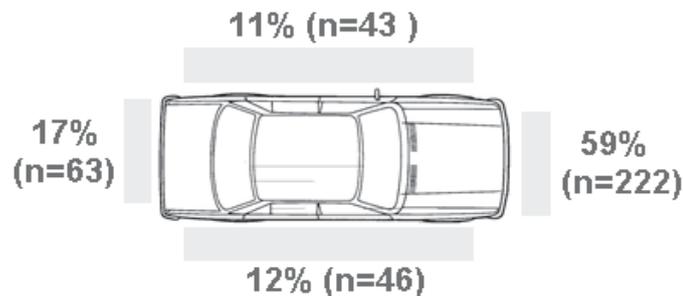


Abbildung 1: Verteilung der Anprallstellen (Erstkontakt) von Fußgängern am Fahrzeug

3.1 Fußgängeranprall am Fahrzeugheck

Betrachtet man die Verletzungsfolgeschwere bei einer Kollision des Fußgängers mit dem Fahrzeug, so zeigt Abbildung 2, dass bei einer Frontalkollision 43 % der verletzten Fußgänger eine MAIS3+-Verletzung erlitten haben. Das sind 66 % aller MAIS3+ verletzten Fußgänger im Untersuchungsmaterial. Betrachtet man nur das Fahrzeugheck erleiden hier 35 % der verletzten Fußgänger MAIS3+-Verletzungen. Bezogen auf alle MAIS3+-Verletzten sind das 16 %. In etwa gleichauf folgt die Fahrzeugseite. Hier werden 15 % aller bei Fußgänger/Pkw-Unfällen MAIS3+-Verletzter registriert.

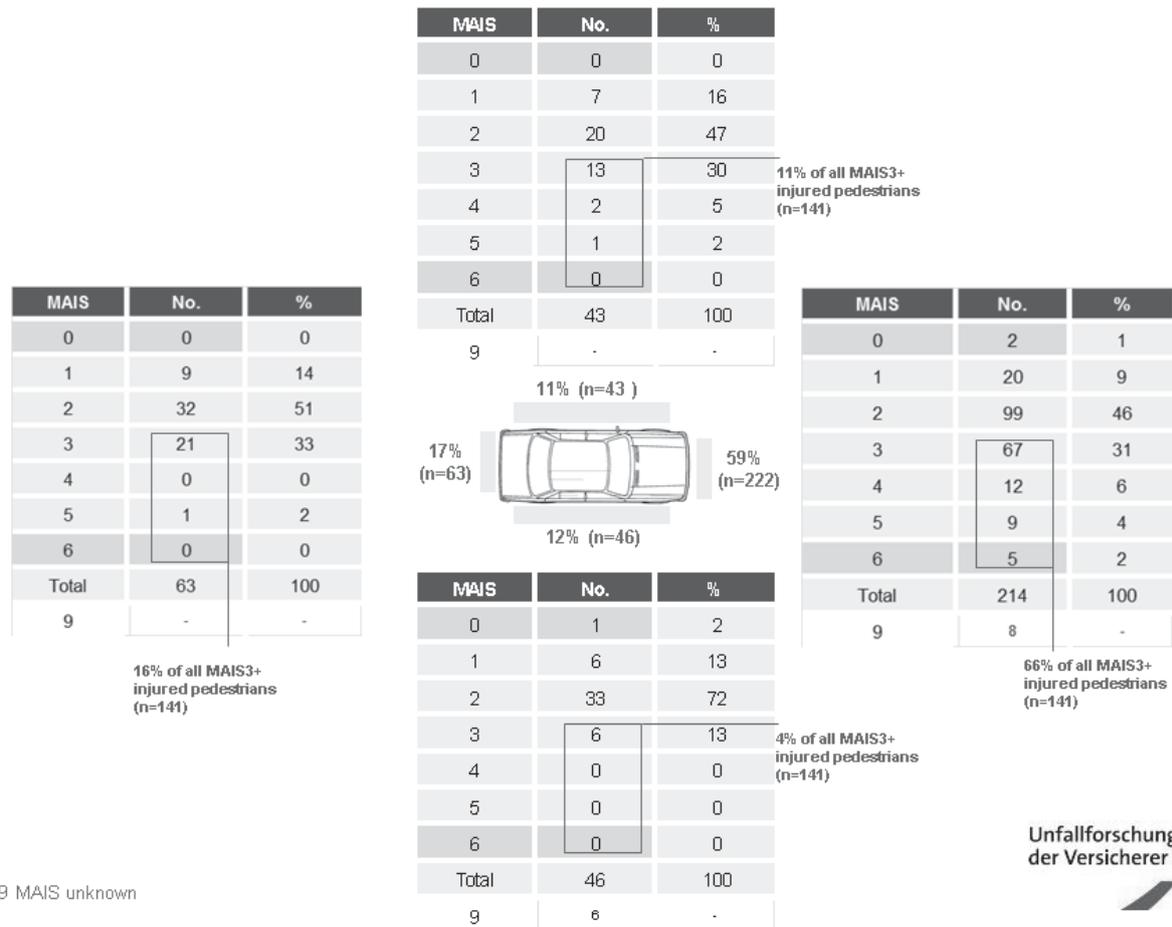


Abbildung 2: Verletzungsfolgeschwere in Abhängigkeit des Anstoßortes bei Fußgänger/Pkw-Kollisionen

Betrachtet man die erlittenen Verletzungen des Fußgängers bei einer Kollision mit dem Fahrzeugheck genauer (Abbildung 3), so wird deutlich, dass 50 % der AIS3+-Verletzungen dem Oberschenkel zugeschrieben werden können. Ebenfalls häufig sind Kopfverletzungen mit 27 %.

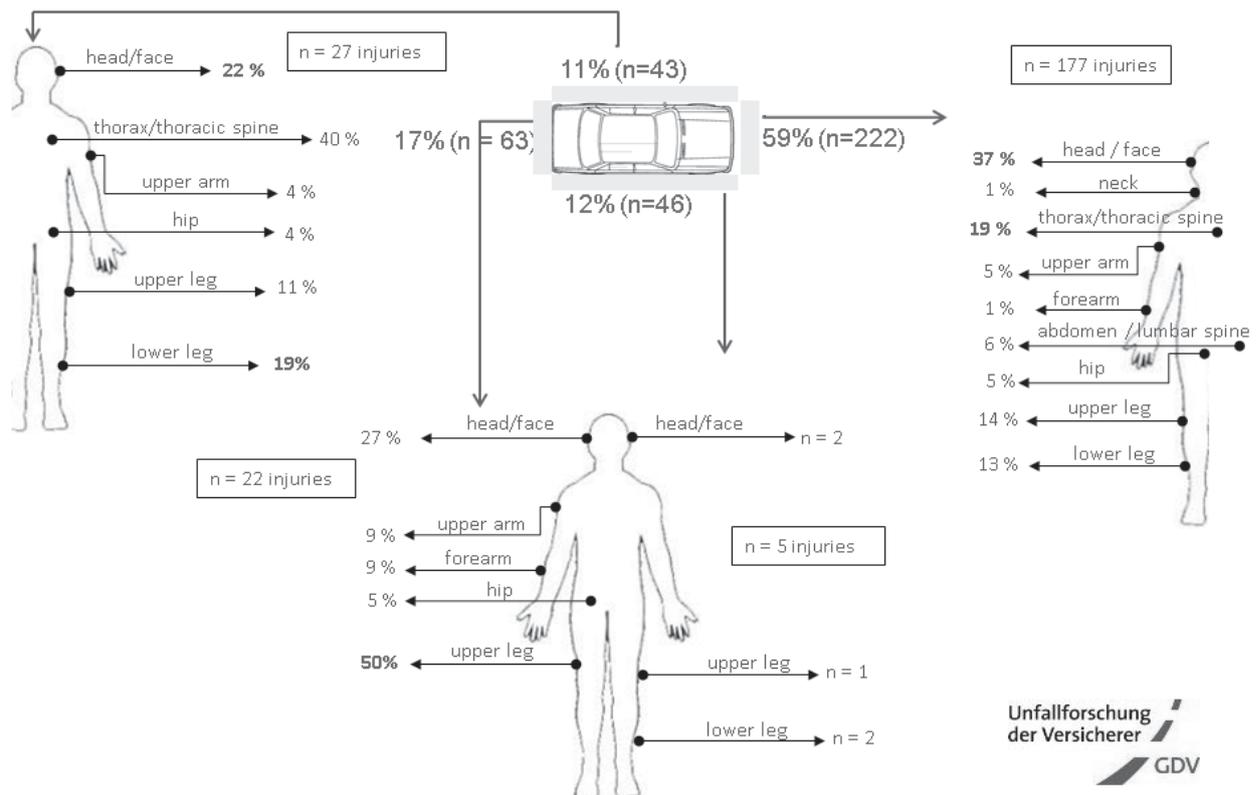


Abbildung 3: AIS 3+-Verletzungen für verschiedene Körperregionen in Abhängigkeit des Anprallortes am Pkw.

Die vorangegangenen Analysen zeigen, dass der Heckanprall eines Pkws mit einem Fußgänger durchaus weiterer Analysen bedarf. Es zeigt sich beispielsweise, dass die Heckkollision, im Gegensatz zum Frontal-anprall eines Fußgängers, zu 89 % bei Tag geschieht. Weitere Analysen zeigen, dass der überwiegenden Mehrzahl der Kollisionen ein „low speed manoeuvring“ zugrunde liegt, bei dem nahezu keine Fahrerreaktion erfolgt ist. Dabei bewegt sich das Fahrzeug in 95 % der Fälle nicht schneller als 10 km/h. Der Fahrer hat nur in 7 % der Kollisionen eine Bremsreaktion gezeigt.

Betrachtet man die Verunglückten bei diesen Kollisionen näher, so sind 63 % der betroffenen Fußgänger 69 Jahre oder älter. Kinder unter 12 Jahren sind mit 6 % deutlich weniger häufig vertreten. Die Analysen des Unfallmaterials zeigen hier keine Auffälligkeiten in Bezug auf das Alter des Fahrers. Auswertungen zum Geschlecht der Verunglückten belegen, dass 70 % der Fußgänger Frauen aber nur 32 % der Fahrzeugführer weiblichen Geschlechts waren.

Vergleicht man nur die schwer verletzten Fußgänger (MAIS 3+) bei Front- und Heckkollisionen miteinander (Abbildung 4), so ist der Anteil bei den Heckkollisionen mit 35 % nicht viel geringer als an der Fahrzeugfront (44 %). Bemerkenswert ist allerdings, dass 86 % dieser schwer verletzten Fußgänger 70 Jahre oder älter waren, verglichen mit 28 % bei Frontalkollisionen. Obwohl die Kollisionsgeschwindigkeiten bei Heckkollisionen im Vergleich zu Frontalkollisionen mit Fußgängern deutlich geringer sind, kann das hohe Alter und damit die höhere Verletzlichkeit der verunglückten Fußgänger hierfür eine plausible Erklärung sein.



Weitere detaillierte Analysen zeigen, dass zwei Drittel der erlittenen maßgeblichen Verletzungen durch einen Sekundäraufprall hervorgerufen wurden. Bei Frontalkollisionen beträgt dieser Anteil nur 10 %.

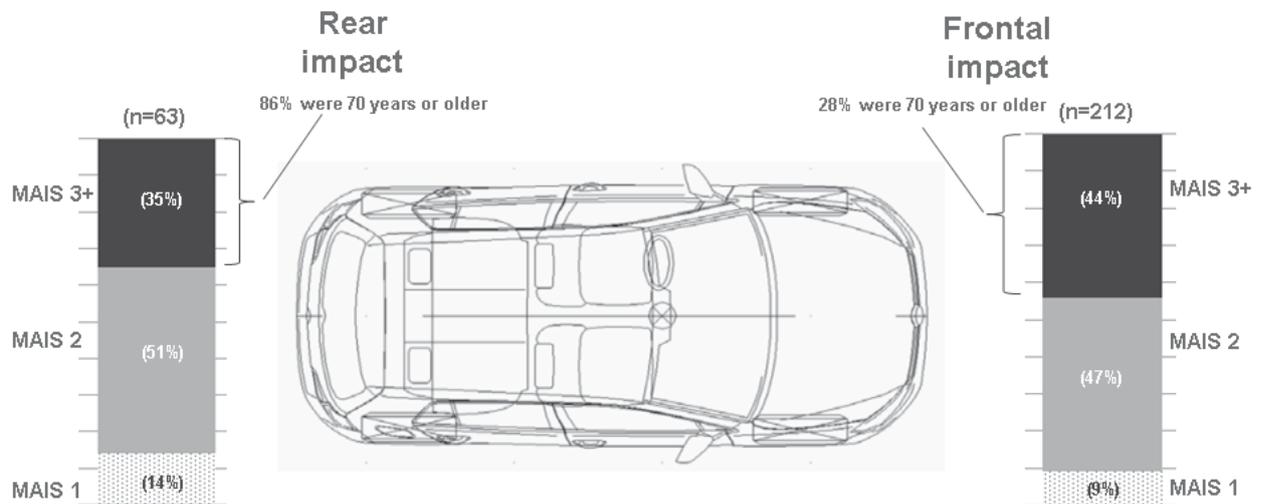


Abbildung 4: Vergleich von Heck- und Frontalkollision bezüglich der Verletzungsschwere der Fußgänger.

63 % der verunfallten Fahrzeuge waren zum Unfallzeitpunkt fünf Jahre oder jünger. Bezugnehmend auf das Unfalldatum sind die verunglückten Fahrzeuge demnach aus dem Bauzeitraum von 1997 bis 2007. Bemerkenswert ist, dass nach Ausstattungsanalysen wahrscheinlich bei 90 % dieser Fahrzeuge keine Parksensoren oder Rückfahrkameras verbaut waren.

Für ein vertieftes Verständnis der Heckkollision mit Fußgängern ist es notwendig die Unfallörtlichkeit und das Fahrmanöver näher zu untersuchen. Hierbei zeigt sich, dass dieses Unfallmuster in zwei Hauptkategorien unterteilt werden kann:

- drei Viertel der Fälle sind durch den Umstand des klassischen Parkmanövers gekennzeichnet
- ein Viertel der Heckkollisionen ereignen sich in anderen als diesen Parkmanövern. In diesen Fällen fuhr der Fahrer rückwärts im fließenden Verkehr aus anderen Gründen wie zum Beispiel: Vorfahrt für andere Verkehrsteilnehmer gewähren (Rettungswagen); Ändern der eigenen Fahrtrichtung (z.B. Einfahrt verpasst)

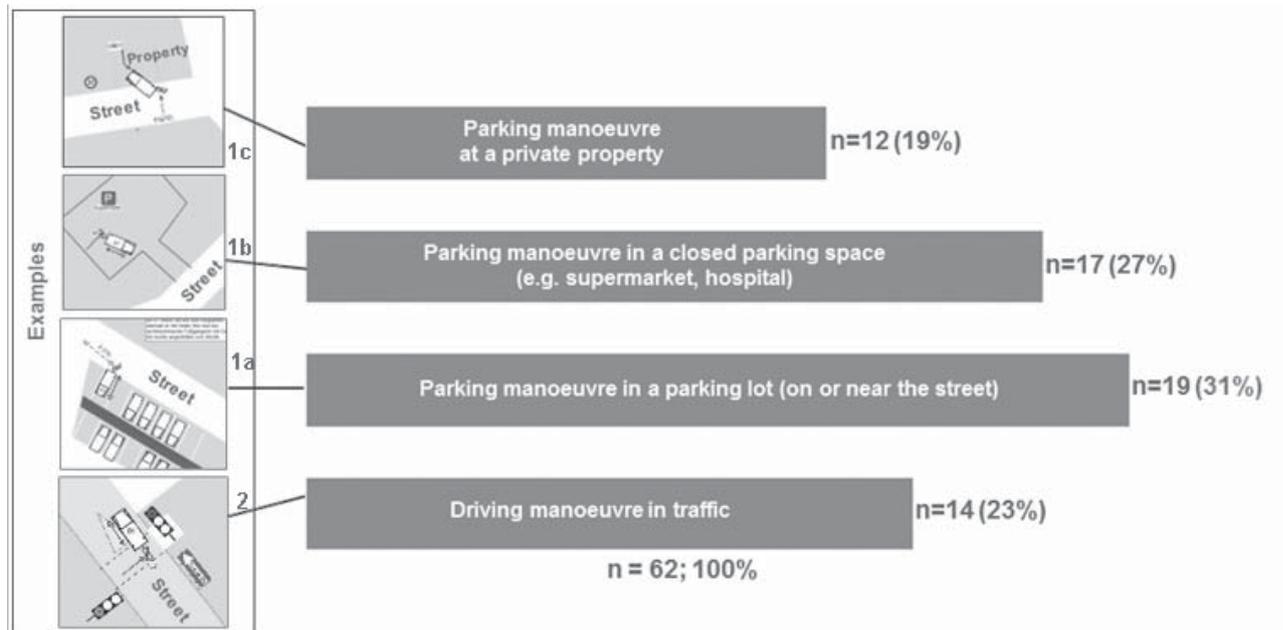


Abbildung 5: Unfallszenarien bei der Pkw-Heckkollision mit Fußgängern

Innerhalb der ersten Kategorie der klassischen Parkmanöver führt mit 31 % das Parken an der Straße das Ranking an. Es ist folgendermaßen charakterisiert:

- 12 % der verunglückten Fußgänger waren zum Unfallzeitpunkt nicht in Bewegung.
- 73 % der Fußgänger und 31 % der Fahrzeugführer waren Frauen.
- 84 % (32%) der Fußgänger und 12 % (0%) der Fahrzeugführer waren älter als 65 Jahre (75 Jahre).
- 75 % der Fußgänger erlitten ihre schwersten Verletzungen durch den Sekundäraufprall. 31 % der Fußgänger erlitten MAIS3+-Verletzungen.

An zweiter Stelle der ersten Kategorie folgt das Parken auf einem abgeschlossenen Parkplatz (z.B. Supermarkt, Krankenhaus). Diese Szenarien ähneln in ihren Mustern stark den zuvor dargestellten und sind wie folgt zu beschreiben:

- 24 % der verunglückten Fußgänger war nicht in Bewegung zum Unfallzeitpunkt.
- 64 % der Fußgänger und 44 % der Fahrzeugführer waren Frauen.
- 69 % (56%) der Fußgänger und 15 % (0%) der Fahrzeugführer waren älter als 65 Jahre (75%).
- 75 % der Fußgänger erlitten ihre Hauptverletzungen durch den Sekundäraufprall. 38 % dieser Fußgänger erlitten MAIS3+-Verletzungen.

Die Fahrmanöver der zweiten Kategorie (Fahrmanöver im fließenden Verkehr) lassen sich wie folgt beschreiben:



- alle verunglückten Fußgänger bewegten sich zum Unfallzeitpunkt.
- zehn Fußgänger (71 %) und vier Fahrzeugführer waren Frauen.
- Neun Fußgänger (64 %) und ein Fahrzeugführer waren älter als 65 Jahre.
- die Hälfte der verunglückten Fußgänger erlitt ihre Hauptverletzung durch den Sekundäraufprall.

3.2 Fußgängeranprall an der Fahrzeugseite

Wie bereits in Abbildung 1 dargestellt, ist der Anprall eines Fußgängers an die linke oder rechte Fahrzeugseite mit 23 % im Unfallgeschehen vertreten. Dabei sind die linke und die rechte Fahrzeugseite in etwa gleich häufig betroffen. Kinder im Alter von zwölf Jahren oder jünger waren mit 24 % (n=11) doppelt so häufig bei Kollisionen mit der rechten Fahrzeugseite vertreten als mit der linken (12 %; n=5). In 25 der 89 Fälle (28 %) hatte der Fußgänger Kontakt mit einem der Außenspiegel des Fahrzeugs. In mehr als der Hälfte dieser Fälle (15 von 25 Fällen) wurde der Fußgänger ausschließlich vom Außenspiegel des Fahrzeuges getroffen (17 % aller Seitenkollisionen).

Das wiederholte Auftreten der Kollisionen eines Fußgängers mit dem Fahrzeug-Außenspiegel rechtfertigt eine genauere Analyse der betreffenden Unfälle. Betrachtet man die glatte Kontur moderner Fahrzeuge, so wird deutlich, dass der Außenspiegel das letzte Bauteil am Fahrzeug ist, das hervorsteht und diese Kontur unterbricht. Er ist damit ein potenziell verletzungsverursachendes Teil bei Kollisionen mit schwächeren Verkehrsteilnehmern allgemein. Betrachtet man nun diese Unfallsituationen genauer, wird folgendes deutlich:

- die Fahrgeschwindigkeit bei diesen Unfällen betrug im Mittel 40 km/h.
- Die Fußgänger wurden meistens durch den Sekundäraufprall mit der Fahrbahnoberfläche verletzt (acht von elf Fällen).
- Sowohl der linke als auch der rechte Außenspiegel waren in etwa gleich häufig betroffen.
- Die Fußgänger waren im Mittel 62 Jahre alt. In drei der acht Fälle erlitt der Fußgänger MAIS 3+-Verletzungen, alle hervorgerufen durch den Sekundäraufprall.

In Einzelfällen ist nach Analyse der Unfälle davon auszugehen, dass sie bei zukünftigen Fahrzeugen mit Kamera-Monitor-Systemen (KMS) als Spiegeleratz nicht stattgefunden hätten. Insofern sind KMS auch ein Schritt, um die Fahrzeugkontur fußgängerfreundlicher zu gestalten.



Abbildung 6: Beispielhafter Unfallverlauf bei Kollisionen eines Fußgängers mit dem Seitenspiegel eines Pkw (links: Fußgänger bewegt sich parallel zum Fahrzeug in Fahrtrichtung; rechts: Fußgänger steht mit dem Rücken zum vorbeifahrenden Fahrzeug)

4. Radfahrer/Pkw-Kollision

Die Häufigkeit der Anprallorte am Fahrzeug bei der Radfahrer/Pkw-Kollision ist in Abbildung 7 dargestellt. 37% (n=139) aller Pkw-Radfahrer Unfälle sind auf einen Seitenanprall zurückzuführen, während Heckkollisionen lediglich 4% (n=15) ausmachen. Auffällig ist dabei, dass in 18% der Seitenkollisionen (n=25) der Radfahrer mit der sich öffnenden Pkw-Tür kollidierte. Das entspricht etwa 7% aller Radfahrer/Pkw-Kollisionen mit bekannter Anprallstelle am Pkw (n=377). 24 dieser Fälle ereigneten sich auf der linken Fahrzeugseite. In allen Fällen handelte es sich um die Fahrer- bzw. Beifahrertür. Allerdings dominiert, wie beim Fußgänger auch, die Kollision mit der Fahrzeugfront deutlich.

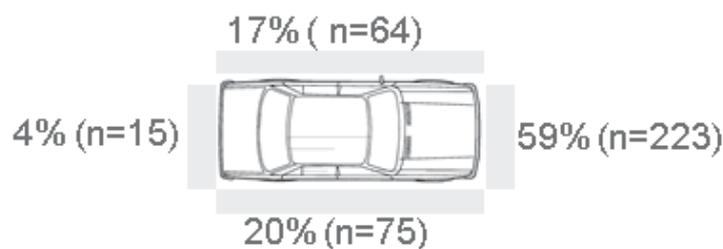


Abbildung 7: Verteilung der Anprallstellen (Erstkontakt) von Radfahrern am Fahrzeug

Bei Betrachtung der Verletzungsschwere in Abhängigkeit des Anprallortes zeigt sich wie beim Fußgänger auch, dass die Fahrzeugfront mit 31 % MAIS3+-Verletzter dominiert. Das sind 69 % aller MAIS3+ verletzter Radfahrer im Untersuchungsmaterial. Es folgt die Fahrzeugseite. Hier werden bei einer Kollision mit der linken Fahrzeugseite 24 % und mit der rechten Fahrzeugseite 19 % der Radfahrer schwer verletzt (MAIS 3+). Bei Kollisionen mit dem Fahrzeugheck werden 13 % der Radfahrer schwer verletzt.

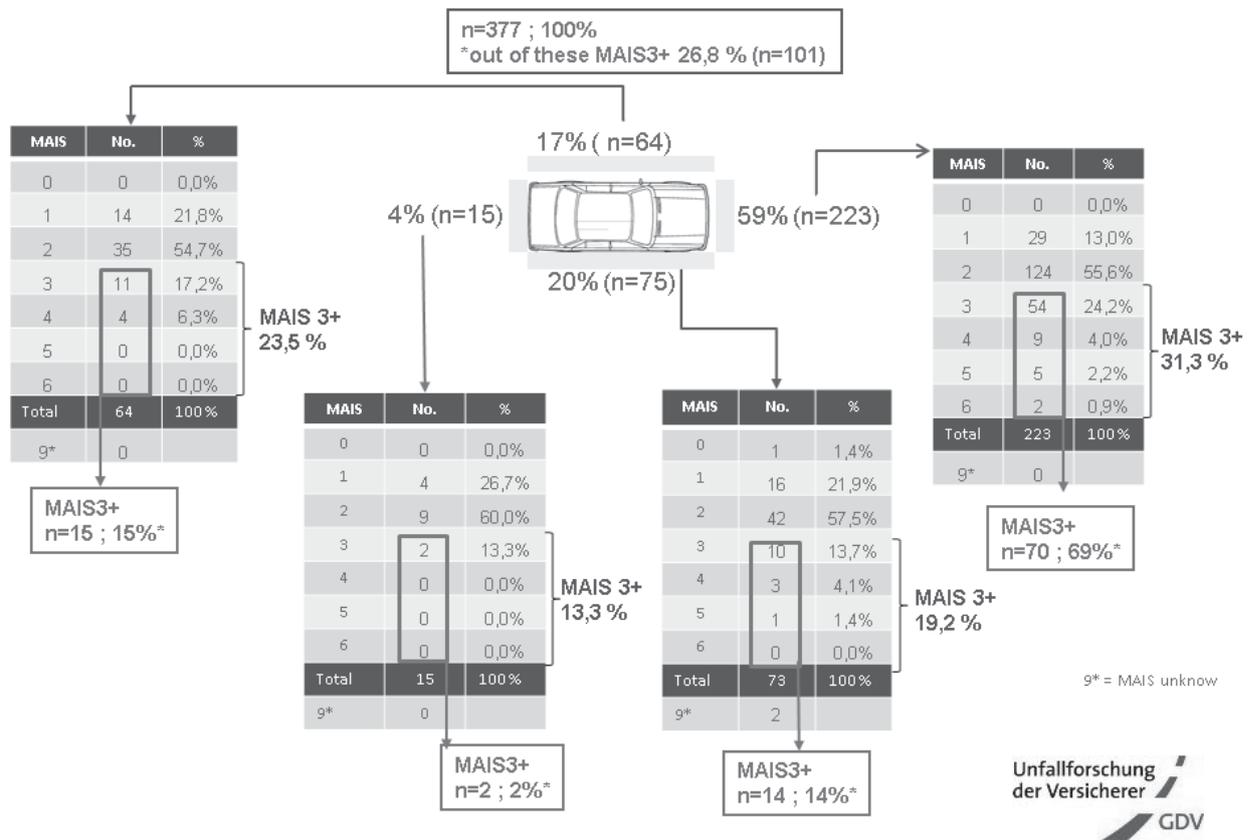


Abbildung 8: Verletzungsschwere der Radfahrer in Abhängigkeit des Kollisionsortes am Fahrzeug

Bei einer vertieften Betrachtung der Kollisionen mit der linken Fahrzeugseite zeigt sich, dass 44 % der schweren Verletzungen dem Kopf zugeordnet werden können. Etwa 39 % der schweren Verletzungen betreffen die unteren Extremitäten. Eine Übersicht über die weitere Verletzungssituation in Abhängigkeit des Anstoßortes am Fahrzeug gibt Abbildung 9.

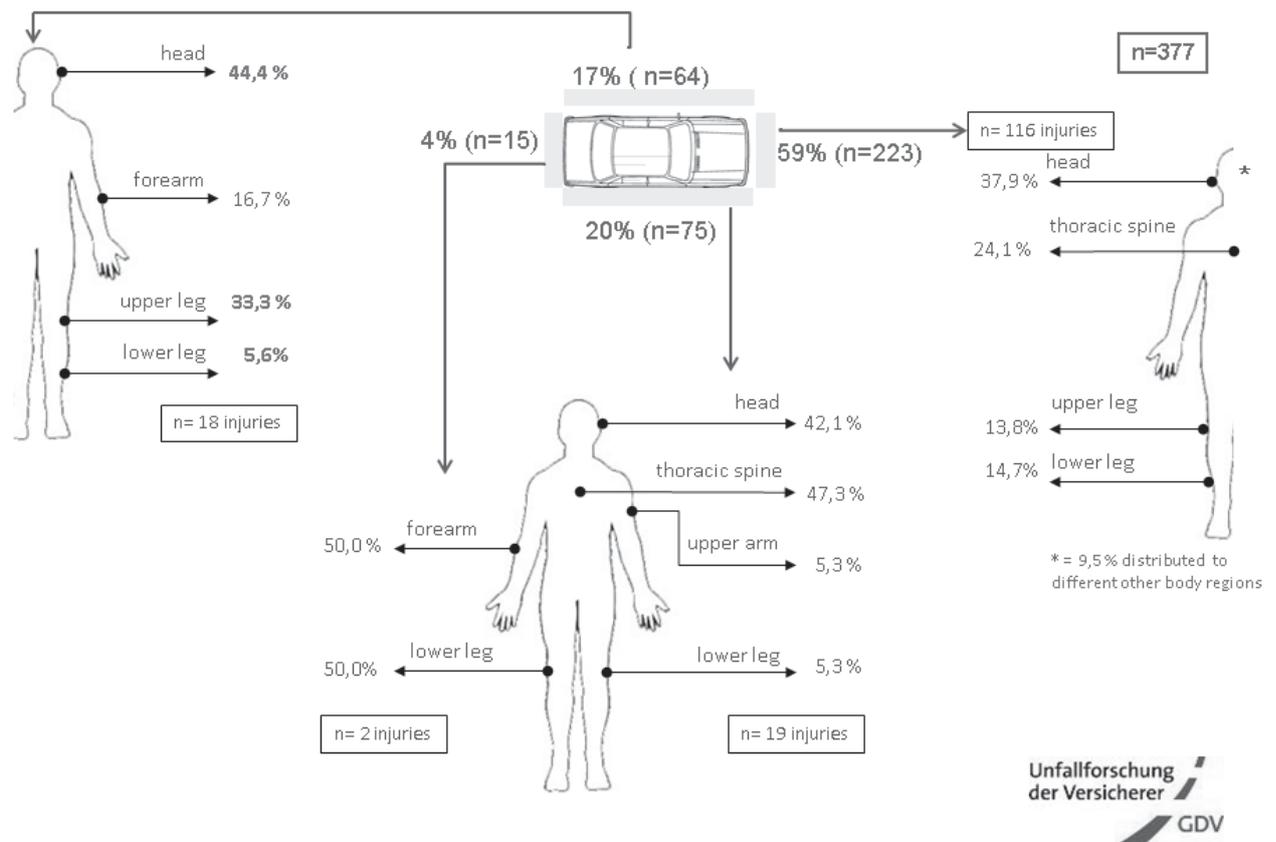


Abbildung 9: AIS3+-Verletzungen der Radfahrer in Abhängigkeit des Anstoßortes am Fahrzeug

Die fast ausschließlich auf der linken Fahrzeugseite auftretende Kollision eines Radfahrers mit der geöffneten Fahrertür rechtfertigt die vertiefte Analyse dieser Unfallkonstellation. In Abbildung 10 sind die Verletzungen der in solchen Situationen verunglückten Radfahrer in Abhängigkeit der Körperregionen aufgetragen.

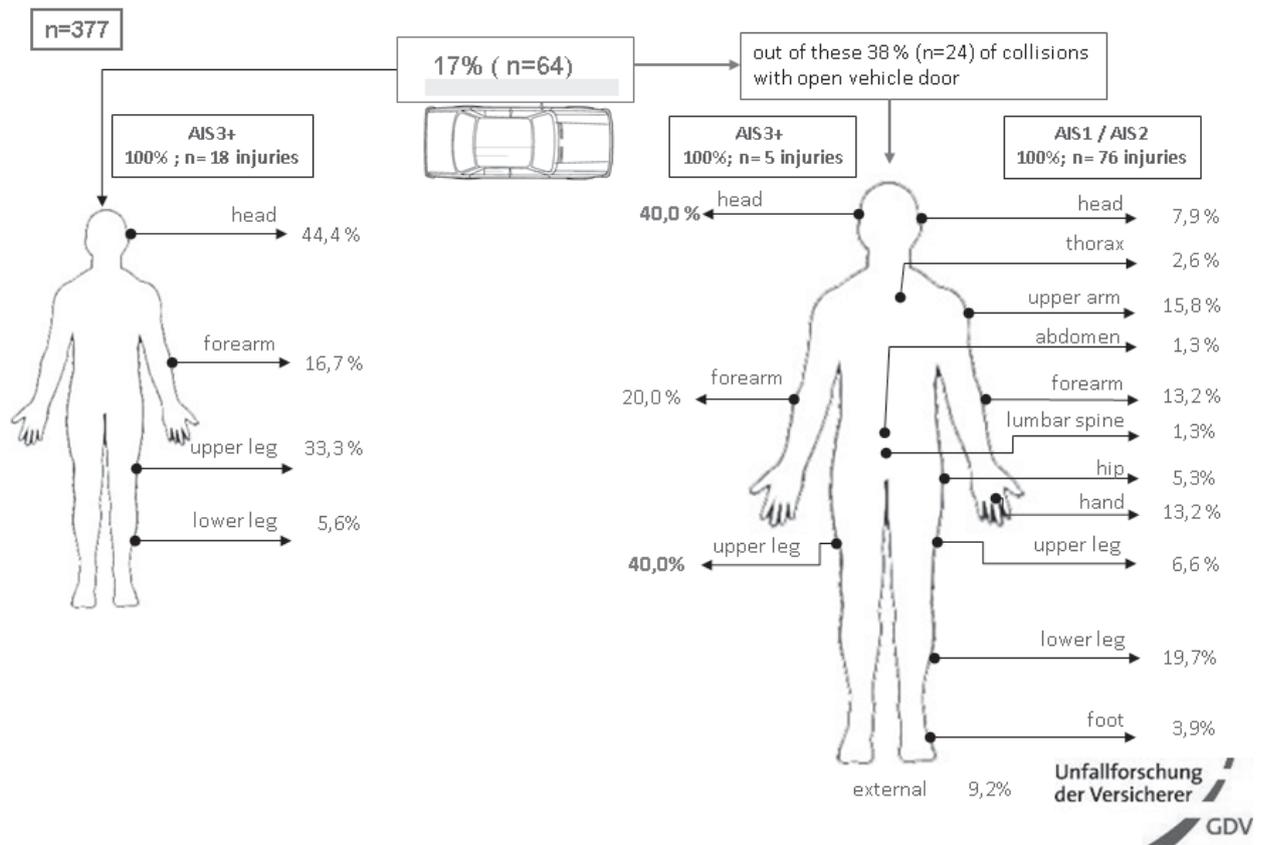


Abbildung 10: Verletzungsschwere der Radfahrer an verschiedenen Körperregionen bei Kollisionen mit der Fahrertür

Vergleicht man die Verletzungsfolgeschwere der verunglückten Radfahrer bei einem Anstoß an der Fahrzeugfront mit denen, die mit der Fahrertür kollidierten, so zeigt sich eine ähnliche Verteilung. Unfälle eines Radfahrers gegen die Fahrertür sind damit vergleichbar schwer wie die gegen die Fahrzeugfront.

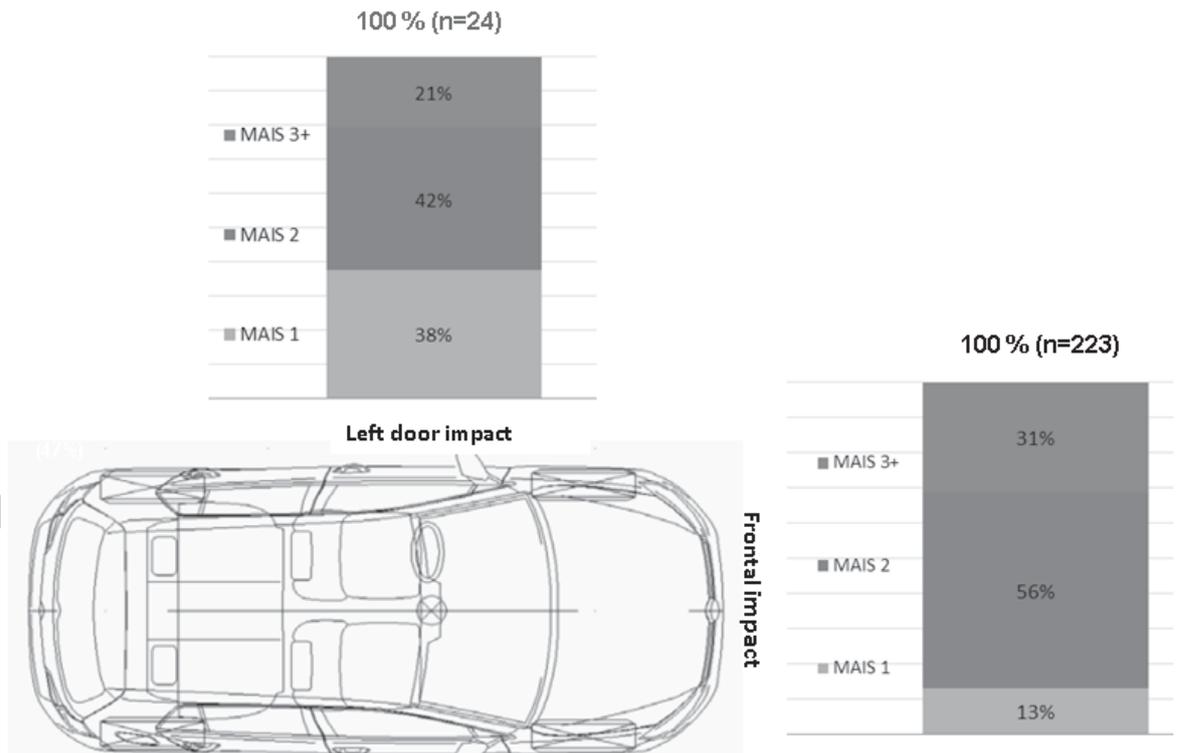


Abbildung 11: Vergleich der Verletzungsfolgeschwere von Radfahrern bei Kollisionen mit der Fahrertür und der Fahrzeugfront

Betrachtet man diese 24 Fälle genauer, in denen der Radfahrer mit der Fahrertür kollidierte, so fällt auf, dass in 19 Fällen (79 %) der Radfahrer auf der Fahrbahn fuhr und das parkende Fahrzeug passieren wollte.



Abbildung 12: Zwei beispielhafte Unfallorte im Fallmaterial mit typischer Infrastruktur

In den meisten Fällen im Datenmaterial war keine separate Radverkehrsführung an der Unfallstelle vorhanden.



4.1 Crashversuche Radfahrer gegen die geöffnete Fahrertür

Um die Kinematik einer solchen Kollision nachzustellen, wurden am Fachgebiet Kraftfahrzeuge der TU Berlin im Rahmen einer Lehrveranstaltung Crashversuche durchgeführt. Dazu wurde ein Dummy auf einem Fahrrad sitzend mit etwa 14 km/h gegen eine geöffnete Fahrertür gezogen. Das Fahrrad wurde in einer Schiene bis kurz vor der Kollision geführt. Auch der Dummy wurde kurz vor der Kollision aus seiner Führungsschiene gelöst. Fahrrad und Dummy konnten sich so frei bewegen. Der Öffnungswinkel der Fahrertür wurde variiert. Der Dummy war mit Messtechnik ausgerüstet. Die nachfolgenden Bildsequenzen (Abbildungen 13-15) zeigen deutlich den Einfluss des Türöffnungswinkels auf die Kinematik des Radfahrers und die Endlage des Rades. Die Anstoßstellen des Radfahrers an der Fahrertür verdeutlichen prinzipiell die in Abbildung 10 aus den Unfalldaten abgeleiteten betroffenen Körperregionen Kopf und Extremitäten.

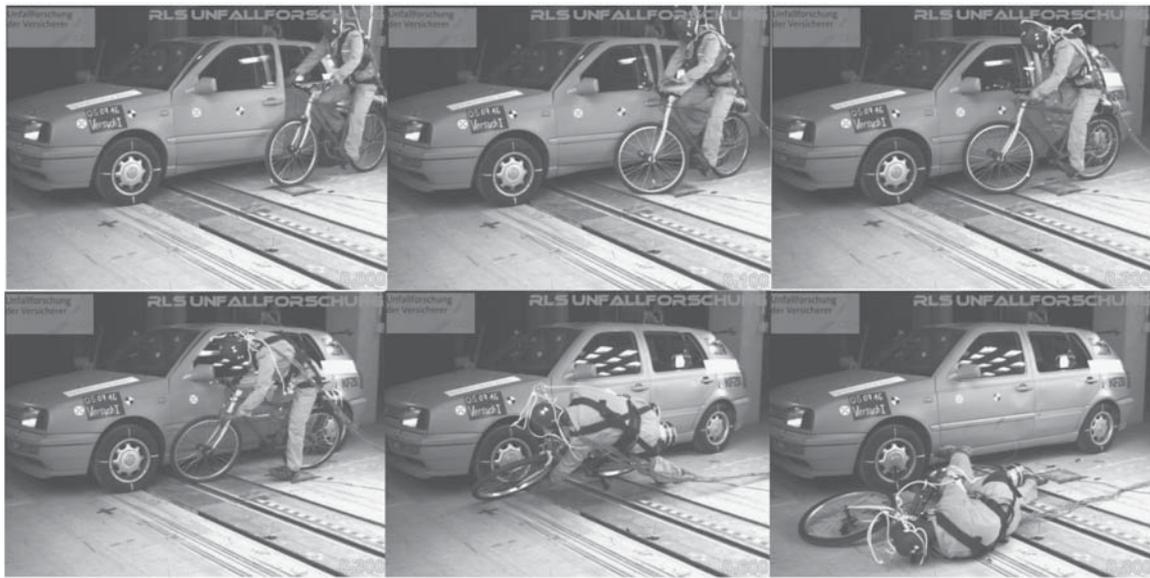


Abbildung 13: Kollision mit einer im 26,5 Grad Winkel geöffneten Fahrertür und geringer Überdeckung im Griffbereich des Lenkers

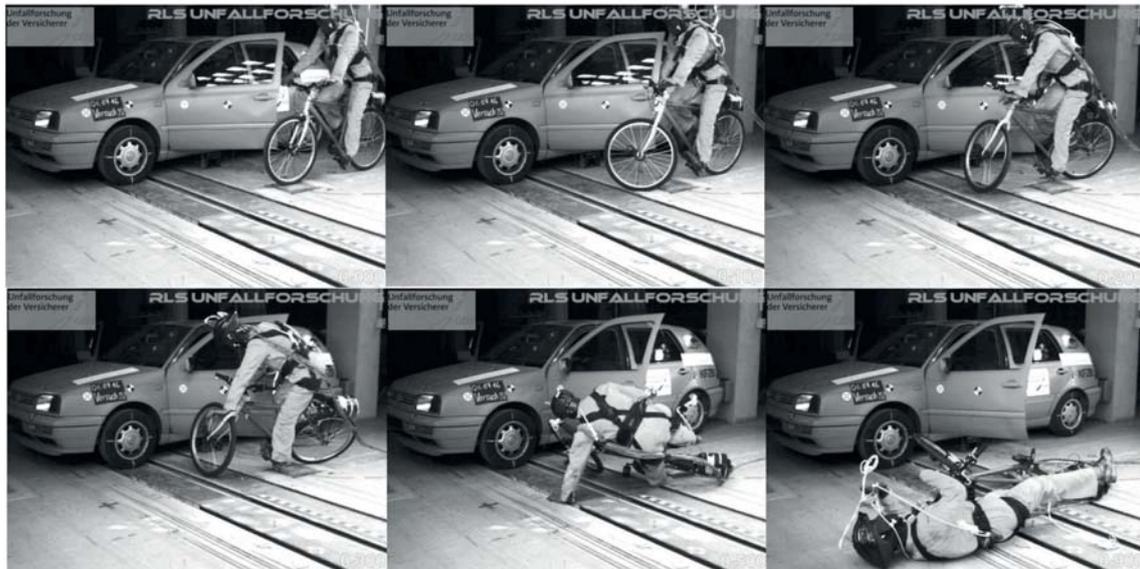


Abbildung 14: Kollision mit einer im 45 Grad Winkel geöffneten Fahrertür und geringer Überdeckung im Griffbereich des Lenkers



Abbildung 15: Kollision mit einer im 90 Grad Winkel geöffneten Tür und einer der halben Lenkerbreite entsprechenden Überdeckung

Es zeigt sich, dass je größer der Öffnungswinkel der Tür ist, desto geringer ist die Wurfweite des Radfahrers und des Fahrrades und beide kommen mit größerem Türöffnungswinkel eher in Türnähe in die Endlage.

Die in Abbildung 16 ermittelten Werte zeigen beispielhaft die zeitlichen und räumlichen Verhältnisse eines sich einem Pkw nähernden Radfahrers. Es wird deutlich, dass, unter der Annahme einer Reaktionszeit von einer Sekunde für das Erkennen der Gefahr (hier die sich öffnende Fahrertür) und einer Verzögerung von 3 m/s^2 , ein 20 km/h schneller Radfahrer mindestens 11 m von der Tür entfernt sein müsste, um den Unfall gerade noch zu vermeiden. In einer Entfernung von 6 m von der Tür hingegen (also etwa $3\text{-}4 \text{ m}$ vom Heck des Fahrzeugs entfernt) hätte der Radfahrer keine Chance mehr, Geschwindigkeit abzubauen und würde nahezu ungebremst gegen die Tür prallen.

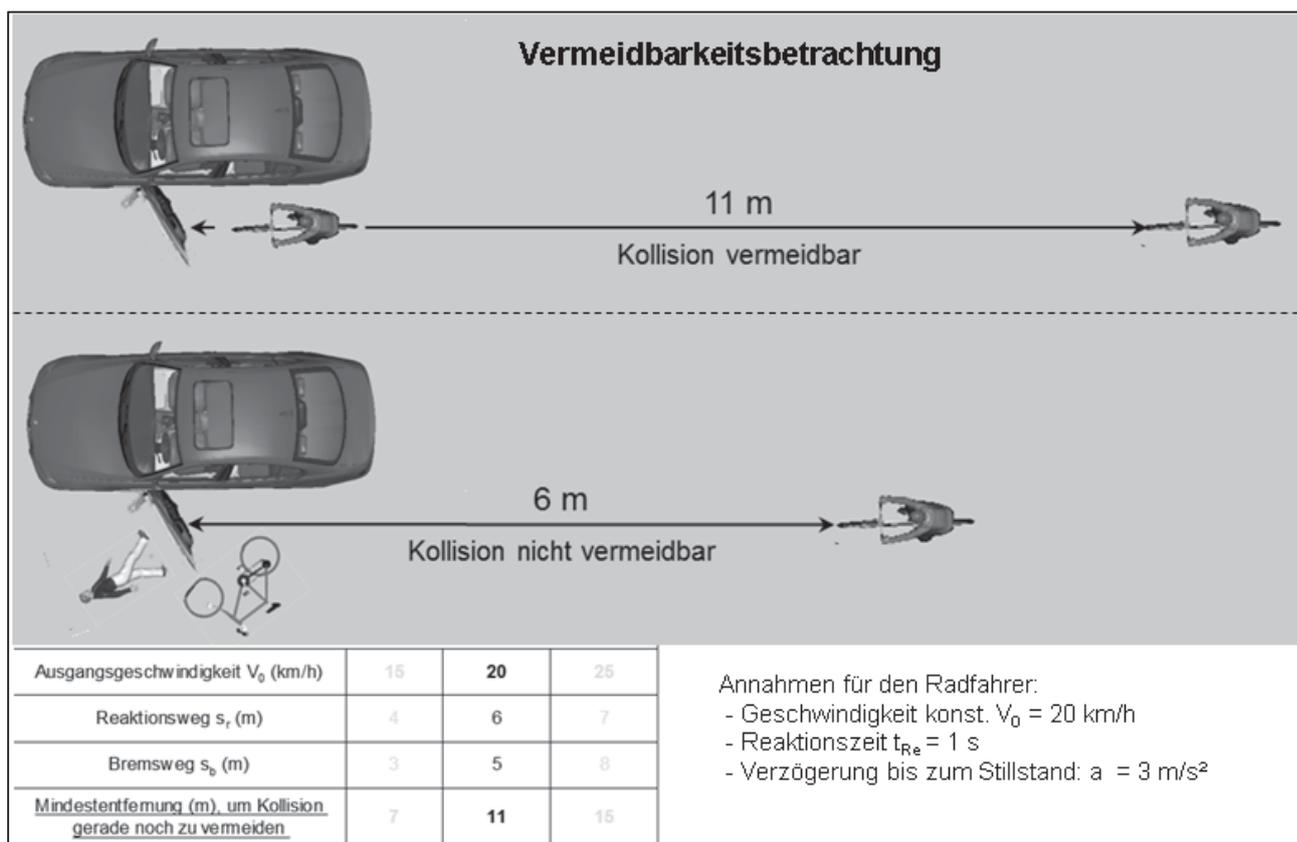


Abbildung 16: Vereinfachte Vermeidbarkeitsbetrachtung für verschiedene Entfernungen zwischen Radfahrer und Pkw-Tür; Annahme: Radfahrer erkennt die offene Tür und leitet sofort eine Vollbremsung (ohne Sturz) bis zum Stillstand ein

5. Maßnahmen am Fahrzeug

Für die in dieser Untersuchung als unfallrelevant identifizierten Szenarien „Rückwärtsfahren“ und „Türöffnen“, werden im Folgenden zwei Maßnahmen diskutiert.

In einer früheren Untersuchung der UDV wurde bereits das Sicherheitspotenzial von generischen Systemen bei Pkw/Fußgänger-Unfällen durch Rückwärtsfahren aufgezeigt [4]. Es wurde dabei ermittelt, dass ein Fahrerassistenzsystem, dessen Funktionalität an bereits auf dem Markt erhältliche Systeme anknüpft und welches im Heckbereich des Pkw Personen erkennt sowie bei drohender Kollision eine automatische Zielbremsung einleitet bzw. das Anfahren verhindert, mit ca. 13% ein beachtliches Unfallvermeidungspotenzial bezüglich aller Pkw/Fußgänger-Unfälle aufweist.

Für das Szenario „Türöffnen“ gibt es bereits fahrerseitig technische Lösungen auf dem Markt, die den Fahrer vor herannahenden Fahrzeugen und auch vor Radfahrern warnen. Vielversprechender sind jedoch Systeme, die das Öffnen der Tür im Gefahrenfall blockiert. Diese Zeitspanne ist für das Passieren eines Radfahrers relativ kurz, so dass keine Akzeptanzprobleme seitens der Fahrzeuginsassen zu erwarten wären (siehe Abbildung 17). Demnach würde beispielsweise ein in 6 m von der Tür entfernter und 20 km/h schneller Radfahrer, den Pkw bereits nach knapp einer Sekunde passiert haben. Selbst bei einem langsa-



men Radfahrer (15 km/h) würde die Tür höchstens 1,4 Sekunden blockiert bleiben müssen. Die Akzeptanz der Fahrer würde vermutlich durch den unmittelbar bewusst erlebten Mehrwert des Systems gesteigert.

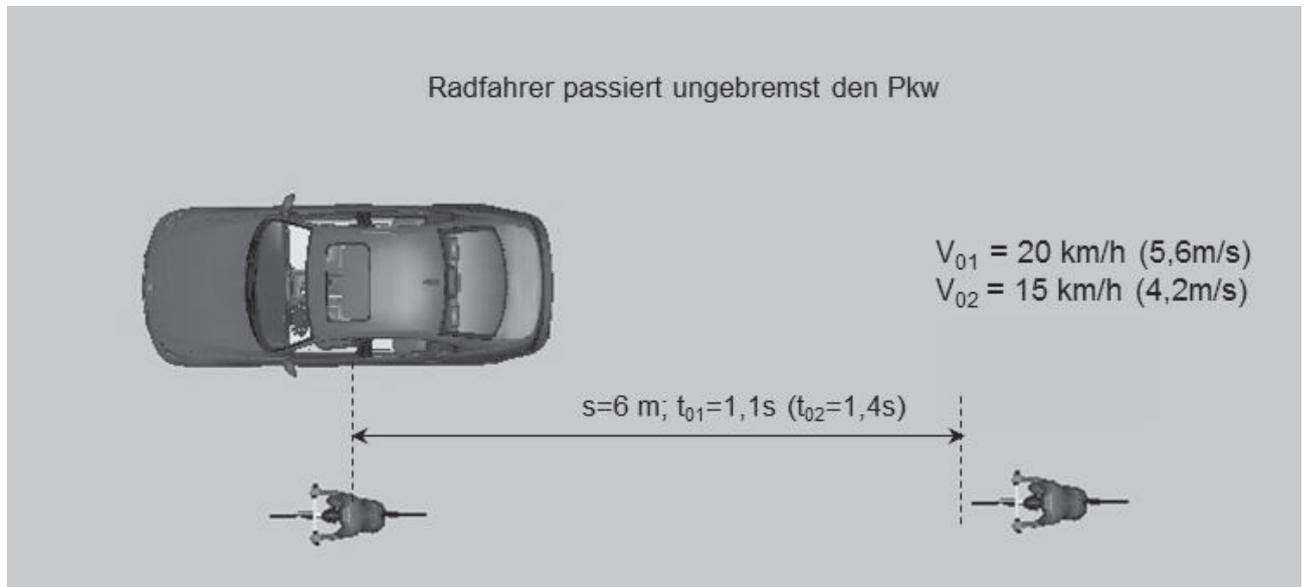


Abbildung 17: Theoretische Betrachtung bezüglich der Passierzeit des Radfahrers zum Zeitpunkt der Türöffnungsabsicht

Mit dem Ziel der „Vision Zero“ vor Augen ist ein verstärktes Ausschöpfen aller Verkehrssicherheitspotenziale notwendig. Dies gilt insbesondere für die Potenziale von bereits auf dem Markt verfügbarer Technologie. Hier reicht es bereits, bestehende Systeme verstärkt auf die unfallrelevanten Szenarien auszulegen. Letztendlich liegt es an den Herstellern, der Gesetzgebung und den Verbraucherschutzorganisationen, sicherheitsrelevante Unfallszenarien zu identifizieren und nach geeigneten Maßnahmen zu suchen oder diese zu fordern.

Literatur

- [1] Kühn, M (2004): Weiterentwicklung von Fußgänger-Komponententests. Reihe 12, Nr. 573, Fortschritt-Berichte VDI.
- [2] Unfallforschung der Versicherer (2016): Typische Unfälle zwischen Pkw und Radfahrern. Unfallforschung kompakt Nr. 55, Berlin.
- [3] Jänsch, M., Otte, D., Johannsen, H. (2015): Investigation of bicycle accidents involving collisions with opening door of parking vehicles and demands for suitable driver assistance system. IRCOBI-Conference, Lyon.
- [4] Unfallforschung der Versicherer (2010): Fahrerassistenzsysteme – Ermittlung des Sicherheitspotenzials auf Basis des Schadensgeschehens der Deutschen Versicherer, Forschungsbericht FS 03, Berlin.



Verletzungen von tödlich verunglückten Motorradfahrern

Wolfram Hell

Institut für Rechtsmedizin der Universität München, Abteilung Unfallforschung

Einleitung

Motorräder sind weniger fahrstabil und oft weniger sichtbar als andere Kraftfahrzeuge (beispielsweise Pkw und Lkw) und haben oft hohe Motorleistungen. Wenn Motorradfahrer verunfallen, vermissen die Aufsassen den Schutz einer stabilen Fahrerszelle, sodass ihr Verletzungsrisiko erhöht ist.

Amerikanische Statistiken der NHTSA weisen für Motorradfahrer ein 27-fach höheres Todesrisiko im Vergleich zu PKWs aus. Motorradhelme zeigen zwar einen Effekt in Hinblick auf die Reduktion von Kopf- und Gehirnverletzungen, weitere Untersuchungen zu den Verletzungen von Motorradfahrern sind jedoch selten.

Auch technische Systeme wie beispielsweise ein ABS-System können das Risiko eines Motorradunfalls reduzieren. Nach IIHS-Untersuchung ist die Häufigkeit von tödlichen Unfällen von mit ABS ausgerüsteten Motorrädern 31% niedriger als bei Motorrädern ohne ABS. Bestimmte Motorradtypen sind gefährlicher als andere. Sogenannte Supersportmotorräder haben in Amerika eine bis zu 4-fach erhöhte Letalität im Vergleich zu Touren- oder Standardmaschinen.

Statistik

In Deutschland ist laut BMVI vorgesehen, dass vom Jahr 2010 bis zum Jahr 2020 die Anzahl der Verkehrstoten um 40% reduziert werden soll, d. h. bis zum Jahr 2015 hätten -20% erreicht werden sollen. Bei Motorradfahrern kam es leider nur zu einem Rückgang von -1% (Abbildung 1).

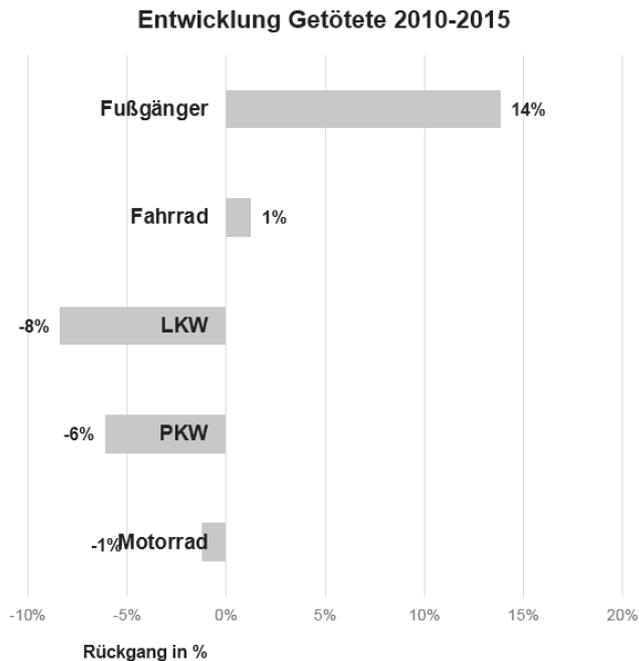


Abbildung 1: Entwicklung, Getötete Deutschland 2010-2015 (Quelle DeStatis)

Auch in anderen Bereichen wie PKW- und LKW-Unfällen konnte das ausgegebene Ziel nicht erreicht werden. Bei Fahrradfahrern und Fußgängern sind die Zahlen sogar angestiegen.

Betrachtet man in Deutschland die Zahl der Schwerverletzten, so ist bei Motorradfahrern und PKW-Insassen ein Anstieg von jeweils +8% im Zeitfenster 2010 bis 2015 zu beobachten. Dies wird nur noch durch schwerverletzte Fahrradfahrer mit +17% übertroffen (Abbildung 2).

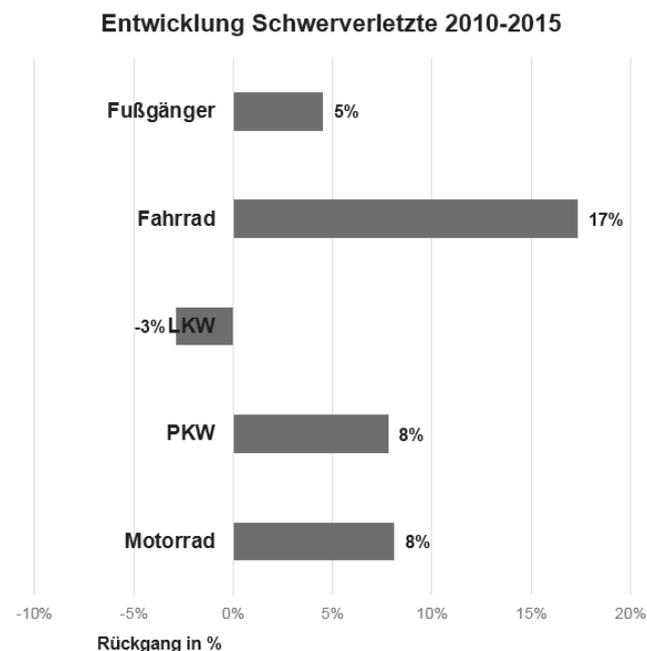


Abbildung 2: Entwicklung, Schwerverletzte Deutschland 2010-2015 (Quelle DeStatis)



Demnach sollten die sog. „Vulnerable Road Users“ (verletzliche Verkehrsteilnehmer) sinnvollerweise einen Schwerpunkt für zukünftige Verkehrsunfallprävention darstellen.

Betrachtet man die absolute Zahl der Entwicklung der tödlich verunglückten Verkehrsteilnehmer, sind die Zahlen seit dem Jahr 2000 fallend. Innerhalb des Zeitfensters von 2010 bis 2015 zeigt sich jedoch annähernd eine Stagnation. Insbesondere das fahrleistungsbezogene Risiko für PKW-Insassen hat sich in diesem Zeitfenster deutlich reduziert, wogegen bei Motorradfahrern deutliche geringere Effekte zu erkennen sind (Abbildung 3).

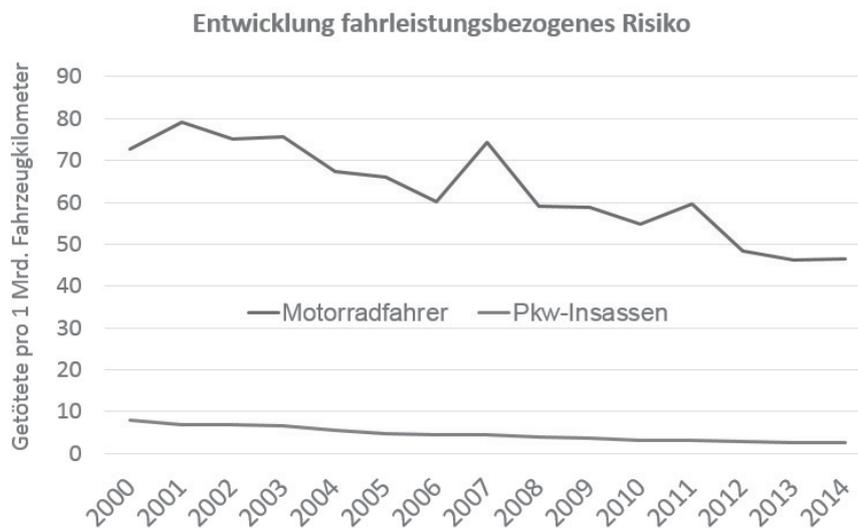


Abbildung 3

Material und Methoden

In der vorliegenden Analyse werden Unfälle aus der LMU-SUD Verkehrsunfalldatenbank des Instituts für Rechtsmedizin betrachtet. Hier werden Daten mit tödlichen Unfällen seit dem Jahr 2004 kontinuierlich erfasst. Einzugsgebiet ist Südbayern, es werden ca. 25% aller tödlichen Unfälle im Freistaat Bayern erfasst.

Inzwischen umfasst die Datenbasis über 1.500 tödliche Verkehrsunfälle. Davon wurden im einzelnen 120 tödliche Motorradunfälle der Jahre 2004 bis 2014 analysiert.

Es erfolgte eine Dokumentation durch

- Polizeibericht
- unfallanalytische Gutachten
- Lichtbilder
- Obduktionsberichte

Verletzungen wurden mittels Abbreviated Injury Scale (AIS) (Verletzungsbewertung von 1-6 leicht – maximal) bewertet.



Ergebnisse

Im untersuchten Fallmaterial geschehen die untersuchten Unfälle am häufigsten in einer Rechtskurve, gefolgt von Unfällen beim Linksabbiegen oder links Einbiegen (Abbildung Nr. 4). Dabei stürzten ca. 47 (39%) Motorradfahrer vor ihrer Kollision mit einem Pkw bzw. der Straßeninfrastruktur.

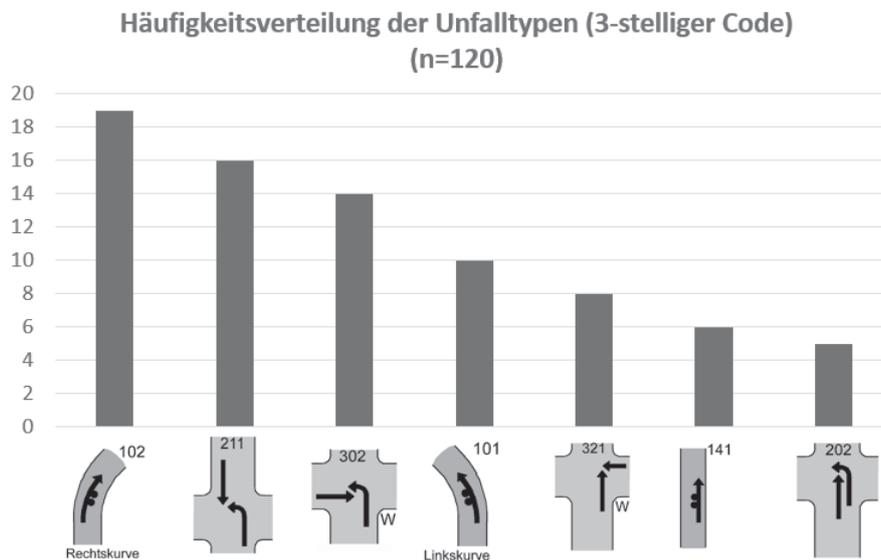


Abbildung 4

Die Häufigkeitsverteilung der Altersgruppen zeigt den schon früher beobachteten Trend, dass nicht mehr die jüngeren Motorradfahrer, sondern eher die Altersgruppe von 35 bis 54 am häufigsten auf dem Motorrad verunglückten (Abbildung Nr. 5). Hier gilt es anzumerken, dass die Verletzungsschwere bei 60-jährigen ca. 4-fach höher ist als bei 20-jährigen; ältere Motorradfahrer sind deutlich verletzungsgefährdet sind als jüngere.

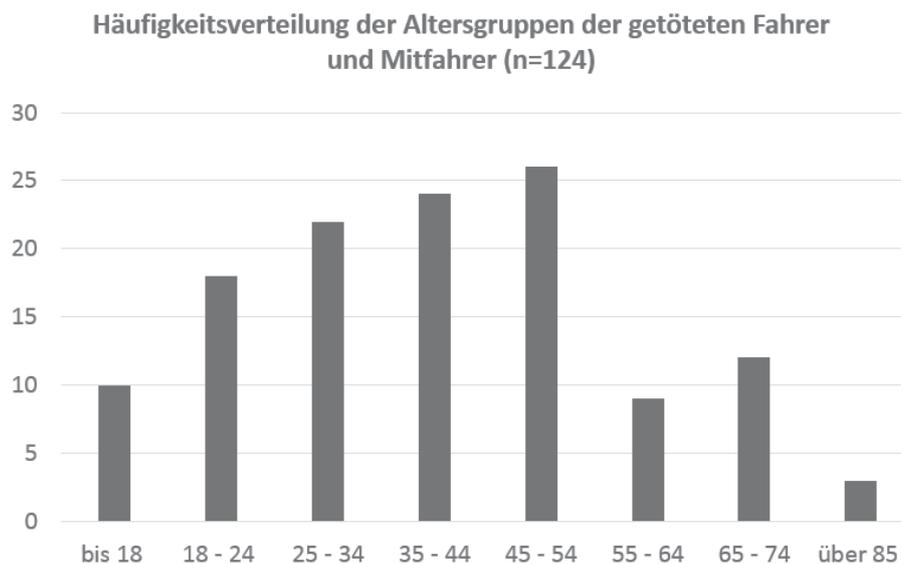


Abbildung 5



42% der Motorradfahrer waren MAIS 6 (maximal) verletzt, gefolgt von 28% MAIS 5 (schwerst), 23% MAIS 4 (ernsthaft) und 7% MAIS 3 (schwer).

Bei Betrachtung des gesamten Verletzungsmusters AIS 3+ dominiert der Thorax, gefolgt von Kopf, Abdomen, untere Extremität und knöchernem Becken. (Abbildung Nr. 6). In 20 (17%) von 121 Fällen war ein Helmverlust dokumentiert.

Häufigkeitsverteilung der schwer verletzten (AIS 3+) Körperregionen (n=124)

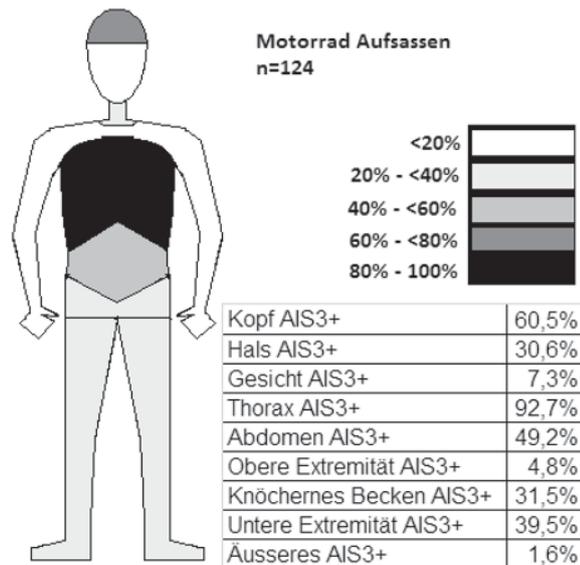


Abbildung 6

Eine Auswertung der schwerstverletzten Körperregionen in Abhängigkeit vom Unfalltyp zeigt den Thorax besonders bei Einbiegen-/Kreuzen-Unfällen als gefährdet. Der in der Regel mit Helm geschützte Kopf ist ebenfalls bei Unfällen im Längsverkehr am meisten gefährdet, aber auch bei anderen Unfalltypen besonders häufig vertreten. Die unteren Extremitäten sind besonders häufig beim Einbiegen / Kreuzen oder Abbiegen die schwerstverletzte Körperregion (Abbildung Nr. 7)

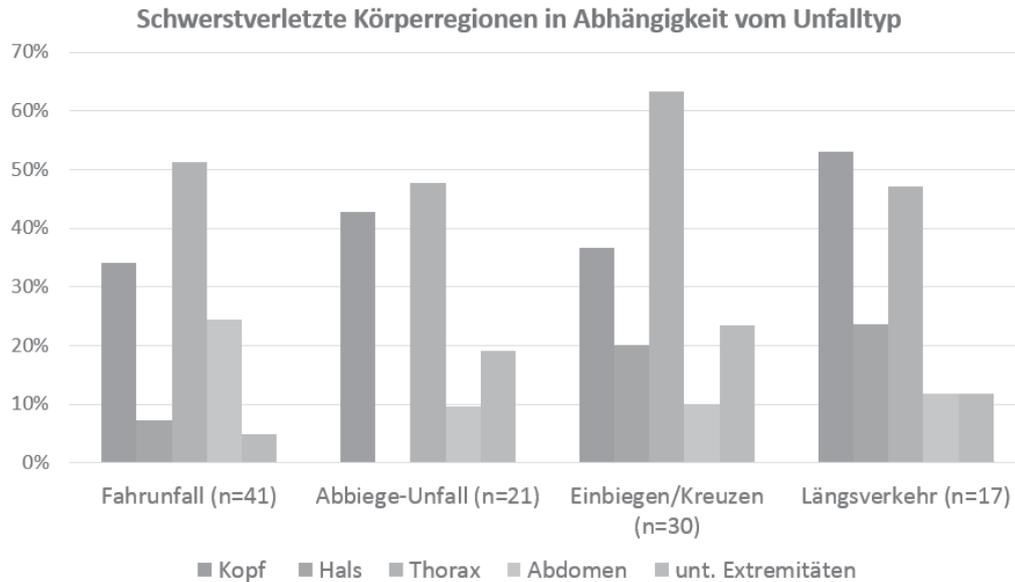


Abbildung 7

Der Thorax ist beim Unfall ohne Fremdbeteiligung besonders gefährdet; besonders häufig treten schwerste Kopf- und Thoraxverletzungen zudem beim Anprall gegen einen LKW auf, dennoch sind auch bei den PKW-Unfällen insbesondere Thorax und Kopf besonders gefährdet und damit hinsichtlich Verletzungsprävention als präferierend anzusehen (Abbildung Nr. 8).

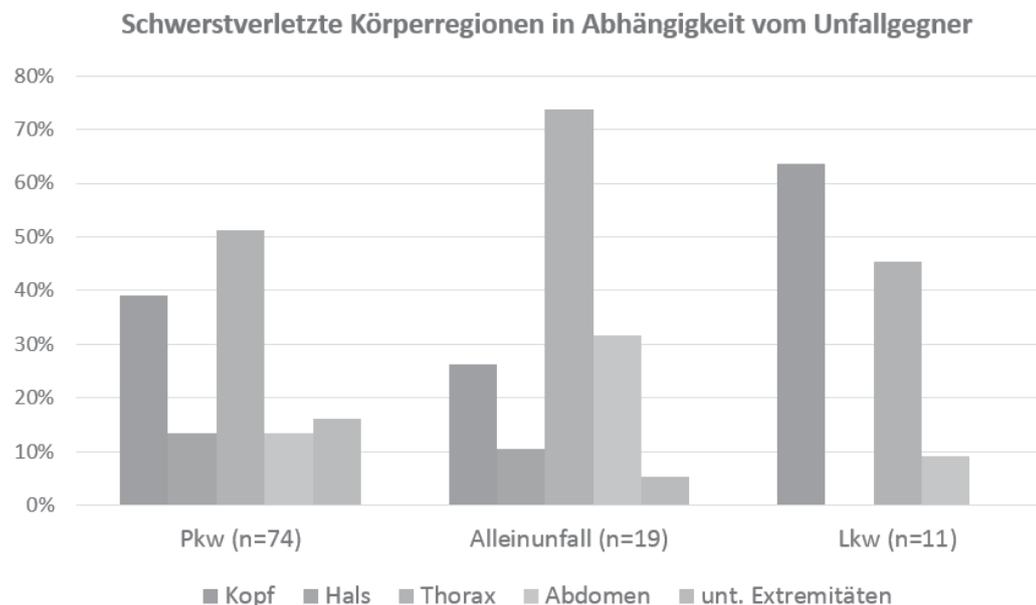


Abbildung 8

Ergebnisse eines Teilkollektivs der LMU-SUD (n= 48)

Einige weitere Parameter wurden bislang nur an einer kleineren Datenstichprobe (n=48) ausgewertet, dennoch erscheinen manche Ergebnisse relevant und werden im Folgenden dargestellt.



Bemerkenswert erscheint, dass die Majorität der Motorradfahrer direkt an der Unfallstelle verstirbt (im untersuchten Fallkollektiv 75%, Abbildung Nr. 9). Das bedeutet, dass viele Fälle der „konventionellen Unfallforschung“ mit gängigen Datenkollektiven verborgen bleiben, da diese nicht mehr mit der Rettungskette in ein Krankenhaus eingeliefert werden bzw. in Unfalldatenbanken erfasst werden. Für ein umfassendes Gesamtbild sollten demnach mehrere Datenkollektive (leichte, schwere und tödliche Unfälle) kombiniert betrachtet werden.

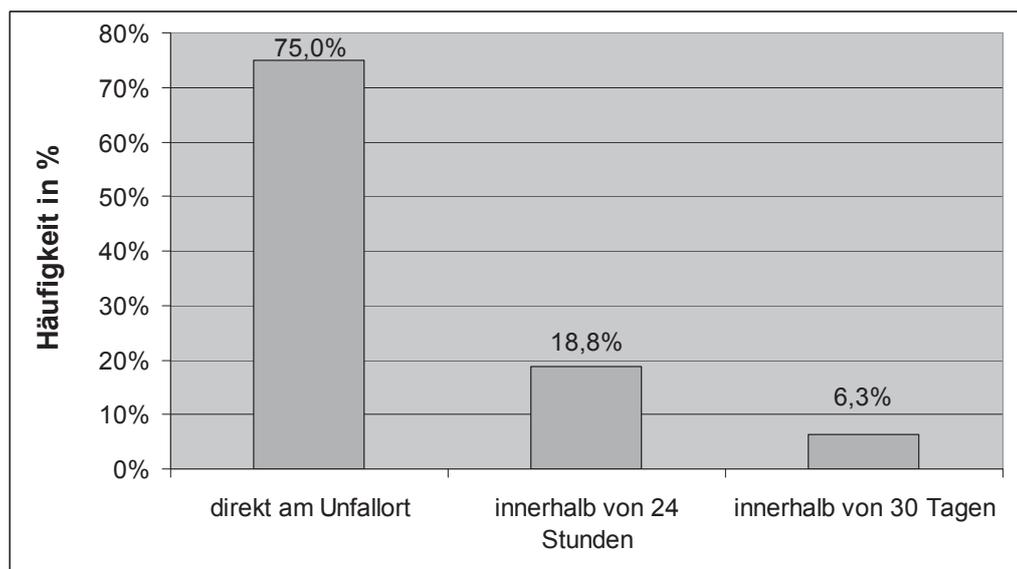


Abbildung 9: Todeszeitpunkt der Unfallopfer Motorradfahrer LMU-SUD (n=48)

Eine Auswertung der Stichprobe des vorliegenden Schwerstunfallkollektiv nach dem sog. unfallauslösenden Ereignis brachte folgende Erkenntnis:

Am häufigsten kam es zu einer Fehleinschätzung eines gegnerischen Fahrzeuges, gefolgt von der Fehleinschätzung des eigenen Fahrzeuges. In 8% der Fälle kam es zu sogenannten unvorhersehbaren Ereignissen, d. h. zu Unfällen, die wenn überhaupt nur mit einer sehr kurzen Reaktionszeit einhergehen. Bemerkenswert erscheint noch, dass in 2% der Unfälle technische Mängel am Motorrad vorlagen. Insgesamt hat die menschliche Fehleinschätzung des eigenen oder eines anderen Fahrzeuges zusammen 80% Anteil am auslösenden Ereignis (Abbildung Nr. 10).

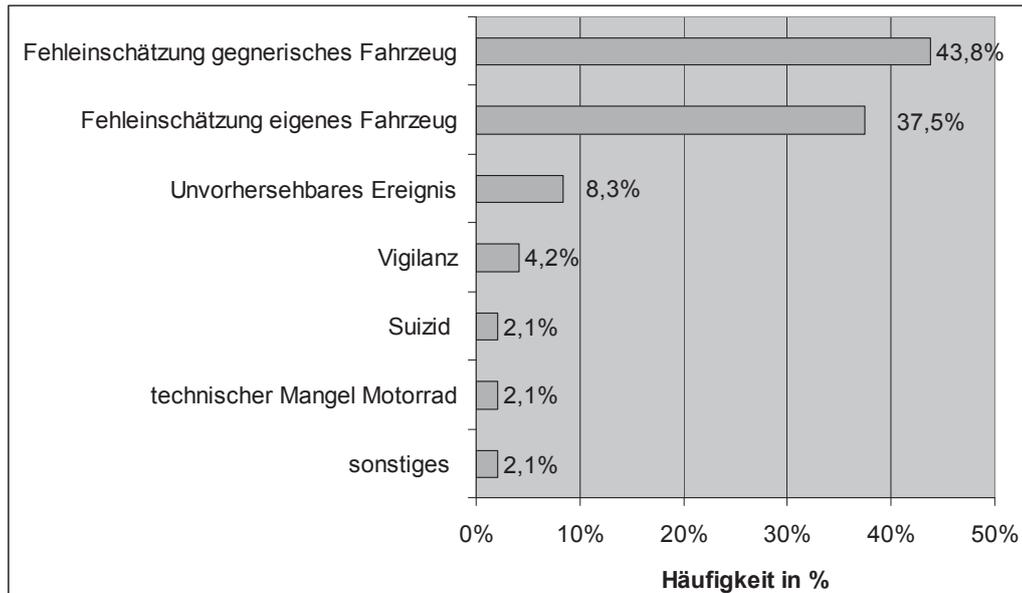


Abbildung 10: Unfallauslösendes Ereignis Motorrad LMU-SUD (N= 48)

Weitere Gegenmaßnahmen Faktor-Mensch

Trotz heutiger technischer Möglichkeiten ist der Fahrer immer noch der wichtigste Faktor im System Mensch-Maschine. Jeder Motorradfahrer sollte seine Fähigkeiten jederzeit reflektieren, sich dementsprechend verhalten. Das Führen eines Motorrades unterscheidet sich aufgrund der Fahrdynamik grundlegend von anderen Fortbewegungsmitteln, im Speziellen vom PKW.

Wenn man eine Kurve fährt, muss man das Motorrad bis zu einem gewissen Grad abwinkeln. Dieser Schräglage ist bei ca. 20° beim Menschen eine von der Evolution bedingte natürliche Grenze gesetzt. Nur durch entsprechendes Training kann man Kurven sicher mit größerer Schräglage durchfahren. Es ist davon auszugehen, dass der durchschnittliche Motorradfahrer Schräglagen von mehr als 25° nicht mehr sicher beherrschen kann, insbesondere in Konfliktsituationen. Das entspricht einer Kurvenbeschleunigung von ca. 5-6 Meter pro Sekunde². Physikalische Grenzen hängen vom Reibwert der Fahrbahn und dem Reifen ab. Bei einem Reibwert von $\mu=1$ ist eine theoretische Schräglage von 45° möglich.

Im vorliegenden Unfallmaterial geschahen fast die Hälfte aller Unfälle durch Fahrfehler in Kurven, was den vorläufigen Schluss nahelegt, dass hier eine mögliche grundsätzliche Problematik mit dem Beherrschen der Schräglage vorliegt, was in zukünftigen Untersuchungen weiter adressiert werden sollte.

Dieses Defizit kann man nach heutigem Kenntnisstand nur durch verbesserte Ausbildungsmaßnahmen wettmachen, was im Rahmen der heutigen Fahrschul Ausbildung nicht vorgesehen ist. Lediglich in speziellen freiwilligen Fahrsicherheitstrainings kann man diese Erfahrung unter der Aufsicht ausgebildeter Instrukturen machen.



Resümee

Trotz umfassender Schutzmaßnahmen im Bereich der Infrastruktur und der Schutzkleidung (Protektoren und Motorradhelme) sind bei Betrachtung von schwersten Motorradunfällen und das vorliegenden Verletzungsmustern folgende Schwerpunkte zu setzen:

Straße und Fahrzeug

- Straßen und Leitplanken weiter entschärfen.
- aktive Sicherheit von Motorrädern verbessern
- eCall für Motorradfahrer einführen
- Mehr Fahrertraining, da eine Problematik bei der Schräglagenbeherrschung vorliegt

Helm und Schutzkleidung

- Das hohe Verletzungsrisiko des Motorradfahrers sollte durch Verbesserung von Helmen und Schutzkleidung weiter optimiert werden.
- deutlich verbesserter Thoraxschutz
- weiter verbesserte Abstreifsicherheit von Helmen (je nach Unfallmaterial gehen bis zu 25% aller Helme in einer weiteren Kollisionsphase verloren)
- noch bessere Helmmaterialien, die momentan gültige Helmnorm bedingt immer noch sehr hohe zulässige Belastungen des menschlichen Gehirns
- Das Reduzieren sowohl von direkter Kraftübertragung auf den Kopf als auch von indirekter Akzelerationsbelastung des Gehirns muss auf alle Fälle Hauptziel jeder Helmentwicklung bleiben.
- nicht nur die lineare Beschleunigung, sondern auch die Rotationsbeschleunigung sollte in Zukunft zur Helmoptimierung berücksichtigt werden.

Insgesamt bleibt Motorradfahren ein relativ gefährliches „Hobby“. Hier kann nur eine gute Aufklärung sowohl für die Motorradfahrer als auch für die weiteren Verkehrsteilnehmer und die Konstruktion von möglichst sicheren Straßen weiterhin nachhaltig die Getöteten- und Verletztanzahlen senken.



Literatur

Hell, Wolfram; Lob, Günter: Typical injury patterns of motorcyclists in different crash types: effectiveness and improvements of countermeasures

37th Annual Proceedings, Association for the Advancement of Automotive Medicine (AAAM) San Antonio (1993)

National Highway traffic safety administration. 2016 traffic safety facts, 2014: motor cycles report Nr. dot hs-312-292 Washington DC: US-Department of transportation

Teoh, Eric R.; Campbell, Marvin: Role of motorcycle type in fatal motorcycle crashes

Journal of Safety Research December 2010

Johannes Weißmahr: Ursachen und Charakteristik von Kopfverletzungen bei tödlichen Kraffradunfällen. Dissertation medizinische Fakultät 2007 LMU München, Betreuer: Dr. Erich Schuller.



ADAC Unfallforschung – Retrospektive Unfallhäufungsstellenbefahrung – Konzept und erste Ergebnisse am Beispiel von Motorradunfallstellen

Volker Sandner

ADAC e.V., Leiter Fahrzeugsicherheit (FSI)

1. Das erfasste Unfallgeschehen der ADAC Unfallforschung

Die von der ADAC Unfallforschung erfassten Fälle sind von einer hohen Unfallfolgeschwere geprägt, denn es kamen jeweils Rettungshubschrauber zum Einsatz, deren Besatzung für die Erst-Dokumentation sorgte.

So gehen 94 Prozent der Fälle mit schweren bis tödlichen Verletzungen einher. Dies erklärt die unterschiedliche Verteilung der Verletzungsschwere, was folgende Auswertungen widerspiegeln:

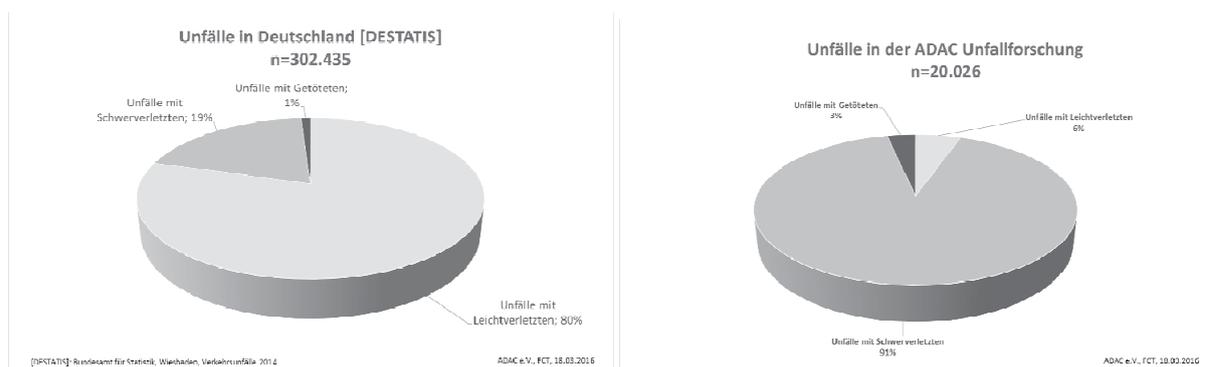


Abbildung 1: Verteilung d. Verletzungsschwere ADAC Unfallforschung / Amtliche Statistik [2]

Da gerade die Fälle mit schweren Verletzungen vermieden bzw. deren Folgen abgemildert werden müssen, sind die Trends aus den Erhebungen wichtige Indikatoren zur weiteren Untersuchung von Aspekten der Sicherheit.

Ein Vergleich mit anderen Studien zeigte, dass die ADAC Unfallforschung für die Unfälle mit „schweren Verletzungen“ in vielen Punkten eine gute Repräsentativität aufweist.

Die Auswertung des Unfalltyps nach amtlicher Definition ergibt, dass es sich in 45 Prozent um Unfälle mit Kontrollverlust (Fahrerunfälle) handelt. Unfälle im Längsverkehr (21%) und Einbiegen-/Kreuzenunfälle (15%) sind weitere sehr häufige Unfalltypen. Dies unterscheidet sich vom Unfallgeschehen der amtlichen Statistik. (Siehe Abbildung 2)

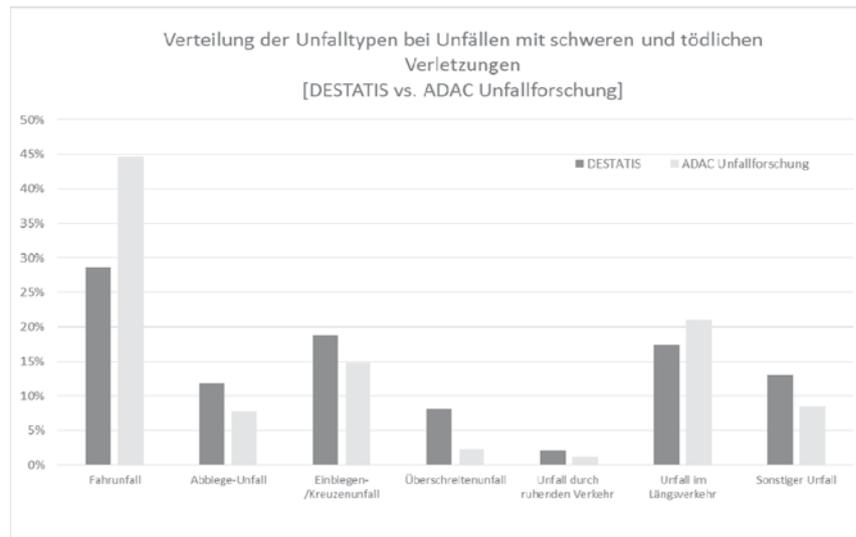


Abbildung 2: Unfalltypen in der amtlichen Unfallstatistik [2] und ADAC Unfallforschung

So sind in der ADAC Unfallforschung die Fahrnfälle deutlich überproportional repräsentiert. Einbiegen-/Kreuzenunfälle wurden jedoch seltener als in den Zahlen des statistischen Bundesamtes registriert.

2. Beteiligung von Motorradfahrern in der ADAC Unfallforschung

Grundlage der Untersuchung sind 20.018 Dokumentationen aller Unfall- und Fahrzeugtypen aus der ADAC Unfallforschung. Der Anteil von Kraftradunfällen beträgt dabei 28 Prozent ($n=4.998$) des gesamten Unfallgeschehens. Dieser Anteil ist im Vergleich mit der amtlichen Statistik der Verkehrsunfälle von Deutschland stark überhöht.

Die Anzahl der Unfälle ($n=X$) variiert in den folgenden Auswertungen aufgrund der zum Teil unterschiedlichen Dokumentationsgrade in der Datenbank der ADAC Unfallforschung.

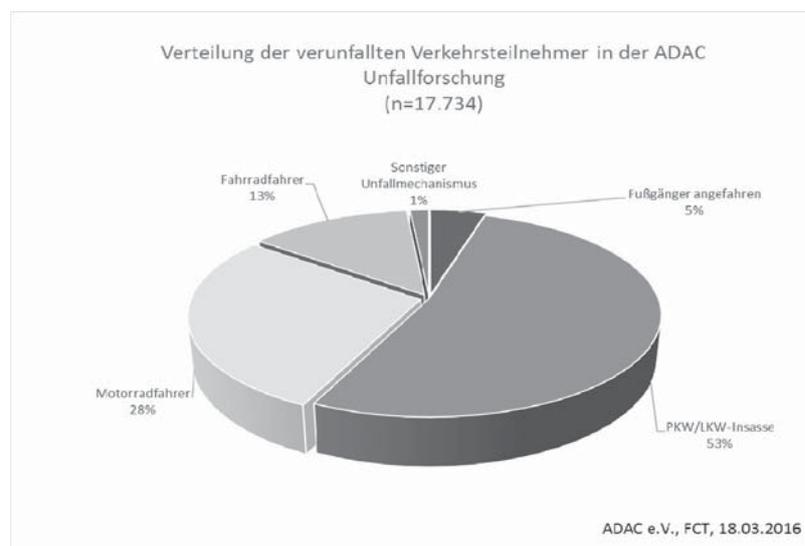


Abbildung 3: Verteilung der Verkehrsteilnehmer in der ADAC Unfallforschung



2.1 Einflussfaktor Umwelt – Erkenntnisse aus einer Tiefenuntersuchung [6]

In einer vorangegangenen Studie [6] wurden die Umweltbedingungen genauer untersucht.

Es zeigt sich, dass bei den Motorradunfällen die Lufttemperatur und die Niederschlagsmenge eine große Rolle (vgl. Abbildung 4) in Bezug auf die Unfallwahrscheinlichkeit spielen.

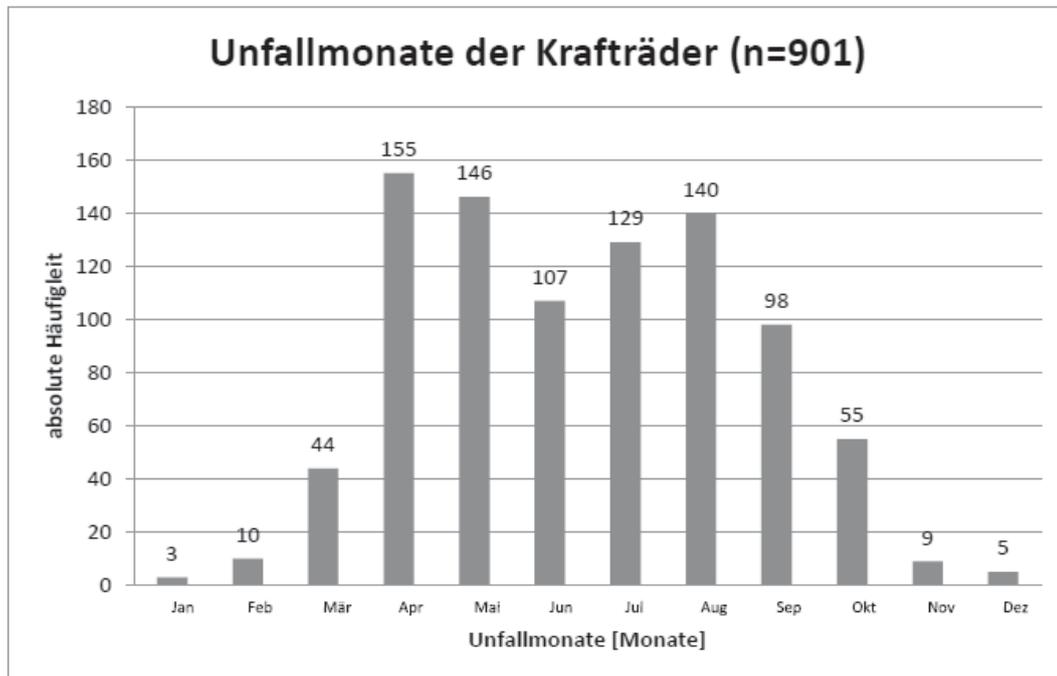


Abbildung 4: Unfallmonate der Krafträder in der ADAC Unfallforschung [6]

Aus diesen Gründen ergeben sich geringe Unfallzahlen in den Monaten November, Dezember, Januar und Februar. In diesen Monaten verunglücken meist die Fahrer von Mofas oder Rollern, da diese durch das Versicherungskennzeichen das ganze Jahr gefahren werden dürfen. Vermehrt passieren motorisierte Zweiradunfälle zu Beginn der Motorradsaison in den Monaten April und Mai. Hierfür gibt es mehrere Gründe: Zum einen ist die Fahrpraxis der Kraftradfahrer von Bedeutung, diese müssen sich nach der Winterpause wieder an den Umgang mit ihren Maschinen gewöhnen. Zum anderen müssen sich die übrigen Verkehrsteilnehmer wieder auf die Zweiradfahrer einstellen. Bei der Straßenkategorie als Unfallkriterium kristallisieren sich drei Gruppen an Straßen heraus. Mit 33 Prozent ereignen sich die meisten Verkehrsunfälle mit Beteiligung von Motorrädern auf Landes-/Staatsstraßen, gefolgt von den etwa gleichauf liegenden Bundes- und Kreisstraßen mit jeweils 20 Prozent. Meist ereignen sich schwere Motorradunfälle folglich außerorts. In der vorliegenden Untersuchung liegt der Anteil an Unfällen, die sich außerorts ereignen, bei 88 Prozent. Durch Befragungen von Zweiradfahrern lassen sich sowohl die Häufigkeit der Unfälle außerorts als auch die Straßenkategorien erklären, auf denen sich die Unfälle ereignen. Eine Studie des Gesamtverbandes der Deutschen Versicherungswirtschaft (GDV) zeigt, dass 13 Prozent der Zweiradlenker aufgrund von Sparpotenzialen Roller oder Motorrad fahren [4]. Bei 87 Prozent sind die Fahrdynamik (Beschleunigung, Geschwindigkeit, Kurvenfahrt) und das Freiheitsgefühl ausschlaggebend. Fahrdynamik und Freiheitsgefühl



lassen sich in der Stadt nur schwer verwirklichen. Daher fährt der „klassische“ Motorradfahrer auf kurvenreichen Überlandstraßen und nicht in Städten oder auf den Bundesautobahnen.

Erheblichen Einfluss auf das Unfallgeschehen bei Motorrädern ergeben sich zudem aus dem Streckenverlauf der Unfallstelle. An den Knotenpunkten Einmündung und Kreuzung sind ähnliche Faktoren unfallursächlich. Aus diesem Grund sind diese in Abbildung 5 zusammengefasst. Mit 40 Prozent ereignen sich die meisten Zweiradunfälle an Einmündungen/Kreuzungen, zweithäufigster Unfallort ist der Bereich von Kurven, in diesem ereignen sich 36 Prozent der Motorradunfälle.

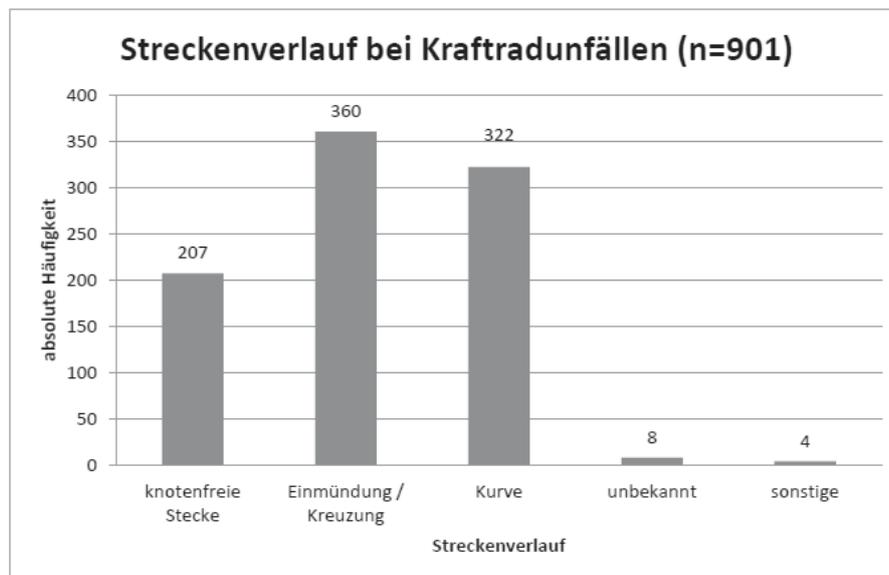


Abbildung 5: Streckenverlauf bei Kraftradunfällen in der ADAC Unfallforschung [6]

Für diese beiden Streckenverläufe ergeben sich unterschiedliche Gründe für Unglücksfälle. Im Bereich der Einmündung/Kreuzung ist, wie bereits bei den Unfallursachen beschrieben, als häufigste Unfallursache das „Übersehen“ oder das „falsche Einschätzen“ der herannahenden Zweiradfahrer anzuführen.

Für Kurven konnte ein Wert von 71 Prozent bei Unfällen, an denen kein anderer Verkehrsteilnehmer beteiligt war, ermittelt werden. Die restlichen 29 Prozent entfallen auf Fahrzeug- oder sonstige Kollisionen (z.B. Wildunfall). Hauptgrund für Unglücksfälle in Kurven ist das Fahren mit „nicht angepasster Geschwindigkeit“.

Aus infrastruktureller Sicht sind passive Schutzeinrichtungen an Straßen wichtige Maßnahmen, um Fahrzeuge daran zu hindern, die Fahrbahn zu verlassen. Dies dient dazu, Dritte und die Fahrzeuginsassen vor Gefahren neben der Fahrbahn zu schützen. Je nach Gefahrenpotenzial und Einsatzort variiert die Sicherheitsstruktur von Schutzplanken. Da PKW die häufigsten Verkehrsteilnehmer auf deutschen Straßen darstellen, wird das passive Schutzsystem auf deren Insassenschutz ausgelegt. Dies stellt einen Zielkonflikt dar, denn Schutzplanken ohne Unterfahrschutz bergen für stürzende Motorradfahrer ein erhebliches Verletzungsrisiko. Dies hat oft einen tödlichen Ausgang zur Folge. Weiteres Gefahrenpotenzial birgt der Aufprall und das Entlanggleiten auf dem Schutzsystem, da bei den meisten montierten Schutzplanken die Distanz-



stücke und/oder die Sigma-Pfosten, vgl. Abbildung 4-21, frei von oben zugänglich sind und der Zweiradaufsasse ungeschützt mit diesen kollidiert.

Die Betrachtung der Unfälle aus der ADAC Datenbank ergibt in 72 Fällen entweder einen Kontakt der Zweiradaufsassen mit der Schutzplanke oder eine solche hätte bei Vorhandensein zum Schutz der Aufsassen beigetragen. Bei 49 Verkehrsunfällen befindet sich die passive Schutzeinrichtung in Kurven. Der Großteil am Straßenrand montierter Schutzplanken besitzt weder einen Unterfahr- noch Aufprallschutz (vgl. Abbildung 6).

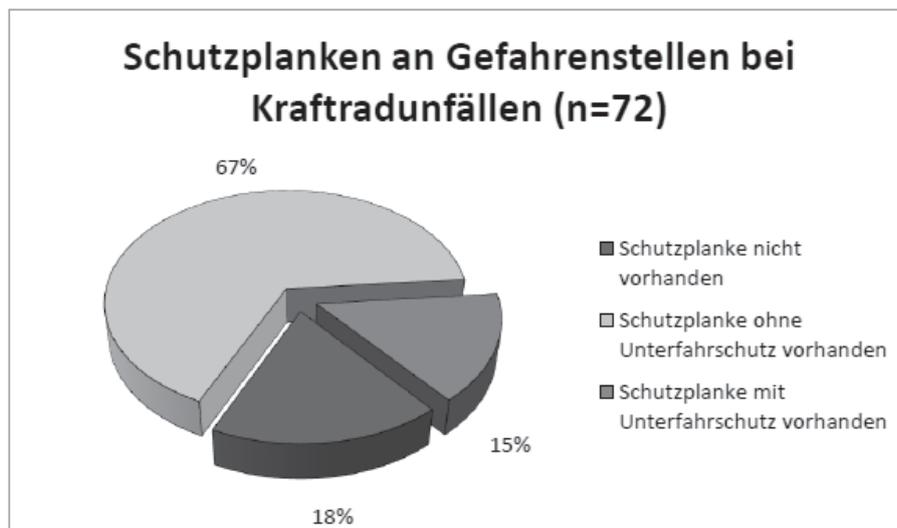


Abbildung 6: Schutzplanken an Gefahrenstellen in der ADAC Unfallforschung [6]

Bei 67 Prozent der Unfälle ist eine einfache Schutzplanke (ESP) oder eine einfache Distanzschutzplanke (EDSP, Abbildung 7) ohne Unterfahrschutz verbaut. Keine der Schutzplanken der analysierten Verkehrsunfälle weist eine Aufprallschutzvorrichtung auf. In 15 Prozent der Fälle ist ein Unterfahrschutz vorhanden. Keine Schutzeinrichtung ist in 18 Prozent der Unfälle vorhanden. Bei diesen Fällen geht eine Gefahr von Bebauung oder Bewuchs aus. Teil der Untersuchung ist, zusätzlich die Verletzungsschwere der Verunfallten an Schutzplanken mit und ohne Unterfahrschutz zu vergleichen. Das Risiko, schwere bis tödliche Verletzungen zu erleiden, kann durch den Einsatz von Unterfahrschutzsystemen deutlich gesenkt werden. Durch die zusätzliche Installation von Auffallsystemen ist eine weitere Senkung der Verletzungsschwere möglich.

Die persönliche Schutzausrichtung der Motorradfahrer (Schutzkleidung) kann ein Fehlen der Schutzeinrichtungen an Schutzplanken und Seitenraum der Fahrbahn nicht ausgleichen. Ein Anprall mit festen Hindernissen (beispielsweise Pfähle oder Masten) verursachen so große Belastungen auf den Körper, dass diese nicht durch Kleidung ausreichend abgemildert werden können (vgl. ADAC Test Motorrad Schutzbekleidung)

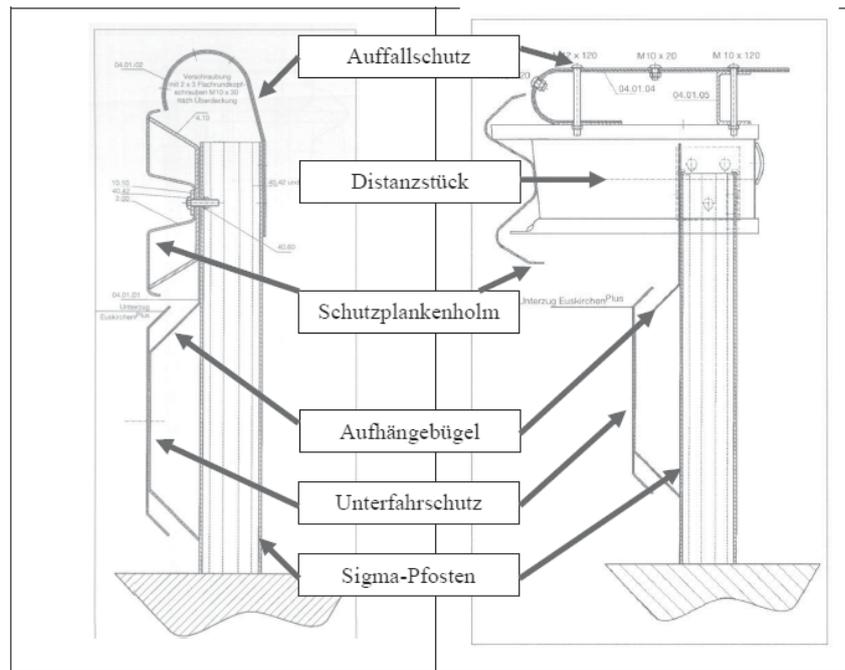


Abbildung 7: Schutzplanken (ESP/EDSP) mit EuskirchenPLUS [5][6]

3. Unfallstellenbefahrung in der ADAC Unfallforschung

Für jeden Verkehrsunfall, der in der Datenbank der ADAC Unfallforschung gespeichert wird, erfolgt eine systematische Verortung in einer speziellen Software zur Unfallhäufungsstellenermittlung. Mit Hilfe dieser Software können Unfallhäufungsstellen automatisch identifiziert werden und in Form einer digitalen Steckkarte visualisiert werden. Diese Unfallstellen sind der Ausgangspunkt der retrospektiven Datenerhebung durch das Vermessungsfahrzeug des Projektes. Es werden insgesamt bis zu 100 Einzelparameter zu den jeweiligen Unfallstellen ermittelt. Wesentlicher Bestandteil ist ebenfalls eine Videosequenz der Unfallstelle, sowie die Fotodokumentation vor Ort.



Abbildung 8: Vermessungsfahrzeug der ADAC Unfallforschung



Basierend auf die erstellten Unfall-Steckkarten konnten mit der derzeitigen Datenlage rund 200 Unfallhäufungsstellen in der ständig wachsenden Unfallstellendatenbank identifiziert werden. Eine Auswahl an Unfallstellen konnte angefahren und die infrastrukturellen Daten erhoben werden.

3.1 Auswertung der Befahrungsdaten

Es wurden im Zeitraum von Oktober 2014 bis Mitte 2015 insgesamt 45 Unfallstellen durch das Vermessungsteam befahren. Bemerkenswert ist, dass drei der Unfallstellen nicht mehr existent sind, da zwischenzeitlich die Straße umgestaltet oder komplett ersetzt wurde. Es konnten durch die Befahrungen der 42 Unfallstellen die Dokumentationen von 53 Verkehrsunfällen mit verkehrstechnischen Daten ergänzt werden.

Die Verteilung der Straßenklasse in den erhobenen Fällen ist in Tabelle 1 dargestellt. Darin ist zu erkennen, dass hauptsächlich Bundes-, Landes- und Kreisstraßen befahren wurden.

Anzahl	Straßenklasse
3	Gemeindestraße
7	Kreisstraße
12	Landes-/Staatsstraße
21	Bundesstraße
9	Bundesautobahn
1	sonstiges

Tabelle 1: Verteilung der Straßenklassen bei allen befahrenen Unfallstellen

Der Zustand der angefahrenen Unfallstellen ist oftmals durch Ausbesserungsstellen, Rissen oder Spurrillen gekennzeichnet.

Anzahl	Zustand der Straße
30	Gut
10	Schadhaft – Flickenteppich
13	Schadhaft – Bitumenfugen

Tabelle 2: Zustand der angefahrenen Unfallstellen

Für das Fahrverhalten von Motorrädern ist der Untergrund von großer Bedeutung. So reagiert das Zweirad in Kurven oder beim Bremsen auf schlechtem Untergrund empfindlich und kann zu gefährlichen Situationen führen.



Die Ausstattung der angefahrenen Unfallstellen soll einen weiteren Einblick in die Bedingungen an den Straßenstellen geben. Bei jeder Befahrung wird der Zustand der Fahrbahnmarkierungen dokumentiert. Die 53 Unfallstellen hatten in 87 Prozent der Fälle Markierungen in der Fahrbahnmitte und am Fahrbahnrand. Für die Erkennbarkeit des Fahrbahnverlaufs ist dies positiv herauszustellen.

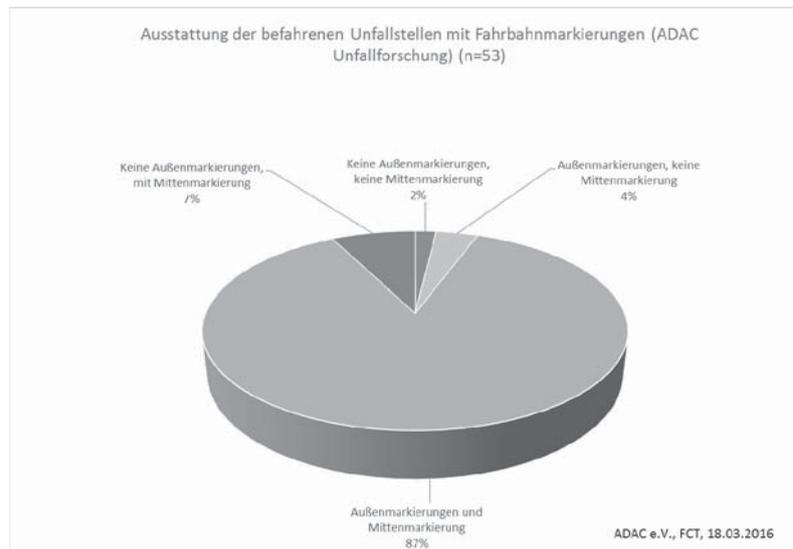


Abbildung 9 – Ausstattung der Unfallstellen mit Fahrbahnmarkierungen

Die passiven Schutzeinrichtungen der Straßen sollen die Unfallfolgen minimieren. Hierzu zählt unter anderem die Ausstattung der Fahrbahn mit Schutzplanken, an Stellen wo die Gefahr der Verletzung durch einen Anprall im Seitenraum (z.B. Baum, Brücke) besteht.

Der überwiegende Teil (über 60 Prozent) der angefahrenen Unfallstellen ist ohne Schutzplanken ausgestattet.

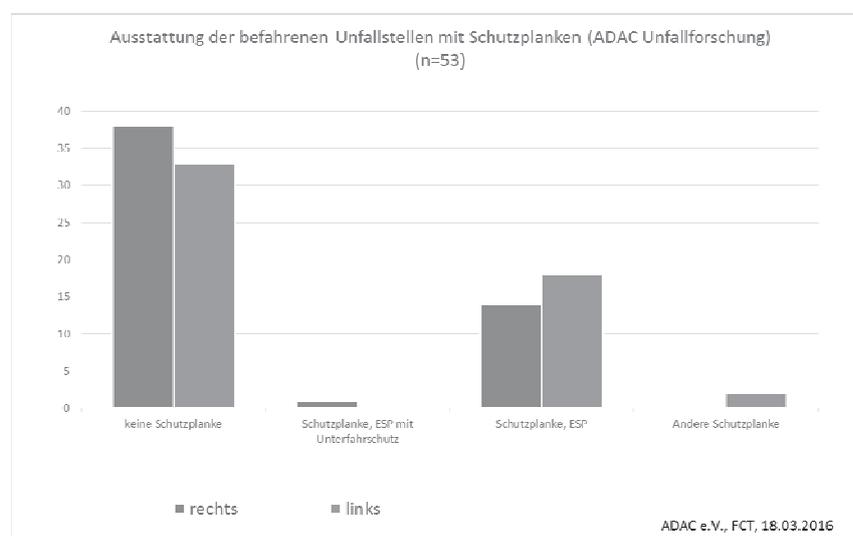


Abbildung 10 Ausstattung der Unfallstellen mit passiven Schutzeinrichtungen



Sind an den befahrenen Unfallstellen Planken vorhanden, so findet fast ausschließlich die einfache Schutzplanke (ESP), ohne Unterfahrschutzsystem Verwendung. Diese einfache Schutzplanke ist hauptsächlich für den Rückhalt von Pkw konzipiert, nicht jedoch für die sichere Rückhaltung von Motorradfahrern.

3.2 Motorradunfallstellen – Befahrungserkenntnisse

Die befahrenen Motorradstrecken sollen nun genauer untersucht werden. Aufgrund der Verteilung der Unfälle erfolgte die Auswahl der Befahrung gemäß dem Unfallgeschehen:

- Hauptsächlich an Landes- und Bundesstraßen
- Knotenpunkten
- knotenfreien Strecken
- in Kurven

Kurvenreiche Strecken sind sehr beliebt bei Motorradfahrern. Teilweise liegen die Unfallstellen an ausgewiesenen „Motorradstrecken“. Dennoch ist die Ausstattung von Kurven mit Schutzplanken nur selten ausgeführt. Es fand sich an keiner einzigen befahrenen Motorradunfallstelle ein Unterfahrschutzsystem.

3.3 Beispiel: Kurvenunfall

Dieser Unfall ereignete sich in einer Kurve. Die Verletzungen entstanden im Wesentlichen durch das Unterfahren der Schutzplanke (Motorrad und Motorradfahrer).



Abbildung 11: Unfallstelle zur Befahrung (Kurvenunfall)

Der Fahrer stürzte in einer Linkskurve, rutschte tangential aus der Kurve heraus und kollidierte mit der Schutzplanke. Seine schwersten Verletzungen an Schädel und Bauch entstanden durch die massive Einwirkung der Stützpfeiler im Seitenraumbereich der Fahrbahn.



Abbildung 12: Unfallstelle zum Zeitpunkt der Befahrung

Zum Unfallzeitpunkt, wenige Jahre vor der Befahrung, waren an den Pfostenbereichen Anpralldämpfer angebracht. Auch wenn diese Elemente eine nur sehr begrenzte Schutzwirkung haben, dämpfen diese den Anprall etwas ab. Diese wurden zu einem späteren entfernt und die Leitpfosten wieder frei gelegt. Eine Anbringung eines Schutzplankenunterfahrsschutzsystems könnte bei weiteren Unfällen die Folgen von Fahrfehlern und Stürzen erheblich senken.

Motorradunfälle in Kurven folgen immer wiederkehrender Muster. Meistens kommt es im Kurvenverlauf durch ein ungünstiges Fahrmanöver zum Sturz und die Maschine bewegt sich mit dem Fahrer tangential aus der Kurve heraus. Wichtig ist hier, dass die Schutzmechanismen in den Zonen liegen, bei denen die Motorradfahrer mit der Infrastruktur in Kontakt kommen. Es sollten also keine Offenen Strukturen am Kurvenanfang liegen. Die Unterfahrsschutzsysteme dürfen ebenso nicht zu kurz ausgeführt werden, um beim Kurvenauslauf noch schützen zu können.

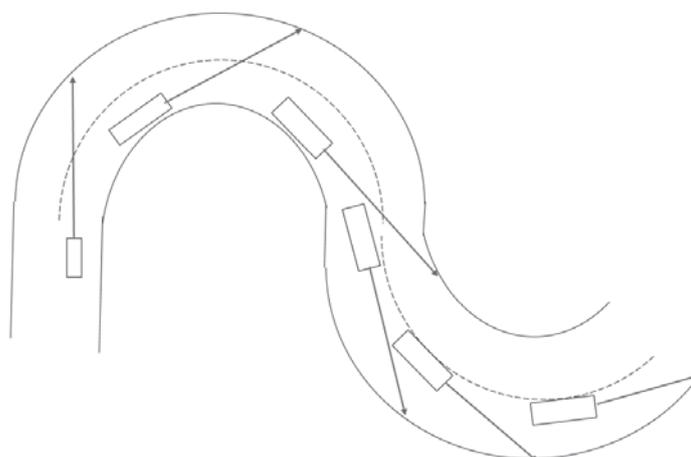


Abbildung 13: Dynamik beim Motorradsturz



Ein Beispiel für eine gefährliche Stelle in einer Kurve ist in Abbildung 14 und Abbildung 15 gezeigt.



Abbildung 14: Offene Strukturen am Kurveneingang einer Motorradstrecke



Abbildung 15: Offene Leitplankenflanke am Kurveneingang

Solche baulichen Gegebenheiten sollten vor Ort näher untersucht und alternative Möglichkeiten der Gestaltung untersucht werden.

Straßenschäden können bei Motorrädern zu kritischen Fahrzuständen führen. Vor allem Längsrillen bergen hier Risiken von Fahrzeugschlingern und ungünstiges Bremsverhalten. Auf einigen Straßen sind jedoch genau die Fahrlinien, welche aufgrund der Kurvendynamik von Motorrädern benötigt werden, durch Längsrillen oder Reparaturstellen gekennzeichnet.



Abbildung 16: Längsrillen in den Fahrlinien von Motorrädern



Abbildung 17: Schadstellen/Reparaturstellen im Fahrbereich von Motorrädern

Bei Ausbesserungsarbeiten sollte daher darauf geachtet werden, die Fahrlinien sauber und ohne größere Rillen instand zu setzen, um die Gefahr von kritischen Fahrzuständen bei Motorrädern zu minimieren.

3.4 Beispiel: Einbiegen-Kreuzen-Unfall

Bei Einbiegen-Kreuzen-Unfällen werden Kraftradfahrer oftmals übersehen. Die Übersichtlichkeit und Erkennbarkeit der Verkehrsteilnehmer ist daher von großer Bedeutung. Die Gestaltung der Knotenpunkte sollte so gestaltet sein, dass die Verkehrsteilnehmer nicht zu komplexe Situationen erfassen müssen und den Aufmerksamkeitsfokus an die richtige Stelle lenken. Teilweise sind bereits aus der Ferne sehr gut einsehbare Kreuzungen auf Landstraßen sehr gefährlich, da hier aufgrund der gefühlten hohen subjektiven Sicherheit die Umsicht der Verkehrsteilnehmer stark reduziert wird.



Abbildung 18: Übersichtliche, gefährliche Landstraßenkreuzung



Abbildung 19: Unübersichtliche, gefährliche Landstraßenkreuzung

Knotenpunkte mit einer zu stark eingeschränkten Übersicht führen ebenso zu gefährlichen Situationen und provozieren oftmals Unfälle durch unzureichende Sichtbeziehungen. Hindernisse oder Bewuchs sollten hier so umgestaltet werden, dass eine sichere Einschätzung der anderen Verkehrsteilnehmer gegeben ist.

3.5 Zusammenfassung der Ergebnisse – Ausblick

Die durchgeführten Befahrungen der Unfallstellen liefern wichtige Erkenntnisse zu den örtlichen Gegebenheiten an den Unfallstellen. Aufgrund der systematischen Unfallhäufungsstellenermittlung können gezielt Untersuchungen an Stellen erfolgen, bei denen sich häufiger schwerste Unfallereignisse zutragen. Bei Motorradunfällen gibt es im Wesentlichen zwei Schwerpunkte, bei denen die Infrastruktur einen deutlichen Einfluss auf die Entstehung und Folgen von Unfällen hat. Diese sind:

- Unfall auf Landstraßen, in Kurven
- Unfall an Knotenpunkten

Die befahrenen Unfallstellen zeigten zum Teil erheblichen Optimierungsbedarf. So waren oftmals keine Schutzeinrichtungen an notwendigen Stellen vorhanden, die Fahrlinien der Motorräder waren durch Risse,



Längsrillen oder Reparaturstellen gekennzeichnet und die Sichtverhältnisse an Knotenpunkten waren ungünstig.

Die Untersuchung regionaler Unfallstellen wird in den nächsten Jahren wichtige Erkenntnisse liefern, mit denen die Verkehrsunfälle minimiert und deren Folgen weiter abgemildert werden können.

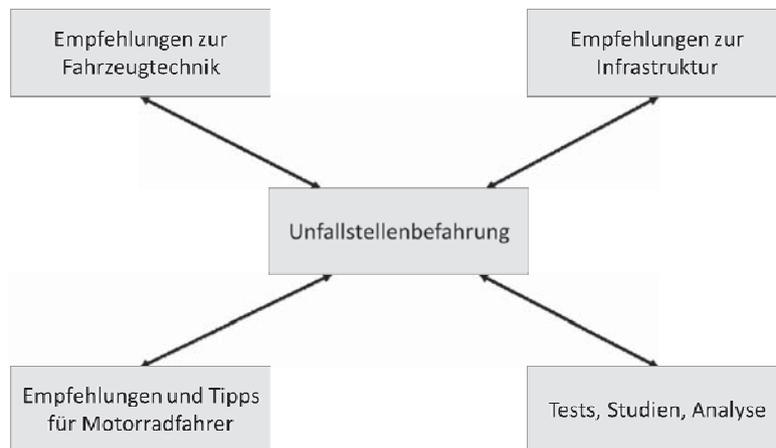


Abbildung 20: Ziele der Unfallstellenbefahrung



Innovative Verkehrssicherheitsuntersuchung unter Berücksichtigung fahrzeug- und streckenspezifischer Fahrdynamik und Human Factors

Marianne Kraut
Reco-Tech GmbH

Dr. Ioana Koglbauer, Prof. Dr. Arno Eichberger
Technische Universität Graz

Im Zuge von Verkehrssicherheitsuntersuchungen¹ werden Unfallhäufungsstellen bestehender Streckenabschnitte auf ihr Gefahrenpotential und ihre Mängel in der Infrastruktur hin analysiert um demnach geeignete Maßnahmen für die Minimierung des Konfliktpotentials vorgeschlagen. Im Zuge einer solchen Road Safety Inspection (RSI)² wird am betreffenden Streckenabschnitt eine Konfliktanalyse durchgeführt. Hierbei kann vor allem die Bewertung der Human Factors und der strecken- und fahrzeugspezifischen Fahrdynamik eine Reduktion des Gefahrenpotentials bewirken. Um die Verkehrssicherheit weiter zu steigern soll bei zukünftigen RSI und auch Road Safety Audits (RSA)³ auch ein Hauptaugenmerk speziell auf die Fahrereigenschaften und Wahrnehmungsgrenzen von Verkehrsteilnehmern gelegt werden und Probanden abhängige Aspekte mit in die Untersuchung einfließen.

Durch geeignete fahrdynamische Analysen und Simulationen und das Befahren des betreffenden Streckenabschnittes durch Probanden, unterschiedlichen Alters und Geschlechtes, wird eine Methodik entwickelt um nicht nur die infrastrukturellen Mängel zu detektieren sondern vor allem auch um Wahrnehmungsgrenzen der einzelnen Verkehrsteilnehmer aufzuzeigen. Dies wurde in Forschungsprojekten der Reco-Tech GmbH und der TU Graz, in Form einer interdisziplinären Auswertung von fahrdynamischen Analysen, Blickverhaltensuntersuchungen in Kombination mit psychologischen Befragungen nach Probandenfahrten berücksichtigt.

Die Beurteilung von Sichtverhältnissen und Sichtbedingungen der Fahrzeuglenker sowie die unterschiedlichen Sichthöhen von repräsentativen Fahrzeugtypen finden hier ebenso Berücksichtigung wie die Analyse von Fahrereigenschaften und menschlichen Eigenschaften sowie die Messung kinematischer Daten des Fahrzeuges und Analysen des Blickverhaltens.

Erst die Kombination aus Blickerfassung und psychologischer Befragung von Fahrzeuglenkern unmittelbar nach dem Befahren des Streckenabschnittes, sowie die Auswertung der fahrzeug- und streckenspezifischen Fahrdynamik, ermöglicht eine umfassende Bewertung der Wahrnehmungsgrenzen und des Reaktionsverhaltens der Probanden im entsprechenden Gefahrenbereich.

Ziel ist es, die bis dato durchgeführten klassischen Verkehrssicherheitsuntersuchungen (RSI und RSA) durch relevante Messgrößen aus den Fahrdynamikuntersuchungen und Analysen der Fahrereigenschaften, zu ergänzen. Dies soll eine ganzheitlichere Betrachtung des Gefahren – und Konfliktpotentials des entspre-



chenden Streckenabschnittes ermöglichen und zusätzliche Mängel in der Streckenführung, der Straßengeometrie, der Bodenmarkierungen und vor allem Mängel in der Beschilderung aufzeigen.

Die Erarbeitung einer geeigneten Methode um mitunter Human Factors in der RSI zu berücksichtigen erlaubt es, folglich auch Mängel diesbezüglich im Maßnahmenkatalog für eine Gefahrenminimierung und Konfliktpotentialreduzierung mit aufzunehmen und so zu einer wesentlichen Steigerung der Verkehrssicherheit beizutragen.

Literaturverzeichnis

- [1] RVS 02.02.21, R. u. (10 2014). *RVS 02.02.21 Verkehrssicherheitsuntersuchung*. Von Österreichische Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr: <http://www.fsv.at/shop/produktdetail.aspx?IDProdukt=9ae59239-20c2-43ef-a4fa-38a546b82e7e> abgerufen
- [2] RVS 02.02.34, R. u. (07 2012). *RVS 02.02.34 Road Safety Inspection*. Von Österreichische Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr: <http://www.fsv.at/shop/produktdetail.aspx?IDProdukt=4a2fbc6f-ff67-4e17-9643-efb121d85c2b> abgerufen
- [3] RVS 02.02.33, R. u. (07 2012). *RVS 02.02.33 Road Safety Audit*. Von Österreichische Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr: <http://www.fsv.at/shop/produktdetail.aspx?IDProdukt=4d961cbd-1561-46e6-aa52-8a57e3075fe8> abgerufen



Verkehrstechnische Analyse ausgewählter Motorradstrecken – Infrastrukturelle sowie menschliche Einflussfaktoren

Dipl.-Ing. David Nosé

Leiter Verkehrstechnik und Unfallforschung, ÖAMTC

1. Problemstellung

Motorradfahren wird immer beliebter – das zeigen die österreichischen Zulassungszahlen eindeutig. Auch am Unfallgeschehen ist die vermehrte Verkehrsteilnahme der Motorradfahrenden ersichtlich: Seit 1992 hat sich die Zahl der Verkehrstoten um etwa 70% reduziert, die Zahl der getöteten Motorradaufsassenden ist hingegen um rd. 6% gestiegen. Anders ausgedrückt bedeutet dies, dass der Anteil der getöteten Motorradfahrenden an der Gesamtzahl der Getöteten von damals 5,7% auf heute 20% gestiegen ist. Zwar ereignen sich nur 46% der Motorradunfälle außerhalb von Ortschaften, allerdings sind 85% der getöteten Motorradfahrenden außerorts zu beklagen.

Motorradunfälle können nicht ohne weiteres als typische Verkehrsunfälle angesehen werden. Motorradfahren ist nicht nur Nutzen und Ortsveränderung. Vielmehr ist es auch ein Hobby wo das Gefühl der Freiheit ausgelebt werden kann. Dementsprechend werden auch die Routen gezielt ausgewählt, was dazu führt, dass sich viele Unfälle auf bestimmte Strecken konzentrieren. In Österreich gibt es einige typische Motorradstrecken, die bei Motorradfahrenden vor allem aufgrund ihrer Kurven sehr beliebt sind. Allerdings bergen gerade diese Strecken einige Risiken. Aber auch der Faktor Mensch spielt hierbei eine entscheidende Rolle. Das Training der richtigen Fahr- und Blicktechnik ist ebenso unerlässlich für die Unfallvermeidung wie das Bewusstsein für die Gefahren einer riskanten Fahrweise.

2. Grundlagen und technischen Richtlinien (RVS)

In der RVS 02.02.42¹ („Empfehlungen zur Verbesserung der Sicherheit für den Motorradverkehr“) wird auf die Problematik „gefährlicher“ Strecken für Motorradfahrende eingegangen. Dabei wird angemerkt, welche Aspekte auf Strecken oder Stellen mit erhöhtem Motorradunfallrisiko schließen lassen. Hierzu zählen vor allem eine Unstetigkeit in der Linienführung, stark verengende Kurvenbögen sowie eine Linienführung, die zu überhöhter Geschwindigkeit verleitet. Zudem werden auch Maßnahmen genannt, die insbesondere auf Motorradstrecken zur Erreichung zweier Ziele beitragen sollen: Zum einen sollen dadurch die Unfallzahlen reduziert (aktive Maßnahmen), zum anderen die Unfallfolgen gemindert werden (passive Maßnahmen). Geeignete Maßnahmen sollten dabei vor allem *„auf eine verbesserte Wahrnehmung des Straßenraumes sowie auf eine geschwindigkeitsregulierende und geschwindigkeitsdämpfende Wirkung vor Kurven und Knotenbereichen“*² abzielen.

¹ Vgl. Forschungsgesellschaft Straße, Schiene, Verkehr (FSV); 2012: RVS 02.02.42

² Vgl. Forschungsgesellschaft Straße, Schiene, Verkehr (FSV); 2012: RVS 02.02.42, S.6



3. Besonderheiten des Motorradverkehrs

Motorradfahrer unterliegen bei ihren Fahrmanövern verschiedensten physikalischen Kräften – vor allem die Gravitationskraft (FG), die Zentrifugalkraft (FZ) sowie die Aufstandskraft (FA)³. Die Gravitationskraft wirkt im Grunde vertikal zum Boden und greift im Schwerpunkt (SP) von Mensch und Motorrad an. Beim Durchfahren von Kurven wirkt zudem die zur Außenseite der Kurve hin gerichtete Zentrifugalkraft im Schwerpunkt an. Für ein sicheres und stabiles Durchfahren einer Kurve wird jedoch eine zusätzliche Kraft benötigt, welche Gravitations- und Zentrifugalkraft im Gleichgewicht hält. Dies wird durch die Aufstandskraft bewirkt. Sie verläuft ebenfalls durch den Schwerpunkt und bedingt dementsprechend die Neigung des Motorrads bei der Kurvenfahrt.

Eine weitere Eigenheit des Motorrads besteht in seiner Schwingungsfähigkeit entlang dreier Achsen: Lenk-, Gier- und Rollachse.⁴ Problematisch sind kritische Schwingungsformen wie Flattern, Pendeln und Lenkerschlagen. Alle drei Arten können neben diversen Mängeln (bspw. falscher oder zu niedriger Reifendruck, Gepäckbeladung am Heck, abgefahrene Hinterreifen, etc.) auch durch ungünstige Formen der Infrastruktur hervorgerufen werden. Dazu zählen in erster Linie Längsfräsungen, (großflächige) Fahrbahnmarkierungen, Bodenwellen, Bitumenstreifen, Spurrinnen oder auch Kanaldeckel und ähnliches. Derartige Problemstellen – v.a. auf bekannten Motorradstrecken – sind besonders zu beachten und gilt es zu vermeiden.

Besonderheiten respektive erhöhte Konzentration erfordern beim Motorradfahren Ausweich- und Bremsmanöver. Bei abrupten Richtungsänderungen sowie höheren Geschwindigkeiten lenkt der Fahrer zuerst in die entgegengesetzte Richtung. Durch die so genannte Kreiselwirkung wird ein Kippen des Motorrads in die Kurve bzw. gewünschte Richtung erreicht.⁵ Bremsmanöver mit einem Motorrad – v.a. in Notsituationen – müssen erlernt und trainiert werden. In der Regel wird das volle Potential der Bremsung nicht ausgeschöpft. Unter idealen Voraussetzungen sind theoretische Verzögerungen von $9,8\text{m/s}^2$ möglich. Ein durchschnittlicher Motorradfahrer erreicht in etwa Werte von $5,0\text{m/s}^2$ – nach Fahrsicherheitskursen werden diese in der Regel auf $7,0\text{m/s}^2$ erhöht⁶.

Die so genannte Fahrlinie eines Motorrads ist ebenfalls als Besonderheit anzuführen. Aufgrund der Verlagerung des Oberkörpers bei der Neigung des Motorrads in Kurvenfahrten ist eine spezielle Wahl der Fahrlinie notwendig⁷. In einer Linkskurve muss dabei mit den Rädern nahe der Kurvenaußenseite gefahren werden (damit mit dem Oberkörper nicht die Mittellinie überragt wird), bei einer Rechtskurve nahe der Mittellinie. Dieses elementare Verhalten wird leider nur allzu oft falsch angewendet. Nicht selten kommt es durch falsch eingeschätzte Kurvenverläufe zu Problemen. Vor allem bei sogenannten „Hundekurven“ (enger werdender Kurvenradius) besteht die Gefahr des Abkommens vom eigenen Fahrstreifen samt möglicher Kollision mit dem Gegenverkehr.

³ Vgl. Astra; 2013: Studie Motorradsicherheit, S. 14

⁴ Vgl. Höher, Gerald; 2016: Vortrag Motorradsicherheit

⁵ Vgl. Höher, Gerald; 2016: Vortrag Motorradsicherheit

⁶ Vgl. Höher, Gerald; 2016: Vortrag Motorradsicherheit

⁷ Vgl. Astra; 2013: Studie Motorradsicherheit, S. 15



4. Allgemeine Unfallstatistik

Die Entwicklung der Zahl der getöteten Motorradaufsassen seit 1992 zeigt eine sehr sprunghafte Fortschreitung mit – seit dem Jahr 2003 – einer rückläufigen Tendenz, welche jedoch seit 2013 stagniert bzw. wieder leicht steigt. Eine Gegenüberstellung mit dem Motorradbestand verdeutlicht, dass sich dieser seit 1992 um rd. 300% erhöht hat, der Pkw-Bestand um 49%. Der Anteil der getöteten Motorradaufsassen an allen getöteten Personen im Straßenverkehr hat sich seit 1992 kontinuierlich erhöht. Lag dieser Anteil 1992 noch bei 5,7%, so stieg er bis 2012 auf 12,8%, 2016 lag der Höchstwert von 20,0% vor⁸. Das bedeutet, dass vergangenes Jahr jeder fünfte Getötete ein Motorradfahrer war.

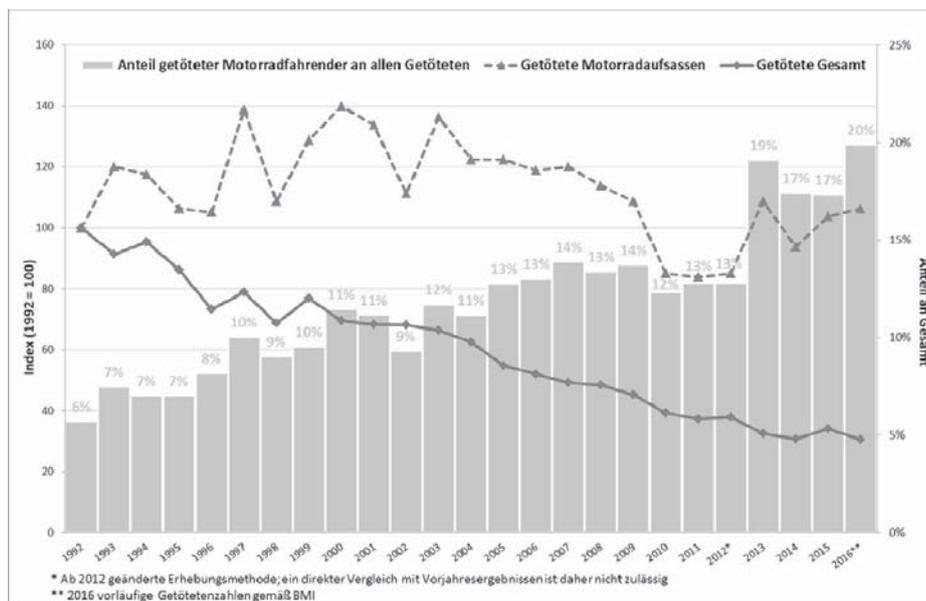


Abbildung 1: Anteil getöteter Motorradfahrer an allen Getöteten (1992-2016)

Anhand der so genannten „Case Fatality“ kann errechnet werden, wie hoch die Sterblichkeit je 1.000 Verunfallten nach Verkehrsart bzw. Verkehrsteilnahme ist. Gemäß untenstehender Tabelle ist erkennbar, dass die höchste Case Fatality (für die Jahre 2012 bis 2015) mit 18,2 Getöteten je 1.000 Verunfallten bei den Motorradfahrern zu verzeichnen ist.

Verkehrsteilnahme (2012 – 2015)	Verletzte			Getötete	Verunfallte	case fatality (Getötete / 1.000 Verunfallte)
	leicht verletzt	schwer verletzt	Gesamt			
Fußgänger	12.618	3.789	16.407	318	17.584	18,1
Radfahrer	20.138	6.393	26.531	187	29.315	6,4
Mopeds	15.877	3.217	19.094	54	20.395	2,6
Motorräder	10.111	5.712	15.823	313	17.240	18,2
Pkw	96.103	9.671	105.774	899	224.678	4,0
Lkw	3.667	581	4.248	79	16.767	4,7
sonstige	5.180	918	6.098	45	13.686	3,3
Gesamt	163.694	30.281	193.975	1895	339.665	5,6

Abbildung 2: Case Fatality (Getötete/1.000 Verunfallten) für die Jahre 2012 bis 2015)

⁸ Vgl. Statistik Austria; Verkehrsunfallzahlen der Jahre 1992 bis 2016



Die meisten Motorradunfälle sind Alleinunfälle (hierbei überwiegend Abkommensunfällen). Mehr als ein Drittel aller verunglückten Motorradlenker kommt allein zu Sturz oder von der Straße ab. Ebenfalls etwa jeder dritte verunglückte Lenker kommt bei einem Alleinunfall zu Tode. Auffällig ist jedoch, dass v.a. der Anteil der Getöteten bei Begegnungsunfällen (bspw. Frontalkollisionen) mit 28% sehr hoch ist. Statistisch gesehen ereignen sich Unfälle im Begegnungsverkehr relativ selten, sind dann jedoch zumeist folgenschwer. Bei einer detaillierteren Analyse der Unfallzahlen zeigt sich, dass die anteilig problematischsten Unfalltypen⁹ (UT) der Gruppen der Allein- und Kreuzungsunfälle zu zuordnen sind. Hierzu gehören zum einen „Abkommensunfälle rechts in einer Linkskurve“ (UT 013) sowie „Stürze vom Fahrzeug“ (UT 051). Vor allem auf beliebten Motorradstrecken stellen diese Gruppen ein Problem dar, da gerade dort das eigene Können allzu häufig überschätzt wird.

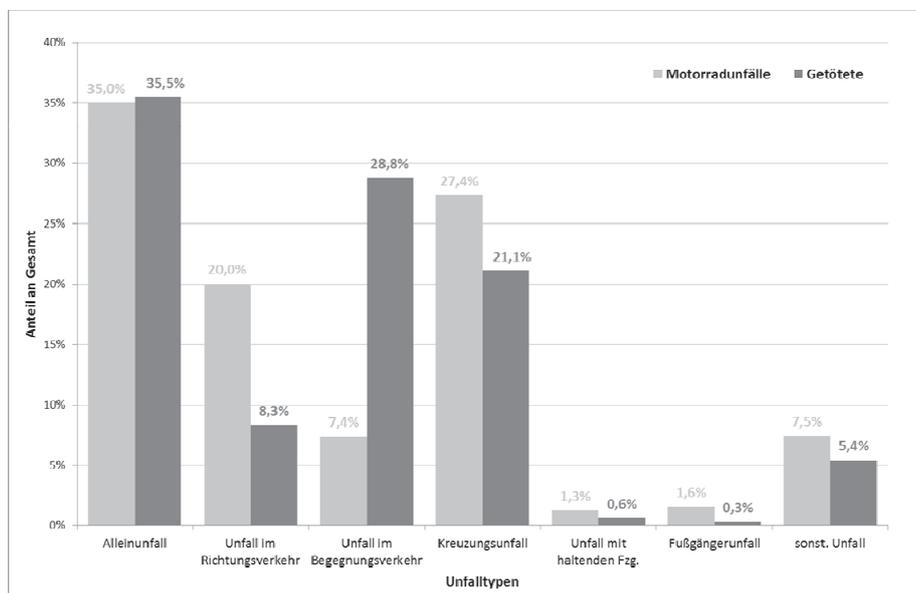


Abbildung 3: Motorradunfälle und dabei Getötete nach Unfalltyp (2012-2015)

Zu beachten ist allerdings, dass deutliche Unterschiede im Unfallgeschehen sowie bei den Unfallursachen zwischen Stadt- bzw. Ortsgebiet und Freiland bestehen. Dies ist insofern von Bedeutung, als dadurch v.a. bei der Wahl der Gegenmaßnahmen differenziert werden muss. Im Ortsgebiet ereignen sich mit rd. 38% die meisten Motorradunfälle an Kreuzungen, 24% im Richtungsverkehr. Im Freiland wiederum ereignen sich mit rd. 52% mit Abstand die meisten Unfälle alleine, d.h. ohne Beteiligung eines anderen Verkehrsteilnehmers. Analyse ausgewählter Motorradstrecken

⁹ Vgl. Statistik Austria; Unfalltypenkatalog



5. Analyse ausgewählter Motorradstrecken

5.1 Methodik und Verortung der Strecken

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurde anhand dreierlei Aspekte – in Anlehnung an die Durchführung einer Road Safety Inspection (RSI)¹⁰ – vorgegangen: Zunächst wurden die Unfallzahlen mit Beteiligung von Motorradfahrenden mittels Unfalldaten der Statistik Austria für die Jahre 2012 bis 2015 untersucht und auffällige Motorradstrecken heraus gefiltert. Als zweiter Aspekt wurden Befragungen mittels vorgefertigtem Fragebogen an vor Ort zuständige Personen und Behörden versandt um Informationen zu Auffälligkeiten, Problemen oder bereits getätigten Verbesserungen zu erlangen. Abschließend wurden als dritter Aspekt Befahrungen der ausgewählten Strecken durchgeführt und alles mittels Video- und Bildmaterial dokumentiert. Dabei wurde eine vorgefertigte Checkliste – in Anlehnung an die Vorgaben der RVS 02.02.42 – verwendet. Der Fokus wurde v.a. auf (unfall-) auffällige Bereiche gelegt und versucht zu analysieren, inwieweit die Infrastruktur eine gezielte Verbesserung benötigen würde bzw. dies möglich wäre. Allerdings wurden auch Bereiche angeführt, in denen im Zeitraum 2012 bis 2015 keine Motorradunfälle geschahen. Dies ist als Prävention anzusehen. Defizite im Bereich der Straßeninfrastruktur müssen nicht zwangsweise zu Unfällen führen, allerdings werden leider zumeist erst folgenschwere Unfälle als Anlass genommen etwas zu verbessern.

Abschließend wurde das Material mit Motorradexperten der ÖAMTC Fahrtechnik gesichtet und die Einschätzung aus Sicht eines Motorradfahrenden miteinbezogen. Die Auswahl der sieben untersuchten Motorradstrecken verteilt sich allesamt auf Bundesstraßen – je Bundesland eine (Ausnahme Wien und Burgenland).

Alle gewählten Strecken wiesen für die Jahre 2012 bis 2015 ein erhöhtes Motorradunfallaufkommen auf, zudem sind sie als „Motorradstrecken“ bekannt. Die Charakterisierungen bzw. aufgezeigten Probleme der einzelnen Strecken haben keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Sie sollen lediglich einen Auszug aus typischen Streckenpunkten widerspiegeln, welche zu Fehlinterpretationen, Fehlreaktionen oder zu Fahrfehlern der Lenker führen können.

5.2 Praxisbeispiele

Verengender Kurvenbogen

Kurven mit enger werdenden Radien (Hundekurven) stellen Verkehrsteilnehmer bei unzureichender Vorankündigung und Kenntlichmachung vor große Probleme. Im vorliegenden Fall (eine Unfalldüngungsstelle – UHS) ist zwar eine Vorankündigung gemäß StVO §50 vorhanden, allerdings erwies sich diese als nicht ausreichend. Empfehlenswert wären eine optische Hervorhebung des Verkehrszeichen (VZ) mittels gelbem Hintergrund, eine Wiederholung des VZ, geschwindigkeitsdämpfende Bodenmarkierungen (inkl. Rumpel Stripes) sowie eine optische Hervorhebung des Kurvenverlaufs mittels rot-gelber Leitwinkel sowie einer Variation in der Größe (je enger der Radius desto größer die Leitwinkel). Zudem wäre eine Vorversetzung

¹⁰ Vgl. Forschungsgesellschaft Straße, Schiene, Verkehr (FSV); 2012: RVS 02.02.34



des ersten Leitwinkels um einige Meter zur frühzeitigeren Erkennbarkeit essentiell. Eine Leitschiene samt Unterfahrschutz um Kollisionen mit Bewuchs zu verhindern ist zur Verletzungsminderung notwendig.



Optische Führung / seitliche Absicherung

Eine gute optische Führung des Verkehrsteilnehmers ist eine wesentliche Voraussetzung zur Vermeidung von Unfällen. Nachstehendes Beispiel zeigt eine mangelnde Ausführung. Auf einem kurzen, 16%igen Gefällestück folgt eine Senke mit nachfolgender, ansteigender Rechtskurve samt Kuppe und Linkskurve. Dem Lenker ist dies schwer ersichtlich – es wird mit einer harmlosen Rechtskurve gerechnet. Geschwindigkeitsdämpfende Bodenmarkierungen (bereits am Gefällestück) samt querverlaufenden Rüttelstreifen, Leitwinkel zur verbesserten Erkennbarkeit des Kurvenverlaufs sowie einen Hinweis auf die im Kurvenbereich folgende Kuppe sind zu empfehlen. Zudem ist die seitliche Absicherung durch lose Betonelemente äußerst gefährlich und widerspricht den technischen Richtlinien.



Optische Führung („C-Linie“) / Licht-Schatten-Wechsel

Ungünstige Licht-Schatten-Wechsel können zu massiven Beeinträchtigungen in der optischen Führung und der Wahrnehmung von Straßenverläufen führen. Wenn noch der Umstand einer ungünstigen „C-Linie“ (erweckt den Eindruck einer Zwischengeraden zwischen zwei gleichsinnig gekrümmten Kreisbögen) hinzukommt, besteht ein erhöhtes Unfallrisiko. Nachstehende Bildcollage verdeutlicht solch eine Situation. Die erste Kurve ist mittels Leitwinkel ausreichend erkennbar, die kurze Zwischengerade suggeriert ein höheres Tempo, die folgende, gleichgerichtete Kurve (nicht mehr durch Leitwinkel verdeutlicht) wird nicht ausreichend wahrgenommen. Bei ungünstigem Licht-Schatten-Wechsel verschärft sich diese Problematik. Eine Ausstattung mit Leitwinkel sowie eine Verdeutlichung der Doppel-Rechtskurve wären anzuraten – in der Gegenrichtung wären Sondermarkierungen zur Vermeidung von Kurvenschneiden zu prüfen.





Optische Führung / unklare Verkehrssituation

Einmündungen oder Kreuzungsbereiche können auch auf Motorradstrecken vorhanden sein und zu Problemen führen. Nachstehende Kreuzung weist keine Vorankündigungen auf, zudem ist sie in einer Kurve situiert. Problematisch sind zum einen die fehlenden Sichtweiten für abbiegende Fahrzeuge sowie die unklare Verkehrsführung im Kurvenbereich. Zudem ist der Kurvenverlauf (90°) sehr eng, jedoch nicht als solche ausreichend erkennbar. Eine Verdeutlichung des Kurvenverlaufes, Verbesserung der Sichtweiten sowie eindeutigere Markierungen im Kreuzungsbereich sind notwendig.



Unfallbeispiele

Aus den Daten der ÖAMTC Unfallforschungsdatenbank konnten einige Motorradunfälle auf Motorradstrecken ausgewertet und analysiert werden. Viele Unfälle ereigneten sich mit stärkeren, sportlichen Maschinen. Allerdings konnten vereinzelt auch Verbesserungspotentiale an der infrastrukturellen Ausstattung ausgemacht werden.



Unfall im Begegnungsverkehr (UT242)

Unfallort: B24 – Hochschwab Straße (Motorradstrecke);

Nicht angepasste Geschwindigkeit;

Abkommen von der eigenen Fahrspur;

Frontalkollision mit Lkw;

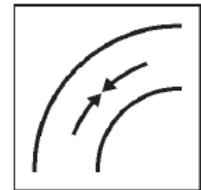
Motorradfahrer schwer verletzt;

Ungünstiger Licht-Schatten-Wechsel;

Relativ enger Kurvenradius ohne entsprechende Navigationspunkte;

Keine Bodenmarkierungen vorhanden;

Frontalkollision



(242)
in einer Kurve



Alleinunfall – Abkommen von der Fahrbahn (UT013)

Unfallort: B55 – Kirchschrager Straße (Motorradstrecke);

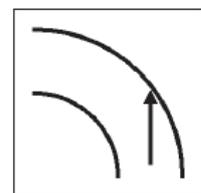
Nicht angepasste Geschwindigkeit;

Alleinunfall mit Anprall gegen Leitschiene (-steher);

Motorradfahrer schwer verletzt;

Kein Unterfahrschutz vorhanden;

Abkommen rechts



(013)
in Linkskurve



Alleinunfall (UT022) – „Straße als Rennstrecke“

Unfallort: B119 – Greiner Straße (Motorradstrecke);

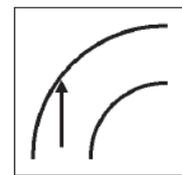
Weit überhöhte Geschwindigkeit – fast 100m Bremsspur;

Alleinunfall mit Baumanprall (in rd. 4m Höhe);

Motorradfahrer getötet – Helm wurde von Kopf gerissen;

Aber: Situierung der Leitschiene fragwürdig;

Abkommen links



(022)
in Rechtskurve



6. Erkenntnisse

Im Zuge der Motorradsicherheit gilt es – wie bei allen anderen Verkehrsarten auch – zwischen aktiver und passiver Sicherheit zu unterscheiden. Es muss jedoch auch angemerkt werden, dass die Infrastruktur an sich kaum per se die Unfallursache ist. Die Unfallfolgen können jedoch sehr entscheidend durch diese beeinflusst werden.



6.1 Faktor „Infrastruktur“

Zu Maßnahmen zur Steigerung der aktiven Sicherheit zählen vor allem Verbesserungen oder Instandsetzungen an der Infrastruktur. Diese können infolge von Griffigkeitsproblemen, Bodenwellen, Bitumen, Längsfräsungen, metallischen Abdeckungen, großflächigen Markierungen oder ähnlichem notwendig werden. Zu bedenken ist dabei, dass bestimmte Ausprägungsgrade der genannten Mängel für Pkw keine bis kaum Auswirkungen haben könnten, für Motorräder jedoch ein großes Gefahrenpotential bergen.

Weitere Mängel der aktiven Sicherheit können durch Unstetigkeiten in der Linienführung (Radiensprünge, Radienfolgen), nicht einsehbare Kurvenverläufe, schlechte optische Linienführungen, ungünstige Querneigungsverhältnisse und ähnlichem verursacht werden. Für Motorradfahrende sind derartige Probleme nur schwer erkenn- und wahrnehmbar. Dementsprechend ist es von großer Bedeutung den Lenkern eine klare, leicht und rechtzeitig erkennbare Linienführung vorzugeben. Um dennoch eine bessere Erkennbarkeit zu gewährleisten, empfiehlt sich die Anbringung retro-reflektierender Leitwinkel (in gelb-rot Optik). Wichtig hierbei ist v.a. die frühzeitige Erkennbarkeit dieser Leitelemente für den Verkehrsteilnehmer – sprich bereits am Kurvenanfang – bei enger werdenden Radien ist auch eine Verdichtung des Abstandes bzw. eine Variation der Größe der Elemente (größer werdend je enger der Radius wird) zweckmäßig. Der wichtigste Aspekt hierbei ist es dem Lenker Orientierungspunkte zu liefern um ein „Einmessen“ des Straßenverlaufes zu ermöglichen. Auch sollte verstärkt auf den Einsatz von Rüttelstreifen – sowohl in Längs- als auch in Querrichtung – gesetzt werden. Vor allem in Querrichtung können sie als „psychologische Bremse“ vor Gefahrenstellen zu Verbesserungen führen.

In Bereichen von Linkskurven mit schlechter Sicht in die Kurve bzw. vermehrten Auftreten von Frontal- oder Streifkollisionen empfiehlt sich die Anbringung von Zusatzmarkierungen zur Verdeutlichung der „idealen Motorradfahrlinie“, um ein Übertreten der Mittellinie durch den Oberkörper des Lenkers zu verhindern. Sind Stürze nicht vermeidbar, gilt es den Straßenseitenraum durch geeignete passive Maßnahmen entsprechend sicher zu gestalten. Für Motorradfahrende von großer Bedeutung sind hindernisfreie Seitenräume respektive abgesicherte Objekte. Da bei ihnen eine schützende Fahrgastzelle fehlt, ist beim Motorradfahren das Verletzungsrisiko wesentlich höher als bei Pkw Insassen. Ein Fahrfehler oder Sturz mit anschließendem Objektanprall (Bäume, Leitpflocke, Masten, etc.) kann demzufolge gravierende Folgen nach sich ziehen. Eine großzügige Auslaufzone – wie es Motorradrennen auf Rundkursen der Fall ist – ist im öffentlichen Straßenraum nicht möglich. Dementsprechend muss der Fokus auf der Absicherung von potentiellen Gefahren liegen. Die Installation eines Unterfahrschutzes beeinflusst zwar nicht die Gesamtzahl an Unfällen, mindert jedoch nachweislich die Unfallfolgen bzw. die Gefahr tödlicher Verletzungen um bis zu 30%. An einzelnen Versuchsstrecken zeigte sich gar ein Kosten-Nutzenverhältnis von über 10¹¹.

Tiefgreifende, v.a. präventive Verbesserungen im Bereich der Verkehrssicherheit, sind zumeist mit (zum Teil hohen) Kosten verbunden – allerdings müssen nicht immer teure Maßnahmen wie Umbauten, etc. zum gewünschten Erfolg führen. Die einzelnen Baulastträger sollten verstärkt – v.a. an neuralgischen Strecken

¹¹ Vgl. Spahn, Volker; 2015: Fachbeitrag Unfallanalyse für Schutzplanken mit Unterfahrschutz



(-abschnitten), wie bspw. an unfallauffälligen Motorradstrecken – RSI speziell für den Motorradverkehr durchführen. Dadurch können Sicherheitsdefizite erkannt und behoben werden.

6.2 Faktor „Mensch“

Große Probleme stellen die mangelhafte Fahrerfahrung und die Selbstüberschätzung des eigenen Könnens der Motorradfahrenden dar – dies wurde auch seitens vor Ort tätiger Personen immer wieder genannt. Bereits Studien sowie auch anhand der allgemeinen Unfallstatistik ist ersichtlich, dass sich der Peak der Altersklassen von jungen Lenkern in Richtung der Wieder- bzw. späten Neueinsteiger (40-50 jährige) verschiebt. Auch für diese Gruppe muss der Grundsatz „Training, Training, Training“ gelten. Korrekte Aktionen und Reaktionen des Lenkers müssen erlernt und trainiert werden. Dies ist Grundvoraussetzung für eine Erhöhung der Verkehrssicherheit. Bei Befragungen der vor Ort tätigen Exekutive wurde dies ebenso als effiziente Maßnahme angesehen.

Viele dieser Lenker absolvierten die Fahrausbildung in jungen Jahren, fuhren danach aber zum Teil 20 Jahre so gut wie nicht mit einem Motorrad. Vor allem fahrphysikalische Eigenheiten des Motorrades sowie motorradspezifische Fahrfertigkeiten sollten in geeigneten Fahrtrainings bzw. Fahrtechnikkursen vorab geübt werden. Gerade in Notsituationen wird seitens der Motorradfahrenden oftmals falsch reagiert oder nicht das volle Potential ausgeschöpft (Schreckbremsungen, nicht volle Ausschöpfung der Bremskraft, falsche oder zu geringe Schräglage, etc.). Motorradfahrende sind mit mehr Risiko unterwegs als andere Verkehrsteilnehmer. Aber: Diese Risiken sind durch Motorradfahrende selbst minimierbar – bspw. durch richtiges Verhalten, helle und reflektierende Kleidung sowie regelmäßige Fahrtrainings. Und: Es sollte immer eine ausreichende Sicherheitsreserve einkalkuliert werden.

Motorradfahren im öffentlichen Straßenverkehr ist nicht mit Rennstrecken und deren Sicherheitsausstattung vergleichbar. Typische Motorradstrecken werden jedoch von einigen Fahrern als eine Art „Rennstrecke“ gesehen. Hier gilt es verstärkt Bewusstsein zu schaffen für die enormen Gefahren, die Rasen oder riskante Fahrmanöver mit sich bringen. Eine defensive Fahrweise muss auch auf Motorradstrecken oberste Priorität haben. Für Motorradfahrende stellt ein defensiver Fahrstil die beste Sicherheitsstrategie dar, um viele (auch selbst verursachte) Unfälle zu vermeiden.

Um die Motorradsicherheit insgesamt zu erhöhen und vor allem Unfälle zu vermeiden, sind neben gezielten Verbesserungen vor Ort auch die wesentlichen Stakeholder wie Forschungseinrichtungen, Medien, Verbände, Industrie sowie die Gesetzgebung gefordert.



wuidi, das Wildwechsel-Radar – methodische und technologische Ansätze

Wolfgang Dorner

Professur für Geoinformatik und Geoinformationssysteme, Campusleitung,
Technische Hochschule Deggendorf, Technologie Campus Freyung

Raphaela Pagany

Wissenschaftliche Mitarbeiterin,

Technische Hochschule Deggendorf, Technologie Campus Freyung

Alfons Weinzierl

Gründer und Geschäftsführer, wuidi GmbH

Marco Heurich

Professur für Wildtierökologie und Wildtiermanagement,
Universität Freiburg, Nationalpark Bayerischer Wald

Thomas Geiß

Professur für Existenzgründung und Unternehmertum,
Technische Hochschule Deggendorf

1. Einleitung

Wildunfälle tragen in einem erheblichen Maße zum Unfallaufkommen und Unfallgeschehen auf deutschen Straßen bei. Dabei zeichnet sich – parallel zum Anstieg der Verkehrszahlen und der Zunahme von Wildtierbeständen – in den letzten Jahren eine steigende Tendenz der Wildunfälle ab. Nach aktueller Statistik des Gesamtverbandes der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (GDV) ereignet sich in Deutschland alle zwei Minuten ein Wildunfall. Bis dato können mehrere Gründe angeführt werden, warum Schutzmaßnahmen schwer zu bewerten und umzusetzen sind: die Datenbasis für eine genaue Analyse der Unfallursachen ist schwach, Gegen- und Schutzmaßnahmen (Reflektoren, Schilder, Zäune) sind stark umstritten und teuer bzw. führen bei Wildtieren und Autofahrern zu Gewöhnungseffekten.

Als Hauptargument gegen Warnmaßnahmen wird deren statischer Charakter aufgeführt, da weder zeitliche noch räumliche Variabilität des Unfallgeschehens abgebildet wird. Wuidi als digitales Wildwarnsystem und momentan als Smartphone App verfügbar, wählt den Weg, beim Fahrer direkt anzusetzen, um diesen in Abhängigkeit von Zeit und Ort über ein aktuelles potenzielles Risiko zu informieren.

Aus diesem Ansatz heraus ergeben sich aber zahlreiche Anforderungen an die technische Lösung bzw. Herausforderungen hinsichtlich Datenverfügbarkeit und Zuverlässigkeit der Warnung. Der Beitrag führt in einem ersten Schritt in die Problematik der Wildunfälle sowie in zugrundeliegende wissenschaftliche Studien ein. Am Beispiel der aktuell verfügbaren wuidi App „Wildwechselradar“ wird ein erster verfügbarer



Lösungsansatz sowie relevante technische Überlegungen für eine digitale Wildwechselwarnung beschrieben. Hieraus werden die aktuellen Herausforderungen für die Weiterentwicklung eines digitalen Warnsystems diskutiert. Diese ergeben sich zum einen aus den unterschiedlichsten Faktoren, die ggf. zu berücksichtigen sind und anhand der bayerischen Wildunfalldaten der letzten fünf Jahre betrachtet wurden. Zum anderen sind genau die Verfügbarkeit bzw. eingeschränkte räumliche Verfügbarkeit von Daten sowie die Vielfalt der räumlichen und zeitlichen Wirkungszusammenhänge zwischen Wildtierverhalten (Vegetation, Jahreszeit, Witterung, ...) und Verkehrssituation (Verkehrsaufkommen, straßenbauliche Situation, Straßenbegleitinfrastruktur, Schutzmaßnahmen, ...) eine Herausforderung aus datentechnischer und analytischer Sicht, die näher diskutiert werden. Abschließend werden Überlegungen für einen weiterführenden Ansatz präsentiert, da die Vielfalt neuer Daten als auch neuer Analysemethoden neue Potenziale bieten, um Zusammenhänge besser zu analysieren und vielleicht auch Warnungen zielgerichteter auszusprechen.

2. Hintergrund

Gemäß der aktuellen Unfallstatistik für das Jahr 2015 des GDV meldeten die Kunden deutscher Kfz-Versicherungsunternehmen pro Tag rund 650 Wildunfälle. Jährlich entspricht das 263.000 PKW-Unfällen mit Rehen, Wildschweinen und anderen Wildtieren. Diese Unfälle kosteten die Kfz-Versicherer rund 653 Millionen Euro (GDV 2016). Schäden an Personen und Wildtieren sind dabei nicht eingerechnet. Abbildung 1 zeigt dazu die Anzahl der Pkw-Wildunfälle in Deutschland im zeitlichen Verlauf.

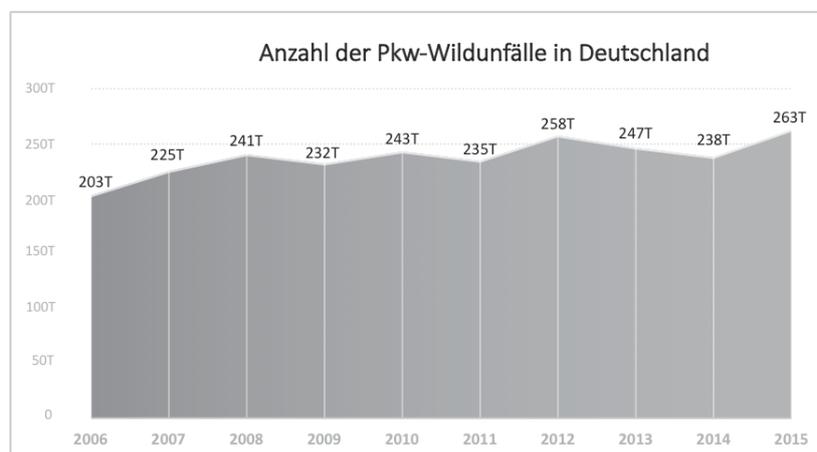


Abbildung 1: Anzahl der Pkw-Wildunfälle in Deutschland von 2006 bis 2015 (in Anlehnung an GDV 2016)

Dabei sind Wildunfälle und deren Zunahme nicht nur in Deutschland ein Thema. Auch international liegen sehr umfangreiche Studien vor, die sowohl die Brisanz des Wildunfallthemas (z.B. Hothorn, Brandl, Müller 2012), als auch die Vielfalt der erprobten Ansätze für eine bessere Erklärung des Unfallgeschehens und die Planung von Gegenmaßnahmen adressieren. Umfangreich wurden bisher die zeitlichen Bedingungen bei Wildunfällen untersucht. So sind tageszeitliche (Hindelang et al. 1999; Putnam 1997) wie auch jahreszeitliche (Hindelang et al. 1999; Morelle, Lehaire, Lejeune 2013) Zusammenhänge erforscht worden. Auch



räumliche Aspekte der Unfälle wurden bereits betrachtet (Hothorn, Brandl, Müller 2012). Hierzu zählen bauliche Eingriffe in die Landschaft wie z.B. Brücken (Hubbard, Danielson, Schmitz 2000), Straßentyp (Hindelang et al. 1999) oder Böschungen (Putnam 1997). Landnutzung bzw. Vegetation als beeinflussender Faktor (Hindelang et al. 1999), Gewässer (Dussault et al. 2006) sowie Bevölkerungs- und Siedlungsentwicklung (Mysterud 2004) wurden schon als mögliche Einflussfaktoren diskutiert.

Allen Studien gemeinsam ist, dass Einflussfaktoren wie Zeit, Ort, Tierart oder Landschaftselemente nur einzeln betrachtet wurden. Dies ist auf die schlechte Verfügbarkeit flächendeckender georeferenzierter Unfalldaten oder die Probleme der Erfassung von Infrastruktur und Landnutzung zum Unfallzeitpunkt zurückzuführen. So konnte zum Beispiel keine Studie identifiziert werden, die Fernerkundungsdaten nutzt, um die Landnutzung in die Betrachtung einzuschließen oder Witterungsbedingungen zum Unfallzeitpunkt zu berücksichtigen. Die Analyse des Einflusses der baulichen Infrastruktur beschränkt sich auf große Infrastrukturen (Brücken vgl. Hubbard, Danielson, Schmitz 2000) oder Infrastrukturabschnitte (Straßentyp vgl. Hindelang et al. 1999). Die Wirkung kleinräumiger Landschafts- (Gräben, Böschungen) und Infrastrukturelemente (Leitplanken, bauliche Hindernisse) wurde nur auf Basis von Stichproben betrachtet. Eine integrierte Betrachtung und Berücksichtigung der zahlreichen Einflussfaktoren, die Nutzung zeitlich-räumlicher Modelle sowie die Berücksichtigung aktuell verfügbarer Geodaten und Auswertungsmethoden fehlt (Pagany, Dorner 2016).

Aktuell sind auch vermehrt Citizen Science Ansätze zu entdecken, die der schlechten Verfügbarkeit georeferenzierter Unfalldaten durch die Datensammlung durch Dritte entgegenwirken wollen. Neben dem österreichischen Projekt Roadkill (roadkill.at) können dabei auch das Totfundkataster der Universität Kiel (<http://www.wildtier-kataster.uni-kiel.de/pages/projekte/totfund-kataster.php>) sowie das wuidi Revierportal genannt werden (<https://www.wuidi-revierportal.de/>). Für Schleswig-Holstein wurde mit dem Totfundkataster schon eine sehr umfassende Datengrundlage geschaffen, die allerdings leider den genauen Unfallort oft unklar lässt, da nur der Fundort des toten Tieres bekannt und räumlich verortet ist. Bei öffentlichen Ansätzen wie roadkill.at entwickelt sich zwar eine breite und für Österreich flächendeckende Datengrundlage, deren Dichte ist aber, verglichen mit den bayerischen amtlich-polizeilichen Daten, noch dünn. Wie das Totfundkataster in Schleswig-Holstein wählt das wuidi Revierportal einen eingeschränkteren und Expertenbasierten Ansatz und bindet Förster bzw. Jägerschaft ein, um Unfallschwerpunkt und Unfallorte zu sammeln.

3. Ansatz der Initiative wuidi

Die eigene Erfahrung mit einem Wildunfall war der Ausgangspunkt für ein Studententeam, dieses Problemfeld durch die Möglichkeiten von Internet-Technologie nachhaltig zu verbessern. Die preisgekrönte Initiative weist dabei folgende Alleinstellungsmerkmale auf:

- Erster digitaler Ansatz zur intelligenten Wildunfallvermeidung und -abwicklung
- Flächendeckende Verfügbarkeit (Status Quo Bayern)



- Präventionsansatz beim Menschen, nicht beim Wildtier
- Verwendung dynamischer, nicht statischer Warnungen

Die im November 2016 gegründete wuidi GmbH hat in den vergangenen Monaten mit dem „Wildwechsel-Radar“ eine Anwendung entwickelt, die auf Grundlage geostatistischer Analysen eine dynamische und situative Warnung vor Wildunfällen per Smartphone erlaubt. Als Produkt wurde das System im November 2016 mit Unterstützung des Bayerischen Staatsministerium des Innern, für Bau und Verkehr und der Bayerischen Polizei in den Markt eingeführt und innerhalb von acht Wochen bereits von mehr als 6.000 Nutzern installiert. Parallel sammelt die Anwendung „Revierportal“ für Jagdrevier-Inhaber, weitere unfallrelevante Informationen im Crowdsourcing Verfahren, um die Datenbasis für Prognosen und Warnungen zu verbessern. Dem Citizen-Science-Ansatz folgend wurde diese mit Unterstützung des Bayerischen Jagdverbandes entwickelt. So genannte Gefahrenabschnitte mit erhöhter Wildwechsel-Gefahr können damit vom jeweiligen Jäger in der Anwendung gepflegt und die Abwicklung des Wildunfalls je Revier organisiert werden. Im Gegenzug erhalten die angemeldeten Jagdrevierinhaber durch den Service eine punktgenaue Darstellung des Unfallortes, was nach dem Unfall die Suche des Wildtieres deutlich beschleunigt. Im gleichen Zeithorizont wie das „Wildwechsel-Radar“ nehmen aktuell 300 Jäger aktiv an der Initiative teil.

Abbildung 2 zeigt das technologische Ökosystem der Initiative wuidi.

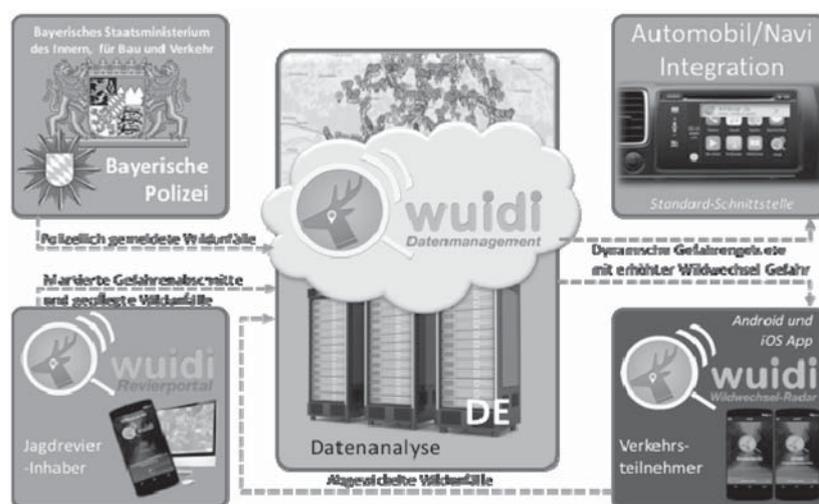


Abbildung 2: Technologisches Ökosystem der Initiative wuidi

Bis Ende des Jahres 2017 ist eine Nutzerzahl der beiden Produkte von insgesamt 100.000 Personen angestrebt. Nach einem erfolgreichen „proof of concept“ in Bayern ist die Skalierung des Service für Deutschland in Planung. Das Projekt wuidi wird im Rahmen des „EXIST-Gründerstipendiums“ durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie und den Europäischen Sozialfonds gefördert.



4. Erste Ergebnisse

Die Bayerische Polizei erfasst seit Mitte 2010 Daten von Wildunfällen als räumlich verortete Daten. Neben Unfallzeitpunkt und Tierart liegt damit eine genauere Information zum Unfallort vor. Für eine erste Studie wurden die Daten des Landkreises Straubing-Bogen (2010–2014) herangezogen und statistisch analysiert (vgl. Pagany & Dorner 2016). Neben der tendenziell steigenden Zahl der Unfälle, die polizeilich erfasst werden, ergeben sich aus den Daten erste Aufschlüsse über räumlich-zeitliche Phänomene.

Jahr	Anzahl der Unfälle
2010	476*
2011	1.015
2012	1.191
2013	1.131
2014	1.381
Gesamt	5.194

Tabelle 1: Wildunfälle im Landkreis Straubing-Bogen
(Daten: Bayerischen Ministerium des Innern, für Bau und Verkehr & der Bayerischen Polizei
(* Mitte des Jahres 2010-2014))

So zeigen sich für die Region Schwerpunkte und Abweichungen in der jahres- und tageszeitlichen Verteilung der Unfälle, die je nach Tierart weiter differenziert werden können und eine erste Grundlage für dynamische Warnungen vor Wildwechsel darstellen.

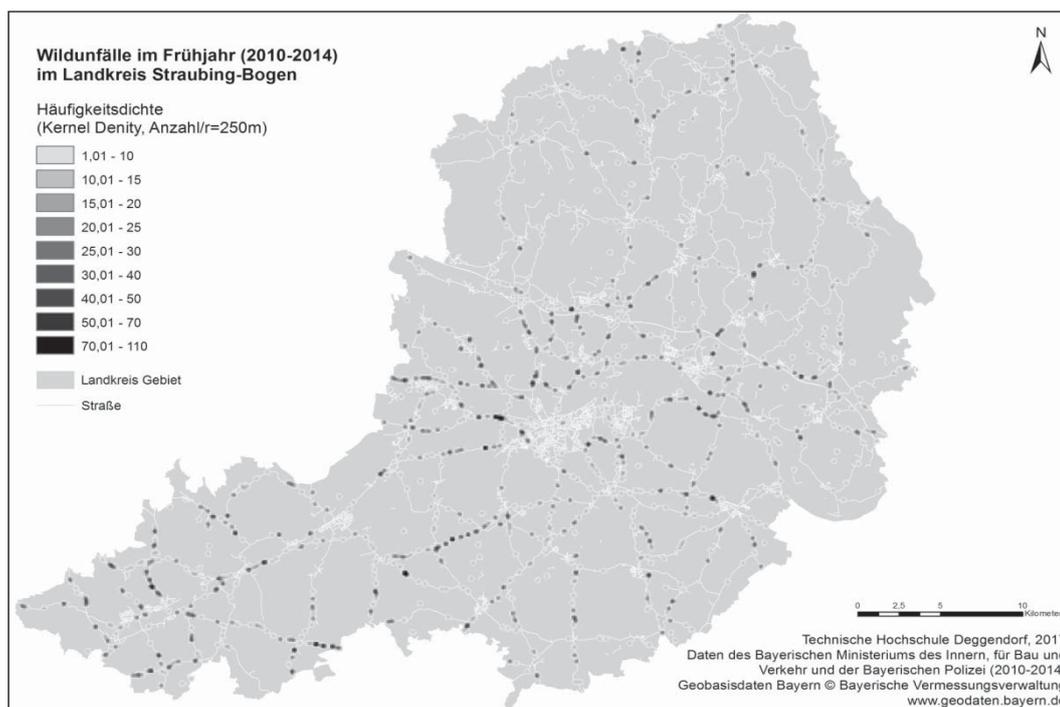


Abbildung 3: Räumliche Verteilung und Konzentration der Wildunfälle im Frühjahr (2010-2014), Beispiel Straubing-Bogen



Für bestimmte Tierarten lassen sich dabei sehr eindeutige tages- und jahreszeitliche Verhaltensmuster herausarbeiten, wie das Beispiel von Raubvögeln und Wildschweinen zeigt (Abbildung 4).

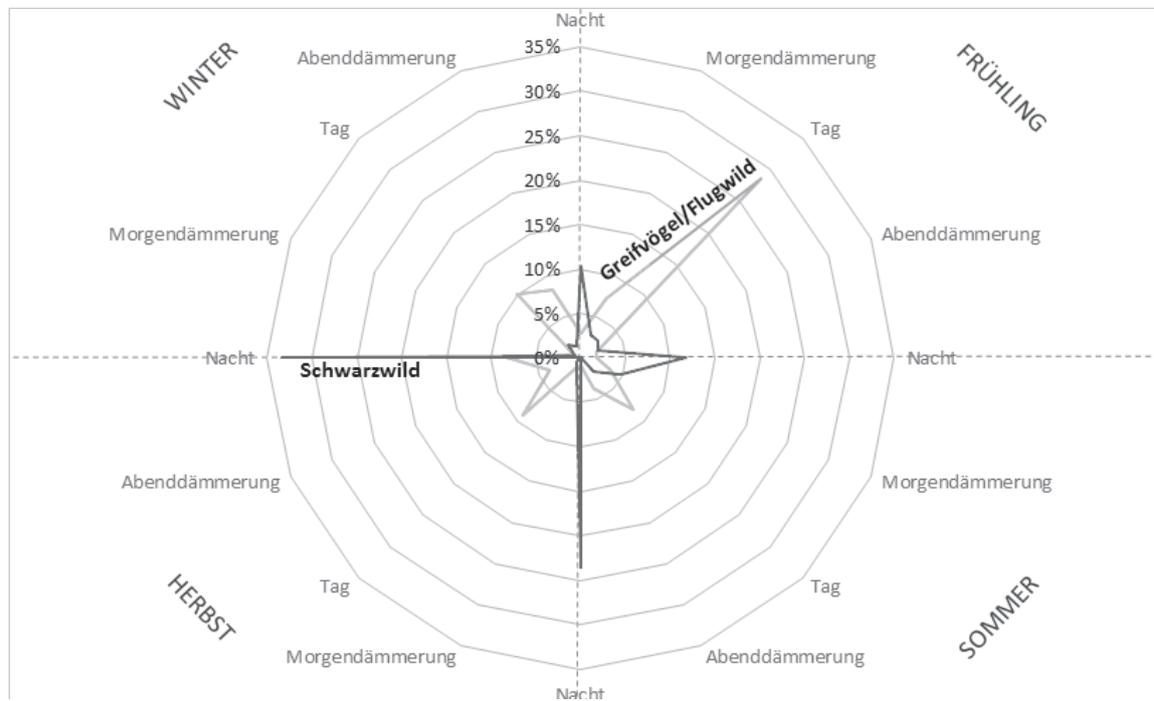


Abbildung 4: Zeitliche Verteilung der Wildunfälle in Bayern, analysiert am Beispiel Landkreis Straubing-Bogen zwischen 2010 und 2014 für Unfälle mit Raubvögeln und Schwarzwild (Daten vom Bayerischen Staatsministerium des Innern, für Bau und Verkehr und der Bayerischen Polizei (2010-2014))

5. Weiterführende Methodik

Mit Unterstützung der Arbeitsgruppe für Geoinformatik an der Technischen Hochschule Deggendorf, dem Nationalpark Bayerischer Wald und der Professur für Wildtierökologie und Wildtiermanagement der Universität Freiburg sollen neue analytische Verfahren entwickelt werden. Sie wollen dabei das Risiko vor Wildunfällen anhand weiterer Umweltparameter deutlich genauer abschätzen und damit die Vorhersagegenauigkeit verbessern. In Gesprächen mit Jägerschaft, Wildtierbiologen, Polizei und Geoinformatikern wurden eine Reihe weiterer räumlicher und zeitlicher Parameter identifiziert, die mit Hilfe von Methoden aus der Geoinformatik erhoben und mit den Unfalldaten korreliert werden können. Erste Analysen wurden dabei bezüglich zeitlicher Faktoren (Tageszeit, Jahreszeit) und für Umgebungsvariablen (z.B. Landnutzung) durchgeführt. Ziel ist es dabei, einerseits die situative Genauigkeit der Warnung auf Grundlage verfügbarer Unfall- und Geodaten zu verbessern und andererseits Ansätze zu entwickeln, um Warnungen mit Hilfe von Umweltdaten für Gebiete zu ermöglichen, für die keine oder nicht ausreichenden Daten von Wildunfällen vorliegen.



- 1) Georeferenzierte Unfalldaten, z.B. der Bayerischen Polizei der vergangenen fünf Jahre, liefern die Datengrundlage, um über einen längeren Zeitraum hinweg das Unfallgeschehen räumlich und zeitlich nachvollziehen zu können.
- 2) Neue Methoden der räumlich-zeitlichen Analyse großer Datenmengen erlauben es, Geodaten aus den Bereichen Verkehrsverwaltung, Fernerkundung oder Wetterdienst heranzuziehen, um Wildunfälle räumlich prädiktiv und quantitativ fundiert verstehen und erklären zu können.
- 3) Webtechnologien und mobile Anwendungen ermöglichen es, Verkehrsteilnehmer örtlich und zeitlich zielgerichtet im Hinblick auf ein erhöhtes Unfallrisiko zu warnen.

6. Diskussion

Die bereits vorliegenden Analysen müssen kritisch betrachtet werden. Eines der Hauptprobleme ist die zugrundeliegende Datenbasis. Diese ist erstens nicht flächendeckend verfügbar, sondern steht aktuell nur für Bayern in georeferenzierter und weiter verarbeitbarer Form zur Verfügung. Zweitens sind die Daten nur ein Ausschnitt des Wildunfallgeschehens, da eine unbekannte Zahl an Unfällen direkt über die Jägerschaft erfasst und abgewickelt wird bzw. Unfälle mit Fahrerflucht nicht oder nur bedingt erfasst werden. Drittens muss bei den vorliegenden georeferenzierten Daten die Lagegenauigkeit kritisch hinterfragt werden, da diese nur teilweise auf gemessenen Daten, häufig aber auch auf Kilometrierungen bzw. Straßenabschnitten beruht. Die vorliegende App als Instrument der dynamischen Unfallwarnung kann nur als „proof of concept“ betrachtet werden, da mit einer einzelnen Single-Purpose App für ein sehr spezialisiertes Thema keine ausreichende Marktdurchdringung erreicht werden kann und nur eine bestimmte Zielgruppe angesprochen wird.

7. Ausblick

Die vorliegenden Studien zeigen, dass eine Vielzahl an Parametern zur Erklärung von Unfalhäufungen mit Wildtieren herangezogen werden können. Räumliche Zusammenhänge z.B. zwischen Straße und umgebender Landnutzung werden dabei ebenso herangezogen wie zeitliche Aspekte z.B. des Tierverhaltens und des Verkehrsaufkommens. Zeitlich-räumliche Zusammenhänge zwischen Landnutzung, Entwicklung der Vegetation und dem daraus ableitbaren Tierverhalten können das Unfallrisiko mit beeinträchtigen. Weiterführende Analysen könnten ggf. auf Basis historischer Unfallzahlen und sogar für Regionen ohne zeitlich und räumlich aufgeschlüsselte Unfalldaten eine bessere Prognose oder sogar Warnung erlauben. Dazu wären wohl weiterführende Ansätze erforderlich, die es ermöglichen, die Vielzahl der relevanten Einflussfaktoren und insbesondere deren Gewichtung zu berücksichtigen. Diese erfordern allerdings detaillierte Daten über die Landnutzung, Situation der Straßeninfrastruktur oder dem Verkehrsaufkommen auf betroffene Straßenabschnitte. In einem weiteren Schritt sollen deshalb Verfahren der Geoinformatik und Fernerkundung eingesetzt werden, um relevante Eingangsdaten wie Umweltbedingungen und infrastrukturelle Randbedingungen im Umfeld des Unfallortes flächendeckender verfügbar zu machen. In Verbindung mit neuen Quellen für Geodaten, wie hochaufgelöste Verkehrs- und Witterungsdaten, können diese die Grund-



lage für weiterführende Analyseverfahren der Geostatistik bzw. maschinelles Lernen darstellen. Aus einer verbesserten Analytik ergeben sich zahlreiche Potenziale. Die Versicherungswirtschaft könnte durch automatisierte Ansätze zur Bewertung von Unfallmeldungen profitieren. Straßenbaulastträger könnten sowohl im Bestand als auch im Neubau Schutzmaßnahmen und Warnungen besser auslegen, Risiken bereits bei der Trassierung berücksichtigen oder Maßnahmen der Habitatvernetzung, wie Wildtierbrücken, zielgerichteter auslegen. Auch Ansätze für Warnfunktionen und Methoden des vorausschauenden Fahrens bei autonomen Fahrzeugen, die durch diese neue Datengrundlage unterstützt werden könnten, wären denkbar. Funktionen der Warnung vor Wildwechsel müssten nicht nur für autonome Fahrzeuge, sondern auch für konventionelle Systeme stärker in die klassischen Navigationslösungen und Fahrerassistenzsysteme integriert werden.

Literaturverzeichnis

- Bayerischer Jagdverband e.V. (2016). Folgen Zerschnittener Lebensräume. *Jagd in Bayern* (1/2016): 16–17.
- Dussault Christian, Poulin Marius, Courtois Réhaume, Ouellet Jean-Pierre (2006). Temporal and Spatial Distribution of Moose-Vehicle Accidents in the Laurentides Wildlife Reserve, Quebec, Canada. *Wildlife Biology* 12(4): 415–425.
- GDV (Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V.) (2015). *Versicherungskunden melden 238.000 Wildunfälle*. URL: <http://www.gdv.de/2015/10/versicherungskunden-melden-238-000-wildunfaelle/> (Abruf: 05.08.16).
- Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (GDV) (2016). *Massenphänomen Wildunfälle*. URL: <http://udv.de/de/strasse/landstrasse/massenphaenomen-wildunfaelle> (Abruf: 12.04.16).
- Hindelang Mary, Premo Dean, Rogers Elizabeth, Premo Kent (1999). Addressing Deer-Vehicle Accidents with an Ecological Landscape GIS Approach. *In Proceedings of the Third International Conference on Wildlife Ecology and Transportation*. FL-ER-73–99. Florida Department of Transportation, Tallahassee, Florida Pp. 185–192.
- Hothorn Torsten, Brandl Roland, Müller Jörg (2012). Large-Scale Model-Based Assessment of Deer-Vehicle Collision Risk. *PLOS ONE* 7(2): e29510.
- Hubbard Michael, Danielson Brent, Schmitz Richard (2000). Factors Influencing the Location of Deer-Vehicle Accidents in Iowa. *The Journal of Wildlife Management* 64(3): 707–713.
- Morelle Kevin, Lehaire François, Lejeune Philippe (2013). Spatio-Temporal Patterns of Wildlife-Vehicle Collisions in a Region with a High-Density Road Network. *Nature Conservation* (5). URL: <http://orbi.ulg.ac.be/handle/2268/158178> (Abruf: 23.11.15).
- Mysterud Atle (2004). Temporal Variation in the Number of Car-Killed Red Deer *Cervus Elaphus* in Norway. *Wildlife Biology* 10(3): 203–211.
- Pagany Raphaela, Dorner Wolfgang (2016). Spatiotemporal analysis for wildlife-vehicle-collisions based on accident statistics of the county Straubing-Bogen in Lower Bavaria. *ISPRS – International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* XLI-B8: 739–745.
- Putnam, R. J. (1997). Deer and Road Traffic Accidents: Options for Management. *Journal of Environmental Management* 51(1): 43–57.



Statistika (2015). *Anzahl der Unfälle mit Personenschaden durch Wild auf der Fahrbahn in Deutschland von 1975 bis 2015*. URL: <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/155379/umfrage/unfaelle-mit-personenschaden-durch-wild-auf-der-fahrbahn/> (Abruf 05.08.16).

Schmüser Heiko (2016). Wildtierkataster – Totfund-Kataster. URL: <http://www.wildtier-kataster.uni-kiel.de/pages/projekte/totfund-kataster.php> (Abruf 05.08.16).





ADAC Unfallforschung – Simulation der gefährlichsten Unfallszenarien als Basis zukünftiger Testkataloge

Prof. Dr. Stefan-Alexander Schneider

Fachhochschule Kempten, Fakultät Elektrotechnik/ Fahrerassistenzsysteme

Thomas Unger, Masterand, Johannes Ludwig Haslbeck

ADAC e.V., Unfallforschung

1. Motivation

Aktive und passive Sicherheitssysteme haben an der positiven Unfallentwicklung der letzten Jahrzehnte einen nachweislich großen Anteil. Bei den aktiven Sicherheitssystemen, die im Gegensatz zu den unfallfolgenreduzierenden passiven Systemen in der Lage sind, den Unfall bereits in seiner Entstehung zu verhindern, waren in den letzten Jahren insbesondere die Elektronische Stabilitätskontrolle ESC und das Antiblockiersystem ABS besonders wirksam.

Passive Sicherheitssysteme wie Gurtstraffer, Airbags, verbesserte Deformationszonen und Fahrgastzellen konnten die Zahl der Unfallopfer ebenfalls reduzieren. Zwar gibt es auch hierbei noch Entwicklungspotenzial, es ist allerdings weitaus geringer als das aktiver Sicherheitssysteme einzuschätzen.

Aktuelle sicherheitsorientierte Assistenzsysteme können bereits dazu beitragen, Unfälle aktiv zu vermeiden. Welche dieser Systeme dabei besonders vielversprechend sind, wird im Laufe dieser Arbeit ermittelt. Es ist vorgesehen, die häufigsten Unfallszenarien herauszufinden, in einer Simulationssoftware (IPG CarMaker) nachzustellen, in einer Wirkfeldanalyse die für diese Szenarien wichtigsten FAS zu ermitteln und diese wiederum per Simulation auf die Unfallszenarien anzuwenden.

2. ADAC Unfallforschung

Das Projekt der ADAC Unfallforschung startete im Jahr 2005 am ADAC Technik Zentrum in Landsberg am Lech, mit der Zielsetzung einen Beitrag zur Steigerung der aktiven und passiven Sicherheit bei Fahrzeugen sowie zur Verkehrssicherheit insgesamt zu leisten.

Die taktgebende Datenquelle für die Unfallforschung des ADAC stellt die Luftrettung dar. Die Besatzung der ADAC Hubschrauber ist damit beauftragt, Dokumentationen zum Unfallgeschehen vorzunehmen, anhand derer die Unfallforscher später die Parameter des Unfalls ermitteln können.

Im Anschluss werden aus weiteren Datenquellen (Polizei, Staatsanwaltschaft) die Angaben zum Verkehrsunfall ermittelt und das Bild des Geschehens vervollkommen.

Seit dem Beginn der ADAC Unfallforschung bis Mitte August 2015 konnten insgesamt 18.925 Fälle in der Datenbank dokumentiert werden. Durchschnittlich gab es seit Beginn des Projekts 155 Fälle monatlich und



etwa 1.860 pro Jahr. Momentan sind es jährlich etwa 3.200 Fälle. Dabei muss stets beachtet werden, dass durch die – mit wenigen Ausnahmen – nicht durchgängige Bereitschaft der Luftrettungshubschrauber so gut wie keine Nachtunfälle in der Datenbank vorhanden sind. Dies stellt eine Besonderheit der ADAC Unfallforschung dar. Es sind insgesamt 639 Einzeldaten pro Fall vorhanden, die sich in mehrere Unterbereiche für Fahrzeug, Patient usw. aufteilen.

Durch Auswertungen der Fälle können beispielsweise gezielt Fahrzeuge in vergleichbaren Unfallsituationen mit unterschiedlichen Ausstattungen hinsichtlich der Wirksamkeit einzelner Komponenten untersucht werden. Ist etwa in Fahrzeug A ESC verbaut und in Fahrzeug B nicht (bei ansonsten gleicher Ausstattung), lässt sich anhand der Auswertung des Unfallgeschehens, etwa Abkommen von der Fahrbahn, die Wirksamkeit dieses Systems gut feststellen. Dabei werden die Unfälle auch häufig rekonstruiert. Neben der Verbesserung der Fahrzeugsicherheit ist das UFO-Projekt auch daran interessiert, die Crashtestverfahren weiter zu verbessern. Hierfür sind die Unfalldaten selbstverständlich ein besonders wichtiges Kriterium. Auch die Rettungskräfte können durch die ADAC Unfallforschung unterstützt werden.

3. Ermittlung der wichtigsten Unfallszenarien

In diesem Abschnitt stehen die wichtigsten Unfalltypen des Verkehrsgeschehens im Fokus. Um diese herauszufinden, werden die amtliche Statistik und die Unfallforschungsdatenbank des ADAC ausgewertet.

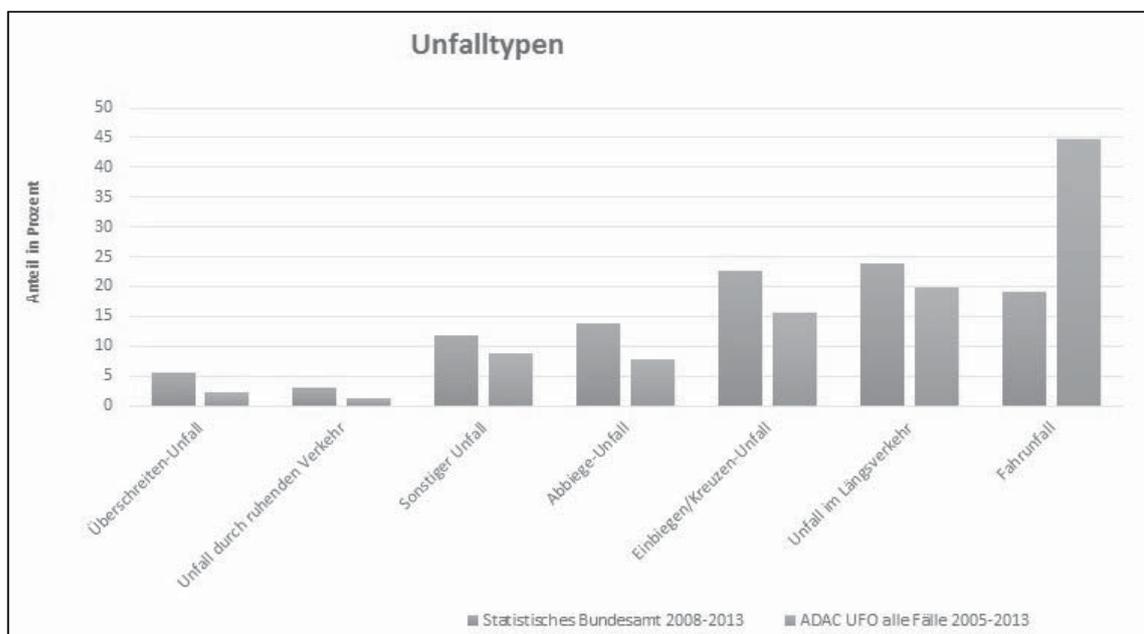


Abbildung 1: Verteilung der Unfalltypen nach amtlicher Statistik und ADAC Unfallforschung [3]

Wie Abbildung 1 zu entnehmen ist, unterscheiden sich die prozentualen Anteile der Unfalltypen im direkten Vergleich der amtlichen Statistik mit der ADAC Unfallforschung zum Teil deutlich voneinander. In Tabelle 1 wird dies anhand der jeweiligen Häufigkeitsplatzierung des Unfalltyps ebenfalls ersichtlich.



Unfalltyp	Platzierung (Statistisches Bundesamt [3])	Platzierung (ADAC)
Fahrunfall	3	1
Abbiege-Unfall	4	5
Einbiegen-/Kreuzen-Unfall	2	3
Überschreiten-Unfall	6	6

Tabelle 1: Platzierung der Unfalltypen nach ihrer Häufigkeit

Das Filterkriterium bildet dabei die Luftrettung, von der die ADAC Unfallforschung die Daten erhält und die zumeist schwere Unfälle beinhaltet. Durch diese Verschiebung hin zu schweren Unfällen ist der hohe Anteil an Fahrunfällen zu erklären. Dieser Unfalltyp ereignet sich häufiger außerhalb von Ortschaften und hat durch die in der Regel deutlich höheren Geschwindigkeiten als innerorts meist Schwerverletzte zur Folge. Durch die Fokussierung auf schwere Unfälle ereignen sich hier die meisten Zusammenstöße (im Gegensatz zum Gesamtunfallgeschehen) außerorts.

Anhand der Unfalltypnummern [4], von denen es insgesamt 296 gibt, wurde mithilfe einer gezielten Datenbankauswertung ermittelt, welche Unfalltypnummern am häufigsten in der ADAC Unfallforschungsdatenbank dokumentiert sind. Die Häufigkeit der Unfalltypnummern ist in der amtlichen Statistik nicht aufgeführt, daher lässt sich keine Vergleich mit sämtlichen polizeilich erfassten Unfällen aufstellen.

Die Auswertung wurde für Fälle bis Ende des Jahres 2013 vorgenommen. Insgesamt sind 2.167 Datensätze des Zeitraums 2005 bis 2013 mit ausreichender Datenlage vorhanden.

Da im Rahmen dieser Arbeit eine sinnvolle Eingrenzung der Unfallszenarien und damit auch der Unfalltypnummern notwendig ist, muss eine Einschränkung getroffen werden.

Beispielhaft werden in dieser Untersuchung die dritthäufigsten Szenarien (Einbiegen/Kreuzen-Unfälle) dargestellt. Diese sind sicherheitstechnisch interessant und treten in der amtlichen Statistik sehr häufig auf.

Unfalltypnummer	Teil des Unfalltyps	Anzahl Fälle
141	Fahrunfall	318
101	Fahrunfall	231
102	Fahrunfall	214
681	Unfall im Längsverkehr	120
211	Abbiege-Unfall	115
302	Einbiegen/Kreuzen-Unfall	99
301	Einbiegen/Kreuzen-Unfall	75
321	Einbiegen/Kreuzen-Unfall	65

Tabelle 2: Häufigste Unfalltypnummern [20, Ende Mai 2015]

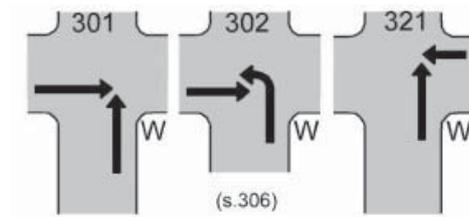


Abbildung 2: Ausgewählte Unfalltypnummern [4]

Die obige Abbildung 2 zeigt die ausgewählten Unfalltypnummern, wie sie im Unfalltypen- Katalog auftauchen. Sie stellen die Unfallszenarien bei der späteren Simulation mithilfe von CarMaker dar.

3.1 Wichtige Parameter des Unfallszenarios

Die ausgewählten Unfallszenarien werden anhand von repräsentativ selektierten Stichproben einzeln hinsichtlich ihrer wichtigsten Parameter analysiert.

Für die Einbiegen/Kreuzen-Unfälle werden folgende Parameter als relevant betrachtet (häufigster Wert):

Unfalltypnummer (302)



Abbildung 3: Typischer Einbiegen/Kreuzen-Unfall (Unfalltypnummer 302) in CarMaker

Ortslage: außerorts

Anzahl beteiligter Fahrzeuge: 2

Fahrbahnzustand: trocken

Fahrbahnwinkel zueinander Bezugspunkt Vorfahrtberechtigter: 75°-90°

Sichtbehinderung: nein

Gefälle / Steigung einlaufender zu Vorfahrtsstraße: 0° - eben

Fahrbahnunebenheiten: nein

Krümmungswinkel Straße 1 Vorfahrtsstraße: 0°-5°

Krümmungswinkel Straße 2: 0°

Anzahl Fahrstreifen (inkl. Abbiegestreifen) Straße 1: 2

Anzahl Fahrstreifen (inkl. Abbiegestreifen) Straße 2: 2

Beschilderung: Vorfahrt achten

Verhalten Vorfahrtberechtigter: Bremsung

falls Bremsung – Bremskraft: verhalten – bis etwa 75 %

Geschwindigkeitsbegrenzung Straße 1: 71-100 km/h

Geschwindigkeitsbegrenzung Straße 2: 30-50 km/h

PKW-Klasse: Mittelklasse

Tageszeit: 15-18 Uhr (Sommer)

Lichtverhältnisse: Tageslicht

4. Simulation der relevantesten Parameter der Unfallszenarien

Das Unfallszenario basiert auf der Unfalltypnummer 302; der Fahrer des Ego-Fahrzeugs will von der Nebenstraße nach links in die Vorfahrtsstraße einbiegen. Von links nähert sich jedoch ein anderes Fahrzeug. Nach etwa 16,5 Sekunden bremst der Fahrer das Fahrzeug ab, da er das „Vorfahrt-achten“-Schild erkennt. Kurz vor dem Einfahren in die Kreuzung erreicht er die Minimalgeschwindigkeit von 3,7 km/h und befindet sich bei $t=25,7$ s auf der Fahrspur des Unfallgegners. Dieser hat die Situation jedoch erst sehr spät erkennen können und bremst erst nach 25 Sekunden sein Fahrzeug ab. Vergeblich, denn nach etwa 25,9 Sekunden kommt es bereits zum Unfall. Dabei hat das sich auf der Vorfahrtsstraße befindliche Fahrzeug eine Restgeschwindigkeit von etwa 70 km/h. Ab dem Zeitpunkt des Unfalls ist die Geschwindigkeitsänderung des Unfallgegners nicht mehr realistisch darstellbar.



Abbildung 4: Der häufigste Einbiegen/Kreuzen-Unfall in der IPGControl-Diagrammdarstellung



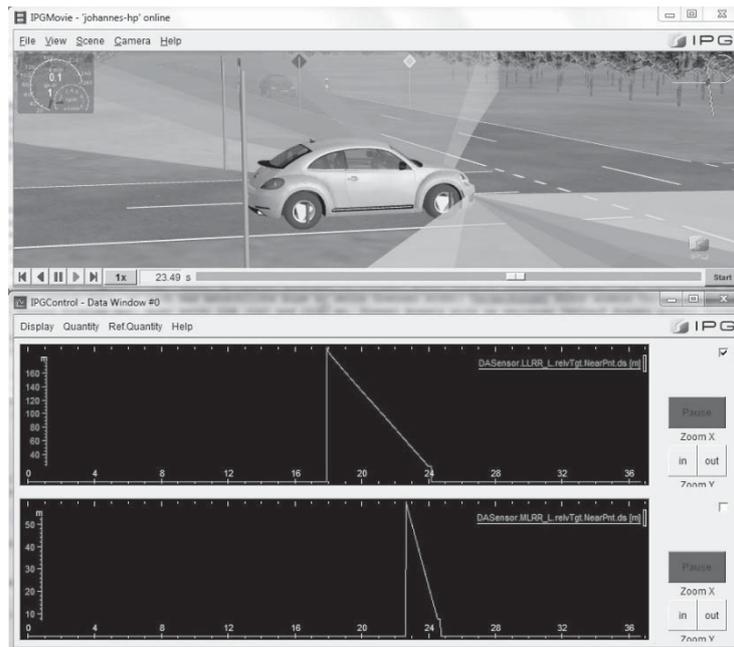
Entscheidend ist, dass dem Fahrer dieses Fahrzeugs weniger als eine Sekunde für den Geschwindigkeitsabbau zur Verfügung stand. In dieser Zeit konnten lediglich etwa 25 km/h der ursprünglichen Geschwindigkeit (96 km/h) abgebaut werden. Selbst bei einer Vollbremsung (Annahme: negative Beschleunigung von 10 m/s^2) sind in diesem Zeitraum lediglich 32,4 km/h abbaubar, bevor es zum Crash kommt. Das heißt, die Restgeschwindigkeit beträgt in diesem Fall immer noch 63,6 km/h. Allerdings ist selbst dieser Fall idealisiert, da die durchschnittliche Reaktionszeit von etwa 0,5 bis mehr als eine Sekunde noch nicht berücksichtigt ist. Um sicher auf das plötzlich einfahrende Ego-Fahrzeug reagieren zu können, muss die Vollbremsung zuvor erfolgen.

Berücksichtigt man die Reaktionszeit (1s) und berechnet man eine verhaltene Bremsung von 7 m/s^2 , so ergibt sich aus dem dortigen Ergebnis von 3,8 Sekunden eine Time To Collision (TTC) von 4,8 Sekunden. Diese Zeit ist bei einem aufmerksamen Fahrer und verhaltener Bremsung notwendig, um das vorfahrtberechtigte Fahrzeug komplett zum Stillstand zu bringen. Aus der Simulation wird jedoch deutlich, dass dies gar nicht notwendig ist. Es muss lediglich sichergestellt werden, dass das Ego-Fahrzeug vollständig eingebogen ist, bevor der Unfallgegner die Kreuzung erreicht. Bremst dieser verhalten ab dem Zeitpunkt $t=23,5 \text{ s}$, ist dieser Vorgang bereits sichergestellt, sodass es bei einer Reaktionszeit von einer Sekunde einer TTC von $1+2,4 = 3,4$ Sekunden bedarf. Assistenzsysteme, die im Gegensatz zu vielen menschlichen Fahrern Vollbremsungen zuverlässig durchführen und in der Regel deutlich schneller reagieren können, liegen beim simulierten Szenario im Bereich von zwei Sekunden TTC zur Unfallvermeidung mithilfe der Bremsung. Ein alternatives Unfallvermeidungsmanöver stellt das Ausweichen dar.

4.1 Kreuzungsassistent

Die hier vorgestellte Variante des Kreuzungsassistenten verwendet Kamera- und Radarsensorik, um den Nah-, Mittel- und Fernbereich abzudecken. Zusätzlich wird der seitliche Bereich des Fahrzeugs gescannt. Als Referenz kann die umfelderfassende Sensorik des Forschungsfahrzeugs Mercedes-Benz S500 Intelligent Drive dienen. An einen Kreuzungsassistenten werden aufgrund der Komplexität von Kreuzungssituationen hohe Anforderungen der Umfelderfassung gestellt, daher existieren bislang auch nur wenige serienreife Systeme. In besonders zeitkritischen Situationen ist ein aktiver Eingriff des Systems, etwa eine Notbremsung, denkbar. Zuvor steht jedoch die Warnung im Vordergrund. Vom Kreuzungsassistenten, der auf sensorbasierter Umfeldererkennung basiert, können unter optimalen Annahmen 28 Prozent aller Unfälle mit Personenschaden vermieden werden [2]. Die Limitierung des rein sensorbasierten Kreuzungsassistenten liegt jedoch dort, wo auch das menschliche Auge an seine Grenzen stößt: Verdeckungen durch andere Verkehrsteilnehmer, Bebauung, Botanik oder weitere Dinge stellen ein großes Problem dar. Hier setzt C2X (C2C und C2I) an. Dieser Ansatz wird im weiteren Verlauf der Arbeit vorgestellt.

In CarMaker wurden zwei Einbiegen-/Kreuzen-Szenarien mit Kreuzungsassistent simuliert. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird an dieser Stelle nur ein Einbiegen/Kreuzen-Unfall beschrieben.



**Abbildung 5: Kreuzungsassistent zur Verhinderung von Einbiegen/Kreuzen-Unfällen.
Roter Kegel: LRR, gelber Kegel: MRR**

Der häufigste Unfall dieses Typs ist in Abbildung 5 dargestellt. Ein Crash kann vermieden werden, da das andere Fahrzeug sowohl vom Long Range Radar als auch vom Mid-Range Radar rechtzeitig erfasst wird. Selbst die Erfassung durch das MRR nach 22,8 Sekunden bedeutet, dass zu diesem Zeitpunkt noch 3,1 Sekunden TTC bleiben und damit nach den Berechnungen in Abschnitt 4.4 noch genügend Zeit zur Verhinderung der Kollision besteht. Hinzu kommt, dass das LRR schon nach etwa 18 Sekunden das andere Fahrzeug erkennt und ab diesem Zeitpunkt Warnungen generiert werden können.

4.2 Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation

Einen sehr interessanten Ansatz zur Steigerung der Verkehrssicherheit stellt die Fahrzeug- zu-Fahrzeug-Kommunikation, kurz C2C (andere Abkürzung: V2V), dar. Die Idee der Vernetzung von Fahrzeugen wurde bereits in einem groß angelegten Feldversuch namens „simTD – Sichere Intelligente Mobilität Deutschland“ getestet.

Bei C2C handelt es sich um ein warnendes System, das zur Erkennung von kritischen Verkehrssituationen auf umfeldwahrnehmende Sensorik angewiesen ist, die von Fahrzeug zu Fahrzeug variiert, für einen sicheren Betrieb des Systems jedoch möglichst einheitlich sein sollte. Im simTD-Feldversuch konnte auf gerader Landstraße eine Reichweite von 580 Metern gemessen werden, innerstädtisch waren selbst mit Gebäudeverdeckung noch fast 100 Meter möglich. TTC und Zuverlässigkeit der Nachrichtenübertragung waren zu meist sehr zufriedenstellend, sodass die Marktreife prinzipiell gegeben ist.

Für die Simulation in CarMaker wurde das Ego-Fahrzeug mit den bereits für den Kreuzungsassistenten verwendeten vier umfeldwahrnehmenden Sensoren für die Erfassung des Fahrzeug-Frontbereichs ausge-



stattet. Auf die Darstellung der Erfassungsbereiche durch farbliche Kegel wurde jedoch verzichtet, zumal C2C in den untersuchten Szenarien jeweils das FAS war, das den anderen Verkehrsteilnehmer zuerst erkannte. Eine genaue Nachbildung der Funktionsweise war jedoch nicht möglich. Die Bekanntgabe der eigenen Position durch das periodische Senden von Nachrichten wurde durch das Blinken des linken Rückfahrscheinwerfers dargestellt. Selbst bei einer pessimistisch geschätzten Nachrichtenreichweite von 200 Metern sind im Einbiegen/Kreuzen-Szenario und bei einem äußerst späten, jedoch mit 5 m/s² verhaltenen Bremsen des Ego-Fahrzeugs noch 5,3 Sekunden ausreichend, um das Fahrzeug vor der Kreuzung zum Stillstand zu bringen. Dort wäre das andere Fahrzeug in diesem Fall erst nach 5,9 Sekunden. Realistisch ist jedoch eine größere Reichweite (vgl. simTD) und ein früheres Abbremsen des Ego-Fahrzeugs. Die betrachteten Abbiege-Unfälle sind durch die große Reichweite von C2C selbst bei verdeckten Objekten gut vermeidbar.

5. Ergebnisse und Ausblick

Eine wichtige Erkenntnis dieser Arbeit ist, dass ein erheblicher Anteil an Verkehrsunfällen durch Fahrerassistenzsysteme adressierbar oder vermeidbar ist. Weiterhin wurde deutlich, dass das Feld der FAS auch beim ADAC einen Schwerpunkt bildet. Die Sicherheitspotenziale der einzelnen FAS konnten durch ausführliche Literaturrecherche miteinander verglichen werden. Es stellte sich ebenfalls heraus, dass die aktive im Vergleich zur passiven Sicherheit noch weitaus mehr Entwicklungs- und Innovationspotenzial bietet. Gleichzeitig steigen auch die Testanforderungen, da ständig neue Systeme auf den Markt kommen und sich diese oft in ihrer Funktionalität im Detail voneinander unterscheiden. Der ADAC wird auch weiterhin sämtliche FAS möglichst realitätsnah testen, um den Fahrzeugkäufern Ratschläge geben zu können. Dabei wird es künftig von großer Bedeutung sein, die Testbedingungen und -kriterien weiterzuentwickeln.

Fußgänger- und Fahrradfahrerbeteiligungen sind in den untersuchten Unfallszenarien selten, im gesamten Unfallgeschehen allerdings häufig anzutreffen, vor allem innerorts. Weiterführende Arbeiten könnten hier ansetzen und entsprechende Szenarien untersuchen sowie in CarMaker simulieren. Die Akzeptanz der Kunden spielt bei den Chancen neuartiger FAS eine wichtige Rolle. Umfragen und Probandenversuche sind hierbei wichtige Werkzeuge, die dem ADAC zur Verfügung stehen und auch weiterhin genutzt werden sollten. Für CarMaker könnte eine Testautomatisierung in Form einer leicht bedienbaren grafischen Benutzeroberfläche oder eines Programms geschrieben werden. Sollten FAS beim ADAC künftig auch simulativ getestet werden, könnte CarMaker hierbei ein hilfreiches Werkzeug darstellen.

Die FAS-Testverfahren stecken aktuell, bis auf wenige Ausnahmen, noch in den Kinderschuhen. Daher sind die Vorschläge dieser Arbeit auch als solche zu verstehen und dienen vielmehr als Orientierungshilfen für den konkreten Test.

6. Einschränkungen der Arbeit

Da die Fahrdynamiksimulation IPG CarMaker kein Schadensmodell für das Ego-Fahrzeug bietet, kann der Crash selbst nicht dargestellt werden. Damit einhergehend ist auch eine Bewertung der Karosserieverfor-



mung und der Verletzungsschwere der Unfallopfer nicht möglich – ein Dummy wurde zwar beispielsweise im VISAPS-Forschungsprojekt [1] eingesetzt, ist jedoch standardmäßig nicht verfügbar. In dieser Arbeit wurde der Fokus ausschließlich auf Personenkraftwagen gelegt, da diese in der ADAC UFO weitaus mehr dominieren als im gesamten Unfallgeschehen. Zudem ist die Darstellung von motorisierten Zweirädern erst durch die Verwendung von MotorcycleMaker möglich. Bewegliche Fußgänger können in CarMaker 5 simuliert und von der Fahrzeug-sensorik erkannt werden, daher sollte diese Version auch für die Simulation von Unfällen mit Fußgängerbeteiligung eingesetzt werden.

Literaturverzeichnis

- [1] T Brandmeier, Vernetzung und Integration von Sicherheitssystemen der Aktiven und Passiven Sicherheit (VISAPS und VISAPS2); Website 2012
- [2] D Daschner, J Gwehenberger, S Schwarz, G Wermuth; M Schönfelder, F Hofmann , Unfallstruktur- und Wirkpotenzialanalysen zu den AKTIV-Applikationen auf der Basis von PKW- Haftpflichtschäden mit Personenschäden / AZT Automotive GmbH; Forschungsbericht 2010
- [3] Statistisches Bundesamt: Statistiken zu Verkehrsunfällen in Deutschland. Website, 2015. ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/TransportVerkehr/Verkehrsunfaelle/Verkehrsunfaelle.html#Tabellen
- [4] Institut für Straßenverkehr Köln; ISK, Unfalltypenkatalog, 2010





Neue Herausforderungen an die Unfallforschung durch Fahrerassistenz und automatisiertes Fahren

Andre Seeck

Leiter der Abteilung Fahrzeugtechnik, Bundesanstalt für Straßenwesen

1. Einführung

Die traditionelle Verkehrsunfallforschung beschäftigt sich mit der wissenschaftlichen a posteriori Analyse von Verkehrsunfällen. Zu diesem Zweck werden Realunfälle von speziell geschulten Teams dokumentiert und der Unfallverlauf rekonstruiert. Eine vollständige Dokumentation umfasst insbesondere die Sicherung aller unfallrelevanten Spuren vor Ort (u.a. Reifenspuren, Bremsspuren, Schlagspuren, Material- und biologische Spuren, Beschädigungen, Spurstörungen, Endlagen, etc.). Basierend auf den gesammelten Spuren werden Einlauf, Kollisionspunkt und Auslauf des Unfalls bestimmt und eine vollständige kinematische Rekonstruktion des unmittelbaren Unfallablaufs berechnet.

Historisch gesehen dienten Unfalldaten in erster Linie dazu, Maßnahmen abzuleiten, welche die Folgen eines Unfalles möglichst gering halten. Klassischerweise fallen in diese Betrachtung alle Wirkweisen der passiven Fahrzeugsicherheit, insbesondere z.B. der Sicherheitsgurt, der Airbag oder die Sicherheitszelle des Kraftfahrzeuges. Weitere Maßnahmen zur Reduzierung der Unfallfolgen bestehen in der Verbesserung der Rettungskette, z.B. durch eCall oder durch die Optimierung der Rettungszeiten, der Rettungstechnik und der medizinischen Versorgung.

Durch die zunehmende Präsenz von aktiven Fahrzeugsicherheitssystemen im modernen Pkw werden die Konsequenzen eines Unfalles heute bereits vor der eigentlichen Kollision minimiert. So stellt z.B. der Bremsassistent bei einer offensichtlichen Gefahrenbremsung mit geringerer Latenzzeit als ein durchschnittlicher Fahrer den maximal möglichen Bremsdruck zur Verfügung und erreicht somit eine Reduktion der Kollisionsgeschwindigkeit, ggf. ihre Vermeidung. Aktuelle aktive Sicherheitssysteme mit Umfeldwahrnehmung gehen noch einen Schritt weiter und können durch einen aktiven Eingriff in die Fahrzeugsteuerung u.U. sogar eine bevorstehende Kollision vollständig verhindern, regelmäßig aber zumindest die Unfallschwere im Anwendungsfall reduzieren. Wenn eine Kollision unvermeidbar ist, kann diese Situationsinterpretation genutzt werden, um z.B. die Auslösealgorithmen von Systemen der passiven Sicherheit zu schärfen und somit den Schutz von Insassen oder auch den Schutz von äußeren Verkehrsteilnehmern verbessern. Hier spricht man dann von integrierter oder integraler Fahrzeugsicherheit.

2. Fahrzeugtechnische Regler (Assistenz und AF)

Aktiv – und nicht lediglich fahrerinformierend – ausgelegte Funktionen, die aktiv in die Fahrzeugsteuerung eingreifen, lassen sich nach ihrer Wirkweise unterscheiden:



Wirkweise A: Informierende und warnende Funktionen	Wirkweise B: Kontinuierlich automatisierende Funktionen	Wirkweise C: In unfallgeneigten Situationen temporär intervenierende Funktionen
Wirken ausschließlich und „mittelbar“ über den Fahrer: 1. Statusinformation 2. Abstrakte Warnung 3. Konkrete Warnung	Haben unmittelbaren Einfluss auf die Fahrzeugsteuerung (bewusste Übertragung durch den Fahrer – arbeitsteilige Ausführung). Immer übersteuerbar.	Präventive maschinelle Intervention bei negativer Situationsprognose: I. Fahrer als Regler verhält sich nicht erwartungskonform/ ist nicht erreichbar oder II. in kollisionsnahen Situationen, die Fahrer/Regler leistungsbedingt nicht kontrollieren

Systeme der Wirkweise B assistieren oder automatisieren die Fahraufgabe kontinuierlich (z.B. ACC). Typischerweise werden sie über einen längeren Zeitraum vom Fahrer aktiviert. Diese kontinuierlich wirkenden Funktionen entwickeln sich aufgrund zunehmender Automatisierung von Fahrzeugen weiter bis hin zur künftigen, vollständigen Übernahme von Fahraufgaben alleine durch das System (z.B. Autobahnchauffeur, Autobahnpiilot). Es handelt sich somit nicht mehr um eine redundant-parallele Steuerung von Fahrzeugen zeitgleich durch den Fahrer und die Maschine (wie im Fall von assistierenden Systemen, bspw. ACC), sondern um eine (zumindest zeitweise) rein maschinelle Steuerung.

Es lässt sich heute annehmen, dass solche hoch- oder vollautomatisierten Funktionen bei der Fahrzeugsteuerung nicht denselben Einschränkungen wie menschliche Fahrer unterliegen, sondern ggf. andere, spezifische, sog. Automatisierungsrisiken aufweisen. Automatisierungsrisiken sind aktuell als Gegenstand der Absicherung automatisierten Fahrens Gegenstand der Forschung und sollen hier zunächst nicht weiter betrachtet werden.

Konkret ist somit anzunehmen, dass auch extrem monotone Tätigkeiten durch eine maschinelle Steuerung jederzeit sicher ausgeführt werden können, ohne nachteilige Ermüdungserscheinungen menschlicher Fahrer in Kauf zu nehmen. Zugleich werden Situationen bewusst herbeigeführten Fahrerlebnisses durch menschliche Fahrer bei Nutzung automatisierter Fahrfunktionen von vornherein ausgeschlossen. „Riskanter Fahrstil“ wird von vornherein durch ein geeignetes, möglichst sicheres Steuerungsverhalten ersetzt.

Gleichwohl ergeben sich auch innerhalb der Wirkweise B bei automatisierter, rein maschineller Steuerung noch erhebliche Unsicherheiten dahingehend, welche Annahmen für kritische Situationen beim allgemein zu erwartenden „Mischverkehr“ mit fahregesteuerten Fahrzeugen zu treffen sind: Unklar ist bereits, ob sich die Interaktion zwischen Fahrzeugen grundlegend verändert, wenn auch eine rein maschinelle Regelung zur Anwendung kommt und wenn dies so ist, in welchen Situationen sich dies bemerkbar macht.

Insgesamt ist aber durch den hieraus resultierenden stetigeren Fahrverlauf mit einer geringeren Anzahl von Konflikten zu rechnen.



Agieren Regler der Wirkweise B kontinuierlich im „Normalfahrbereich“, so agieren fahrzeugtechnische Regler der Wirkweise C von vornherein im Bereich der „unfallgeneigten Fahrsituationen“.

Unfallgeneigte Fahrsituationen ergeben sich, wenn das Durchführen der Fahraufgabe durch im Allgemeinen unerwartete endogene oder exogene Faktoren (z.B. durch Unaufmerksamkeit des Fahrers oder durch plötzliche Manöver anderer Verkehrsteilnehmer) nicht mehr stetig fortgeführt werden kann. Es kommt zu einem Bruch innerhalb der gewählten Fahrstrategie eines Fahrers, welche in der Folge die Ursache für Fehlhandlungen sein kann.

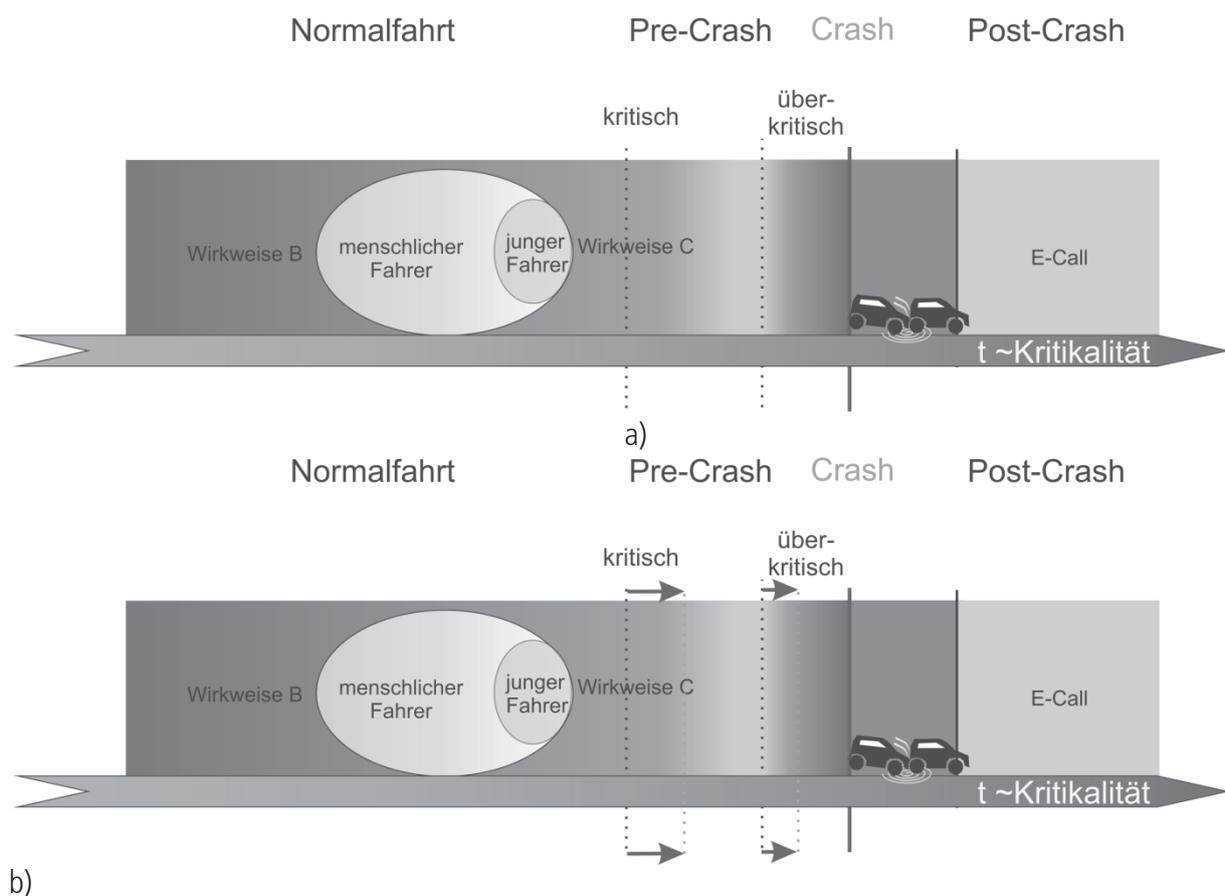


Abbildung 1: Darstellung der Wirkweisen aktiver fahrzeugtechnischer Regler in Abhängigkeit von der Kritikalität des Fahrzustandes; a) heute b) weiterentwickelte Technik

Zum ändern ist zu erwarten, dass sich für kontinuierlich regelnde Fahrfunktionen die durch Steuerungseingriffe beeinflussbare Grenze der Fahrzeugsteuerung in kritischen Situationen verschieben wird. Nimmt ein menschlicher Fahrer eine Situation heute als „kritisch“ wahr und leitet eine Gefahrenbremsung ein, so erfolgt dies zunächst immer verzögert durch menschliche Gefahrerkennungs- und Reaktionszeiten. Automatisierte Fahrfunktionen haben bei zunehmend verbesserter Umfeldwahrnehmung und Situationsinterpretation das Potential, im selben Gefahrenmoment wesentlich länger durch einen gezielten Steuerungseingriff aus der kritischen Situation herauszuführen bzw. dieselbe Fahrsituation auszuregeln.



Funktionen der Wirkweise C greifen in kritischen Fahrsituationen direkt in die Fahrzeugsteuerung ein, wenn diese mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit zu einem Unfall führen. Solche Funktionen entfalten im Allgemeinen mit zunehmender situativer Kritikalität, beginnend mit konkreter Gefahrenwarnung an den Fahrer, eine vollständige Assistenzkaskade und können – wenn ein Unfall unvermeidbar erscheint – selbstständig eine Gefahrenbremsung (oder zukünftig sogar ein Ausweichmanöver) einleiten, um eine Kollision zu verhindern. Entwickelt sich eine Situation gleichwohl im „überkritischen“ Bereich, ist ein Unfall nicht mehr zu vermeiden.

3. Anforderungen an die Unfallforschung

Mit der zunehmenden Systemkomplexität neuer Assistenzsysteme und HAF steigt die Gefahr von funktionsgenerierten Fehlern. Die Absicherung solcher Systeme ist deshalb für den Hersteller und die Prüfung und Bewertung im Rahmen der Zulassung für die Typgenehmigungsbehörde von großer Bedeutung. Auch für die Unfallforschung wird entscheidend sein, diesen Steuerungsfehler als solchen zu kennen.

Abbildung 2 zeigt, welche Datenquellen der Verkehrsunfallforschung heute potentiell zur Verfügung stehen. Traditionell werden ausführliche Dokumentationen zu Unfällen mit Personenschäden erstellt. Diese Daten erlauben ex post einen detaillierten Blick auf die Spitze der in Abbildung 2 dargestellten Pyramide. Mit Hilfe dieser Daten können zunächst passive Sicherheitssysteme sowie – bei entsprechender Dokumentation der Rettungskette – „Postcrash“ Verfahren verbessert werden. Zur Bewertung von aktiven fahrzeugtechnischen Reglern der Wirkweisen C (unfallnah) sind Unfalldaten nur noch eingeschränkt tauglich. Zur Bewertung weiter vorausliegender Ereignisse und Zustände im Rahmen kontinuierlicher Fahrzeugsteuerung (Wirkweise B) sind sie von vornherein limitiert und teilweise sicherlich auch ungeeignet.

In einem ersten Ansatz wird der Ablauf von realen Unfällen – basierend auf hochdetaillierte **GIDAS Daten** (German In Depth Accident Study) – in den Bereich der kritischen Situation extrapoliert. Da es sich dabei um eine Extrapolation handelt, ist die Information zum genauen prekollisionären situativen Kontext allerdings meistens unvollständig und nicht uneindeutig. In der Folge ergibt sich somit eine Schar von möglichen Ausgangsszenarien, die alle zum dokumentierten Unfall hätten führen können. Je weiter man den zeitlichen Verlauf der Vorunfallphase extrapoliert, desto ungenauer wird die Beschreibung des Unfall-Ausgangsszenarios. Insbesondere ist es mit diesem Verfahren im Allgemeinen nicht möglich, bis in die Phase der Normalfahrt vor dem Unfall zu sehen.

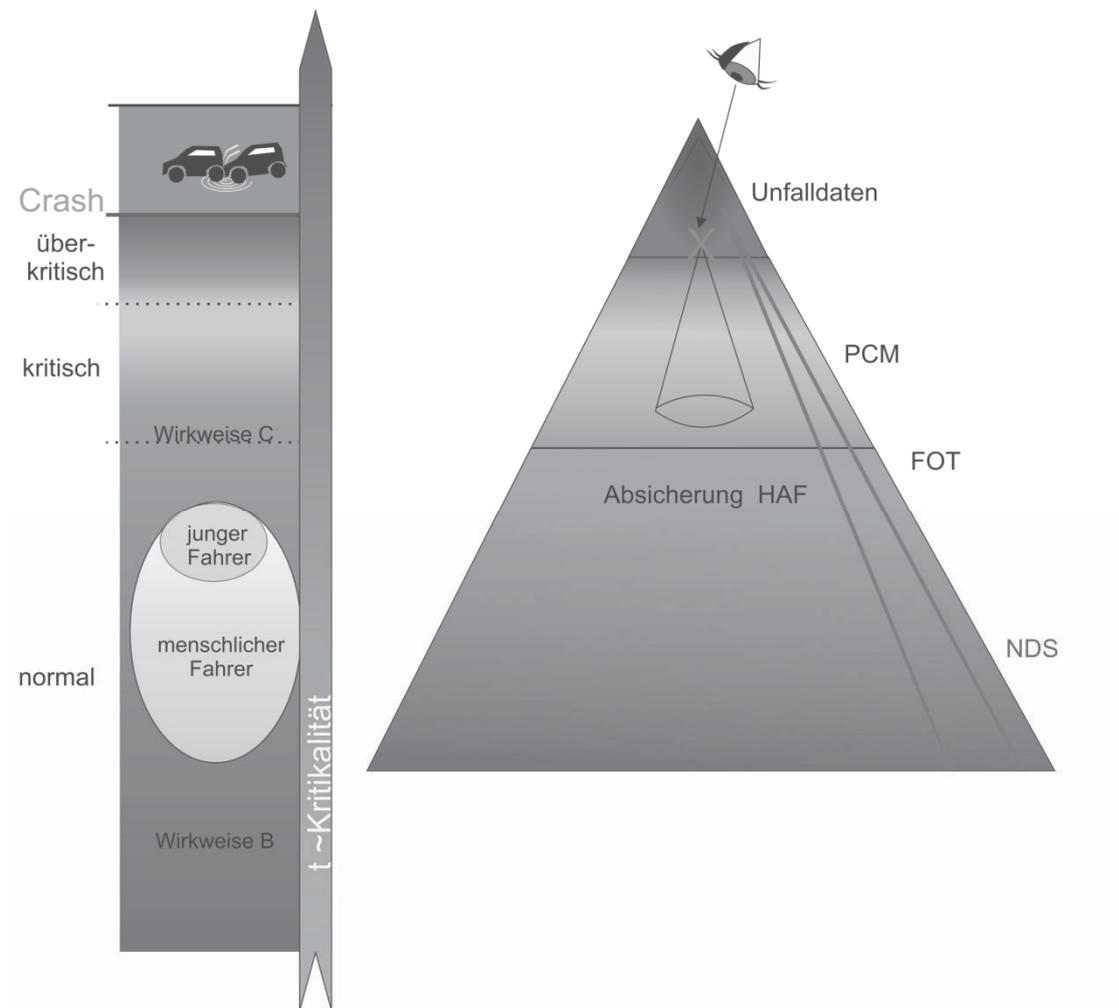


Abbildung 2: Datenquellen der Verkehrsunfallforschung

Um einen repräsentativen Ausschnitt des Verkehrsgeschehens betrachten zu können, wird eine Szenariendatenbank mit relevanten Verkehrssituationen benötigt.¹ Der Nutzen einer solchen Szenariendatenbank liegt darin, Wirkzusammenhänge automatisierter Fahrfunktionen im Mischverkehr mit konventionell gesteuerten Fahrzeugen zu identifizieren und zu systematisieren. Dabei liegt der Fokus auf kritischen, unfallgeneigten Verkehrssituationen und Zustände, die diesen vorgelagert sind – also Normalfahrsituationen, die regelmäßig an der Grenze zur kritischen Situation liegen. Zur Absicherung und Bewertung von automatisiertem Fahren ist von Bedeutung, ob die Funktion bevorstehende kritische Situationen von vornherein durch eine veränderte Steuerungsstrategie vermeidet bzw. stetig abfängt bevor in der unfallgeneigten Situation (Wirkungsweise C) in die Fahrzeugsteuerung eingegriffen werden muss.

Die Szenariendatenbank kann beispielsweise mit verschiedenen Naturalistic Driving Studies (NDS), Daten aus Fahrversuchen oder auch aus Versuchen im Fahrsimulator befüllt werden. Naturalistic Driving Studies

¹ Vgl. hierzu: Eckstein, Lutz, „Kreislauf relevanter Verkehrssituationen“. Parametrierbare Verkehrsszenarien zur Absicherung automatisierter und vernetzter Fahrfunktionen.



verfügen über einen Anteil von detailliert dokumentierten kritischen Situationen. Je nach Größe der Studie werden im Regelfall hier jedoch keine Unfälle beobachtet.

4. Verbleibendes inhärentes Unfallrisiko

Bei zunehmender Durchdringung der Flotte mit kontinuierlich automatisierten Fahrfunktionen, die eine rein maschinelle Regelung aufweisen ist aus den oben genannten Gründen mit einer deutlichen Abnahme der Anzahl kritischer Verkehrssituationen – jedenfalls innerhalb des jeweiligen Usecase – zu rechnen. Gleichzeitig ist zu erwarten, dass sich die Zahl der Verkehrsunfallopfer entsprechend reduziert. Zugleich entschärfen Funktionen für unfallgeneigte Situationen diese kritischen Situationen, die in der Folge nicht mehr unmittelbar zu Unfällen führen werden.

In jedem Fall verbleibt voraussichtlich eine Restmenge von systemimmanenten Unfällen, die (bei der heutigen Organisation des Straßenverkehrs) als unvermeidbar gelten müssen. Idealerweise wird es in einem geeigneten Zusammenspiel mit weiteren Verbesserungen im Bereich der passiven Sicherheit möglich sein, die Anzahl der hochkritischen Unfälle – mit Todesfolge – dabei gegen einen Minimalwert laufen zu lassen.



Mit Assistenten auf dem Weg zu Vision Zero

Dr. Ralf Tenzer

Konzernunfallforschung, Volkswagen AG

1. Status des Unfallgeschehens

Die Verringerung von Unfällen und deren Folgen ist ein gesamtgesellschaftliches Ziel, das aller Anstrengungen wert ist. Am Horizont steht die Vision vom unfallfreien Fahren oder zumindest ohne Schwerverletzte und Getötete, Vision Zero genannt¹. Nachdem die Zahl der Getöteten in Verkehrsunfällen von 2000 – 2010 in Deutschland halbiert wurde und die Zahl der Schwerverletzten im gleichen Zeitraum um 39% gesunken ist, schien die Umsetzung dieser Vision auf einem guten Weg. Mit der Stagnation der Zahl der Getöteten um 3.500 und der Schwerverletzten um 67.000 in den letzten vier Jahren ist die Vision Zero ins Stocken geraten² (Abbildung 1).

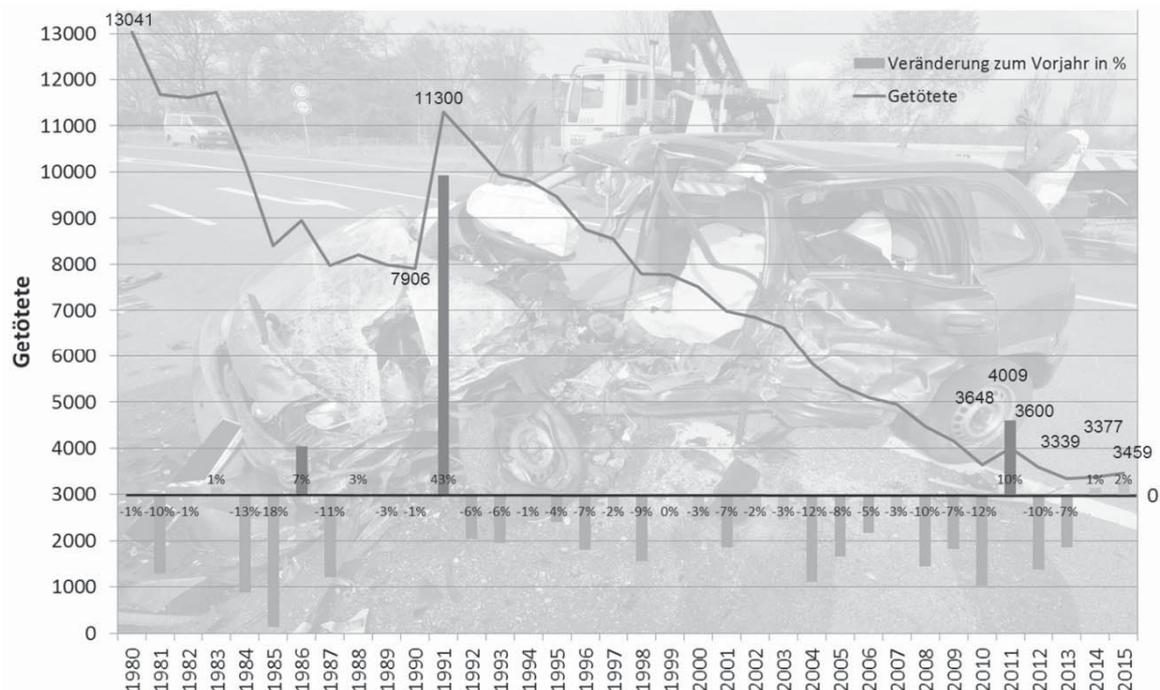


Abbildung 1: Getötete in Verkehrsunfällen in Deutschland 1980-2015, Quelle: DESTATIS ²

¹ Tingvall, Claes, The Zero Vision. A road transport system free from serious health losses. International Conference on Traffic Safety, Communication and Health, 1995, in: Holst, Hans von; Nygren, A., Thord, R. (Eds.), Transportation, Traffic Safety and Health. Springer Verlag, 1997, pp. 37-57

² Verkehrsunfälle 1980-2015, DESTATIS, Fachserie 8 Reihe 7, Wiesbaden 1981-2016



Eine weitere Halbierung der Verkehrstoten von 2010 bis 2020, wie in der Berliner Erklärung³ formuliert, ist aus heutiger Sicht sehr ambitioniert. Warum sinkt die Zahl der Getöteten und Schwerverletzten nicht weiter? In DESTATIS⁴ wird jährlich dargestellt, bei welchen Unfallarten wie viele Verkehrsteilnehmer ums Leben kommen. Die Unfallart beschreibt vom gesamten Unfallablauf die Bewegungsrichtung der beteiligten Fahrzeuge zueinander beim ersten Zusammenstoß auf der Fahrbahn oder die erste mechanische Einwirkung auf einen Verkehrsteilnehmer, wenn kein Zusammenstoß erfolgt. Beim Vergleich der Jahre 1991 und 2015 stellen wir kaum eine Veränderung der Verteilungen für die Unfallarten bezogen auf die getöteten Verkehrsteilnehmer fest (Abbildung 2).

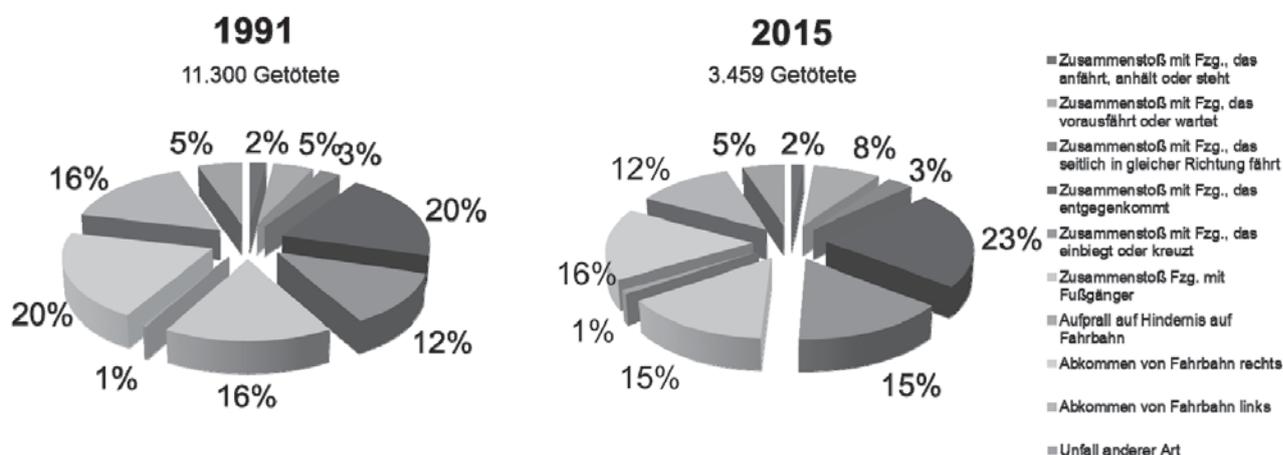


Abbildung 2: Getötete nach Unfallarten 1991 und 2015 nach DESTATIS⁴

Das heißt, in der Vergangenheit hat die Automobilindustrie Maßnahmen ins Fahrzeug gebracht, die bei mehreren Unfallarten einen positiven Effekt gehabt haben. Die Unfallzahlen zeigen, dass es nicht mehr die EINE Maßnahme gibt, um die Zahl der Getöteten wirksam zu verringern. Die Fahrerassistenzsysteme unterstützen den Fahrer in einzelnen Situationen, aber ihre Marktdurchdringung ist bis auf ESC und ABS noch unter 10% nach dem Dat-Report 20165. Im Folgenden werden einige Unfallkonstellationen dargestellt, bei denen es leider immer noch viele Verkehrstote gibt.

2. Das Verkehrsgeschehen aus Sicht der passiven Sicherheit

Die Auswertung der GIDAS Datenbank durch die Volkswagen Unfallforschung zeigt, dass bei Frontalunfällen der Offset-Crash nach dem Full Frontal die zweithäufigste frontale Unfallkonstellation ist. Die Analyse der bei einem Frontalcrash erlittenen Unfallfolgen belegt, dass das Risiko schwerster Verletzungen bei Small Overlap und Oblique ähnlich hoch ist wie beim Offset⁶. Der 64 km/h ODB Crash deckt den Offset

³ Berliner Erklärung zur Fahrzeugsicherheit, Prof. Schindler, VDI-Gesellschaft Fahrzeug- und Verkehrstechnik, Tagung Fahrzeugsicherheit, Berlin, 2011

⁴ Verkehrsunfälle 1991, 2015, DESTATIS, Fachserie 8 Reihe 7, Wiesbaden 1992, 2016

⁵ <http://www.dat.de/fileadmin/media/download/DAT-Report/DAT-Report-2016.pdf>

⁶ Andricevic, Nino, Dissertation: Robustheitsbewertung crashbelasteter Fahrzeugstrukturen, Universität Freiburg, 2016



Crash im Feld weitgehend ab. Ergänzend müssten Tests für Small Overlap und Oblique eingeführt werden, die eine weitere Versteifung und Gewichtszunahmen für das Fahrzeug bedeuten würden.

Nach GIDAS sterben fast die Hälfte der Pkw Insassen im Seitencrash. Trotz des Einsatzes hochfester Stähle kann das Eindringen des stoßenden Fahrzeuges oder von Hindernissen oft nicht vermieden werden. Ein verstärkter Seitenschutz müsste schon sehr massiv sein, um ohne die nicht vorhandene Knautschzone auszukommen. Dann stellt sich allerdings das Problem der auf den Insassen wirkenden Beschleunigungen.

In 2015 starben auf Außerortsstraßen ohne Autobahnen 71% (1148) der Pkw Insassen⁷. Davon kamen wiederum 40% durch Alleinunfälle ums Leben. Ein Szenario ist das Abkommen von der Fahrbahn mit dem Anprall am Baum. Wie heutige Fahrzeuge bei hohen Geschwindigkeiten bei einem frontalen „between the rails“ Pfahlcrash reagieren, haben Dekra und Auto Bild eindrucksvoll mit einem Opel Mokka (80 km/h) und Peugeot 406 Kombi (100 km/h) gezeigt⁸. Allerdings brauchen wir diesen Lastfall nicht passiv zu lösen, da der Fahrer aktiv unterstützt werden kann, um den Unfall in vielen Fällen zu vermeiden.

Das Unterfahren von Lkws stellt ein weiteres Problem dar, bei dem Pkw Insassen ums Leben kommen. Obwohl die A-Säulen der modernen Pkws aus hochfesten Stählen sind, können sie den Kräften beim Unterfahren nicht widerstehen. Leider bieten viele der heutigen Unterfahrschutze bei Lkws den Crashstrukturen der Pkws nicht das notwendige Widerlager, um das Unterfahren zu vermeiden, von einer Nachrüstung alter Auflieger und Anhänger ganz zu schweigen. Also wird der Pkw das Problem aktiv lösen müssen.

Diese Aufzählung ließe sich noch weiter fortführen mit der Konsequenz, dass neue Fahrzeuge immer steifer und wohl auch schwerer werden müssten. Fahrzeug-Fahrzeug Crashes würden dann in Hinblick auf Gewichtskompatibilität gerade mit leichteren älteren Fahrzeugen noch herausfordernder. Die Übertragung der Crashenergie auf die Fahrzeuginsassen durch die extrem steifen Fahrzeugstrukturen würden ebenfalls deutlich steigen mit entsprechenden Risiken.

3. Möglichkeiten der Assistenz

Auf der anderen Seite hat der Pkw Fahrer auch eine Verantwortung gegenüber den ungeschützten Verkehrsteilnehmern, den VRUs (Vulnerable Road User). Auf deutschen Straßen starben 2015 nach dem Statistischem Bundesamt⁹ 317 Fußgänger, 189 Radfahrer und 271 motorisierte Zweiradfahrer in Unfällen mit Pkw Beteiligung (in Unfällen mit genau zwei Beteiligten). Das sind 22% aller Verkehrstoten oder 48% aller tödlich Verunglückten VRUs. Der Schutz der VRUs durch Maßnahmen am Pkw hat dazu geführt, dass die unteren Extremitäten besser geschützt werden. Nur sterben VRUs in der Regel nicht an gebrochenen Beinen, sondern an Kopf und Thorax-Verletzungen. Untersuchungen des GDV¹⁰ zeigen den eingeschränkten Nutzen der sich aufstellenden Motorhaube. Selbst wenn die Pkw-Hersteller das Fahrzeug vor einem Unfall mit einem VRU komplett abpolstern würden, bleibt für den VRU trotzdem der harte Aufschlag auf der Stra-

⁷ Verkehrsunfälle 1991, 2015, DESTATIS, Fachserie 8 Reihe 7, Wiesbaden 1992, 2016

⁸ <http://www.autobild.de/artikel/baumcrash-mit-peugeot-406-kombi-5851862.html>

⁹ Verkehrsunfälle 2015, DESTATIS, Fachserie 8 Reihe 7, Wiesbaden 2016

¹⁰ Kühn, M., Hummel, T., Hamacher, M., Technical measuers at the vehicle front, 11. Praxiskonferenz Fußgängerschutz, Bergisch-Gladbach, 2016



ße. Diese Verletzungen können nur durch eine Unfallvermeidung verhindert bzw. durch eine Geschwindigkeitsreduktion gemildert werden.

Um die Vision Zero wieder auf den Zielpfad zu bringen, muss die Unfallvermeidung und die aktive Unfallfolgenminderung in den Vordergrund rücken bis hin zum automatischen Fahren. Dabei darf der Schutz der Fahrzeuginsassen nicht vernachlässigt werden, denn solange es noch manuell gesteuerte Fahrzeuge gibt, wird es auch Unfälle geben.

Durch die Unterstützung des Fahrers in kritischen Verkehrssituationen können Fahrerassistenzsysteme in einem ersten Schritt die Folgen mindern oder ganz verhindern. Als Beispiele seien hier die AEB im Golf 7 und der Totwinkelassistent genannt. Die AEB Funktion im Golf 7 reduziert die Auffahrunfälle nach Thatcham um 45% bei Third party injury claims und um 20% bei Third party damage claims¹¹. Weitere Studien zeigen eine unfallvermeidende Wirkung von AEB Systemen bei Heckkollisionen um 38%¹². Das automatische Bremsen auf VRUs, wie im aktuellen Testverfahren bei EuroNCAP und ab 2018 auch für Fahrradfahrer gefordert¹³, wird einen Teil der Unfälle mit Pkws verhindern oder zumindest die Kollisionsgeschwindigkeit verringern. Nicht alle Konfliktsituationen mit VRUs können durch das Auto gelöst werden. Durch die hohe Beweglichkeit der VRUs im Vergleich zum Pkw und das damit einhergehende unvorhersehbare Verhalten der VRUs sind dem Fahrzeug Grenzen gesetzt. Hier muss Maßnahmen außerhalb vom Fahrzeug nachgedacht werden.

In einem zweiten Schritt können Assistenzsysteme kritisch werdende Situationen frühzeitig entschärfen. Hier sei der Emergency Assist des neuen Passat, der Spurhalteassistent und die Car2X Kommunikation genannt.

Der Emergency Assist bringt das Fahrzeug in den sicheren Zustand, wenn der Fahrer zum Führen des Fahrzeuges nicht mehr in der Lage ist. So werden die Teilnahme eines führerlosen Fahrzeuges am Straßenverkehr und die entsprechenden Folgen verhindert. Der Spurhalteassistent greift vor dem Abkommen von der Fahrspur ein und verhindert Kollisionen mit anderen Verkehrsteilnehmern durch ungewollten Spurwechsel bzw. mit Hindernissen neben der Fahrbahn. Hat sich die Car2X Kommunikation erst einmal im Markt etabliert, so können sich Fahrzeuge gegenseitig warnen und Informationen über das Verkehrsgeschehen austauschen aber auch von der Infrastruktur bekommen. Über Car2X kann der Fahrer Informationen erhalten, die zum Zeitpunkt des Empfangs noch nicht in seinem Sichtfeld bzw. schwierig zu erfassen sind.

4. Auf dem Weg zum automatischen Fahren

Die finale Ausbaustufe der Assistenzsysteme stellt das automatische Fahren dar. Hierbei wird die Einführung hochautomatischer Fahrfunktionen auf zweierlei Weise positiv auf das Unfallgeschehen wirken. Zum einen werden hochautomatische Fahrfunktionen von sich aus jedwede kritische Verkehrssituation vermeiden, indem das automatisch gesteuerte Fahrzeug sehr defensiv am Verkehr teilnimmt. Dies wird vom Kun-

¹¹ Doyle, Edwards, Avery, Thatcham MIRRC Research, ESV 2015, PaperNo. 15-0058-O

¹² Fildes et al, Accident Analysis and Prevention 81 (2015) 24-29

¹³ EuroNCAP Roadmap 2020, March 2015



den gerade auf langen Strecken akzeptiert werden, da der Fahrer, einmal von der Fahraufgabe entbunden, sich anderen Dingen widmen wird als dem Verkehrsgeschehen und der Zeitverlust durch entsprechend defensives automatisches Fahren voraussichtlich akzeptiert wird. Zum zweiten führen hochautomatische Fahrfunktionen zu verbesserter Sensorik im Fahrzeug, die auch bei deaktiviertem automatischem Fahrmodus im Hintergrund genutzt werden kann. So dient die verbesserte Sensorik als Backup für den Fahrer und ermöglicht eine noch bessere und frühzeitigere Unterstützung wenn erforderlich.

Der Straßenverkehr wird durch die Einführung neuer und verbesserter aktiver Sicherheitssysteme sicherer werden, aber auch komplexer. Die Herausforderungen durch neue Unfallszenarien und dem Mischverkehr aus automatisch und manuell geführten Fahrzeugen müssen beachtet werden. Trotzdem wird das automatische Fahren den Straßenverkehr langfristig sicher machen. Der Weg zur Vision Zero wird über das automatische Fahren führen.





Beitrag von Reifen und Assistenzsystemen zur Unfallvermeidung

Dr. Thomas Schulze

Leiter Expertenfeld Kontaktphysik, Continental Reifen Deutschland GmbH

Bernd Hartmann

Leiter Erweiterte Fahrerassistenzsysteme und Reifeninteraktionen, Systems & Technology –
Chassis & Safety, Continental AG

1. Einführung

Die physikalischen Grenzen der Fahrdynamik werden maßgeblich von den Reibkräften zwischen Reifen und Fahrbahn bestimmt. Wesentlichen Einfluss auf den sogenannten Reibbeiwert haben das Reifendesign, die Straßenbeschaffenheit, das Fahrwerk und die herrschenden Umweltbedingungen. Beim Bremsen sorgt das Anti-Blockiersystem (ABS) als Assistenzsystem dafür, dass der Reifen unter den gegebenen Straßen- und Umweltbedingungen im Bereich der maximal möglichen Kraftübertragung operiert. Das optimale Zusammenspiel zwischen Reifen und Schlupfregelsystem bestimmt den Grad der Kraftschlussausnutzung und damit die Länge des Bremsweges bei einer Gefahrenbremsung.

Neben der optimalen Kraftschlussausnutzung in der Interaktion zwischen Regler und Reifen während einer ABS-Notbremsung ist insbesondere das rechtzeitige Einleiten der Bremsung in Gefahrensituationen von großer Bedeutung. Bei Unaufmerksamkeit oder einer Falscheinschätzung der Verkehrssituation durch den Fahrer setzen hier Fahrerassistenzsysteme, sogenannte Safety-ADAS (Advanced Driver Assistance Systems) an, die den Fahrer vor Gefahrensituationen warnen und bei drohender Kollisionsgefahr, beispielsweise in Auffahrsituationen, autonom in die Bremse eingreifen.

Neueste Entwicklungen im Bereich der Fahrerassistenz beschäftigen sich damit die Kenntnis über den Fahrbahnzustand in die Eingriffsstrategie solcher Systeme einzubinden. So lassen sich Notbremssysteme weiter verbessern und damit Unfälle effektiver vermeiden. Dieser Beitrag zeigt weiteres Potenzial zur Unfallvermeidung auf dem Weg zum unfallfreien Fahren (Vision Zero) auf.

2. Der Anhalteweg

Der Anhalteweg eines Fahrzeugs setzt sich aus verschiedenen, aufeinander folgenden Phasen zusammen (Abb. 1). Es beginnt mit dem Auftreten eines Ereignisses, welches eine Gefahrensituation hervorruft und somit eine sofortige Abbremsung notwendig macht (z.B. ein Hindernis blockiert den Fahrweg). Bevor jedoch die eigentliche Bremsung einsetzt, benötigt der Fahrer zunächst Zeit um das Hindernis überhaupt wahrzunehmen, die Kritikalität der Situation einzuschätzen und um den Fuß vom Gaspedal auf das Bremspedal umzusetzen. Das Bremssystem braucht dann noch Zeit um den Bremsdruck aufzubauen, die sogenannte Schwellzeit. Erst danach beginnt der eigentliche Bremsweg, bei dem die Haftung zwischen Reifen und Fahrbahn ausgenutzt wird, um das Fahrzeug mit maximaler Verzögerung abzubremsen.

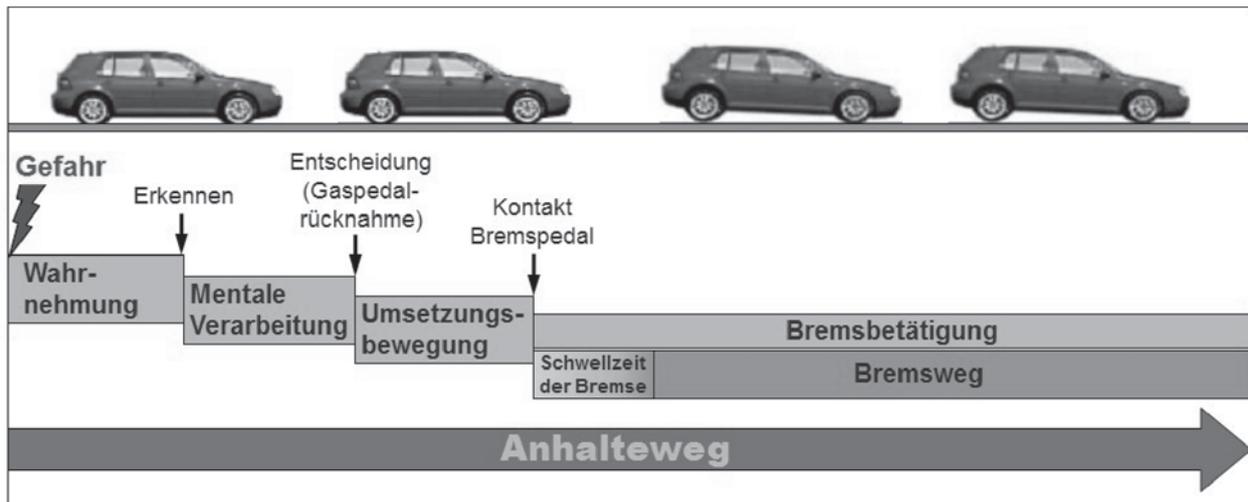


Abbildung 1: Phasen einer Notbremsung

Der gesamte Anhalteweg kann sowohl durch eine Verkürzung der Wahrnehmungs-, Reaktions- oder Schwellzeiten als auch durch eine Verkürzung des sich zeitlich daran anschließenden Bremsvorgangs reduziert werden. Dabei können auch schon kleine Verbesserungen eine große Wirkung auf eine mögliche Kollisionsrestgeschwindigkeit haben. Da ein großer Teil der Fahrzeuggeschwindigkeit erst zum Ende der Bremsung abgebaut wird, ist jede Millisekunde und jeder Zentimeter, um den der Vorgang optimiert werden kann, wichtig. Eine Verlängerung des Bremswegs um 10%, beispielweise von 30m auf 33m aus 80km/h Ausgangsgeschwindigkeit, ergibt in diesem Beispiel eine Kollisionsrestgeschwindigkeit von immerhin 24 km/h für das Fahrzeug mit dem längeren Bremsweg, wohingegen das Fahrzeug mit dem kürzeren Bremsweg noch vor dem Hindernis zum Stehen kommt (Abb. 2).

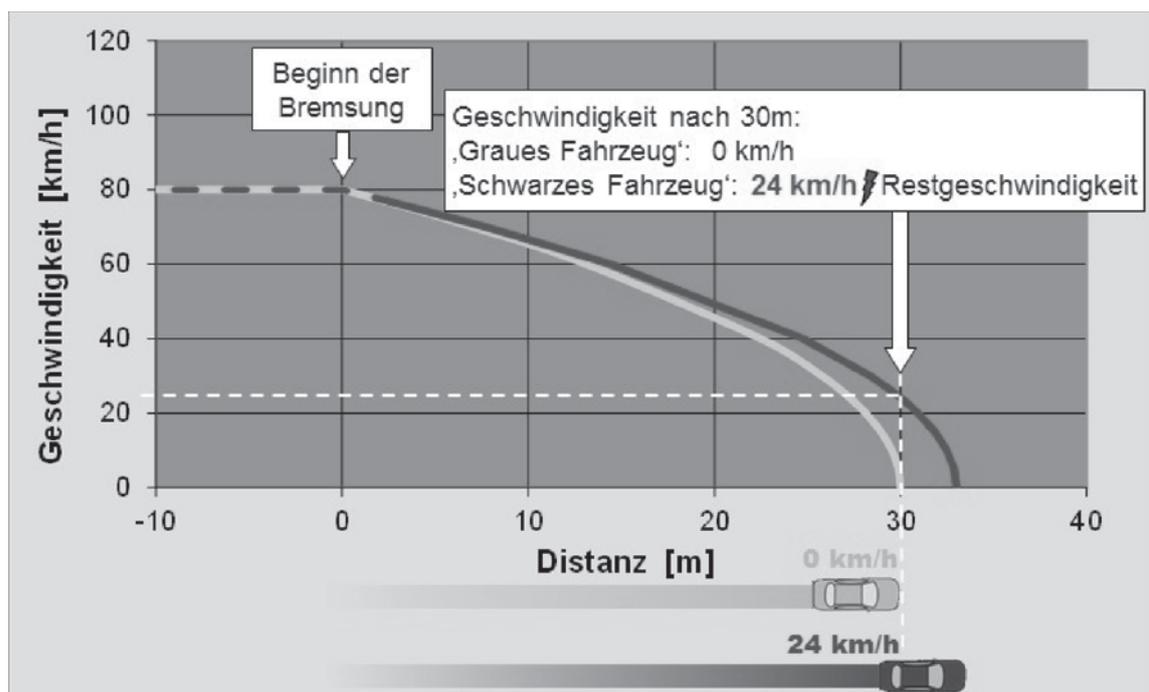


Abbildung 2: Bremswegunterschiede und Kollisionsrestgeschwindigkeit bei 10% Unterschied im Grip der Reifen



Das Thema „Anhaltewegverkürzung“ hat bei Continental eine lange Historie. Bereits im Dezember 2000 wurde der internationalen Presse ein Demofahrzeug unter dem Projekttitel „30m Auto“ präsentiert. Seit der Entwicklung von autonomen Notbremsassistenten wird die gesamte Wirkkette von der Sensierung über die Planung bis hin zum Aktuatoreingriff kontinuierlich optimiert.

3. Der Beitrag von Reifen zur Verkürzung des Bremswegs

Der eigentliche Bremsweg wird bei gegebener Geschwindigkeit von der Reibkraft zwischen Reifen und Straßenoberfläche bestimmt. Bei gegebener Straßengriffigkeit entscheidet das Kraftschlusspotential oder einfacher gesagt der Grip der Reifen über den Bremsweg.

Der Grip der Reifen wird maßgeblich von den Komponenten bestimmt, die im Kontakt mit der Straße sind, und das ist das Material und die Profilstaltung der Lauffläche (Abb. 3). Ein tiefes, grundlegendes Verständnis der Reibmechanismen zwischen Gummi und einer rauen Straßenoberfläche ist notwendig um immer bessere Ruß- oder Silica-gefüllte Polymere zu entwickeln, die gleichzeitig ein hohes Grip-Potential bei niedrigen Verformungsverlusten (Rollwiderstand) und hoher Abriebfestigkeit (Laufleistung) in sich vereinen.



Abbildung 3: Im Kontaktbereich zwischen Reifen und Fahrbahn werden die Reibkräfte erzeugt, die ein Fahrzeug abbremsen.

Hier können durch verschiedene Technologie-Level, aber auch durch unterschiedliche Anforderungsprofile erhebliche Unterschiede zwischen verschiedenen Reifen auftreten. Das 2012 in der EU für Reifen eingeführte Nassgrifflabel beschreibt in Klassen von A bis F die Griffigkeit von Reifen auf nassen Straßen. Dabei kann ein Pkw-Reifen der Nassgriffklasse A im Vergleich zu einem Reifen der Nassgriffklasse E einen über 10m kürzeren Bremsweg aus 80 km/h Ausgangsgeschwindigkeit haben. Was dies für eine mögliche Kollisionsrestgeschwindigkeit bei Verwendung eines leistungsschwachen Reifens bedeutet, kann man obiger Abbildung 2 entnehmen.

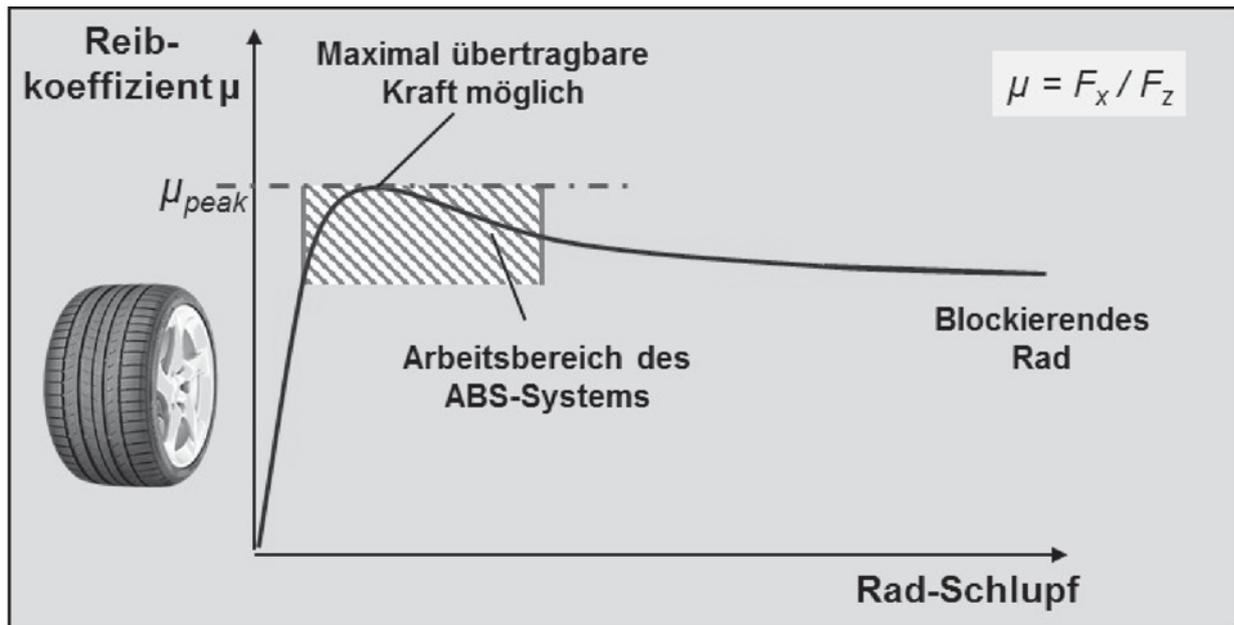


Abbildung 4: Kraftübertragungskurve (μ /Schlupfkurve) eines Reifens

Ein gebremster Reifen hat eine ganz spezielle Grip-Charakteristik (Abb. 4). Dabei ist es nicht so, dass ein blockiertes Rad die größtmögliche Kraft übertragen kann. Vielmehr gibt es einen speziellen Schlupfbereich, der eine maximale Kraftübertragung ermöglicht.

Dieser optimale Schlupfbereich hängt vom Reifen und dem Straßenzustand ab und kann z.B. bei nur 10% liegen. 10% Schlupf heißt, das Rad dreht nur 10% langsamer als es der Fahrzeuggeschwindigkeit entspricht. Die Fahrzeugregelsysteme, hier das Antiblockiersystem ABS, haben neben der Sicherstellung von Lenkbarkeit und Fahrstabilität die Aufgabe, das Rad in diesem optimalen Schlupfbereich zu halten, bei dem der Reifen die größte Bremskraft übertragen kann. Dadurch wird ein möglichst kurzer Bremsweg gewährleistet. Allerdings kann das ABS-Regelsystem nur das maximal mögliche Grip-Potential eines Reifens auf einer gegebenen Fahrbahn ausnutzen, das Grip- oder Bremsweg-Potential selber wird von der Qualität des Reifens bestimmt.

4. Wechselwirkung zwischen Reifen und Regelsystem

Die Kraftübertragungskurve eines Reifens hängt vom Reifen selbst, aber auch von dessen Betriebsbedingungen wie dem gerade vorliegenden Straßenzustand und der Witterung ab. Das Modell der μ /Schlupf-Kurve veranschaulicht den Zusammenhang zwischen maximal möglicher Bremskraft und Reifenschlupf und dient als wichtige Eingangsgröße für die Auslegung eines ABS-Reglers.

Im linken Bild der Abbildung 5 sind μ /Schlupf-Kurven für 6 verschiedenen Reifen auf nasser Fahrbahn gezeigt. Sowohl das Grip-Potential, das Maximum der μ /Schlupf-Kurve, als auch der Schlupfwert bei dem dieses Maximum erreicht wird sind für die 6 Reifen deutlich unterschiedlich.

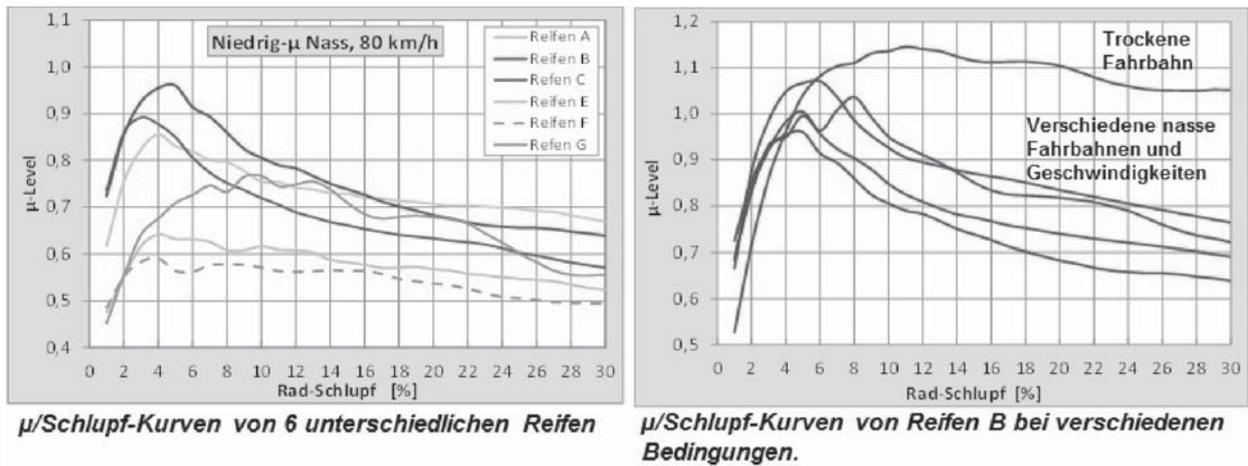


Abbildung 5: Kraftübertragungskurven (μ /Schlupf-Kurven) für unterschiedliche Reifen und unterschiedliche Straßen- und Witterungszustände.

Das rechte Bild der Abbildung 5 hingegen zeigt immer den gleichen Reifen, hier aber bei unterschiedlichen Straßenzuständen. Auch hier ist sowohl das Maximum selber, als auch die Lage des Maximums wieder sehr unterschiedlich.

Das bedeutet, ein ABS-Regelsystem müsste prinzipiell entweder den Reifen und den gerade vorliegenden Straßenzustand präzise und vor allem sehr verlässlich kennen und auch präzisieren oder es muss sich adaptiv verhalten und somit der jeweils individuellen Charakteristik anpassen. Da heute dem Regelsystem weder die genaue Reifencharakteristik (die sich während der Nutzungsdauer durch Abrieb auch ändert) noch der präzise Reibbeiwert bekannt ist, werden heutige hochentwickelte Systeme adaptiv ausgelegt um in jeder Situation das Optimum selbst ausloten zu können.

In der dritten Generation, dem sogenannten ABS3 von Continental sind die Aufgaben der Raddynamikregelung und der Fahrzeugstabilitätsregelung funktional klar voneinander getrennt. Die Umsetzung der Schlupfanforderung übernimmt der Raddynamikregler. In dieser Funktion wird errechnet mit welcher Bremsdruckmodulation das optimale Radverhalten eingeregelt werden kann (Abb. 6).

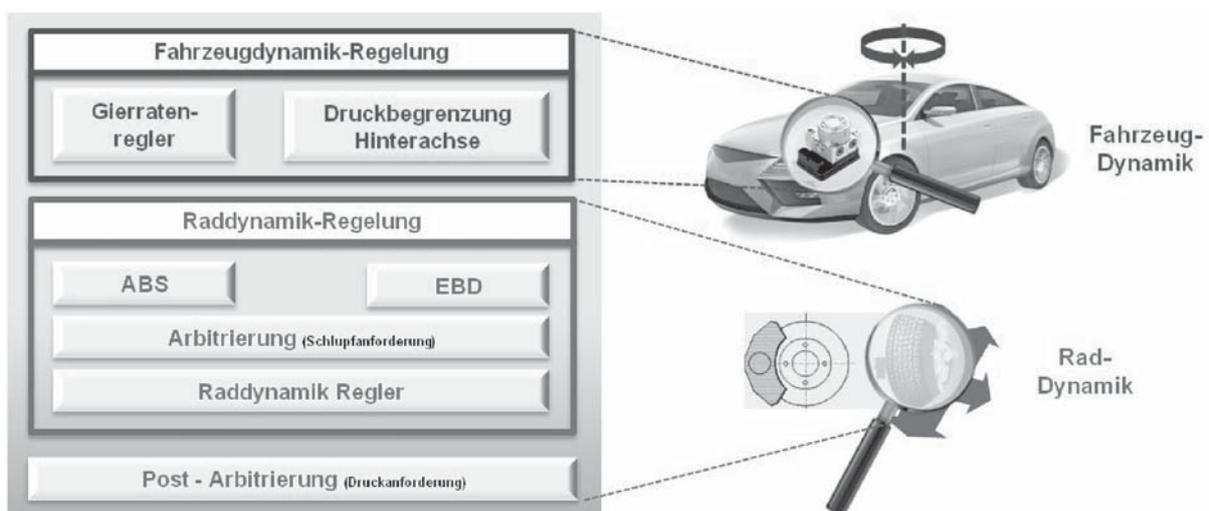


Abbildung 6: Architektur ABS3 mit Trennung von Fahrzeug- und Raddynamikregelung



Der wesentliche Vorteil des ABS3 liegt darin, dass die Unterschiede zwischen Rad- und Fahrzeugdynamik im Reglerkonzept dadurch berücksichtigt werden, dass die Regelung des hochdynamischen Radverhaltens mit einer doppelt so hohen Regelfrequenz umgesetzt worden ist. Dadurch ist das ABS3 in der Lage auf kleinste Raddynamikveränderungen sehr schnell und präzise zu reagieren um damit das Potenzial des Reifendesigns optimal auszunutzen und somit in Gefahrensituationen möglichst kurze Bremswege zu erreichen.

Untersuchungen mit verschiedenen Reifentypen bei unterschiedlichen Straßenbedingungen haben gezeigt, dass die am schwierigsten zu beherrschenden Bedingungen für das ABS diejenigen sind, bei denen leistungsschwache Reifen auf rutschige Fahrbahnen treffen. Hier ist das Regelsystem maximal gefordert. Und genau unter diesen besonders schwierigen Bedingungen spielt die neueste Entwicklungsstufe des ABS-Regelsystems von Continental seine besonderen Vorteile aus (Abb. 7).

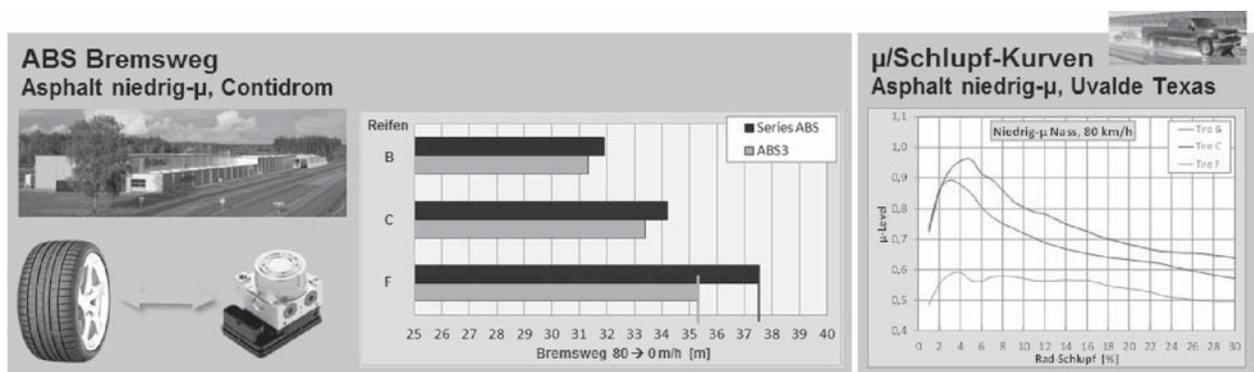


Abbildung 7: Realisierte Bremswegverkürzung durch Weiterentwicklung des ABS-Regelsystems.

Schlussendlich lassen sich kurze Bremswege erreichen durch Verwendung von Reifen mit einem hohen Grip-Niveau (d.h. mit einem hohen Maximum in der μ /Schlupf-Kurve) unter allen erdenklichen Einsatzbedingungen in Kombination mit einem ABS-Regelsystem, welches durch hohe Adaptivität und Regelgeschwindigkeit in der Lage ist, das Reifenpotenzial – auch unter schwierigen Bedingungen – optimal auszunutzen. Dazu ist ein tiefes Verständnis der Interaktion des Gesamt-Systems Reifen/ABS notwendig.

5. Der Beitrag von Assistenzsystemen zur Unfallvermeidung und Abschwächung der Unfallfolgen

Abb. 1 und Abb. 2 haben gezeigt, dass auch die der eigentlichen Bremsung vorgelagerten Phasen erheblichen Einfluss auf den Gesamtanhalteweg haben.

Wie aus der GDV-Bilanz 2012 (Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft) hervorgeht, ist bei 86% aller Verkehrsunfälle menschliches Fehlverhalten als begleitende oder maßgebliche Unfallursache anzuführen. Als Hauptgründe sind ein unzureichender Sicherheitsabstand, nicht angepasste Geschwindigkeit und Unaufmerksamkeit des Fahrers anzuführen. Hier setzen Assistenzsysteme an, die den Fahrer in seiner Fahraufgabe unterstützen, also indirekt zur Unfallvermeidung beitragen oder solche, die direkt ein-



greifen wenn akute Gefahr im Verzug ist, sogenannte „Safety-ADAS“. Ein typischer Vertreter dieser Fraktion ist das AEB (Autonomous Emergency Brake) Notbremssystem, das system-initiiert eine Notbremsung einleitet, wenn der Fahrer in Not-Auffahrsituationen nicht rechtzeitig reagiert.

Die wesentlichen Erfolgskriterien in der Auslegung unfallvermeidender Notbremssysteme sind die verlässliche Erkennung der Gefahrensituation, die richtige und rechtzeitige Eingriffsentscheidung sowie die Verringerung von Latenzzeiten in der gesamten Wirkkette (Sense-Plan-Act). Die Eingriffsentscheidung basiert auf der Perception des Umfelds, seiner möglichst detailgetreuen Abbildung im Umfeldmodell und einer gesamtheitlichen Bewertung der Gefahrensituation.

Potenzial für die Verringerung von Latenzzeiten der ganzen Wirkkette erstreckt sich dabei von der Erfassung der Gefahrensituation über die Eingriffsentscheidung bis hin zur Schwellzeit für die Bremse. Im Vergleich zur Fahrerreaktion sind elektronische Fahrerassistenzsysteme in puncto Erfassung und Bewertung der Situation deutlich im Vorteil. Weiteres Potenzial zur Reduzierung des Anhaltewegs bietet eine hohe Druckaufbaudynamik des Bremsaktuators.

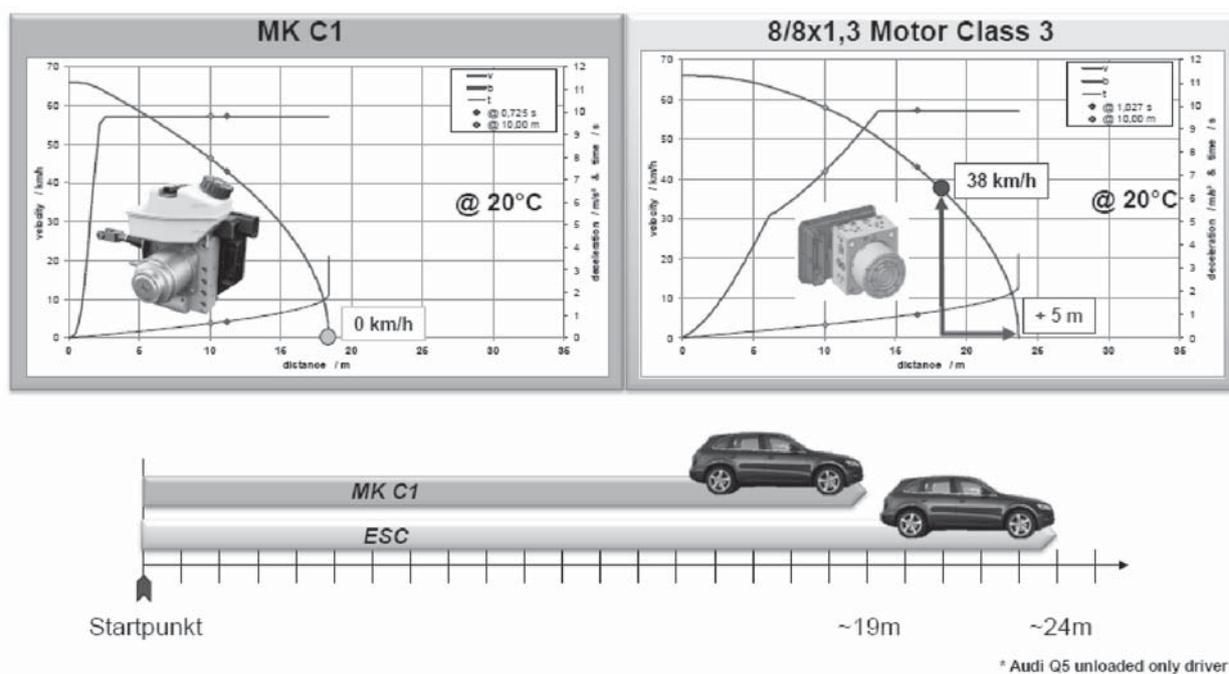


Abbildung 8: Anhaltewege beim autonomen Bremsengriff, simuliert aus 66 km/h

Da sich in diesem, der eigentlichen Bremsung vorgelagerten Zeitabschnitt das Fahrzeug mit noch ungebremster Ausgangsgeschwindigkeit bewegt, wird hier in kurzer Zeit eine relativ große Wegstrecke zurückgelegt, bei 80 km/h sind dies ca. 22 m/sek, d.h. innerhalb von nur 1/10 Sekunde legt das Fahrzeug in dieser Annäherungsphase mehr als 2 m zurück. Der große Einfluss der Druckdynamik des Bremsaktuators auf den Anhalteweg ist in Abb. 8 dargestellt.

Im linken Diagramm ist der steile Druckanstieg (rote obere Kurve) der neuesten Serienentwicklung von Continental, einer MK C1 Kompaktbremsanlage zu erkennen. Die hohe Druckaufbaudynamik dieser by-



wire Bremsanlage führt bei einer sensorinitiierten Notbremsung zu einer Reduzierung des Bremsweges gegenüber einer konventionellen ESC-Premiuanlage (rechtes Diagramm) von ca. 5 m wie die dargestellten Simulationsergebnisse für eine Notbremsung aus 66 km/h zeigen [Fei12].

6. Ausblick

Der nächste logische Entwicklungsschritt um die Effektivität von unfallvermeidenden Fahrerassistenzsystemen weiter zu erhöhen, ist die Erkennung des Fahrbahnzustands (trocken, nass, verschneit oder vereist) um daraus eine Reibwertklasse abzuleiten, die unabdingbar für die Bestimmung des Eingriffszeitpunkts für ein Notbremssystem ist. Um beispielsweise einen Auffahrunfall zu vermeiden, muss auf einer nassen Fahrbahn deutlich früher als auf einer trockenen Fahrbahn gebremst werden. Der letztmögliche Eingriffszeitpunkt, sprich der verbleibende Abstand zum Hindernis bei Bremsengriff, hängt neben der Relativgeschwindigkeit zwischen Ego-Fahrzeug und Objekt insbesondere von Reibbeiwert zwischen Reifen und Fahrbahn ab [Jar16]. Der Vollständigkeit halber sein erwähnt, dass Gleiches selbstverständlich auch für ein Notausweichsystem, das hier nicht näher betrachtet wird, gilt. Wie die Daten des Statistischen Bundesamtes [StB14] der Straßenverkehrsunfälle mit Personenschaden in Deutschland für das Jahr 2014 zeigen, ereigneten sich von den insgesamt 302.435 Unfällen 224.659 auf trockenen, 73.298 auf nassen, feuchten und schlüpfrigen und 4.478 auf winterglatten Fahrbahnen.

Abb. 9 zeigt den bei Continental in ein Vorentwicklungsfahrzeug integrierten Fahrbahnzustandsbeobachter (Road Condition Observer). Ziel ist die Erfassung des Fahrbahnzustands und die Bestimmung des Reibwertpotenzials.

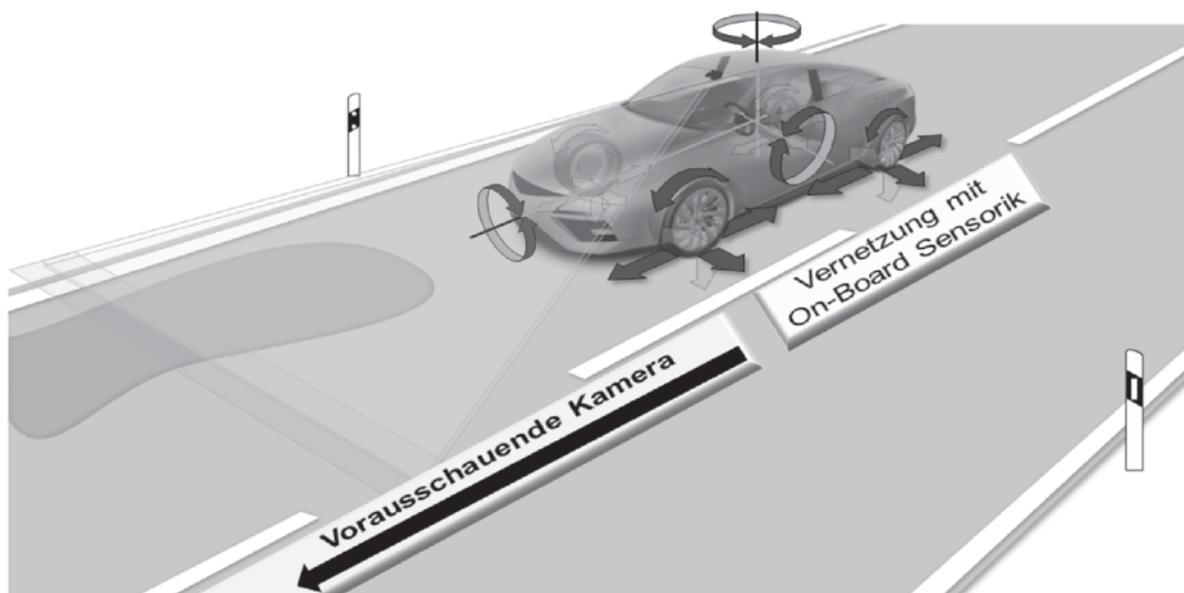


Abbildung 9: Road Condition Observer mit Kamera und On-Board Sensorik



Mit Hilfe von Kamerasystemen und der Vernetzung bereits vorhandener On-Board Sensoren wird der vor dem Fahrzeug befindliche Fahrbahnabschnitt beobachtet, Fahrzeugreaktionen mit Hilfe des ESC-Regelsystems bewertet und Reifeneffekte anhand der Informationen der Raddrehzahlsensoren analysiert. Diese Informationen werden in einem weiteren Schritt einem wissenschaftlich fundierten, komplexen Fusionsmodell zugeführt. Erste Teilfunktionen sind bereits an die Basisentwicklung übertragen, weitere sind in der Konzeptphase. Durch die schrittweise Einführung dieser Systeme in Kombination mit Premium Reifen auf höchstem Gripniveau verfolgt Continental konsequent das Ziel des unfallfreien Fahrens anhand des gemeinsamen Leitmotivs „Vision Zero“, der beiden Divisionen „Tires“ und Chassis & Safety“.

Literaturverzeichnis

[Fei12] Feigel, H.-J.; *MK C1 – Eine neue Generation integrierter Bremssysteme*; Internationales μ -Symposium; Bad Neuenahr; 2012

[Jar16] Jarisa, W., Henze, R., Küçükay, F., Hartmann, B.; *Sensitivitätsanalyse von Fahrerassistenzsystemen in Bezug auf Fahrbahnzustände*; AAET; Braunschweig; 2016

[StB14] Statistisches Bundesamt: *Verkehr-Verkehrsunfälle 2014*; Wiesbaden; 2015





Eine Bewertungsmethodik zur Inspektion automatisierter Fahrfunktionen

Szenarien-basierte Plattform zur Inspektion automatisierter Fahrfunktionen

Das Projekt SePIA.

Prof. Dr. Günther Prokop

Leiter Institut für Automobiltechnik und Professor am Lehrstuhl Kraftfahrzeugtechnik, Technische Universität Dresden

Prof. Dr. Lars Hannawald

Geschäftsführer, Verkehrsunfallforschung an der Technischen Universität Dresden

Professor für Fahrzeugsicherheit und Unfallanalytik an der Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden

Markus Köbe

Wissenschaftlicher Mitarbeiter im Forschungsbereich Fahrzeug- und Verkehrssicherheit an der Technischen Universität Dresden

Schlüsselwörter: Fahrerassistenzsysteme, Automatisiertes Fahren, Effektivitätsbewertung

1. Einleitung

Die Entwicklung der Anzahl der Verkehrstoten ist seit 1970 im Trend rückläufig. Die Gründe für diesen Rückgang sind vielschichtig und wirken durch Ineinandergreifen von Einzelmaßnahmen. In den letzten Jahren sorgen aktive Sicherheitssysteme sowie Fahrerassistenzsysteme für eine weitere Reduktion. Seit 2012 ist jedoch eine Stagnation dieses Abwärtstrends erkennbar, deren Ursachen es zu untersuchen gilt.

Fahrerassistenzsysteme werden aktuell immer weiter zu hoch- und vollautomatisierten Fahrfunktionen entwickelt. Da der menschliche Fahrer bereits als sehr guter Fahrregler angesehen werden kann, müssen automatisierte Fahrfunktionen wenigstens so gut wie ein aufmerksamer menschlicher Fahrer sein. Ausgehend davon, dass die meisten Unfälle durch menschliche Fehler verursacht werden, besteht in fehlerfrei funktionierenden automatisierten Fahrfunktionen das Potential, die Anzahl der Verkehrsunfälle und damit einhergehend die Anzahl verunglückter Menschen zu reduzieren. Wie hoch dieses Potential sein kann und welche notwendigen Maßnahmen und Ausprägungen der Fahrfunktionen zur maximalen Ausschöpfung dieses Potentials notwendig sind, bedarf ebenfalls einer wissenschaftlichen Betrachtung.

Da der Fahrer bei einer automatisierten Fahrfunktion seine Fahraufgabe abgibt, entstehen hohe Anforderungen an die Funktionssicherheit und Auslegung solcher Systeme. Hierbei ergibt sich zwingend der Bedarf, den Menschen als Fahrer sowie seine Interaktion mit dem Fahrzeug immer besser zu verstehen. Dies mündet in die Fahrerverhaltensmodellierung, der Gestaltung entsprechender Mensch-Maschine-Interaktionsschnittstellen sowie neuartigen Eingriffs- und Regelstrategien, die dem menschlichen Fahrerverhalten gerecht werden.



Für die Entwicklung von Fahrfunktionen ist weiterhin eine genaue Kenntnis der gefährlichen Situationen im Straßenverkehr notwendig, die es zu beherrschen gilt. Innerhalb der Entwicklung solcher Funktionen können nur so Anforderungen definiert und die Funktionen selbst optimal ausgelegt werden. Ebenso wichtig ist diese Kenntnis über den Einfluss auf das Verkehrsgeschehen für die Absicherung, den Test sowie die Zulassung dieser Funktionen.

Zur Beantwortung dieser Vielzahl von Forschungsfragen fanden sich im Rahmen der Initiative „Intelligente Verkehrssysteme“ des Freistaats Sachsen der Lehrstuhl Kraftfahrzeugtechnik sowie das Computer Vision Lab der Technischen Universität Dresden, die Verkehrsunfallforschung an der TU Dresden, die FSD Fahrzeugsystemdaten GmbH, das Fraunhofer Institut für Verkehrs- und Infrastruktursysteme und die TraceTronic GmbH in einem Konsortium zusammen. Ziel dieses Konsortiums ist es, eine Bewertungsmethodik zum Test und Bewertung von und automatisierten Fahrfunktionen zu entwickeln. Diese Methodik soll prototypisch in einer „Szenarien-basierten Plattform zur Inspektion automatisierter Fahrfunktionen“ (SePIA) umgesetzt und beispielhaft angewendet werden.

2. Stand der Technik und Erkenntnisse

Grundsätzlich wird innerhalb der simulativen Effektivitätsbewertung eine Menge an Bewertungsszenarien gebildet. Diese Bewertungsszenarien bilden die Ausgangssituation, welche mit Variablen und einem zugehörigen Risiko innerhalb einer Metrik bewertbar ist. Im zweiten Schritt werden die Bewertungsszenarien herangezogen und innerhalb einer Simulation alle Situationen mit einer Fahrzeugsicherheitsfunktion simuliert. Das Ergebnis dieser Simulation lässt sich bspw. in Form einer Geschwindigkeitsänderung, Änderung der Kollisionskonstellation oder gar in der Vermeidbarkeit einer Gefährdungssituation darstellen. Der Vergleich zwischen der Ausgangssituation und der geänderten Situation liefert die Bewertung der Sicherheitsfunktion. In weitreichenden Projekten und Initiativen wird bereits an einer Bewertung für mögliche aktive Sicherheitssysteme gearbeitet [1, 3, 4, 5, 8, 9, 18, 19]. Weiterhin existieren unterschiedliche Ansätze zur Bewertung von Systemen [6, 10, 11, 17, 21, 25, 30, 31].

Die TU Dresden leistet hier mit:

- einem *Fahrermodell* [13, 14, 15, 16, 22],
- dem Aufbau eines *Fahrsimulators* [23, 26, 27, 28, 29] sowie
- Konzepten für die aktive Sicherheit [2, 7, 12] unter Einbeziehung von *Realfahrversuchen* zur Absicherung

einen wichtigen Beitrag zur Erhöhung der Methodenvielfalt.

Unterschiede zwischen den Ansätzen bestehen in der Quelle sowie Bildung von Bewertungsszenarien, in der Menge und Art der verwendeten Modelle sowie bei den verwendeten Metriken zur Bewertung. Ein weiterer Unterschied stellt die Bewertung des Systems dar. In der passiven Sicherheit ist es Stand der Technik, mit Verletzungsrisikofunktionen einen Effekt zu bewerten. Die passive sowie integrale Fahrzeugsicher-



heit wird hierbei mit unterschiedlichen Variablen, univariat sowie multivariat bewertet, wodurch kein einheitlicher Standard identifizierbar ist.

3. Bewertungsmethoden und Werkzeuge

Die Test- bzw. Absicherungskette für Fahrzeugfunktionen wird je nach Untersuchungsgegenstand ausgestaltet. Tabelle zeigt einen Auszug einer möglichen Ausgestaltung für den Test- sowie die Absicherung von automatisierten Fahrfunktionen mit den Bestandteilen *Fahrer*, *Fahrdynamik des Egofahrzeugs*, *umgebender Fahrzeuge* und *das zu untersuchende Assistenzsystem* als teilautomatisierte Fahrfunktion. Werden alle Bestandteile durch eine Simulation abgebildet, so ist das sich ergebende Werkzeug die reine virtuelle Simulation. Eine große Herausforderung hierbei ist die Abbildung des Fahrers in der Simulation und daher Gegenstand aktueller Forschung. [13, 14, 15, 16, 22] Wird hingegen jeder Bestandteil real abgebildet, so findet die Absicherung in einer Realfahrt statt.

Tabelle 1: Werkzeuge und Methoden zur Effektivitätsbewertung

Werkzeug/ Methode	Fahrer	Fahrdynamik Ego- fahrzeug	Umgebende Fahr- zeuge	Assistenz- system	(...)
Virtuelle Simulation	Simulation	Simulation	Simulation	Simulation	(...)
Fahrsimulator	Real	Simulation	Simulation	Real (HiL)	(...)
(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)
Realfahrt	Real	Real	Real	Real	(...)

Das Werkzeug Fahrsimulator simuliert die jeweilige Situation mit einem realen Fahrer. Dabei ist es wichtig, dass alle Bestandteile für den Fahrer so realistisch wie möglich abgebildet werden, damit die Ergebnisse von Probandenstudien auswertbar sind.

3.1 Hoch-immersiver Fahrsimulator

Die Anforderungen an einen Fahrsimulator zur realitätsnahen Abbildung von der Fahrdynamik sind entsprechend hoch. Simulatoren mit „tilt-coodination“ (neigbarer Aufbau) können nur in niedrigen Frequenzen durch Neigung des Aufbaus Kräfte auf den Fahrer übertragen. Schlittensysteme übertragen diese Kräfte durch Translation des Simulators, können allerdings nur Gierbewegungen in einem Zwei-Schlitten-System abbilden. Solche Systeme benötigen einerseits viel Platz und entsprechend viel Energie. Daher bedarf es eines neuartigen Konzepts zur realitätsnahen Simulation der Fahrdynamik. [29]

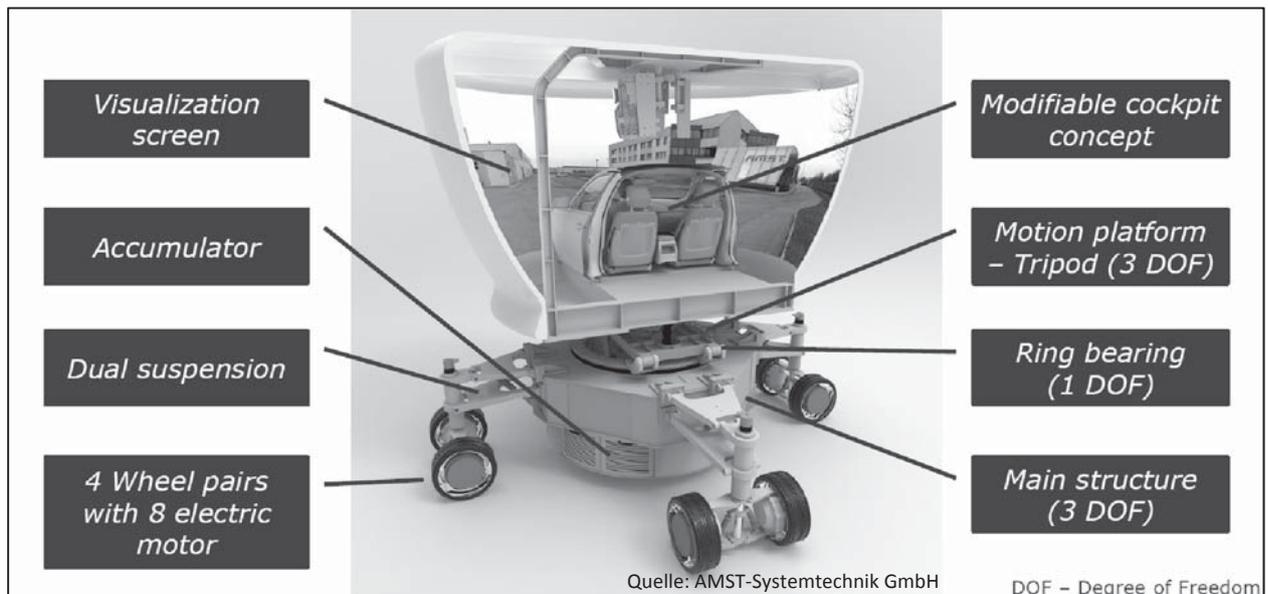


Abbildung 1: Der auto.mobile-driving simulator als Bewertungswerkzeug der Technischen Universität Dresden aus der Kooperation mit der AMST-Systemtechnik GmbH

Abbildung 1 zeigt ein solches Konzept, den neuen Fahrsimulator „**auto.mobile-driving simulator**“ der Technischen Universität Dresden, welcher in Zusammenarbeit innerhalb eines Kooperationsprojekts mit der AMST-Systemtechnik GmbH entsteht. Dieser Simulator ergänzt die Absicherungskette zwischen virtueller Simulation und Realfahrversuch und erweitert die Untersuchung von Szenarien mit einem realen menschlichen Fahrer.

Die Besonderheit dieses Simulators besteht in seiner Eigenschaft als selbstfahrender Fahrsimulator mit eigener Antriebseinheit und Rad-Boden-Kontakt äquivalent zum realen Fahrzeug, dessen Fahrdynamik es abzubilden gilt. In der Simulatorkuppel kann ein Fahrzeug, bspw. ein Motorrad oder wie dargestellt ein PKW, mit installiert werden. Diese Kuppel ist drehbar und über einen Tripod neigbar auf der Antriebseinheit angebracht. Durch Translation und Rotation des gesamten Fahrsimulators ist es so möglich, die Fahrdynamik für den Fahrer realitätsnah abzubilden.

3.2 Harmonisierung der Effektivitätsbewertung

Ziel ist es, Sicherheitssysteme mit einem möglichst großen positiven Effekt auf die Verkehrssicherheit zu entwickeln. Dabei müssen innerhalb der Konzeptphase sowie der Vorentwicklung Anforderungen an Systeme und Komponenten definieren werden. Innerhalb der Entwicklung müssen Parameter des Sicherheitssystems optimiert und abschließend die Eigenschaften der Systeme und Komponenten hinsichtlich der definierten Anforderungen abgesichert werden. Dies bildet die Motivation, die Bewertung von Sicherheitsfunktionen mit einer harmonisierten Methode durchzuführen. Mit dem Ziel, diese einheitliche und anerkannte Bewertungsmethode zu erstellen, formierte sich die internationale Harmonisierungsgruppe „Prospective Effectiveness Assessment for Road Safety“ (P.E.A.R.S.). [20, 24] Die Betrachtung der Methode umfasst im Wesentlichen drei Punkte:



1. Die Definition von Forschungsfragen, relevanten Forschungszielen und zugehörigen Metriken zur Bewertung.
2. Die Erstellung einer Bewertungsmethode bestehend aus den Eingangsdaten, den verwendeten Modellen und Szenarien, der Simulation mit und ohne Sicherheitsfunktion sowie der Darstellung der Simulationsergebnisse
3. Die Definition eines Standards für einen Bericht, welcher die Bewertung zwischen allen beteiligten Institutionen vergleichbar macht.

Das Ziel ist es, diesen Prozess sowie die Methoden abschließend zu beschreiben, als Standard festzulegen und weltweit zu kommunizieren.

4. Granularität von Verkehr und zugehörige Datengrundlagen

Für die Zuordnung von Datenbasen zur Beschreibung des Verkehrsgeschehens wird das Verkehrsgeschehen selbst zunächst in drei Ebenen unterteilt:

- Die **makroskopische Ebene** beschreibt das globale Verhalten einer großen Menge von Verkehrsteilnehmern (bspw. innerhalb einer Stadt oder einem Land).
- Die **mesoskopische Ebene** beschreibt die Interaktion von Verkehrsteilnehmern innerhalb einer Zelle bzw. Situation.
- Die **mikroskopische Ebene** beschreibt das aktive bzw. reaktive Verhalten eines einzelnen Verkehrsteilnehmers.

Der zeitliche Verlauf kann reduziert in die **normale Fahrt**, der **kritischen Situation** selbst sowie dem **Unfall** eingeteilt werden. Unter Nutzung der Ebenen des Verkehrs und des zeitlichen Ablaufs lässt sich die Matrix in Abbildung 2 aufspannen und mit Datenbasen zur Beschreibung des Verkehrs im zeitlichen Ablauf befüllen.

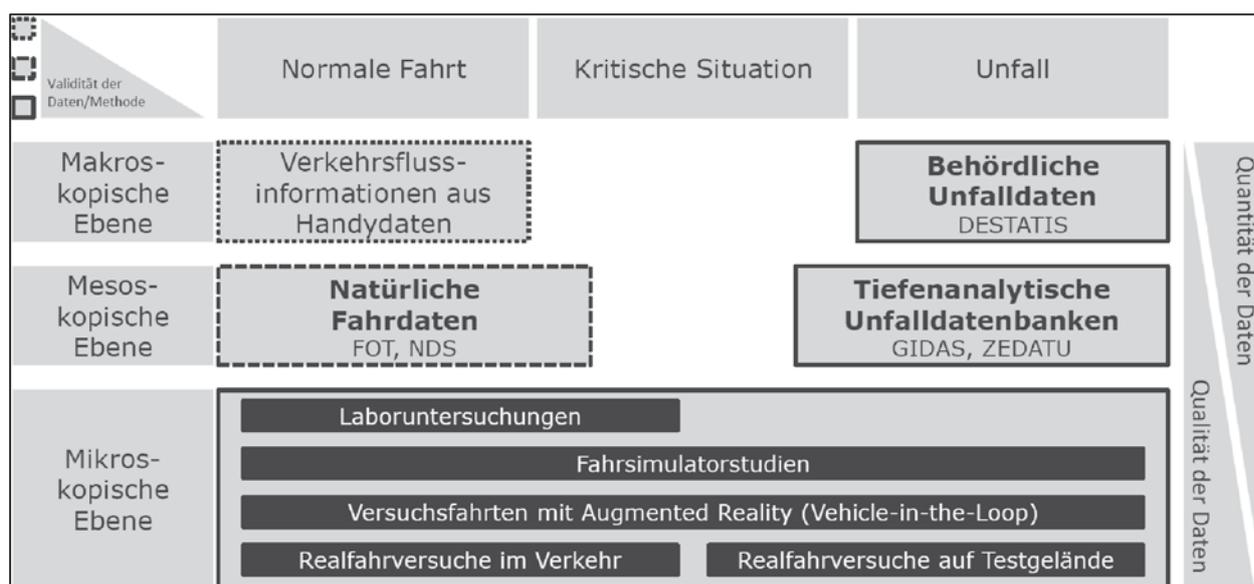


Abbildung 2: Matrix mit den Ebenen des Verkehrs, der zeitlichen Entwicklung einer Situation und zugehörigen Datenbasen



Dazu zählen zunächst sehr individuelle Untersuchungen auf *mikroskopischer Ebene* wie **Laborversuche**, **Fahrsimulatorstudien** sowie **Versuchs- und Realfahrversuche** je nach Untersuchungsgegenstand. Diese bieten durch die kontinuierliche Beobachtung des Versuchs selbst eine hohe **Datenqualität**, jedoch ist die **Quantität der Daten** durch den vergleichsweise hohen Aufwand und Probandenzahl begrenzt.

Tiefenanalytische Unfalldatenbanken liefern auf der *mesoskopischen Ebene* eine größere Menge an Daten bei sehr guter Datenqualität. Hierbei werden Unfallstellen nach dem Unfall untersucht. Mit Methoden der Rekonstruktion werden Rückschlüsse auf die vorausgegangene *kritische Situation* gesucht. Dem entgegen ist es mit der **Erhebung natürlicher Fahrdaten** möglich, die *normale Fahrt* detailliert zu untersuchen. Oft werden diese Untersuchungen als Daueraufzeichnungen während der gesamten Fahrt durchgeführt, wodurch auch *kritische Situationen* und unter Umständen auch Unfälle enthalten sein können. Die Identifikation *kritischer Situationen* ist bei der Analyse solcher großen Datenmengen eine entsprechende Herausforderung. Beide Datenbasen liefern demzufolge Informationen über die *kritische Situation*.

Behördliche Unfalldatenbanken liefern in der *makroskopischen Ebene* Informationen über das Unfallgeschehen innerhalb einer Region. So enthält beispielsweise die Datenbank des deutschen Statistischen Bundesamtes (DESTATIS) sämtliche polizeilich gemeldeten Unfälle innerhalb von Deutschland. Dem entgegen ist es möglich, das Normalfahrverhalten über **Verkehrsflussinformationen** zu analysieren.

Die Datenbasen sind hinsichtlich der **Validität der Daten** entsprechend abzustufen. So hängt die Aussage von Analysen der Erhebung natürlicher Fahrdaten maßgeblich von den gefahrenen Strecken innerhalb der Erhebung ab. Aus der Matrix in Abbildung 2 wird eine entsprechende Lücke (weiß) in der Datenbasis kenntlich, die es aufzulösen gilt.

5. Das Projekt SePIA

Die gesamte Methodik sowie das Vorgehen in SePIA ist in Abbildung 3 dargestellt und beinhaltet zunächst, das Verkehrsgeschehen aus der Erhebung natürlicher Fahrdaten (engl. Naturalistic Driving Study, kurz: **NDS**) sowie **Unfalldatenbanken** zu untersuchen.

Folgende Definitionen seien hier für die weiteren Ausführungen eingeführt:

1. Ein (*Bewertungs-*)**Szenario** stellt einen Konflikt dar, der sich durch häufiges Auftreten im Straßenverkehr charakterisiert und durch ein Sicherheitssystem adressiert werden soll (z.B. „Auffahrunfall bei Folgefahrt“). Es beschreibt dabei die Gesamtheit aller möglichen Einzelfälle, die diesem Szenario zuzuordnen sind (vgl. Situation).
2. Ein **Szenarienkatalog** ist eine Sammlung von Bewertungsszenarien, die das Unfallgeschehen in diskretisierter Form wiedergibt. Da typischerweise nicht alle Szenarien für die Bewertung eines Sicherheitssystems relevant sind, bietet dieses Werkzeug eine Selektionsmöglichkeit der Bewertungsszenarien je nach Untersuchungsgegenstand.



3. Eine **Situation** stellt einen einzelnen Fall eines Szenarios dar, der durch einen definierten Parametersatz beschrieben wird. Sie kann daher mit einem dokumentierten Fall aus einer Unfalldatenbank beschrieben werden.

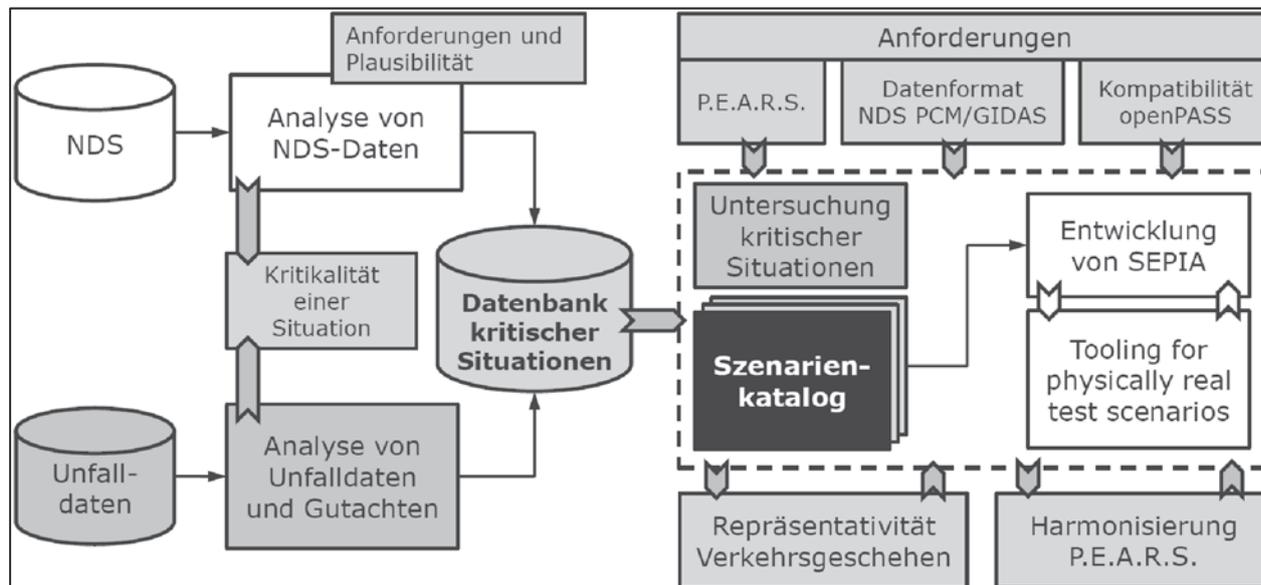


Abbildung 3: Methodik und Vorgehen im Projekt SePIA

Für die Identifikation kritischer Situationen aus den **NDS**-Daten wird zunächst die **Kritikalität** aus zwei Sichtweisen definiert.

- **Objektive Kritikalität:** Messbare oder berechenbare Parameter beschreiben die Kritikalität einer Situation.
- **Subjektive Kritikalität:** Mit den Kenntnissen aus dem Fahrerverhalten wird die Kritikalität aus Fahrersicht beschrieben.

Aus der Definition der Kritikalität werden **Anforderungen** an die Auswertung der NDS-Daten gestellt, welche im Laufe der Auswertung kontinuierlich **plausibilisiert** werden. Die identifizierten Situationen werden in der **Datenbank kritischer Situationen** mit Parametern beschrieben und abgelegt. Die identifizierten kritischen Situationen werden im Anschluss zu Szenarien gruppiert und in einem **Szenarienkatalog** zusammengefasst. An die Erstellung der Plattform „**SePIA**“ selbst mit Werkzeugen für **physikalisch-reale Testszenarios** werden **Anforderungen** zur Sicherung der Kompatibilität gestellt. Eine kontinuierliche **Harmonisierung in P.E.A.R.S.** soll die internationale Akzeptanz dieser Methodik sicherstellen. Im Ergebnis soll der Szenarienkatalog ein **makroskopisches Verkehrsgeschehen repräsentativ abbilden** können.



6. Zusammenfassung und Ausblick

Die Methodik aus SePIA ermöglicht es künftig, aus verfügbaren Datenbasen kritische Situationen anhand ihrer Kritikalität zu identifizieren und zu Szenarien zu gruppieren. Damit ist die Datenbasis aus der realen Welt sowie die Baseline, wie in der Gesamtübersicht in Abbildung 4 dargestellt, identifiziert. [11, 20]

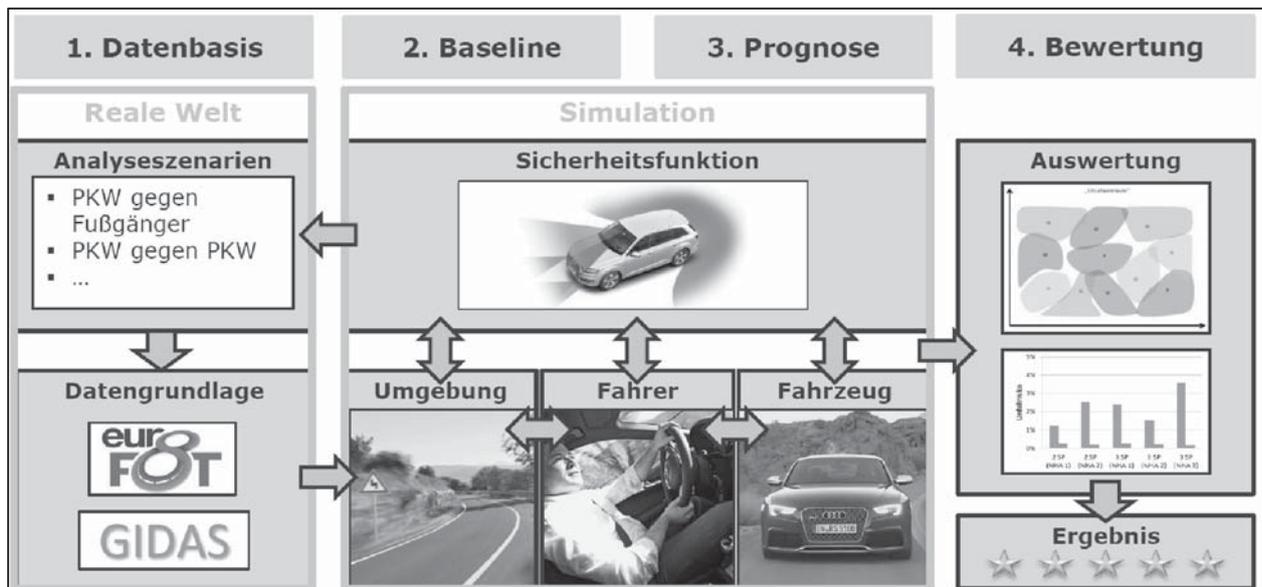


Abbildung 4: Gesamtübersicht zur Bewertung von Sicherheitsfunktionen [11]

Im weiteren Verlauf wird das Verkehrsgeschehen aus der Baseline innerhalb der Simulation mit Werkzeugen aus Tabelle mit und ohne Sicherheitsfunktion untersucht. Der Vergleich zwischen den Ergebnissen ohne Sicherheitsfunktion und mit Sicherheitsfunktion liefert eine Prognose. Unter Nutzung von Metriken kann der Nutzen der Sicherheitsfunktion qualitativ und quantitativ ermittelt werden und im Ergebnis mit einer Bewertung versehen werden.

Künftig werden weitere Forschungsfragen innerhalb der Bewertung von Sicherheits- sowie automatisierter Fahrfunktionen zu beantworten sein, um die Gesamtübersicht aus Abbildung 4 mit harmonisierten Methoden verwirklichen zu können. Diese anzustrebende „Konsens“-Bewertungsmethode ist mit ihren Bausteinen in Abbildung 5 dargestellt.

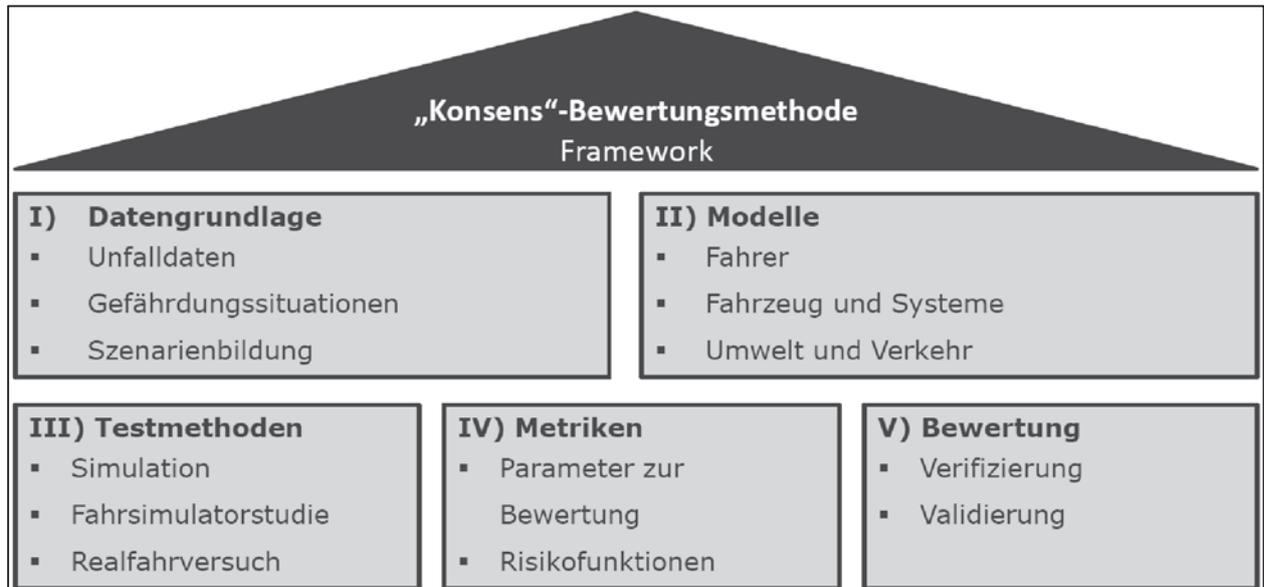


Abbildung 5: Bausteine der „Konsens“-Bewertungsmethode [20]

Das Projekt SePIA leistet einen großen Beitrag in den Bereichen Datengrundlage sowie Testmethoden. Weitere künftige Fragestellungen werden folgende Schwerpunkte haben:

- Modelle für Fahrer, Fahrzeug und Systeme sowie Umwelt und Verkehr
- Testmethoden in ihren Ausprägungen nach Tabelle für virtuelle Simulation, Fahrsimulatorstudien sowie Realfahrversuche
- Metriken mit Parametern zur Bewertung sowie Risikofunktionen
- Bewertung der Ergebnisse aus Untersuchungen hinsichtlich Verifizierung und Validierung

Literaturverzeichnis

- [1] ADVISORS: EU project on Method to assess the impact of ADAS w.r.t. safety & environmental performance. Web-page: <http://www.advisors.iao.fraunhofer.de/>
- [2] Beitelschmidt M., Büttner K., Quarz V.: „MBS-Based Simulation of Motorcycle Dynamics in a Co-Simulation Environment“ – 11th Mini Conference on Vehicle System Dynamics, Identification and Anomalies, Budapest, 2008
- [3] DaCoTA: EU project on Analysis of data from 30 European countries as input for decision-making tools. Web-page: <http://www.dacota-project.eu/>
- [4] eIMPACT: EU project on Methodology for assessing the socio-economic effect of safety systems. Web-page: <http://www.eimpact.info/>
- [5] euroFOT: EU project on Field tests of ADAS functions. Web-page: <http://www.eurofot-ip.eu/>
- [6] Hannawald, L., and Kauer, F.: „ACEA Equal Effectiveness Study.“
- [7] Hans, S., Krehel, M., Köbe, M., Prokop, G.: A Cascaded Model-Predictive Approach To Motorcycle Safety, 13th International Symposium on Advanced Vehicle Control, 2016



- [8] IMVITER: EU project on Implementation of Virtual Testing procedures in existing (passive) safety standards. Web-page: <http://www.imviter.com/>
- [9] interactive: EU project on Impact assessment for active safety systems by accident re-simulation. Web-page: <http://www.interactive-ip.eu/>
- [10] Kates, R., Jung, O., Helmer, T., Ebner, A., Gruber, C., and Kompass, K.: „Stochastic simulation of critical traffic situations for the evaluation of preventive pedestrian protection systems.“ 2010.
- [11] Lewerenz P., Prokop G., Wech L., Steininger U.: „Konzept zur Wirksamkeitsanalyse warnender Fahrerassistenzsysteme“ – 10. VDI-Tagung Fahrzeugsicherheit, Berlin, 25.-26. November 2015
- [12] M. Krumnow, Robert Richter, P. Lewerenz, T. Schubert, S. Uebel :Dresden „Using Online Data from Local Traffic Management Centers to Assist an Energy-Efficient Driving Behavior“ – 3rd International Conference on Energy Efficient Vehicles (ICEEV 2014)
- [13] Mai M., Tüschen T., Prokop G.: „A physiological based Driver Model for longitudinal Vehicle Guidance and its Challenges in Validation“ – 3rd International Symposium on Future Active Safety Technology Towards zero traffic accidents (FAST-zero), Göteborg, 09.-11. September 2015.
- [14] Mai M., Wang L., Helmer T., Prokop G.: „Numerical driver behaviour model for stochastic traffic simulation for the evaluation of driver assistance systems and automated driving functions“ – 7. Tagung Fahrerassistenz, München, 25.-26. November 2015.
- [15] Mai M., Wang L., Prokop G.: „Advancement of the car following model of Wiedemann on lower velocity ranges for urban traffic simulation“ – The Driving Simulation Conference 2016 VR, Paris, 07.-09. September 2016.
- [16] Mai M.: „Simulation der sensorischen Wahrnehmung des Fahrers als Teil eines Fahrerhaltensmodells zur Entwicklung und Bewertung warnender Fahrerassistenzsysteme“ – 9. VDI-Tagung Fahrzeugsicherheit, Berlin, 20.-21. November 2013.
- [17] Ondřej Vaculín, Lothar Wech, Udo Steininger, Per Lewerenz, Günther Prokop : „Virtuelle Prüfungen als Ergänzung von realen Prüfungen für die Typgenehmigung von Fahrerassistenzsystemen“, 2. Expertendialog Methodenentwicklung für Aktive Sicherheit und Automatisiertes Fahren (ehemals Tagung „Fahrerassistenz und Aktive Sicherheit“), 2016
- [18] PEGASUS (Projekt zur Etablierung von generell akzeptierten Gütekriterien, Werkzeugen und Methoden sowie Szenarien und Situationen zur Freigabe hochautomatisierter Fahrfunktionen) Web-page: <http://www.bmwi.de/DE/Mediathek/monatsbericht,did=752974.html>
- [19] PReVENT: EU project on General methodology on evaluation of ADAS function. Web-page: <http://www.prevent-ip.org/>
- [20] Prokop G., Köbe M.: „Harmonisierung von Methoden zur Effektivitätsbewertung von Sicherheitsfunktionen“ – 10. VDI-Tagung Fahrzeugsicherheit, Berlin, 25.-26. November 2015
- [21] Prokop G., Mai M., Schlag B., Weller G., Gruber C., Tomasch E., Wimmer P.: „Effektivitätsbewertung warnender Fahrerassistenzsysteme durch Fahrerhaltensmodelle“ – 28. VDI/VW-Gemeinschaftstagung „Fahrerassistenz und Integrierte Sicherheit“, Wolfsburg, 10.-11. Oktober 2012
- [22] Prokop G., Mai M., Weller G., Heyne F.: „Fahrerhaltensmodell zur prospektiven Effektivitätsbewertung der aktiven Sicherheit“ – 16. Technischer Kongress des VDA, Hannover, 20.-21. März 2014.



- [23] Prokop G., Mai M., Weller G., Heyne F.: „Fahrerverhaltensmodell zur prospektiven Effektivitätsbewertung der aktiven Sicherheit“ – 16. Technischer Kongress des VDA, Hannover, 20.-21. März 2014.
- [24] Sander, U. et al: A COMPREHENSIVE AND HARMONIZED METHOD FOR ASSESSING THE EFFECTIVENESS OF ADVANCED DRIVER ASSISTANCE SYSTEMS BY VIRTUAL SIMULATION: THE P.E.A.R.S. INITIATIVE; Paper 15-370; ESV Conference, Gothenburg, 2015
- [25] Sander, U.: PREADICIO – Prediction of Accident Evolution by Diversification of Influence factors in Computer simulation
- [26] Tüschen T., Kocksch F., Rinnert T., Beitelschmidt D., Prokop G.: „Design of a dual suspension kinematics for a highly dynamic driving simulator“ – ITI Symposium, Dresden, 11. November 2015
- [27] Tüschen T., Prokop G.: „Systemauslegung eines hochdynamischen Fahrsimulators mittels einer FMU Co-Simulation“ – ITI Symposium 2014, Dresden, 4.-5. November 2014
- [28] Tüschen Th., Prokop G.: „Development of a highly dynamic driving simulator“ – 16th ITI-Symposium, Dresden, 12. Oktober 2013
Prokop G., Mai M., Schlag B., Weller G., Gruber C., Tomasch E., Wimmer P.: „Effektivitätsbewertung warnender Fahrerassistenzsysteme durch Fahrerverhaltensmodelle“ – 28. VDI/VW-Gemeinschaftstagung „Fahrerassistenz und Integrierte Sicherheit“, Wolfsburg, 10.-11. Oktober 2012
- [29] Tüschen, T., Kocksch, F., Beitelschmidt, D., Prokop, G.: „auto.mobile-driving simulator“ – suspensions design of a wheel-based driving simulator, 7th International Munich Chassis Symposium, 2016
- [30] Van Noort, M., Taoufik, B., Fahrenkrog, F., and Dobberstein, J. „SIMPATIO-The Safety Impact Assessment Tool of Interactive.“ IEEE INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS MAG-AZINE, 2015: 80-90.
- [31] Wille, J.; Zatloukal, M.: rateEFFECT, Effectiveness Evaluation of Active Safety Systems





openPASS – eine Open-Source-Plattform zur Entwicklung flexibler und transparenter Tools für die Bewertung von Fahrzeugsicherheit

Jan Dobberstein, Jörg Bakker

Mercedes Benz Unfallforschung, Daimler AG

1. Einführung

Eine zentrale Herausforderung bei der Entwicklung und Absicherung von Fahrerassistenzsystemen (FAS), hochautomatisierten Fahrfunktionen (HAF) und Notbremsystemen stellt die prospektive Bewertung der Sicherheitswirkung im Straßenverkehr dar. Diese Bewertungsergebnisse – welcher Effekt ist im Unfallgeschehen zu erwarten? – sind ein wichtiges Optimierungskriterium für die Funktionsauslegung. Zudem sind sie eine zentrale Entscheidungsgrundlage für zukünftige Anforderungen an die Fahrzeugsicherheit z. B. durch Ratings oder Typzulassung. Um daher entsprechend schnelle und valide Prognosen der Sicherheitswirkung im Verkehr treffen zu können, ist der Einsatz von Simulationsmethoden unumgänglich. Grundlage für die effiziente Durchführung virtueller Experimente ist – neben methodischen und prozeduralen Fragestellungen – eine entsprechend flexible, transparente und leistungsfähige Software-Plattform.

2. Motivation

Ziel der Effektivitätsbewertung von Sicherheitssystemen ist unabhängig von der konkreten Methode die Aussage, welche Wirkung ein System auf das Unfallgeschehen haben kann. Im Idealfall zeigt sich der beabsichtigte Effekt in der Unfallstatistik durch einen Rückgang der relevanten Unfallzahlen bzw. durch eine Reduzierung der Unfallschwere. Jedoch reagieren die Unfallzahlen nur sehr langsam und verzögert auf die Einführung neuer Technologien, da Neuzulassungen nur einen geringen Anteil an der Gesamtflotte und damit am Gesamt-Unfallgeschehen haben. Abschätzungen und Prognosen zur Wirkung der neuen Systeme sind aber notwendig und wichtig, sowohl als wichtiges Optimierungskriterium für die Funktionsauslegung wie auch als Entscheidungsgrundlage für zukünftige Anforderungen an die Fahrzeugsicherheit z. B. durch Ratings oder Typzulassung.¹

Auch die experimentelle Überprüfung einer Fahrerassistenzfunktion z. B. wie sie zum Beispiel zum Nachweis der funktionalen Sicherheit erfolgt, ist aufgrund des Laborcharakters der bisher gängigen Tests nur begrenzt geeignet, anhand dieser Ergebnisse auf die Realität zu schließen. Ein Beispiel sind Versuche mit Fußgängerschutz-Dummies zur Euro NCAP Bewertung von „AEB Pedestrian“ Systemen. Zwar gibt es keine realistischere Alternative zur Überprüfung der realen Gesamtfunktion. Aber die Vielfalt realer potenzieller

¹ Page et al. (2015): A comprehensive and harmonized method for assessing the effectiveness of advanced driver assistance systems by virtual simulation: The P.E.A.R.S. initiative, in Proceedings 2015 ESV, Gothenburg/Sweden, 2015.



Konflikte und deren Rahmenbedingungen können diese Versuche nicht erfassen – daher lassen sich aus den begrenzten Tests auch nur begrenzt quantitative Aussagen ableiten, wie oft und wie gut ein System im Feld Unfälle vermeidet.

Insofern hat virtuelle Simulation den Vorteil, durch die Ableitung von Modellen für die adressierten Szenarien, der Funktionsweise eines Fahrerassistenzsystems sowie aller relevanten weiteren Einflussgrößen das Detailwissen aus Entwicklung und Test mit der Flexibilität und Effizienz der „virtuellen Welt“ zu vereinen. Sofern die Modellierung valide ist, können aus dieser Abstraktion Aussagen zur Wirkung in Form von Unfallvermeidung bzw. Unfallschwereminderung zur zu erwartenden Wirkung abgeleitet werden. Langfristig ist es das Ziel, durch eine Modellierung z. B. des Realunfallgeschehens Prognosen nicht nur zu globalen Trends wie dem Rückgang der Verkehrstoten treffen zu können, sondern im Detail zu modellieren, welche Unfälle sich wie ereignen werden – und dabei Einflüsse bei Flotte, Fahrerpopulation und Infrastruktur zu berücksichtigen.

Die typischen Anwendungsfälle von openPASS sind daher die Re-Simulation von rekonstruierten Realunfalldaten oder aufgezeichneten Verkehrsdaten, die Generierung einer hohen Anzahl von Verkehrsszenarien oder die Beobachtung von (vielen Millionen) Kilometern Verkehr, jeweils vorrangig zur Bewertung des Sicherheitsnutzens einzelner Fahrzeugfunktionen.

Abbildung 1 zeigt den generischen Aufbau eines virtuellen Experiments zur Effektivitätsbewertung. Abgeleitet aus Funktion und Realdaten werden Szenarien und relevante, zugehörige Parameter identifiziert, die es zu modellieren und simulieren gilt und die das Wirkfeld bzw. die „Baseline“ einer Funktion bilden. Auch menschliche Einflüsse durch Verständnis der Fahrerperformance in diesen Situationen (z. B. Verteilung der Bremsreaktionszeit), Reaktionsvermögen auf assistierende Warnung oder Interaktionen mit anderen Verkehrsteilnehmern müssen durch Fahrer- bzw. Verkehrsteilnehmermodelle abgebildet werden. Seitens der Funktion, die es zu bewerten gilt, sind vor allem Sensoreigenschaften wie Latenzen oder Rauschen in Abhängigkeit der Umgebungsbedingungen (Dunkelheit, Wetter) zu berücksichtigen, um die Wirkung durch idealisierte Sensoren nicht zu überschätzen.

Durch statistische Verteilungsfunktionen aus Expositionsgrößen können Kontextvariablen, die einen Einfluss auf die Funktion und damit auf ihre Wirkweise haben, als stochastische Parameter in der Simulation variiert werden und durch eine ausreichend hohe Zahl von „runs“ die Verteilungen nachgebildet werden.

Bevor die Simulation gestartet wird, sind Metriken notwendig, die eine Evaluation der Simulationsergebnisse nach dem beabsichtigten Effekt – Reduzierung der Unfälle bzw. der Unfallschwere mit System – ermöglichen („true positive“), aber auch das Auftreten von „true negative“, „false positive“ und „false negative“ Verhalten miteinfassen.

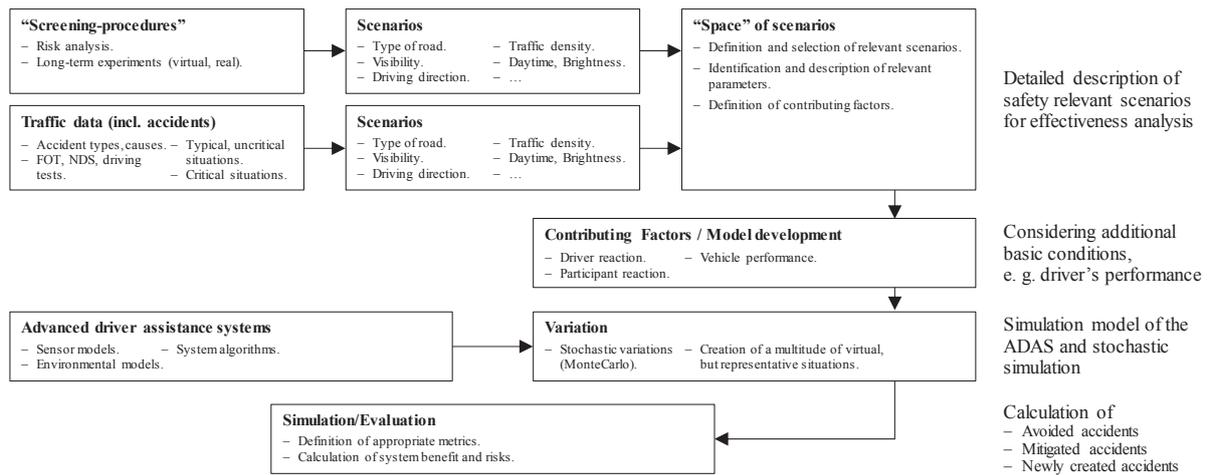


Abbildung 1: Methode zur Durchführung virtueller Experimente zur Effektivitätsbewertung

3. Anforderungen an openPASS

Die Anforderungen an die Software bzw. die Architektur für diese Art von virtuellen Experimenten ergeben sich aus unterschiedlichen Bereichen – von der Anwendersicht bis hin zu den Schnittstellen und Formaten, die die Simulationsplattform bedienen soll²

Leistung: die zentrale Anforderung an die Leistungsfähigkeit ist eine Berechnungsgeschwindigkeit der simulierten Szenarien deutlich schneller als Echtzeit. Ein zentraler Stellhebel in der technischen Umsetzung ist eine effiziente Datenstruktur (z. B. durch Nutzung von Dynamic Link Libraries - *.dll), aber auch die Reduktion auf eine hinreichende Genauigkeit, z. B. durch Beschreibung der Straßenumgebung im xml-Format OpenDRIVE³.

Modularität: eine modulare Software-Architektur ermöglicht die gemeinsame Nutzung harmonisierter „open source“ Komponenten und Schnittstellen und bietet durch offengelegten Code maximale Transparenz. Das ist ein Vorteil z. B. bei der Definition virtueller Testszenarien. Gleichzeitig ist aber durch den Plattformcharakter auch eine Einbindung IP-geschützter Module sowie die Nutzung vertraulicher Daten möglich. Zusätzlich sind aber auch Plattform-Komponenten wie XML-Parser und GUI-Plug-ins modular austauschbar.

Flexibilität und Transparenz: das Ziel von „openPASS“ ist es, sehr vielschichtige Modellierungs- und Bewertungsfragestellungen in einem Toolansatz zu vereinheitlichen, sodass die Module und Abläufe flexibel anpassbar sind. Gleichzeit müssen die verwendeten Daten, Modelle und Annahmen sowie die einzelne Arbeitsschritte hin zum Ergebnis nachvollziehbar sein, damit den Ergebnissen entsprechendes Vertrauen entgegengebracht werden kann.

² Die Ziele der openPASS Working Group finden sich in der Charter unter https://www.eclipse.org/org/workinggroups/openpasswg_charter.php, weitere Details an die konkrete Umsetzung sind im Projekt Proposal verankert: <https://projects.eclipse.org/proposals/simopenpass>

³ Website mit Spezifikation des offenen Standards OpenDRIVE www.opendrive.org.



Eingangsdaten/Schnittstellen: neben der Generierung von Situationen durch stochastische Variation in der „run time“ erfordern zahlreiche Bewertungsfragen die Verwendung von zum Teil sehr unterschiedlichen Datenformaten, z. B. rekonstruierte Trajektorien von Realunfällen, aber auch Messdaten oder abstrakte eventbasierte Szenarienbeschreibungen in Formaten wie OpenSCENARIO⁴.

Benutzerfreundlichkeit: eine wichtige Eigenschaft ist eine flexible Integration in bestehende Entwicklungs-umgebungen, indem verfügbare Software-Komponenten und Modelle einfach anzupassen und zu ergänzen sind. Gleichzeitig soll aber auch ein erstmaliger Anwender in der Lage sein, einfache Simulationen zu starten, und ohne tiefere Programmierkenntnisse z. B. Parameterverteilungen angeben oder Daten mit generischen Systemen auswerten können. Daher ist eine GUI nötig, die die Möglichkeiten von openPASS vollumfänglich abbildet und leicht bedienbar macht, z. B. bei der Konfiguration von generischen Fahrerassistenzsystemen aus mehreren Sensoren oder miteinander vernetzten Algorithmen.

4. Architektur und Module

Die Plattform verlinkt verschiedene Module, um Verkehrssituationen zu erzeugen, die gemäß der zufällig verteilten Einflüsse (Bremsreaktionszeit, Zeitlücken) zu Unfällen werden können. Ein „Master“ lädt alle Konfigurationen und verwaltet die Simulationsaufgaben der „Slaves“, die parallel einzelne Simulationsläufe durchführen. Nach Abschluss eines Laufs übergibt der Slave die Ergebnisse an den Master, der sie in einer Ergebnis-Datenbank ablegt.

Die Konfigurationen sind als xml-Dateien strukturiert, in denen alle Parameter z. B. Eingaben aus der Bedienoberfläche gespeichert werden, sodass die Simulation unabhängig von der GUI, also auch auf anderen PCs bzw. Großrechnern erfolgen könnte. Alle Module sowohl des Kerns als auch die Komponenten der Agenten sind als dlls mit einheitlichen Update-Methoden (Input/Output/Trigger) definiert.

Die Modularität der Plattform führt dazu, dass Adapter zwischen Agenten und Welt existieren, die theoretisch unterschiedliche Welt-Repräsentationen für die gleiche Agenten-Definition zulassen, sodass z. B. rekonstruierte Zeichnungen ebenso wie rein virtuelle OpenDRIVE-Umgebungen denkbar sind, aber auch komplexeren und graphisch aufwändigeren „Weltmodellen“ oder auch Sensormessdaten simuliert werden kann.

5. „open source“ Ansatz einer Eclipse Working Group

Aufbauend auf der langjährigen Erfahrung anhand von Eigenentwicklungen und verschiedenartigen kommerziellen Tools haben BMW, Daimler und Volkswagen mit der ITK Engineering GmbH im August 2016 gemeinsam die Open Source (OS) Initiative openPASS (open platform for the assessment of safety systems) im Rahmen der Eclipse Foundation ins Leben gerufen. Der harmonisierte Software-Stand wird unter der Eclipse Public License (EPL) veröffentlicht und dort offen einsehbar weiterentwickelt.

⁴ OpenSCENARIO Website: www.openscenario.org



Die Eclipse Foundation ist eine Stiftung, in der zahlreiche Unternehmen – vorrangig aus der Softwareentwicklung, aber auch deutsche OEMs sowie Zulieferer, als „Solution member“ beitragspflichtig Mitglied sind (siehe Abbildung 2). Gleichzeitig bezeichnet sich Eclipse auch als Ökosystem und Community, mit dem Ziel, Open-Source-Alternativen zu fördern. Das Hauptanliegen ist die Pflege und Verbreitung der Eclipse IDE (integrated development environment), die vorrangig für Java-Programmierung bekannt ist. Aber die Eclipse-Plattform verwaltet auch zahlreiche andere Open-Source-Projekte – die auch in anderen Programmiersprachen wie C/C++ geschrieben und gepflegt werden.

Der primäre Vorteil der OS-Softwareentwicklung unter dem Dach der Eclipse ist das Konzept der Industry Working Group, da sie die Brücke zwischen kommerzieller Softwareentwicklung und Open-Source-Projekten schlägt. Die standardisierten Vorgehensweisen bilden einen verlässlichen Organisations- und Rechtsrahmen, denn die Bylaws regeln auch Unwägbarkeiten, die sich ggf. erst im Projektverlauf zeigen, z. B. durch unterschiedliche, inkompatible Lizenzen. Auch prüft die Eclipse den initial eingereichten Code auf IP- oder Lizenzkonformität oder kümmert sich um Websites und Corporate Design. Gleichzeitig kann die eigentliche Entwicklung in „Eclipse-Projekten“ erfolgen und die vorhandene Infrastruktur nutzen (Bugzilla, Tools wie Tuleap für das Requirements Engineering, Git-Repositories).



Abbildung 2: Mitglieder der Eclipse Foundation (Quelle: www.eclipse.org)

Dadurch ergeben sich auch für konventionelle administrative Aufgaben neue Wege: Das Logo der Working Group (Abb. 3) wurde unter Moderation der Eclipse Foundation auf der Crowd-Sourcing-Plattform 99design.de erstellt.



Abbildung 3: openPASS Logo – Gewinnerdesign des Crowdsourcing-Contests

Ein klares Ziel von openPASS ist es, Nutzer zu motivieren, ihre Erfahrungen und Weiterentwicklungen nutzbar zu machen. Es gibt sehr unterschiedliche Möglichkeiten, an openPASS mitzuwirken, denn ganz verschiedene Level der Teilnahme sind denkbar:

Nutzer: vor allem soll die Software genutzt und getestet werden. Durch die Bugtracker können die Anwender ihre Kommentare und Erfahrungen wieder an die Entwickler bzw. die Working Group zurückspielen.

Committer: Auch zusätzliche Inhalte können direkt in openPASS eingepflegt werden bzw. Links zu bestehenden Projekten implementiert werden (sofern lizenztechnisch kompatibel), ohne dass eine Steuerung über die Working Group notwendig ist – oder jeder Entwickler in die Working Group eingebunden werden muss.

WG Mitglied: Für Unternehmen bedeutet eine Mitgliedschaft in der openPASS Working Group die Selbstverpflichtung, Mindestumfänge in „manpower units“ (Arbeitstage) einzubringen bzw. Entwicklung in diesem Umfang zu finanzieren. Durch das Modell der offenen „Eclipse Working Group“ können weitere Industrie- und Forschungspartner die Software nicht nur nutzen, sondern sich auch an der Weiterentwicklung beteiligen. Das heißt, die Working Group steht jedem Mitglied der Eclipse Foundation offen, was für akademische Einrichtungen kostenlos ist.

6. Nächste Schritte

Die aktuell laufende Entwicklung in „sim@openPASS“ hat ein voll funktionsfähiges Beispiel-Tool basierend auf dem verfügbaren Framework zum Ziel. Dafür laufen zurzeit Ergänzungen am Kern und es werden weitere Basismodule (Fahrodynamik) erstellt. Vor allem liegt der kurzfristige Fokus aber auf der Erstellung von GUI-Komponenten und Beispiel-Szenarien (z. B. zum Einlesen von Real-Unfalltrajektorien oder zum Aufbau „virtueller Experimente“), um neuen Anwendern bzw. Partnern einen Einstieg zu vereinfachen.

Neben der Simulation virtueller Unfälle aus fix definierten Eingangsdaten soll ein bestehender Open-Source-Szenarieneditor (ODDLOT des HLRS – Höchstleistungsrechenzentrum der Universität Stuttgart⁵) integriert werden, mit dem beliebig komplexe reale Straßenumgebungen im OpenDRIVE Format erstellt werden können. So können Open-Source-Projekte ohne bürokratische Hürden „zusammenwirken“: ein

⁵ ODDLOT-Software: <https://www.hlrs.de/de/solutions-services/service-portfolio/visualization/driving-simulator/oddlot/>



Projekt nutzt zunächst die Vorarbeit des anderen, anschließend kann das andere Projekt wiederum die neuen Inhalte integrieren.

Gleichzeitig kann im Kontext von openPASS eine „virtuelle Toolbox“ zur Unfallforschung entstehen, die eine formatgerechte Unfallrekonstruktion in OpenDRIVE und OpenSCENARIO ermöglicht und durch einen anwendungsspezifischen Funktionsumfang die Informationsgewinnung aus realen Unfallereignissen verbessert. Aufsetzend auf dem OpenDRIVE-Editor ist ein Unfallskizzeneditor realisierbar, der zusätzliche unfallspezifische Objekte ergänzt (Spuren, Endlagen, ggf. kritische Punkte im Unfalleinlauf) – oder aus Eingangsdaten direkt ableitet. Dafür wären weitere Funktionalitäten aus dem COVISE-Framework schon heute direkt open source verfügbar, wie z. B. das Importieren und Verarbeiten von externen Daten (Geoinformationen, Karten, Laserscans).



Abbildung 4: Visualisierung von 3D-Scan-Daten eines Realunfalls in der HLRS-„Cave“

Auch die Datenbanksoftware zur integrierten Verwaltung dieser Eingangsdaten – wie auch Simulationsergebnisse – kann Teil der openPASS-Toolbox sein. Das dafür definierte Datenformat bedeutet eine Loslösung von klassischen, gutachterlichen Unfallrekonstruktionen („genau so ist er Unfall abgelaufen“) hin zu Szenarienkatalogen (mehrere gültige, probabilistische Lösungen). Das heißt, die relevanten und im Detail bekannten Informationen über ein Einzelereignis werden möglichst vollständig genutzt, aber über Parameterverteilungen abgebildet.

Abhängig von den verwendeten Modellen, die getrennt von der Software-Plattform sind und somit von jedem Anwender frei gestaltet werden können, ermöglicht openPASS mittels mikroskopischer Verkehrssimulation vielfältige Untersuchungen über Fragen der Fahrzeugsicherheit hinaus. Hier bietet das Eclipse Ökosystem interessante, bereits bestehende Open-Source-Projekte in benachbarten Themenfeldern (Datenspeicherung, Visualisierung und Datenanalyse). Auch planen einige bestehende Open-Source-Projekt den „Umzug“ ihrer Weiterentwicklung unter das Dach der Eclipse bzw. der EPL.





Sekundäre und tertiäre Sicherheit von modernen PKW-Karosserien

Udo Müller

Fakultät Maschinenbau, Schwerpunkt Fahrzeugtechnik

FHWS – Hochschule für angewandte Wissenschaften Würzburg-Schweinfurt

1. Einleitung

Die Sicherheit im Straßenverkehr hat sich in den letzten Dekaden erheblich verbessert. So konnte die Anzahl der pro Jahr getöteten Verkehrsteilnehmer von den 70er Jahren bis heute deutlich gesenkt werden bei gleichzeitig stark angewachsenem Verkehrsaufkommen. Abbildung 1 zeigt den Verlauf der tödlich verunglückten PKW-Insassen von 1975 bis 2015 in Deutschland.

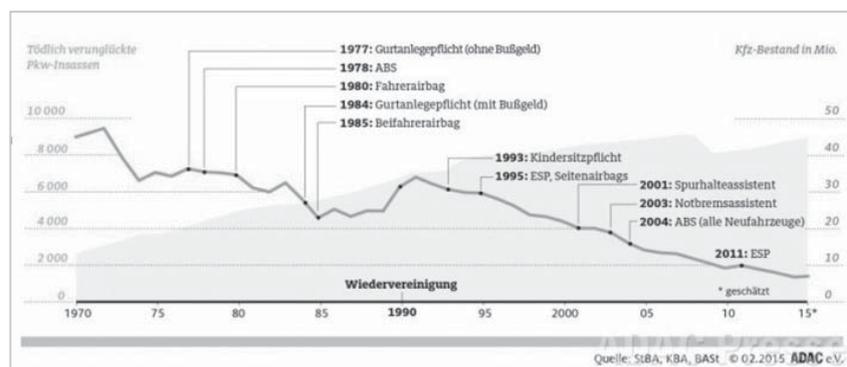


Abbildung 1: Tödlich verunglückte PKW-Insassen von 1975 bis 2015 in Deutschland [1]

Hierzu hat neben der zunehmenden aktiven Sicherheit der Fahrzeuge durch bessere Fahrdynamik, wirksamere Bremssysteme und eine Vielzahl von Assistenzsystemen auch die passive Sicherheit, die sekundäre Sicherheit der Fahrzeuge, einen großen Beitrag geleistet. Für den Schutz der Fahrzeuginsassen bei einem Unfall ist die Karosseriestruktur von zentraler Bedeutung. Die Sicherheitsanforderungen an die Karosserien, die im Regelfall aus der Analyse des Unfallgeschehens resultieren, werden maßgeblich durch gesetzliche Vorgaben festgelegt und durch länderspezifische gesetzliche Craschanforderungen, durch Verbraucherschutztests und durch herstellerspezifische Tests abgebildet. So wurden und werden die Craschanforderungen kontinuierlich strenger und umfangreicher. Beispielsweise sind in den letzten Jahren der Fußgängerschutz und die Small-Overlap-Anforderung hinzugekommen (s. Abbildung 2). Diese Anforderungen machen ein hohes Energieabsorptionsvermögen sowie eine hohe Crashfestigkeit und -steifigkeit erforderlich und beeinflussen die Form und Struktur der Karosserie erheblich.

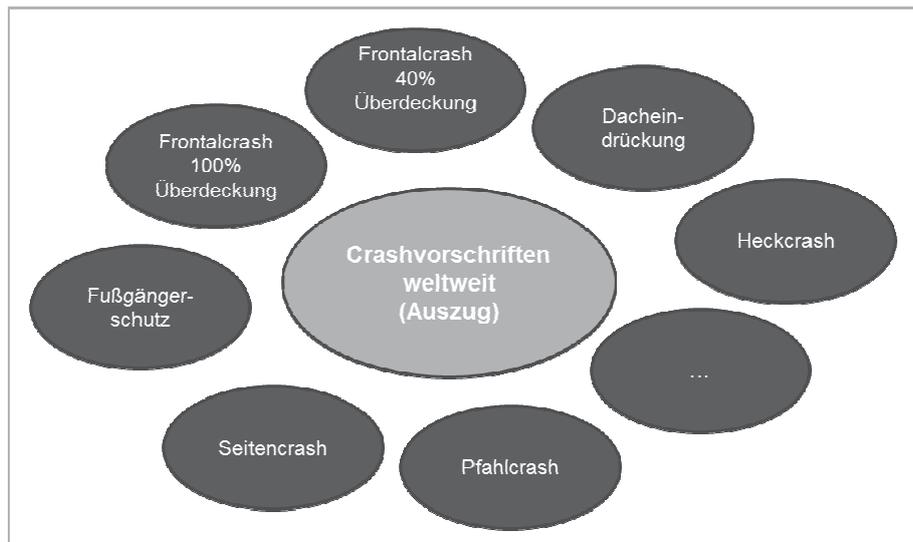


Abbildung 2: Überblick über die derzeit maßgeblichen Crashvorschriften

Somit entwickeln sich die Karosseriestrukturen aufgrund der ständig steigenden Sicherheitsanforderungen ebenfalls kontinuierlich weiter. Zusätzlich zu diesen Anforderungen hat die Karosseriestruktur eine hohe Steifigkeit für ein gutes Fahrverhalten und ein gutes akustisches Verhalten für einen hohen Fahrzeugkomfort aufzuweisen (s. Abbildung 3). Neben diesen Anforderungen hat die Karosserie die ständig steigenden Vorgaben bezüglich Gewicht und Kosten zu erfüllen.

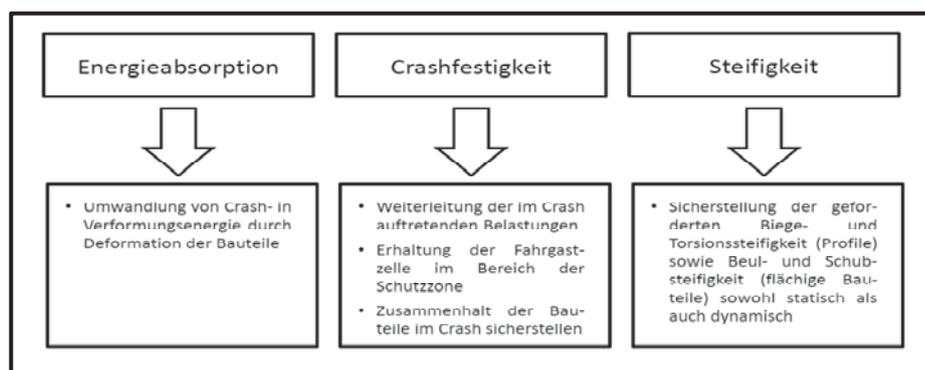


Abbildung 3: Technische Anforderungen an die Karosseriestruktur mit den zugehörigen Teilaufgaben

2. Karosseriekonzepte

Im Gegensatz zum Karosseriebau bis in die 90er Jahre werden diese ganzheitlichen Anforderungen nicht mit einem Standardkarosseriekonzept, der Stahlschalenbauweise, erreicht, sondern durch unterschiedlichste Konzepte umgesetzt. So haben sich am Markt für Serienfahrzeuge die Schalenbauweise in Stahl und Aluminium, die Space-Frame-Bauweise mit Aluminium und die Monocoque-Bauweise mit faserverstärkten Kunststoffen etabliert. Aufgrund der steigenden und unterschiedlichen Anforderungen an die Module und Bauteile werden die verschiedenen Bauweisen mit den zugehörigen Werkstoffen im zunehmenden Maße



innerhalb einer Karosserie vereint, sodass Karosserien in sogenannter Misch- oder Hybridbauweise resultieren (s. Abbildung 4).



Abbildung 4: Etablierte Rohbaukonzepte im Serienfahrzeugbau

3. Karosseriebauweisen

Der Einsatz der unterschiedlichen Karosseriekonzepte ist u.a. abhängig von der Fahrzeugbauart (Limousine, SUV, Cabriolet,...), von der Stückzahl, von der Fahrzeugklasse (Kleinwagenklasse, Kompaktklasse, Mittelklasse, Oberklasse, ...) und von der Herstellerstrategie (OEM). Auf Basis dieser Konzepte resultiert aufgrund der Einflussgröße eine Vielzahl individueller Bauweisen. Einen Überblick über die Einflussgrößen, die die Bauweisen beeinflussen, zeigt Abbildung 5.

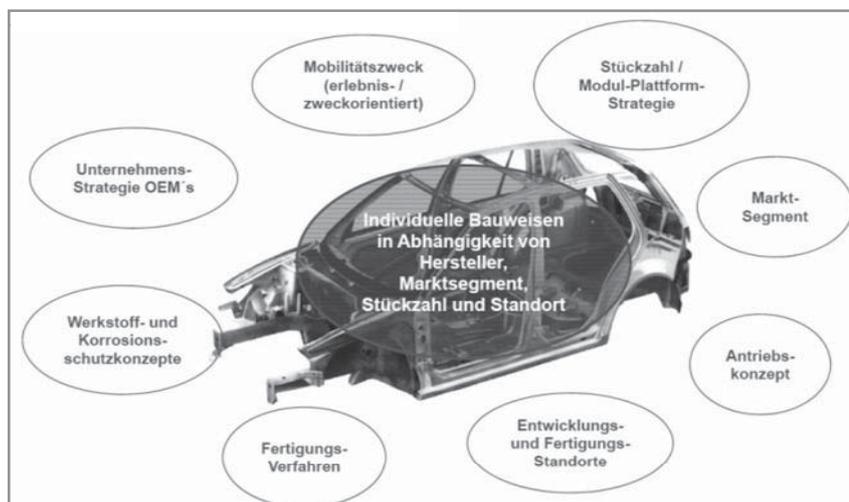


Abbildung 5: Einflussgrößen im Karosseriebau



Die Betrachtung des Fahrzeugmarktes zeigt, dass auch dieser einer großen Veränderung unterliegt. So haben sich die Modellvielfalt, die Variantenvielfalt innerhalb dieser Modelle und die Ausstattungsvielfalt für die Varianten in den letzten Jahrzehnten rasant weiterentwickelt. Anzumerken ist hierbei, dass einheitliche Definitionen für die Begriffe Modelle, Varianten und Ausstattung nicht vorliegen, sondern von Hersteller zu Hersteller unterschiedlich verwendet werden. Aufgrund der stark gestiegenen Vielfalt haben sich die zugehörigen Karosseriekonzepte von eigenständigen modellspezifischen Karosserien über plattformspezifische Karosserien (Plattformbauweise) zu modular aufgebauten Karosserien (Modulbauweise, Baukastensysteme) weiterentwickelt. Abbildung 6 gibt einen Überblick über etablierte Karosseriebauweisen mit dem abgeschätzten Leichtbaulevel, quantifiziert mit der Leichtbaugütezah L_T ($L_T = m / (c_T \cdot A)$; m = Karosseriegewicht, c_T = Torsionssteifigkeit, A = Aufstandsfläche). Anzumerken ist, dass die Leichtbaugüte eine große Streuung je nach Güte der Karosserie aufweisen kann, so dass die aufgezeigte Rangfolge variieren kann.

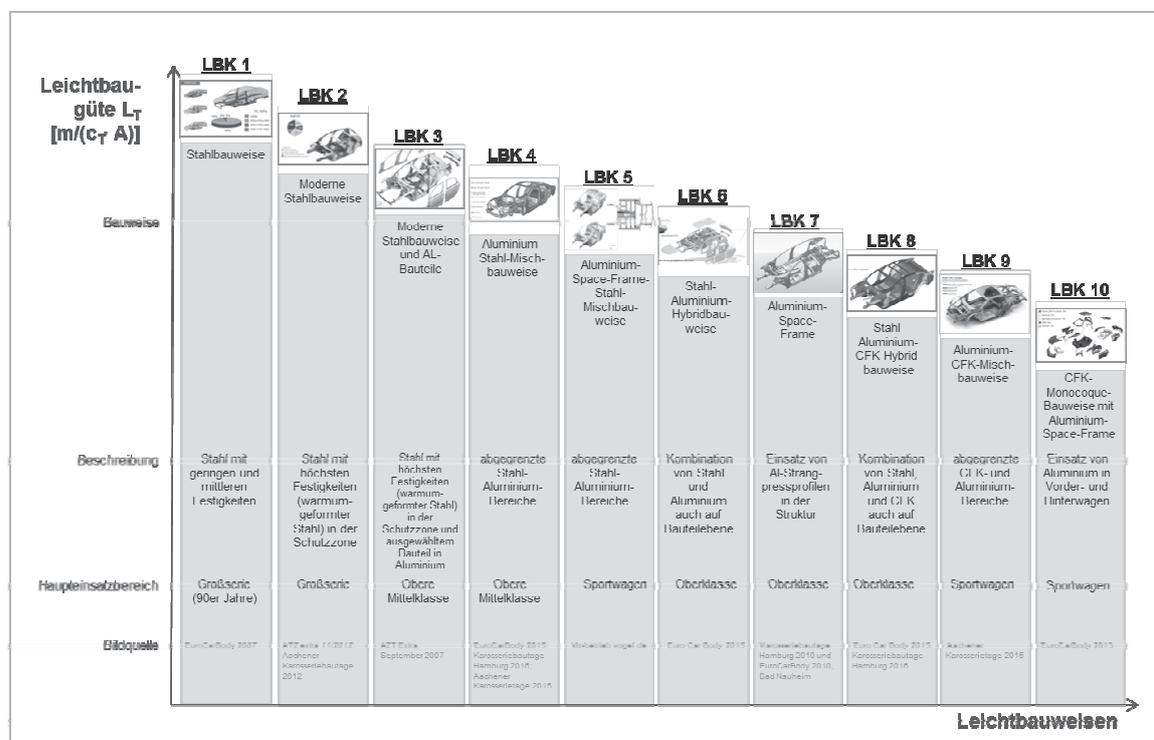


Abbildung 6: Überblick über etablierte Karosseriebauweisen in Abhängigkeit des Leichtbaulevels

Neueste Trends zeigen, dass zunehmend auch diese Module sowohl durch Anpassung der Werkstoffblechdicken und der Werkstofffestigkeiten als auch durch das Hinzufügen oder Weglassen von Bauteilen den Anforderungen entsprechend angepasst werden, so dass eine zunehmende Individualisierung der Karosserien resultiert.



4. Tertiäre Fahrzeugsicherheit

Diese voranschreitende Individualisierung hat nicht nur eine erhebliche Auswirkung auf die Fertigungsstrategie der Karosserien, sondern beeinflusst auch zum einen die tertiäre Fahrzeugsicherheit, die schnelle und sanfte Rettung von Personen aus einem verunfallten Fahrzeug, und zum anderen die Reparaturkonzepte von unfallgeschädigten Karosserien.

Die Rettungskonzepte werden erheblich von der Bauweisen-Individualisierung beeinflusst. So ist bei modernen Karosserien ein auf die Karosserie abgestimmtes Rettungskonzept notwendig, da jede Karosserie individuelle Verstärkungen mit unterschiedlichen Werkstoffdicken und Werkstofffestigkeiten aufweist. Die ADAC Unfallforschung hat mit Schnittversuche an B-Säulen unterschiedlicher Fahrzeugbaujahre im ADAC Technik Zentrum die auftretenden Probleme und mögliche Lösungsansätze aufgezeigt (s. Abbildung 7). Aus den Statistiken, die die benötigte Zeit zur Rettung der Insassen aus dem Fahrzeug ausweisen, und den Erkenntnissen aus durchgeführten Schnittversuchen wird deutlich, dass durchaus Verbesserungspotenzial hinsichtlich einer „rettungsfreundlichen“ Gestaltung für moderne Karosserien besteht. Mögliche Lösungsansätze sind beispielsweise einheitliche, gut zugängliche und gekennzeichnete Karosseriebereiche vorzusehen, die für die Schnitt- und Spreizwerkzeuge optimierte Werkstofffestigkeiten, Fügmethoden und Strukturgeometrien ohne Zusatzelemente aufweisen und somit die technische Rettung erheblich erleichtern. Weiterhin hat die Kenntnis der Rettungsteams über den Aufbau der Fahrzeugkarosserien einen erheblichen Einfluss auf die Effektivität eines Rettungseinsatzes. Die bereits heute etablierten Rettungskarten haben hier eine deutliche Verbesserung bewirkt.



Abbildung 7: Tertiäre Sicherheit – Probleme beim Trennen einer A-Säule [2]



5. Reparaturkonzepte

Bei den Reparaturkonzepten hat eine fachgerecht Karosserieinstandsetzung, abgestimmt auf die individualisierte Karosserie zu erfolgen.



Abbildung 8: Schäden nach dem Erst-Seitencrash (links) und dem Zweit-Seitencrash eines nicht fachgerecht instandgesetzten Fahrzeugs [3]

Für diese fachgerechte Instandsetzung sind heute Detailkenntnisse zu der Struktur, den eingesetzten Werkstoffen und den Fügeverfahren erforderlich. Beispielhaft werden in diesem Zusammenhang die warmumgeformten Stahlbauteile in der Seitenstruktur genannt, die nicht gerichtet und im Regelfall auch nicht an beliebigen Stellen thermisch gefügt werden dürfen. Bei nicht fachgerechter Karosserieinstandsetzung kann sich die sekundäre Sicherheit erheblich verschlechtern (Abbildung 8).

6. Zusammenfassung und Ausblick

Die ständig steigenden technischen Anforderungen an Karosserien, die vom Markt getriebene zunehmende Modellvielfalt, die bestehenden Verbesserungspotentiale in modernen Fahrzeugkarosserien bezgl. Rettungskonzepte und Reparaturkonzepte, dazu die immer strenger werdenden Anforderungen bezgl. Wirtschaftlichkeit und Umweltverträglichkeit werden die Produktindividualisierung im Karosseriebau weiter vorantreiben und somit den Einsatz von neuen Werkstoffen sowie Umform- und Fügeverfahren fördern.

Die Sicherheit in der Nutzungsphase des Fahrzeuges, zum einen die schnelle und sanfte Rettung von Personen aus einem verunfallten Fahrzeugen, zum anderen die Sicherstellung von Reparaturkonzepten, die die ursprüngliche passive Sicherheit von unfallgeschädigten Karosserien wiederherstellen, kann in diesem technisch anspruchsvollen Umfeld nur weiter verbessert werden, wenn alle Beteiligten eng an neuen Konzepten zusammenarbeiten und frühzeitig die notwendigen und erforderlichen Informationen und Anforderungen bereitstellen und austauschen.



Literatur

- [1] ADAC e.V. (www.presse.adac.de; Abruf 01/2017)
- [2] Tertiäre Sicherheit: Rettung aus modernen Fahrzeugen – Fahrzeugtechnische Einflussparameter auf Befreiungstechniken; Dipl.- Ing. (FH) Christina Dürr, Dipl.- Ing. Thomas Unger, Prof. Dr.-Ing. Udo Müller; ATZ 12|2012 114. Jahrgang S.968-972
- [3] EES-Abschätzung bei instandgesetzten PKW; Helge Kiebach, KTI, Lohfelden, März 2011, VKU Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik





ADAC Unfallforschung – 3D-Laserscanning von Fahrzeugen zur Verbesserung der Unfallrekonstruktion

Guilene Patricia Tobit Nguelohe

ADAC e.V. Bachelorantin ADAC Unfallforschung

Thomas Unger

ADAC e.V., Projektleiter Unfallforschung

Prof. Dr. Barbara Hahn

Hochschule Koblenz, RheinAhrCampus Remagen

1. Einleitung

Die Methode des manuellen Aufmaßes wird aufgrund der enormen Zeit- und Arbeitskosten immer seltener benutzt. Mit dieser Methode besteht immer die Frage, wie genau die Maße mit der Realität übereinstimmen. Aus diesen Gründen wird die Technik nach und nach durch digitalisierte Messmethoden ersetzt.

Die Entwicklung an 3D-Laser-Systemen zur Erfassung der Oberflächen dagegen ist in den letzten Jahren stark vorangeschritten. Obwohl es verschiedene Hersteller gibt, ist das Messverfahren das Gleiche. Mit der Anwendung des neuen Messverfahrens verlaufen die Vermessungen schneller und präziser.

Dank der Anwendung von 3D-Lasermesstechniken können zudem komplizierte Objektgeometrien mit Kanten, Rissen und Löchern problemlos vermessen werden.

Die ADAC Unfallforschung ist im Besitz eines MVC-F5 handgeführten 3D-Laserscanners der Firma Mantis Vision. In dieser Arbeit wird dieses Gerät für die Erfassung von Fahrzeugen und deren Deformationen eingesetzt. Neben dem Ablauf der Datenaufnahme, Datenauswertung bis hin zur Erzeugung des 3D-Modells wird in dieser Arbeit die Genauigkeit des Systems näher untersucht. Aus den Ergebnissen heraus werden Verbesserungsmaßnahmen vorgeschlagen, die das System effizienter, robuster und genauer machen sollen.

2. 3D-Objekt Erfassung

3D-Messverfahren lassen sich in passive und aktive Verfahren einteilen. Bei dem passiven Verfahren werden die zu erfassenden Messobjekte durch Umgebungslicht erhellt. Dieses Verfahren ist von der Beleuchtung abhängig.

Aktive Verfahren hingegen bringen durch strukturierte Lichtquellen, wie Laser, gezielt Energie zum Objekt und registrieren dann das gestreute Licht. Man muss das Objekt nicht abdunkeln oder speziell beleuchten.

Aktive Verfahren lassen sich weiter in taktile und berührungslose Verfahren teilen. Auf das berührungslose Verfahren unter Benutzung des Triangulationsprinzips wird in dieser Arbeit genauer eingegangen.



3. Triangulation

Triangulation ist eine geometrische Methode der optischen Abstandsmessung durch genaue Winkelmessung innerhalb von Dreiecken. Winkel lassen sich einfacher und genauer messen als Streckenlängen, vor allem, wenn diese sehr große Dimension aufweisen.

Sind die Winkel zwischen den Seiten eines Dreiecks und die Länge einer der Dreiecksseiten bekannt, kann die Länge der anderen Seiten berechnet werden. Die Berechnung erfolgt mittels trigonometrischer Funktionen.

3.1 Lasertriangulation – Streifenprojektion

Die Streifenprojektion ist eine Anwendung von Lichtschnittverfahren. Hier wird ein flächenhaftes Muster über das zu erfassende Objekt projiziert. Eine Muster-Codierung zwischen dem reflektierten Licht und dem Kamerabild sorgt für eine Zuordnung der unterschiedlichen Intensitätswerte mit den entsprechenden Bildpunkten. Durch die Projektion mehrerer Laserlinien (Periodisches Gitter) auf das Objekt, können Muster erzeugt werden. Das von vielen Systemen verwendete Muster ist die Gray-Code Sequenz. Die Intensitätsverteilung im Schnittlinienbild ist hier von der Objektoberfläche abhängig und entspricht einer phasenmodulierten Intensitätsverteilung [1]. In Abhängigkeit der dreidimensionalen Form des Objekts wird das äquidistante Streifenmuster verformt, sodass hieraus für jeden Bildpunkt eine dreidimensionale Bildkoordinate berechnet werden kann [2].

4. Dreidimensionales Laserscanning in der Anwendung

Der für diese Arbeit verwendete Laserscanner ist der Mantis Vision F5 (MVC-F5) Handscanner. Die Sensoren arbeiten nach dem Prinzip der Streifenprojektion. Mit dem Laserscanner sollen Deformationen an unterschiedlichen Fahrzeugen und Crashbarrieren vermessen werden.



Abbildung 1: MVC- Imager bzw. MVC-Controller



5. Ermittlung von Deformationen

Zur Feststellung von Deformationen an einem Fahrzeug, werden vor und nach einem Crashtest die Fahrzeuge durch einen Laserscan erfasst. Im Anschluss werden aus den gewonnenen Daten eine 3D-Punktwolke und ein 3D-Modell erstellt. Die beiden erstellten 3D-Modelle werden danach nebeneinandergestellt und dann überlagert, um Formänderungen oder Deformationen festzustellen.

5.1 Beispiele von Fahrzeugdeformationen

Die hier gezeigten Fahrzeuge wurden mit einer Geschwindigkeit von 64 km/h und einer Fahrzeugüberdeckung von 40% frontal gegen eine verformbare Crashbarriere getestet.

In Abbildung 2 ist das Ergebnis der Punktwolkenerstellung dargestellt. Auf dem 3D-Punktwolken Modell sind alle wesentlichen Elemente gut zu erkennen. Alle „durchsichtigen“ Bereiche sind Zonen, bei denen keine Punkte erfasst werden konnten. Fahrzeugscheiben sind aufgrund der optischen Eigenschaften nicht vorhanden. Bei der Darstellung handelt es sich um Originalpunktwolke ohne Rauschminderung.

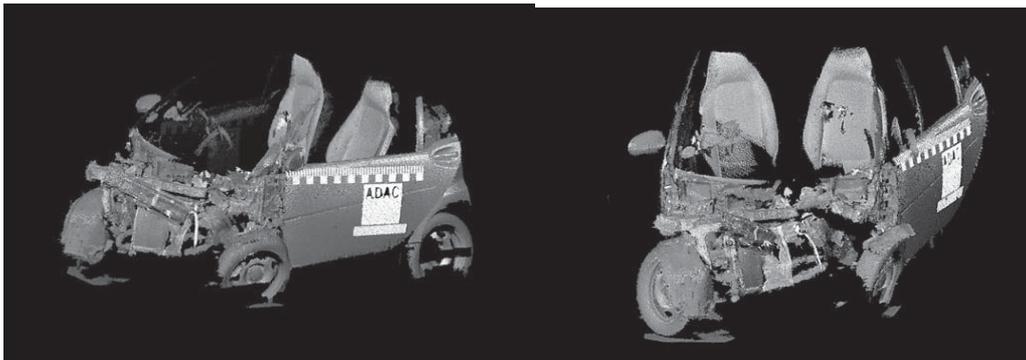


Abbildung 2: 3D-Punktwolken von Fahrzeugen

Zur besseren Visualisierung werden die verformten und unverformten Modelle digital nebeneinandergestellt und überlagert.

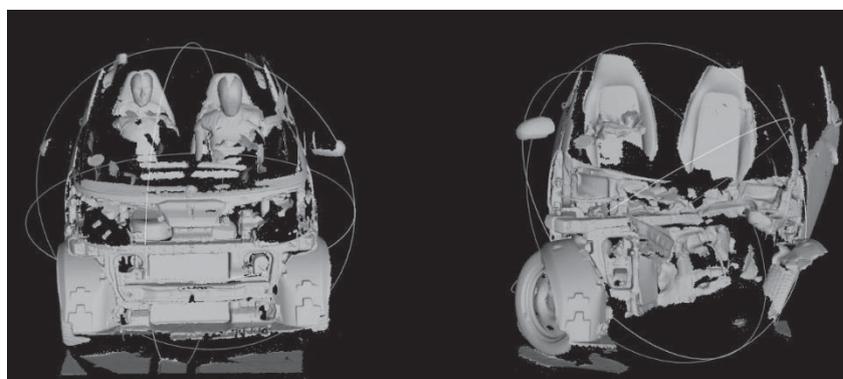


Abbildung 3: Smart-Vergleich: Links: vor dem Crash, Rechts: nach dem Crash



Abbildung 4: Überlagerung von beiden Modellen

6. Verwendbarkeit der ermittelten Messwerte

Zur Abschätzen der durchschnittlichen Messfehler des MVC-F5, werden die Abhängigkeit von den Einflussfaktoren Rauschen, Distanz und Stitching betrachtet.

6.1 Durchführung der Messung

Zur Bestimmung der Größen der einzelnen Deformationsteile wird die vorhandene Software des Scanners verwendet. Hier gibt es die Möglichkeiten eine Streckenlänge zu ermitteln (Abstand zwischen zwei Punkten) und Kreise zu bestimmen (Durchmesser des ausgewählten Kreis). Die Software erkennt räumliche dreidimensionale Punktkoordinaten der gewählten Punkte und berechnet die dazugehörige Distanz.

Die Messgrößen sind in [mm] angegeben. Die Vergleichsmaße (wahren Werte) stammen aus einer direkten Vermessung auf dem Fahrzeug. Die Vermessungen wurden mit dem 3D-FARO Messarm durchgeführt. Der FARO hat eine Genauigkeit von 0,001mm. Beide Werte sind in Tabelle 1 dargestellt.

Autoteile von A-H	Maße aus den 3D-scans in [mm]	Vergleichsmaße in [mm]	Autoteile von A-H	Maße aus dem 3D-Modell	Vergleichsmaße in [mm]
A: Kotflügel rechts Unterkante	98,2	99,472	A: Kotflügel rechts Unterkante	105,78	99,472
B: Radkappe Vorderrad recht	413,5	414,292	B: Radkappe Vorderrad recht	417,56	414,292
C: Blech vorne rechts senkrecht	291,2	292,397	C: Blech vorne rechts senkrecht	289,376	292,397
D: Querträger recht	146,8	152,34	D: Querträger recht	140,304	152,34
E: Unterer Querträger	94,1	95,872	E: Unterer Querträger	89,717	95,872
F: Scheinwerferhalteblech links	72,1	77,059	F: Scheinwerferhalteblech links	72,09	77,059
G: Blech auf Querträger	83,2	84,546	G: Blech auf Querträger	75,46	84,546
H: Kotflügel vorne links	651,1	650,304	H: Kotflügel vorne links	654,007	650,304

Tabelle 1: Darstellung der Messwerte aus der 3D-Punktwolke (li.) und 3D-Mesh Modelle (re.)



6.2 Genauigkeit der Messwerte

Um die Genauigkeit der Messung zu bestimmen, wird die absolute Messabweichung berechnet. Dies ergibt sich aus der Differenz zwischen dem Messwert und dem wahren Wert. Für die 3D Punktwolke liegt die absolute Messabweichung im Intervall von +/- 5 Millimetern [-4,959mm und 0,796mm].

Autoteile von A-H	Maße aus den 3D-scans in [mm]	Vergleichmaße in [mm]	Absolute Messabweichung in [mm]
A: Kotflügel rechts Unterkante	98,2	99,472	-1,272
B: Radkappe Vorderrad recht	413,5	414,292	-0,792
C: Blech vorne rechts senkrecht	291,2	292,397	-1,197
D: Querträger recht	146,8	152,34	-5,54
E: Unterer Querträger	94,1	95,872	-1,772
Scheinwerferhalteblech links	72,1	77,059	-4,959
G: Blech auf Querträger	83,2	84,546	-1,346
H: Kotflügel vorne links	651,1	650,304	0,796

Tabelle 2: Berechnung der absoluten Messabweichung aus der Punktwolke

Aufgrund der entstehenden Fehler beim Vernetzen der vorhandenen 3D Punktwolken, ist der absolute Fehler bei 3-D Mesh- Modellen deutlich höher. Dieser liegt im Intervall von +/- 15 Millimetern [-12,036mm und 6,308mm].

Autoteile von A-H	Maße aus dem 3D-Modell	Vergleichmaße in [mm]	Absolute Messabweichung in [mm]
A: Kotflügel rechts Unterkante	105,78	99,472	6,308
B: Radkappe Vorderrad recht	417,56	414,292	3,268
C: Blech vorne rechts senkrecht	289,376	292,397	-3,021
D: Querträger recht	140,304	152,34	-12,036
E: Unterer Querträger	89,717	95,872	-6,155
F: Scheinwerferhalteblech links	72,09	77,059	-4,969
G: Blech auf Querträger	75,46	84,546	-9,086
H: Kotflügel vorne links	654,007	650,304	3,703

Tabelle 3: Berechnung der absoluten Messabweichung aus dem 3D-Mesh-Modell

Die größte Abweichung liegt am Querträger des Fahrzeuges vor. Die Ursache für diesen Fehler ist bei der fehlerhaften Rekonstruktion des 3D Modells zu suchen.

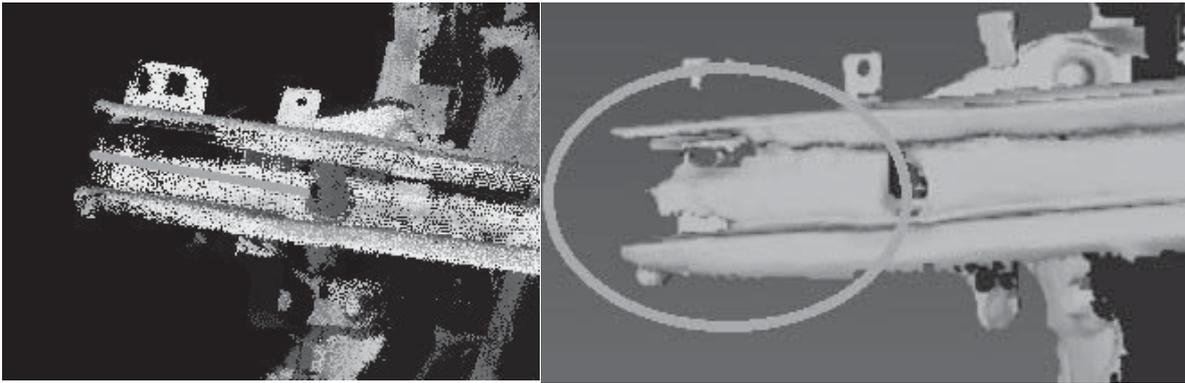


Abbildung 5: Messfehler durch fehlerhafte Modellrekonstruktion

6.3 Quellen von Ungenauigkeiten

Die Quellen von Ungenauigkeiten können in fünf Kategorien unterteilt werden:

Kategorie 1 – Stitching Software: Die Messgenauigkeit lässt sich durch die Anzahl an zusammengesetzten Bildframes definieren. Viel genauer sind die Messungen, wenn die Einzelbild-Frames sich automatisch zusammensetzen, sodass nur wenig manuelle Bearbeitung notwendig wird.

Kategorie 2 – Metallkanten: Größere Abweichungen sind auch an Metallkanten festzustellen. Sie sind durch Ausreißpunkte verursacht. Das konnte im 3D-Modell des gescannten Objekts beobachtet werden. Dies variiert je nachdem, mit welchem Einfallswinkel oder Ablenkung der Laserstrahl auf die Kante trifft.

Kategorie 3 – Rauschfehler: Das Rauschen erzeugt Messfehler, die durch unerwünschte Reflexion an der Objektoberfläche verursacht werden. Je mehr Rauschen in der 3D-Punktwolke enthalten ist, desto weiter gehen die Messgrößen auseinander.

Kategorie 4 – Abstand der Objekte: Diese Kategorie liegt vor, wenn das 3D-Modell auf sehr nah einander liegende Objektteile besteht. Durch die komplexe Geometrie des Fahrzeugs und die noch bestehenden Rauschpunkte überlappen sich die Oberflächen. Die Messung auf dem 3D-Modell wird in den Fall nur eine Abschätzung sein, je nachdem, wie viele Objekte zu einem vernetzt wurden.

Kategorie 5 – Objektoberfläche und -farbe: Nicht alle Fahrzeuge lassen sich einfach mit einem Laserscanner erfassen. Bei mehreren Modellen gab es Schwierigkeiten bei der automatischen Registrierung der Punktwolke, sowohl vor als auch nach dem Crash. Die Ursache ist in der Lackfarbe zu suchen. Aufgrund der optischen Eigenschaften der Oberfläche kann es zu größeren Versetzungen der einzelnen Messpunkte führen. An anderen Stellen wurde zu wenig Licht reflektiert, sodass Bereiche ohne Messpunkte entstanden sind.



8 Zusammenfassung

Die Arbeit stellt die Erfassung von Fahrzeugdeformationen mit den MVC-F5 der Firma Mantis Vision vor, die Generierung von 3D-Modellen und 3D-Punktwolken und Modell- Vermessungen.

Der Vorteil des MVC-F5 ist das berührungslose Erfassen von Geometrien. Komplexe Bauteile können so ohne Schwierigkeiten vermessen werden. Die Handhabung des MVC-F5s ist im Praxiseinsatz war eine einfache, leichte und schnell.

Das gelieferte 3D-Modell behält gut die Objektgeometrie, lediglich die Kantenbereiche weisen eine Vielzahl an Unschärfen auf. Es sollte hier noch eine Verbesserung des Messpunkts im Kantenbereich vorgenommen werden, entweder durch ein zusätzliches Bearbeitungstool oder durch eine Weiterentwicklung des Geräts mit eingebautem CCD Sensor.

Die Messungen an den 3D-Punktwolken-Modellen zeigten im Unterschied zu dem 3D-Modell eine viel bessere Handhabung. Das Measurement Tool der mitgelieferten Software ermöglicht eine sehr einfache Raumbewegung und eine genaue dreidimensionale Nahvermessung der Punktwolke.

In dieser Arbeit wurde auch die Genauigkeit der 3D-Imagers F5 untersucht. Diese Genauigkeitsuntersuchung der Messwerte hat gezeigt, dass die Verformungsbereiche von verunfallten Fahrzeugen mit einer Genauigkeit von +/- 5 Millimetern durchgeführt werden kann. Dieser Wert ist für den Bereich der Unfallrekonstruktion ausreichend.

Es kann hilfreich sein, die Punktwolken für die Weiterverarbeitung zu behandeln und eine einprozentige Rauschentfernung durchzuführen. Im Vergleich zu Punktwolken-Modellen ist das vernetzte 3D-Modell empfindlicher gegen Rauschen.

Der Benutzer kann selber die Entscheidung treffen, je nach Speicherkapazität des PCs und Anzahl der zur Verfügung stehenden Daten, in welcher endlichen Form die Daten abgespeichert werden sollen. Man sollte beachten, dass für ein gesamtes Fahrzeug der Speicherbedarf für ein 3D-Punktwolken-Modell in Bereich von 1 bis 5 Gigabyte und für das vernetzte 3D-Modell etwa ein Fünftel.

Literaturverzeichnis

- [1] Norbert, Bauer. (2003). Leitfaden zur Grundlagen und Anwendungen der Optischen 3-D Messtechnik. Fraunhofer-Allianz Vision, Erlangen.
- [2] Norbert Bäurle (Hrsg.). (2008). Handbuch Zur industriellen Bildverarbeitung. Fraunhofer-Allianz Vision, Erlangen.





Entwicklung einer Methodik zur Ableitung der Unfallschwere realer Verkehrsunfälle auf Basis von Standard-Crashtests

Alexander Theim

Cand. Dipl.-Ing. Fahrzeugtechnik, ADAC e.V.

1. Einführung

1.1 Einleitung

Verkehrsunfälle mit Schwerverletzten und Getöteten werden oftmals durch ein Unfallgutachten rekonstruiert. Diese Gutachten finden Anwendung bei Gericht zur Klärung der Schuldfrage. Hier ist es von großem Stellenwert hohe Genauigkeiten und niedrige Toleranzen der Berechnungen zu erreichen um eindeutige Aussagen treffen zu können. Um diese Genauigkeiten bei der Rekonstruktion von Verkehrsunfällen zu verbessern, bedarf es mehr Vergleichsmöglichkeiten. Da das ABS System mittlerweile im Großteil der Fahrzeuge im Straßenverkehr verbaut ist, findet der Unfallgutachter am Unfallort immer weniger nutzbare Bremspuren mit deren Hilfe er bisher auf die Kollisionsgeschwindigkeit zurückrechnen konnte.

Das Prinzip des Energy Equivalent Speed (kurz: EES) hat sich als eine sehr nützliche Ergänzung zur Rekonstruktion bezüglich der Kollisionsgeschwindigkeiten von Verkehrsunfällen herausgestellt. Dabei handelt sich um einen rechnerischen Geschwindigkeitswert, mit diesem ein Vergleichsfahrzeug gegen ein starres Hindernis fahren muss, um das gleiche Schadensbild wie ein real verunfalltes Fahrzeug zu erzeugen. Durch Vergleiche der Schadensbilder des Unfallfahrzeugs mit Vergleichsfahrzeugen, bei diesen die Crashparameter und somit die EES-Werte bekannt sind, lässt sich die Kollisionsgeschwindigkeit genauer eingrenzen oder ermöglicht es sogar erst eine Rekonstruktion zu erstellen.

Bedingt durch die aktuell zur Verfügung stehenden EES-Kataloge, welche zum Teil nicht mehr aktualisiert werden oder erhebliche Ungenauigkeiten aufweisen, können Unfälle mit aktuellen Fahrzeugen nur über Abschätzung des Gutachters auf Basis seiner Erfahrung rekonstruiert werden. Hier besteht eine potenzielle Fehlerquelle da nicht jeder Gutachter zur selben Einschätzung kommt. Ein Ansatzpunkt zur Verbesserung der Datenbasis für sogenannte EES-Kataloge ist die Auswertung von Standard-Crashtests.

1.2 European New Car Assessment Programme (Euro NCAP)

Durch das Euro NCAP Konsortium werden jährlich im Rahmen von Fahrzeugbewertungen zahlreiche Crashversuche durchgeführt. Die relevanten Versuche für diese Arbeit sind der ODB und der FW Versuch:



Offset Deformable Barrier (ODB)

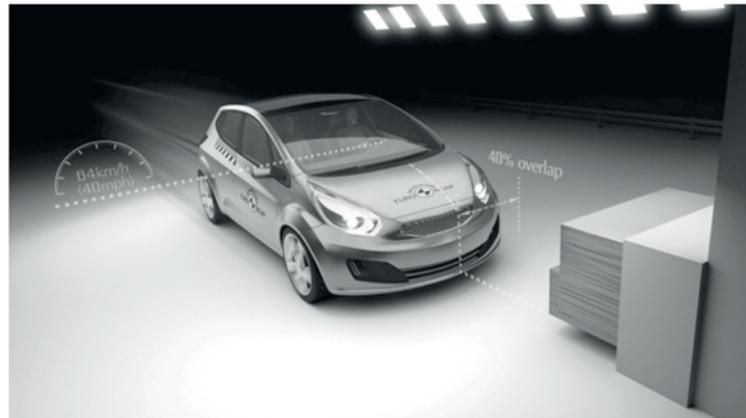


Abbildung 1: ODB Crash [Euro NCAP]

Das Fahrzeug prallt mit einer Geschwindigkeit von 64 km/h und einer Überdeckung von 40% auf eine deformierbare Barriere.

Hiermit wird speziell die Fahrzeugstruktur überprüft.

Full Width Rigid Barrier (FW)



Abbildung 2: FW Crash [Euro NCAP]

Das Fahrzeug fährt mit einer Geschwindigkeit von 50 km/h und voller Überdeckung gegen eine starre Wand.

Es werden damit die Rückhaltesysteme wie Gurt und Airbag getestet.

1.3 Aktuelle Methoden zur Ermittlung der EES-Werte

EES-Katalog

Derzeit können Gutachter die EES-Werte von Fahrzeugen über sogenannte EES-Kataloge ermitteln. Abhängig vom Katalog stehen hier sehr unterschiedliche Datentiefen, und teilweise auch falsch eingepflegte Datensätze zur Verfügung. Sehr aktuelle Fahrzeuge, so wie sie von Euro NCAP getestet werden, finden sich in



diesen Katalogen bisher nicht. Somit hat der Gutachter keine Vergleichsbasis gegeben und muss auf eine Abschätzung, welche auf seiner Erfahrung basiert, zurückgreifen. Abbildung 3 zeigt die Auswahl des EES-Katalogs von Dr. Melegh. Ein BMW 720 wurde offiziell nie produziert. Das gezeigte Modell ist ein BMW E30, womit die Masse von 1600 kg und der angegebene EES-Wertes von 48 km/h sehr fraglich ist.

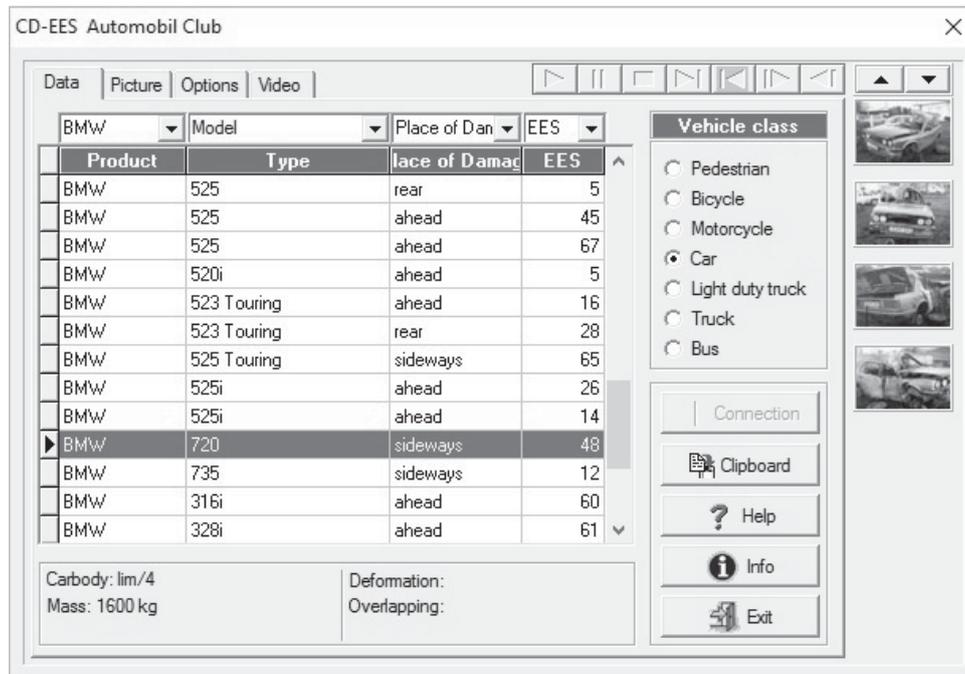


Abbildung 3: EES Katalog Dr. Melegh [CD EES v 4.0; Dr. Melegh]

Restitutionskoeffizient k

Der Restitutionskoeffizient gibt Auskunft über das Verhältnis von plastischer zu elastischer Verformung eines Fahrzeugs. Durch Umwandlung der Formel kann der Wert für k direkt über die Aufprall- und Rückprallgeschwindigkeit errechnet werden. Mit einem Diagramm siehe Abbildung 4 kann bei bekannter Aufprallgeschwindigkeit der zu erwartende Faktor ausgelesen und darüber die Rückprallgeschwindigkeit des Fahrzeugs ermittelt werden.

Da aktuelle Fahrzeuge bei sogenannten Parkschäden keine plastische Verformung erfahren ist im Bereich von 0-5 km/h eine reine elastische Verformung zu erwarten.

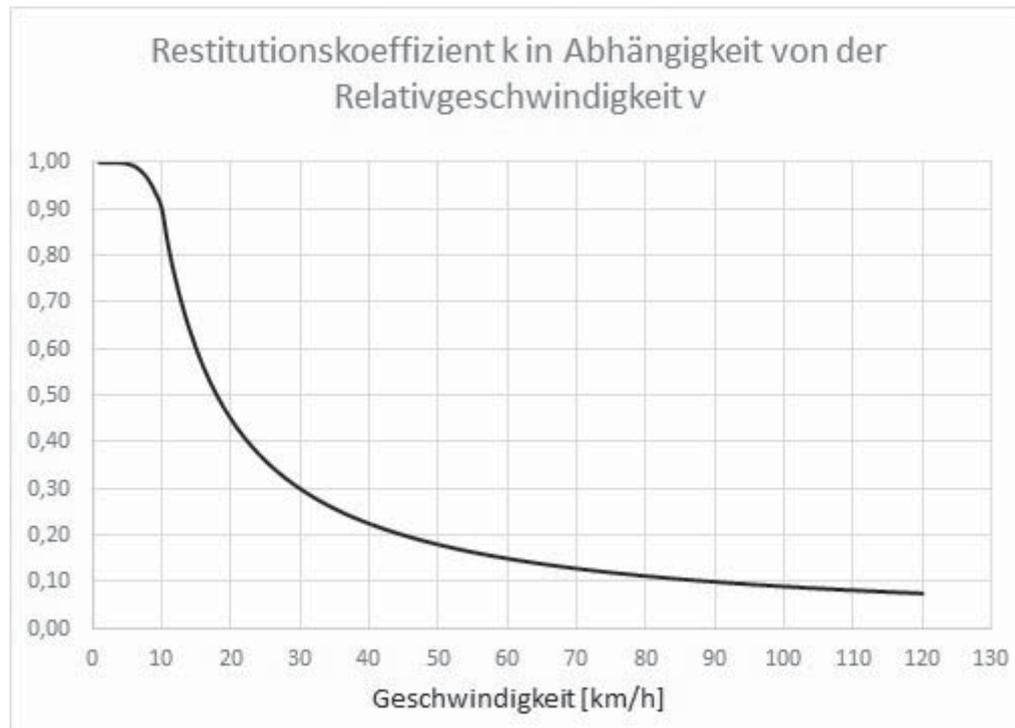


Abbildung 4: Restitutionskoeffizient abhängig von Relativgeschwindigkeit nach Johannsen 2013 [Unfallmechanik und Unfallrekonstruktion, Heiko Johannsen 2013, Springer Vieweg Verlag]

2. Auswertung von Standard-Crashtests

Die Crashtests von Euro NCAP stellen eine Fülle von Bild-, Video- und Messdaten zur Verfügung. Hiermit ist es möglich die EES-Werte der Fahrzeuge zu ermitteln.

2.1 Offset Deformable Barrier (ODB)

Über den Verlauf des ODB Versuchs wird die kinetische Einlaufenergie des Fahrzeugs in Deformationsenergie und kinetische Energie im Auslauf umgewandelt. Es findet eine Deformation der Barriere und des Fahrzeugs statt. Bei der Fahrzeugdeformation ist ein elastischer und ein plastischer Energieanteil vorhanden, wobei die Barriere hingegen eine rein plastische Verformung erfährt. Durch die elastische Verformung des Fahrzeugs und der Hebelwirkung aufgrund der Überdeckung von 40% ergibt sich eine Rückprallbewegung, welche sich in einer Rotation und einer Translation äußert.

Barriere

Nach Auswertung von 4 Fahrzeug Crashversuchen konnte eine durchschnittliche Energieaufnahme der Barriere von 50 ± 5 kJ ermittelt werden.



		Fahrzeug				
Verformung		1	2	3	4	Einheit
Hauptblock 95 kJ	Min	30	35	40	40	%
	Max	40	45	50	50	%
Stoßstange 48,5 kJ	Min	20	20	20	20	%
	Max	30	30	30	30	%
Gesamtenergie	Min	38,2	42,95	47,7	47,7	kJ
	Max	52,55	57,3	62,05	62,05	kJ
Energie gemittelt		45	50	55	55	kJ

Tabelle 1: Aufstellung der Barriere

Die Spanne der Fahrzeugmassen erstreckt sich von ca. 1000 kg bis ca. 2300 kg.

Die Auswertung fand mit Hilfe von Fotogrammetrie statt, konnte aber ausschließlich optisch erfolgen. Somit ergeben sich die angegebenen Prozentwerte.

2.2 Full Width Rigid Barrier (FW)

Im FW Versuch prallt das Fahrzeug gegen die starre Wand. Dabei teilt sich die kinetische Einlaufenergie in eine plastische und eine elastische Verformung des Fahrzeugs auf. Auch hier äußert sich der elastische Anteil in Form eines Rückpralls. Dieser ist messbar als Rückprallgeschwindigkeit und kann direkt aus den Messdiagrammen ausgelesen und für die Berechnung des EES-Wertes Verwendung finden.

3. Interpolation

Die Vergleichbarkeit soll auf Basis der Verformungstiefe der Fahrzeuge aufbauen. Mit Hilfe des Messdiagramms lässt sich die Deformationstiefe und die dazugehörige Restgeschwindigkeit bestimmen. Durch Anwenden des Restitutionskoeffizienten kann nun die Rückprallgeschwindigkeit in diesem Zustand bestimmt und somit der EES-Wert berechnet werden.

Mit Hilfe des FW Versuchs ist abhängig von der abgebauten Geschwindigkeit des Fahrzeugs die zugehörige Verformungstiefe ermittelbar und unter Anwendung des k-Wertes der EES Wert zu berechnen.

Full Width Rigid Barrier FW											
v Einlauf		50 km/h									
Masse:		942 kg									
Geschwindigkeit des Fahrzeugs	Wkin Kinematische (Rest)Energie des Fahrzeugs	Umgewandelte Energie incl. elastischem Anteil	Verformungstiefe incl. elastischem Anteil	Zeitpunkt im Video	Verformungstiefe plastisch, abhängig von k-Wert	k-Faktor aus Diagramm	Wel (elastischer Anteil)	Wdef (plastische Verformung des Fahrzeugs)	Steifigkeitswert c bei zugehöriger abgebauter Geschwindigkeit	EES Wert	
											[km/h]
50	90,9	0,0	0,0	0,0	0,00	0,18	0,00	0,00	0	0,0	
40	58,1	32,7	208,0	15,0	170,56	0,18	2,94	29,76	175	28,6	
30	32,7	58,1	333,0	26,5	273,06	0,18	2,94	55,20	202	39,0	
20	14,5	76,3	375,0	34,8	307,50	0,18	2,94	73,38	239	44,9	
10	3,6	87,2	410,5	42,5	336,61	0,18	2,94	84,28	250	48,2	
0	0,0	90,9	418,3	51,4	343,01	0,18	2,94	87,91	256	49,2	

Tabelle 2: EES Wert in Abhängigkeit von der Deformationstiefe



Mit Hilfe von Formeln die in der gängigen Literatur zum Thema EES veröffentlicht wurden, ist es möglich auf einen abweichenden Überdeckungsgrad oder eine andere Fahrzeugmasse umzurechnen.

4. Methodik

Ziel ist es eine Methode zu entwickeln mit der eine EES-Datenbank basierend auf Standard-Crashtests aufgebaut werden kann.

Mit dieser Datenbank im Hintergrund soll ein Vergleichskatalog entstehen.

Hier werden sämtliche Fahrzeug Crashversuche mit ihren Messdaten, Bildern und Videos eingepflegt. Anhand der Versuchsvideos oder Bilder ist es möglich einen Vergleich zum verunfallten Fahrzeug herzustellen. Mit Hilfe der dazugehörigen Messwerte gelingt es im Anschluss den EES-Wert zu berechnen.

Ebenfalls ist durch die Crashversuche die Eindringtiefe der Fahrzeuge stufenweise ermittelbar. Daraus lässt sich ein Zusammenhang von EES Wert und Deformationstiefe inklusive dem für diese Verformung zugehörigen Steifigkeitswert angeben.

Falls der genaue Fahrzeugtyp des Unfallfahrzeugs in der Datenbank nicht zur Verfügung steht, so ist ein Vergleichsfahrzeug zu benennen.

5. Ausblick

3D Laserscan:

Durch einen Scan der Barriere vor und nach dem Crash kann das Deformationsvolumen genauer bestimmt werden. Ebenfalls sind mit einem Scan des kompletten Fahrzeugs vor und nach dem Crashversuch die Deformationstiefen genau bekannt und lassen sich nun mit den errechneten Deformationstiefen aus den Messdiagrammen validieren.

Datenbank:

Die Datenbank sollte mit Hilfe weiterer Crashversuche ergänzt werden. Zu nennen sind hier der Seiten-crash, Pfahlcrash und der Fußgängerversuch.

Hinweis:

Zum Zeitpunkt der Abgabe dieses Berichts befand sich die Diplomarbeit noch in Bearbeitung. Somit ist kein Anspruch auf Vollständigkeit gegeben.



Technische Rettung bei Fahrzeugen mit alternativen Antrieben

Dr. Rolf Erbe

Berliner Feuerwehr- und Rettungsdienst- Akademie

Im Vortrag werden verschiedene Einsatzbeispiele und Probleme der Feuerwehren vorgestellt. Dabei stehen der Praxisbezug und die Sensibilisierung für das Thema im Vordergrund. Alternative Antriebe gehören noch nicht zum Alltag. Einsatzerfahrungen fehlen bei den Feuerwehren. Daher fallen Ereignisse und Schlagzeilen bezüglich neuer Techniken in den Medien bei Feuerwehren besonders auf und sorgen teils auch für erhebliche Verunsicherungen.

Da an dieser Stelle im Tagungsband mehr Raum für Inhalte und Erklärungen vorhanden ist, werden hier – ergänzend zum Vortrag – einige weitere Inhalte zur Einsatztaktik und damit vielleicht besserem Verständnis der Leser für die Probleme der Feuerwehren gegeben.

Grundlagen für den Rettungseinsatz

Der Benzinmotor wird in der Zukunft immer mehr durch andere Antriebsmöglichkeiten verdrängt. Unter alternativ angetriebenen Kfz versteht man heute Fahrzeuge, die im Gegensatz zu den konventionellen Motoren (Benzin-Otto- und Dieselmotor) schadstoffärmere und Ressourcen schonendere Antriebe besitzen. Zu diesen Antriebsarten zählen u. a. Gasantriebe (Wasserstoff, Erd- oder Autogas), Hybridantriebe (Kombination aus Elektro- und Ottomotor) oder Antriebe wie die Brennstoffzelle, Elektro- und Solarfahrzeuge sowie auch Biokraftstoffe (Ethanol, Methanol, Rapsöl). Einige dieser Antriebsarten, wie z. B. die Brennstoffzelle, befinden sich noch in Entwicklungsstadien und sind im Straßenverkehr nur in geringen Stückzahlen anzutreffen. Andere Varianten, wie Autogas- oder Erdgasantriebe, nahmen erst in den letzten Jahren in Deutschland verstärkt zu, obwohl sie im europäischen Ausland schon lange stark verbreitet waren. Hybridantriebe (Verbrennungsmotor und Elektromotor in Verbindung mit einer Hochleistungsbatterie) wiederum erfahren vielversprechend einen steigenden Absatz in den USA. Neben Umwelt- und Kostenfaktoren spielt beim Absatz auch die wachsende Vielfalt der Serienmodelle namhafter Hersteller eine große Rolle. Aber gerade dieses kann zu einem Problem der Einsatzkräfte werden.

Die Gefahrenpotenziale für die Einsätze bei Fahrzeugen mit Alternativantrieben sind nicht größer, sondern anders als bei Fahrzeugen mit herkömmlichen Antrieben. Die Gefahren gehen hier vorrangig von der Lagerung und den Eigenschaften der verwendeten Gase sowie von Strom- und Batteriesystemen aus. Daher erfordert der Umgang im Einsatzfall mit diesen Fahrzeugen eine umfangreichere Erkundung, Grundwissen zu den möglichen Gefahren und die richtige Einsatztaktik.

Komplexe Verkehrsunfälle mit eingeklemmten Personen sind eine große Herausforderung für Feuerwehr und Rettungsdienst. Neue Strategien mit Zielen des Zeitmanagements und stabilere Fahrgastzellen erfordern Ausbildung und Übung. Für die Technik muss es ebenfalls Richtlinien, Rettungsleitfäden und



Übungsmöglichkeiten geben. Dazu ist die vfdb-Richtlinie 0601 „Technisch-medizinischen Rettung nach Verkehrsunfällen“ zu nennen. Eine Hilfe für Einsätze an Fahrzeugen mit alternativen Antrieben gibt die „DGUV Information 205-022 – Rettungs- und Löscharbeiten an PKW mit alternativer Antriebstechnik“.

Kennzeichenabfrage und Rettungsdatenblätter werden als große Hilfen gesehen, wenn bei der Feuerwehr verfügbar. Mit Einführung von E-Call wird sich eine bessere Identifizierungsmöglichkeit, insbesondere der Antriebsarten, ergeben.

Die fortschreitenden technischen Verbesserungen und Neuentwicklungen von Feuerwehrfahrzeugen und -geräten für Einsätze bei Verkehrsunfällen, neue Erkenntnisse im Bereich der Notfallmedizin sowie Veränderungen in der Fahrzeugtechnik erfordern eine ständige Weiterentwicklung und Verbesserung der Einsatztaktik der Feuerwehr im Bereich der technischen Rettung bei Verkehrsunfällen. Die Einsatzsituation „Verkehrsunfall mit eingeklemmter Person“ stellt die Einsatzkräfte immer wieder vor neue und schwierige Aufgaben.

Erkennbarkeit Alternativer Antriebe

Sicherheit steht – auch im Einsatz – immer an erster Stelle. Daher ist für die Feuerwehr das Erkennen von Gefahrenpotentialen besonders wichtig. **Erdgasfahrzeuge** haben keine Kennzeichnungspflicht. Die Kennzeichnung der Fahrzeuge durch Werbeaufkleber ist zurzeit oftmals noch vorhanden. Auch der CNG Aufkleber wird häufig zu Kennzeichnung verwendet und ist bei Nutzfahrzeugen – wie bei Bussen – Pflicht. Bei Serienfahrzeugen gibt es außer den herstellerspezifischen Bezeichnungen wie CNG, NGT, ECOFuel, Natural Power, oder BI-Fuel fast keine signifikanten Erkennungsmöglichkeiten für die Feuerwehr ohne intensive Inspizierung des Kraftfahrzeuges. **Flüssiggasfahrzeuge** sind wie Erdgasfahrzeuge nicht kennzeichnungspflichtig. Da der Anteil der „Nichtserienfahrzeuge“ im Vergleich zu Erdgasfahrzeugen höher ist, wird eine Identifikation anhand von herstellerspezifischen Bezeichnungen meist nicht vorhanden sein. Bei Serienfahrzeugen kann ein LPG-Aufkleber am Einfüllstutzen angebracht sein. Bei Nachrüstungen wird in der Regel ein zusätzlicher Füllanschluss im Bereich des Fahrzeughecks (Karosserie oder Stoßfänger) zu erkennen sein, dieser kann sich jedoch wie bei Serienfahrzeugen auch hinter der Tankklappe verbergen. **Wasserstofffahrzeuge** sind noch im Versuchsstadium und schon aus diesem Grund meist „werbewirksam“ gekennzeichnet. **Hybrid-Serienfahrzeuge** sind von typengleichen „Normalfahrzeugen“ äußerlich kaum zu unterscheiden. Bei den meisten Herstellern kann man den Zusatz „Hybrid“ an der Heckbeschriftung oder der C Säule finden. **Elektro-Serienfahrzeuge** sind von typengleichen „Normalfahrzeugen“ äußerlich bautechnisch ebenfalls kaum zu unterscheiden. Jedoch ist aus Werbegründen und der Präsentation dieses Antriebs in der Öffentlichkeit bisher immer eine auffällige Lackierung/Aufschrift vorhanden.

Maßnahmen bei Einsätzen mit Erdgasfahrzeugen

Die grundsätzlichen Maßnahmen bei Einsätzen an herkömmlichen Kraftfahrzeugen gelten auch für Erdgasfahrzeuge. Ergänzend müssen jedoch die Gefahren durch das Vorhandensein des Gassystems beachtet werden. Als wichtigstes Erkundungsergebnis muss für den Einsatzleiter die Identifikation des Gasantriebes und die Erkennung einer möglichen Gas-Ausströmung stehen. Die Verhaltensgrundsätze für Erdgasfahr-



zeuge gelten im Prinzip für alle gasbetriebenen Fahrzeuge. Bei anderen Gasen müssen nur die besonderen Eigenschaften beim taktischen Vorgehen berücksichtigt werden.

Gasaustritt – nicht brennend

- Windrichtung beachten
- Gefahrenbereich weiträumig absperren und sichern
- Motor/ Zündung abstellen, Zündschlüssel sicherstellen
- Menschen aus Gefahrenbereich entfernen
- Auto nicht starten, aus Gebäuden/Hallen ins Freie durch Schieben entfernen
- Fahrzeugtüren, Motor- u. Kofferraumabdeckung öffnen (ggf. bei Gefahr von Gas im Innenraum, durch Zerstören von Scheiben eine Belüftung sicher stellen, Schutzkleidung/Brandschutz!)
- Gaskonzentration messen (auf wechselnde Windrichtungen achten)
- Gas ausströmen lassen
- Querbelüftung (Erdgas „verblasen“), Drucklüfter nutzen
- Gasansammlungen in Hohlräumen (Innenraum, Motorraum, Kofferraum, Radkästen) beachten, Messgeräte nutzen
- Zündquellen im Gefahrenbereich vermeiden
- Fahrzeug ggf. kühlen
- wenn gefahrlos möglich, manuelle Absperreinrichtung des Tanks schließen
- das Fahrzeug darf nur durch fach- und sachkundige Werkstätten wieder in Betrieb gesetzt werden

Gasaustritt – brennend

- bei bivalentem Antrieb mit Benzin sind zusätzlich die Sicherheitsanforderungen für Benzinfahrzeuge mit zu beachten
- Menschen aus Gefahrenbereich entfernen
- falls noch möglich Motor/Zündung abstellen
- wenn gefahrlos möglich, manuelle Absperreinrichtung des Tanks schließen
- erkennbare Gasflamme nicht löschen (brennendes Gas = gutes Gas)
- löschen gefährdeter Fahrzeugbereiche, Tanks wenn möglich kühlen, dabei nicht die Schmelzsicherung kühlen
- gefährdetet Umgebung kühlen
- sind die Gasflaschen vom Brand erfasst, sollten Löschmaßnahmen nur ergriffen werden zur Rettung von Menschen oder hochwertigen Gütern, in diesem Fall Querbelüftung (Erdgas „verblasen“)
- Löschmaßnahmen wenn möglich aus der Deckung durchführen, Gefahr von Behälterzerknall



Maßnahmen bei Einsätzen an Flüssiggasfahrzeugen

Die Maßnahmen bei Einsätzen an Flüssiggasfahrzeugen entsprechen weitestgehend denen an Erdgasfahrzeugen. Die spezifischen Eigenschaften des Flüssiggases erfordern jedoch zusätzliche, taktische Überlegungen von den Einsatzkräften.

- Flüssiggas ist schwerer als Luft, es kann sich in Senken, tiefer gelegenen Räumen und Vertiefungen wie Schächten oder Kanalöffnungen sammeln, in geeigneter Weise ein Abfließen des Gases vermeiden.
- Einsatzfahrzeuge nicht in Senken aufstellen.
- Es besteht Zündungs-/Rückzündungsgefahr durch am Boden kriechende schwere Gase.
- Freigesetztes Flüssiggas verdampft schlagartig und hat bei Zündung eine starke Explosion zur Folge. Bei längerer punktueller Wärmeeinwirkung auf den Tank besteht die Gefahr eines Druckgefäßzerknalls („BLEVE“, Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion).
- Unkontrolliert umherfliegende Tankteile können weite Strecken zurücklegen.
- Wenn möglich bei fortgeschrittenem Brand aus der Deckung arbeiten.
- Im flüssigen Zustand austretendes LPG hat eine größere Ausströmrate als gasförmiges LPG.
- Da bei austretendem Flüssiggas mit Kalt-Verbrennungen der Haut gerechnet werden muss, sind geeignete Schutzhandschuhe zu tragen.

Maßnahmen bei Einsätzen an Wasserstofffahrzeugen

Die Maßnahmen bei Einsätzen an Wasserstofffahrzeugen sind grundsätzlich mit denen an Erdgasfahrzeugen identisch. Durch die spezifischen Eigenschaften des Wasserstoffes müssen jedoch zusätzliche, taktische Überlegungen von den Einsatzkräften beachtet werden:

- Durch den größeren Explosionsbereich und der sehr geringen Zündenergie, muss der Explosionsschutz verstärkter eingehalten werden.
- Wasserstofffahrzeuge können als Versuchsfahrzeuge eigene Ex-Bereichs-Messgeräte besitzen, diese sind für die Detektierung von Wasserstoff besonders geeignet und sollten von der Feuerwehr genutzt werden.
- Durch die hohe Diffusionsfähigkeit ist eine Ausbreitung des entzündbaren Gas-Luft-Gemisches noch mehr zu beachten.
- Die durch die tiefkalte Speicherung des LH₂ ergebenden anderen physikalischen Eigenschaften, sowie die zusätzlichen Gefahren, wie z.B. die Erfrierungsgefahr, sind zu berücksichtigen.
- Bei Wasserstofffahrzeugen sind die möglichen Gefahren anderer integrierter Systeme, wie Brennstoffzellen zusätzlich zu beachten.



Gefahren und Maßnahmen bei Einsätzen an Hybridfahrzeugen

Nach Erkennen der Antriebsart ist darauf zu achten, dass der Motorstatus eines Hybridfahrzeuges nicht ohne weiteres erkannt werden kann. Das heißt, es ist nicht offensichtlich, ob der Antrieb abgeschaltet ist oder ob er sich im „Bereitschaftsmodus“ befindet. Hybridantriebe können sich bei Betätigung des Gaspedals weitestgehend lautlos durch den Elektroantrieb in Bewegung setzen. Das Fahrzeug sollte deshalb grundsätzlich mit geeigneten Mitteln gegen Eigenbewegungen gesichert werden. Das Feststellen des Antriebsstatus und die Deaktivierung des Hochspannungssystems sind die wichtigsten Schritte um Gefahren für die beteiligten Personen auszuschließen. Bei den meisten Hybridserienfahrzeugen wird durch nach links Drehen und Abziehen des Zündschlüssels das HV (High Voltage) System deaktiviert. Da es sich, zumindest bei Voll-Hybrid Fahrzeugen, um Automatik Getriebe handelt, muss der Gang-Wählhebel vorher in Stellung „P“ gebracht werden. Eine „READY“-Leuchte – ist bei einigen Modellen vorhanden – erlischt im Armaturenbrett und ist ein eindeutiges Zeichen der Deaktivierung. Bei neueren Fahrzeugen, welche mit einem Smartkey-Einstiegs- und Startsystem ausgestattet sind, muss der Schlüssel zum Betrieb nicht zwingend im Armaturenschlotz stecken. Dort wird das System durch einen Start/Stop-Hauptschalter deaktiviert.

Die Einsatzhinweise einzelner Hersteller, schildern zwei weitere, aufwendigere Deaktivierungsmöglichkeiten, wenn das Zündschloss oder der Start-Stop-Hauptschalter nicht erreichbar sind. Es bestehen bei beiden Herstellern die Möglichkeiten, durch das Entfernen von Relais oder Sicherung und durch das Abschalten direkt an der HV-Batterie sowie bei vielen Modellen durch ein Trennen des Wartungssteckers (hinter Verkleidungen meist im Kofferraumbereich), das Hybridsystem zu deaktivieren. Da jedoch bei jedem Modell eine unterschiedliche Vorgehensweise zu wählen ist, können diese Handlungsschritte in der Praxis ohne die konkreten Herstellerhinweise kaum durchgeführt werden. Jeder Deaktivierung gemein ist die Eigenschaft, dass sich die Spannung im Hybrid-System erst nach ca. 3 bis 5 Minuten abgebaut hat. Bei den in Hybridfahrzeugen verwendeten Hochleistungsbatterien handelt es sich um Batterien, welche in Abhängigkeit des Fahrzeugmodells eine elektrische Spannung von bis zu 300 V bei PKW und bis zu ca. 680 V bei Bussen besitzen können. Diese Batterien sind mit den üblichen 12 Volt Fahrzeugbatterien, welche zusätzlich bei diesen Antrieben vorhanden sind, nicht vergleichbar. Eine Beschädigung der Hochleistungsbatterie muss von den Einsatzkräften erkundet und beachtet werden. Die HV-Batterien beinhalten ein Elektrolytgel, welches eigentlich auslaufsicher abgedichtet ist. Der Elektrolyt besteht aus Kaliumhydroxid und Natriumhydroxid mit einem pH-Wert von 13,5, also stark basisch. Er kann sich bei Hautkontakt schädigend für das menschliche Gewebe auswirken und darf nicht berührt werden. Bei der unfallbedingten, gewaltsamen Zerstörung des Batteriegehäuses kann es zum Austritt des Hydroxids kommen. Die alkalische Substanz reagiert heftig mit Leichtmetallen wie z.B. Aluminium oder Zink und kann „Knallgas“ (Wasserstoff-Luft-Gemisch) bilden. Der ausgetretene Elektrolyt ist mit einem Öl- oder Chemikalienbindemittel abzustreuen. Die Spannungsführenden Kabel werden bei allen Herstellern durch orangefarbige Isolierungen kenntlich gemacht und sollten vor der Deaktivierung nicht berührt oder beschädigt werden. Ein Brand eines Hybridfahrzeuges kann ohne größere Gefahr mit „normalen“ Löschmethoden und unter Einhaltung der Eigenschutzmaßnahmen bekämpft werden. Bei nicht deaktiviertem Hybridsystem sind die für die Brandbekämpfung üblichen Schutzabstände nach VDE 0132 einzuhalten. Bei einer thermischen Beeinflussung von über



100° C kann es zum Aufplatzen des Batteriemoduls kommen. Bei der Vermischung von Kaliumhydroxid mit Löschwasser entwickelt sich eine Kalilauge, welche mit geeigneten Mitteln aufzufangen ist.

Maßnahmen bei Einsätzen an Elektrofahrzeugen

Die Gefahren sowie die Maßnahmen bei Einsätzen an Elektrofahrzeugen ähneln denen an Hybridfahrzeugen. Die vorrangige Aufgabe bei Einsätzen ist auch bei diesen Fahrzeugen die Deaktivierung des Antriebs- / Batteriesystems. Ebenso sind die Vorsichtsmaßnahmen und Besonderheiten im Umgang mit den Batteriemodulen identisch. Durch die noch kleinen Stückzahlen von Elektroserienfahrzeugen und die unüberschaubare Anzahl von Konzept- und Experimentalfahrzeugen kann ein generalisiertes Vorgehen für Einsatzkräfte hier noch nicht beschrieben werden. Grundsätzlich gehen elektrische Gefahren von den Bauelementen Batterie, Kabelverbindungen und Kondensatorspeichern mit Spannungen bis 1000 Volt aus. Bei Bestimmungsgemäßer Funktion werden nach der Deaktivierung, einem Unfall oder Abklemmen der 12-Volt-Fahrzeuggatterie auch die Hochvolteile abgeschaltet. Beschädigte oder herausgerissene Einzelteile der Energieversorgung müssen beachtet werden. Komponenten der Energiespeicher können jedoch noch längere Zeit gefährliche Restspannungen vorweisen. Die Grundsätze/Sicherheitsregeln beim Umgang mit Elektrogefahren sind im Einsatz bei Rettung und Brandbekämpfung zu beachten.

Einsatzerfahrungen und Beispiele

Im Vortrag werden Einsatzbeispiele mit Bildern und Einsatzverlauf vorgestellt.

Die technische Rettung bei Fahrzeugen mit alternativen Antrieben ist eine neue Herausforderung für die Feuerwehren. Gleich das erste Bild zeigt die fortschrittliche Berliner Feuerwehr, die bereits im Jahr 1901 eine Dampfspritze mit Elektroantrieb im Dienst hatte.

Die ersten Erfahrungen eines besonderen Einsatzes wurden uns von der Berufsfeuerwehr Hamburg mit der Schilderung zu einem Flüssiggas Austritt bei einem PKW in einer Tiefgarage mitgeteilt. Dieser Einsatz war sehr aufwändig. Nachdem das Fahrzeug aus der Tiefgarage herausgebracht wurde, musste ein Techniker gerufen werden der den Gastank demontierte und versuchte, diesen abzudichten. Nachdem das nicht gelang, wurde der Gastank geöffnet. Um nicht 3-4 Tage warten zu müssen bis das Gas ausgeströmt war, wurde der Tank weiter geöffnet. Dabei gab es fast einen Unfall, weil das tiefkalte Flüssiggas einem Feuerwehrmann über die Einsatzkleidung lief, die augenblicklich steif gefroren war.

Ähnliche Einsätze wird es bei vielen Feuerwehren immer wieder gegeben haben. In Berlin haben wir leider keine Statistik geführt. Es fallen alle 2-4 Wochen Einsätze dazu auf. Zuletzt in Berlin-Pankow, Räumung und Absperrung einer Werkstatt. Beim Eindrehen einer Blechschrabe, wurde ein Flüssiggastank beschädigt. Die Sperrung und der Einsatz dauerten ca. 8 Stunden. Diese Einsätze sind kostenpflichtig und es kommen Summen in 4-stelliger Höhe zusammen.

Der bisher schwerste Unfall ereignete sich im Jahr 2014 bei Bad Segeberg. Ein Pkw fuhr gegen einen Baum, der Fahrer war eingeklemmt das Fahrzeug geriet in Brand. Als die Feuerwehr eintraf zur Rettung und Brandbekämpfung vorgehen wollte explodierte der Gastank das Flüssiggas Fahrzeugs



Zehn Feuerwehrleute wurden teils schwer verletzt, der Fahrer starb. Als Ursache wurde ein Verkleben des Sicherheitsventils und eine extreme Wärmebeaufschlagung des Flüssiggastanks ermittelt. In Berlin haben wir häufiger Einsätze zur Gasausströmung bei Erdgasfahrzeugen. Der erste größere Einsatz 2012 beschäftigte rund 30 Feuerwehrkräfte über 5 Stunden. Bei einem Erdgas Taxi war ein Ventil undicht. Es wurde die Straße weiträumig abgesperrt und der Brandschutz aus einer sicheren Deckung aufgebaut. Versuche, das Fahrzeug durch Abschleppunternehmen auf einen sicheren Platz zu bekommen, scheiterten. Alle Unternehmen lehnten ab, diese „Bombe“ zu transportieren. Zuletzt blieb nichts anders, als mit einem Tieflader der Feuerwehr im Konvoi und mit Polizeibegleitung auf das Feuerwehr Übungsgelände zu fahren. Wieder Kosten in 4-stelliger Höhe.

Nächstes Beispiel, bei einer Erdgasbetankung an einer Tankstelle. Nach dem Tankvorgang stömte aus dem undichten Tankventil laut hör- und sichtbar Erdgas aus. Die stark frequentierte Tankstelle an einem Verkehrsknotenpunkt wurde über drei Stunden komplett gesperrt. Der Brand eines Müllentsorgungs-Fahrzeuges beschäftigte die Berliner Feuerwehr ganz erheblich. Da es sich um ein Erdgas betriebenes Fahrzeug handelte, die Schmelzsicherung nach einem kleinen Motorbrand auslösten und der nun extreme Gasbrand konnte nur sehr schwer mit hohem Personal und Fahrzeugeinsatz eingedämmt werden. Problem hierbei war auch noch, dass die Austrittsrichtung zum Fahrerhaus hin zeigte. Im Falle eines Unfalls mit vielleicht eingeklemmten oder eingeschlossenen Personen, eine verheerende Wirkung! Das erinnert dann auch an den Erdgas-Bus-Brand in den Niederlanden mit Gasausströmung und 30-Meter Brandfackel zur Seite.

Aus Amerika kam ein Einsatzbericht nach Deutschland. Zu einem normalen PKW Brand auf einem Parkplatz rückte die Feuerwehr aus und beim Eintreffen explodierte der Gastank. Das Fahrzeug war nicht mehr als Fahrzeug zu erkennen und nur noch ein aufgeplatzter Blechhauen. Messerscharfe Teile lösten sich und flogen über 30 Meter. Die letzten großen Schlagzeilen machte ein auf einem Tankstellengelände in Dudersstadt explodierter Sharan der ebenfalls Erdgas angetrieben war. Da man die Ursache nicht kannte und befürchtete, dass weitere Tanks undicht wären, hat man aus sicherer Entfernung einen ferngesteuerten Bagger zum Einsatz gebracht, um das Fahrzeug von der Tankstelle wegzuziehen und einen sicheren Bereich zu schaffen. Über mehrere Tage zog sich dieser Einsatz hin.

Ein weiteres Bild zeigt einen erst bei Aufräumarbeiten entdeckten Erdgastank in einem völlig zertrümmerten Pkw aus dem die Feuerwehr den eingeklemmten Fahrer hat zeitaufwändig retten müssen. Die mögliche Gefahr wurde im laufenden Einsatz nicht erkannt. So finden sich im Netz (u.a. Youtube) unzählige weitere Beispiele von explodierenden Gastfahrzeugen und auch Tankstellen.

Information, Austausch und Ausbildung

Zum Thema Elektromobilität gibt es Parallelen wie damals bei der Einführung der Airbags. Unsicherheit bei den Feuerwehren und Aussagen der Industrie, es wäre alles ungefährlich. Dann kommen Schlagzeilen in den Medien von Unfallereignissen und dubiosen Hergängen und Erklärungen. Das führt zu erheblicher Verunsicherung von Einsatzkräften. Dazu kommen dann noch Halbwahrheiten und auch die Verbreitung von falschen Wissen und Grundsätzen. Erst langsam, wie damals, wird die Industrie auch auf die Bedürf-



nisse der Feuerwehren aufmerksam. Hier hat sich die Zusammenarbeit auf Ebene des VDA in einem Arbeitskreis mit den Feuerwehren in den letzten Jahren sehr gut bewährt!

Wenn man aufmerksam die Presse verfolgt liest man immer wieder von Rückrufaktionen, explodierten Handys, Brandursachen durch Elektrofahrräder und Elektrofahrzeuge oder auch Flugzeugabstürzen durch Brände von Lithium-Ionen-Batterien. Überschriften wie „Elektroauto explodiert“, „Elektrofahrzeuge bergen Risiken für Rettungskräfte“, „Versicherungen sehen neuartige Risiken“, „Keine Lithium-Batterien mehr in der Luftfracht“, „Brennende Lithium Akkus sind mit herkömmlichen Methoden nicht zu löschen!“ schrecken Einsatzkräfte auf.

Im Februar dann die Schlagzeile aus Hannover „Explosion von E-Bike-Akku löst Parkhaus Brand aus! Zu sehen waren Bilder eines „Großbrandes“ und ein vollkommen verrauchtes Parkhaus. Bei einem Brandversuch in einer Tiefgarage wurden bei einem Elektrofahrzeug Brandtemperaturen von über 1300 Grad nach 16 Minuten gemessen. Das Brand-Übungsobjekt konnte hinterher abgerissen werden, weil die Betonfestigkeit nicht mehr gegeben war.

Herstellern der Elektrofahrzeuge beteuern, dass alles crashsicher verbaut ist. Jedoch berufen sich diese Aussagen auf Crashtests mit maximalen Spitzengeschwindigkeiten von 65 km pro Stunde und Standard Crashtest Verfahren.

Gezeigt werden im Vortrag Bilder der Einsatzrealität mit komplett zerrissenen Fahrzeugen oder weit verstreuten Fahrzeugteilen, wo Kräfte jenseits der Crashversuche wirkten.

Die Feuerwehren sehen hier Probleme und Risiken durch neue Technologien. Hauptproblem sind das Wissen der Einsatzkräfte über die Technik, die Risiken und vor allem die fehlende Erkennbarkeit der Gefahren.

So gibt es dann auch aus Amerika Verhaltensregeln für Feuerwehren zum richtigen Vorgehen bei Elektrofahrzeugen. Diese Verhaltensregeln führen aber tatsächlich zu Verunsicherung da sie immer von einer Lebensgefahr berichten.

In einem deutschen Bundesland gehören Elektroschutzhandschuhe zur Standardausrüstung der Polizeifahrzeuge und es ist angewiesen, dass die Einsatzkräfte beim Erkennen eines Elektrofahrzeugs die Schutzhandschuhe anziehen müssen, um sich vor dem elektrischen Schlag zu schützen.

Fazit

Es gibt Zwischenfälle und Unerwartetes. Bei alternativen Antrieben gibt es Zusatzgefahren und häufig Brandförderung bzw. Ex-Gefahren. Tiefkaltes „fließendes“ Gas oder Strom Gefahren, Bränden an Ladestationen, alles neue Einsatzsituationen für die Feuerwehren. Die Feuerwehr braucht aktuelle Informationen, die richtige Ausbildung und Standards beim Vorgehen bei der technischen Rettung bei Fahrzeugen mit alternativen Antrieben. Der Einsatz der Kennzeichenabfrage und Übermittlung von Rettungsdatenblättern, die Auskunft über die Antriebsart geben und zukünftig der eCall, der sehr zuverlässig den Feuerwehren die richtige Antriebsart bereits auf der Anfahrt nennen kann, sind Ansätze für ein sicheres Arbeiten.

Ebenso wichtig ist der bereits bestehende Kontakt zur Fahrzeugindustrie und weiterer Erfahrungsaustausch mit Verbänden und Organisationen sowie der Austausch mit Diskussion auf Fachkongressen.



Tertiäre Sicherheit – Fahrzeugtüren als Nadelöhr bei der technischen Rettung

Thomas Unger

ADAC e.V., Projektleiter Unfallforschung

1. Grundlagen der technischen Rettung

Als die Anzahl neu zugelassener Kraftfahrzeuge ab den 1950er und 1960er Jahren rasant anstieg und gleichzeitig aufgrund der noch sehr schwachen passiven Sicherheit der Automobile die Zahl der Verkehrsunfälle und der beteiligten Unfallopfer enorm hoch war, wurde den Feuerwehren die Aufgabe der „Unfallrettung“ übertragen. Die technische Rettung erfolgte zunächst vielerorts mit herkömmlichen Werkzeugen, wie beispielsweise mit Trennschleifern. Erst die Verbreitung hydraulischer Rettungsgeräte (insbesondere Hydraulischere, -spreizer und Rettungszyylinder) ermöglichten eine schnellere, präzise einsetzbare, funkenfreie und lärmarme Rettungstechnik.

Um die Heilung der schwerverletzten Unfallopfer so optimal wie möglich zu gestalten, müssen die Patienten schnellstmöglich in geeigneten Kliniken versorgt werden. Die Zeitspanne zwischen Unfallereignis und Einlieferung in die Klinik soll höchstens 60 Minuten betragen und wird als „**Golden Hour of Shock**“ bezeichnet. Dieses Modell ist in der „**Rettungskette**“ berücksichtigt. Diese Kette gliedert die Zeit nach einem Unfall grob in Zeitintervalle von jeweils 20 Minuten für Alarmierung und Anfahrt, 20 Minuten „Verweildauer“ am Unfallort und 20 Minuten medizinische Versorgung und Transport des Patienten in eine geeignete Klinik.

Die Einhaltung dieser 60 Minuten ist für das Überleben der Verletzten essentiell. Sind bei einem Verkehrsunfall innere Organe verletzt, so steigt das Sterblichkeitsrisiko alle drei Minuten (ohne Behandlung) um ein Prozent¹. Im Umkehrschluss kann die schnelle Rettung das Risiko des Versterbens der Insassen im weiteren Verlauf eines Rettungseinsatzes signifikant senken.

Vorgehensweisen bei einer technischen Rettung

Rettungseinsätze sollten immer einem **Ablaufschema** folgen, um die schnelle und sichere Rettung bewerkstelligen zu können. Die Erste Phase eines Einsatzes (nach Eintreffen der Rettungskräfte am Einsatzort) ist die **Sichtung und Lageerkundung**. Hierbei wird festgestellt:

- Wo sind Gefahren für die Einsatzkräfte / Beteiligte?
- Wie viele Beteiligte gibt es?
- Wie schwer sind die Verletzungen?
- Welches Gerät wird benötigt / welche Rettungsmethode angewandt?

¹ Clarke, Journal of Trauma, 2002



Um die Sichtung bzw. die medizinische Erstversorgung des Patienten herzustellen, müssen die Rettungskräfte ins Fahrzeug gelangen. Dieser „**Erstzugang**“ kann durch noch zu öffnende Türen, Klappen oder Dachöffnungen erfolgen.

Unfälle mit technischer Rettung in der ADAC Unfallforschung

Die Besonderheit der ADAC Unfallforschung ist, dass ca. 90% der registrierten Fälle mit schweren Verletzungen einhergehen. Häufig treten bei diesen Unfällen hohe Crashenergien und starke Deformationen auf. Aus diesem Grund werden viele Fahrzeuginsassen eingeklemmt, wodurch die Thematik der technischen Rettung ein wichtiger Bestandteil des Projektes ist. Der Anteil an Unfällen, bei denen Rettungsmaßnahmen zur Versorgung oder Befreiung der Unfallopfer notwendig sind, liegt bei 17 %. Dieser hohe Anteil ist für das Gesamtunfallgeschehen jedoch in Deutschland nicht repräsentativ.

In der ADAC Unfallforschung gehen 15 % der technischen Rettungsaktionen mit Problemen einher, welche die Dauer der Rettung negativ beeinflussen.

Erkenntnisse aus den Aufnahmeprotokollen der Feuerwehren

Im Rahmen aktueller Untersuchungen der ADAC Unfallforschung, mit Schwerpunkt technischer Rettung, wurde in Zusammenarbeit mit dem deutschen Feuerwehrverband ein Aufnahmeprotokoll für Rettungskräfte der Feuerwehren erarbeitet. Die Auswertung der Feuerwehrprotokolle zeigt den Trend, dass ca. 65 Prozent der technischen Rettungen länger als 20 Minuten dauern. Zu diesem Zweck wurde die Differenz zwischen der Ankunftszeit der Feuerwehr am Unfallort und der Befreiung des Patienten ermittelt. Die Ergebnisse aus 121 Protokollen sind in Abbildung 1 zusammengefasst.

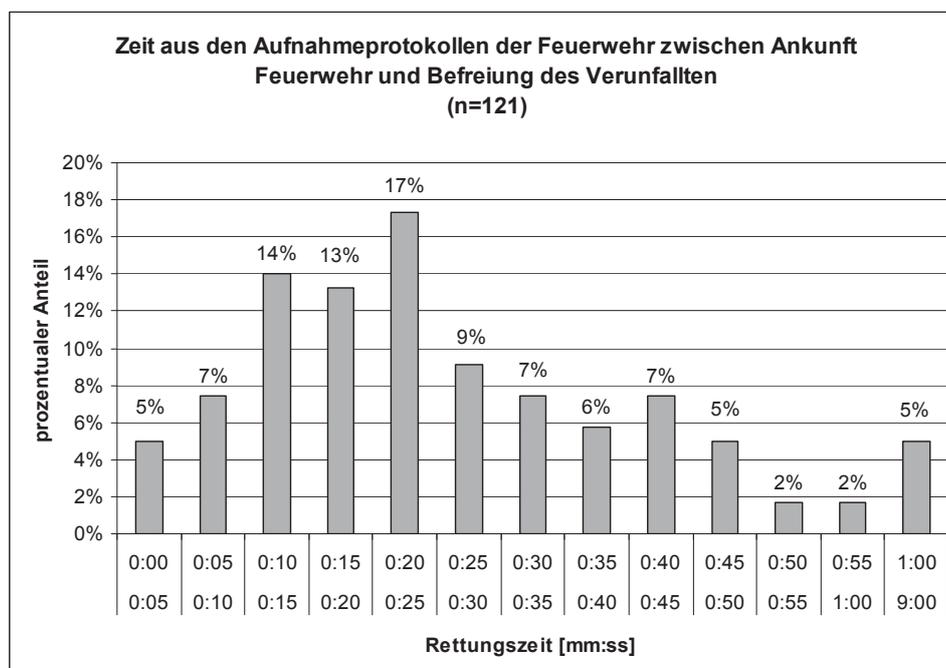


Abbildung 1: Ermittelte Rettungszeiten aus Feuerwehrprotokollen



Um der Frage auf den Grund zu gehen, welche Maßnahmen die Rettungszeiten verlängern, wurden die auftretenden Probleme genauer untersucht. Die Auswertung ergab, dass die Befreiung und der Zugang zum Patienten, wie in Abbildung 2 ersichtlich, in 39% bzw. 28% der Rettungsproblemen zu finden sind.

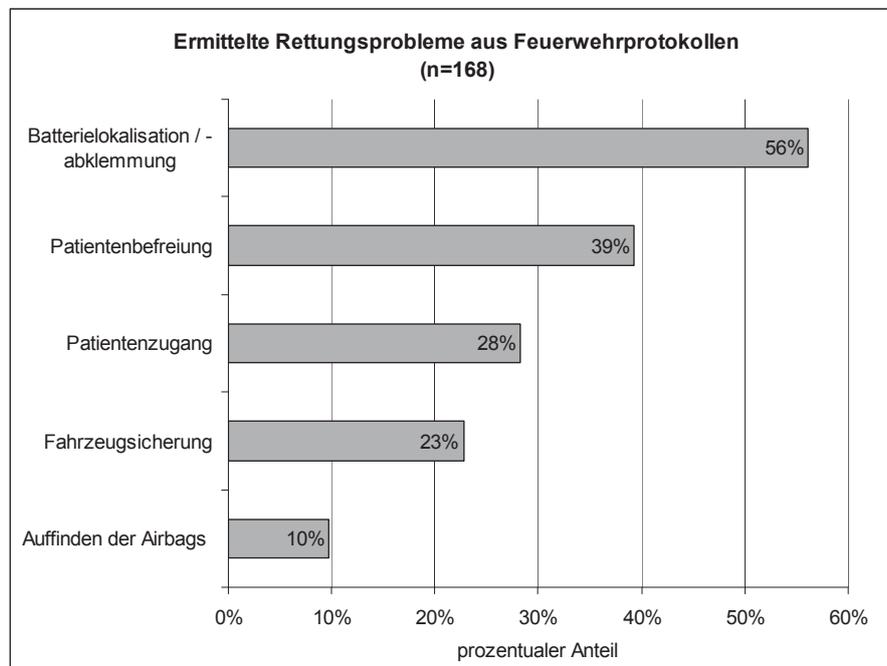


Abbildung 2: Probleme bei der Rettung

Die analytische Betrachtung der auftretenden Rettungsprobleme beim Patientenzugang (therapeutische Öffnung) zeigt, dass die Hälfte der Probleme mit den Türen begründbar ist. Zudem bereiten die Scharniere in 28% der Probleme bei der Patientenbefreiung Erschwernisse.

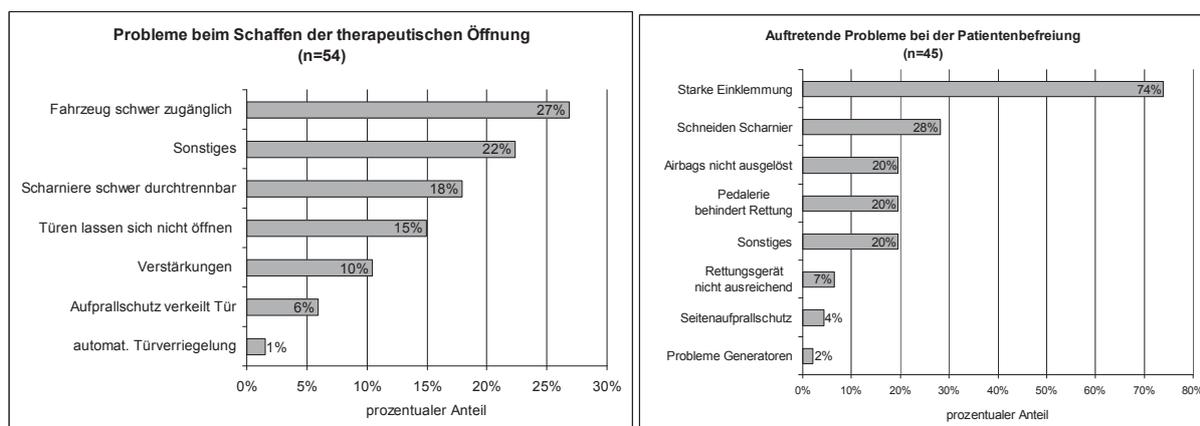


Abbildung 3: Probleme beim Schaffen der therapeutischen Öffnung/Patientenbefreiung



Die Mehrzahl der Feuerwehren vermerkte in den Protokollen, dass sich die Schneidprobleme hauptsächlich auf das Trennen der Säulen (62 Prozent) beziehen. Mit 23 Prozent jedoch erschwert das Zerteilen der Scharniere die Rettung am zweithäufigsten.

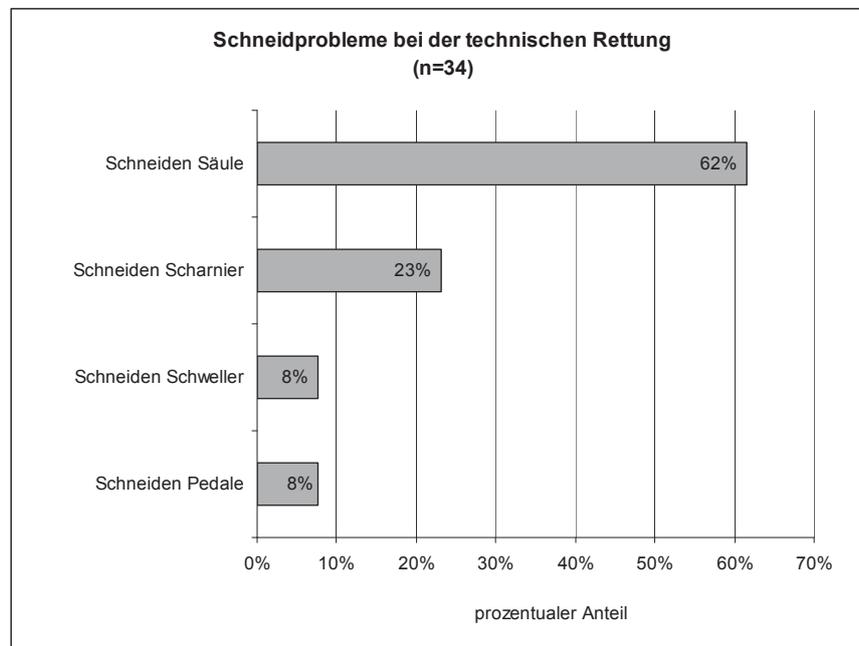


Abbildung 4: Schneidprobleme bei der technischen Rettung

2. Schneidversuche

Die Schneidversuche wurden an Fahrzeugmodellen unterschiedlicher Baujahre und Karosserieformen durchgeführt. Es handelte sich teilweise um Unfall- oder Crashfahrzeuge aus diversen Tests. Der Vorteil dieser Beschädigungen ist, dass sich die Karosse wie bei einem realen Unfall verzogen hat und demzufolge unter Spannung steht. Durch die Deformation der Karosse entstehen neue Herausforderungen bei der technischen Rettung. Um diese Versuche möglichst realitätsnah zu gestalten, verwendeten die Rettungskräfte ihre eigenen Rettungsgeräte. Den Ablauf sollte dabei jede Feuerwehr analog zu ihren realen Einsätzen durchführen.

Die Zeiten der einzelnen Phasen aus der Feuerwehr Checkliste wurden während der Versuche gestoppt oder im Nachhinein mittels Videoanalyse ermittelt. In der Fahrzeugvorbereitung wurden alle Türen über die Türverriegelung verschlossen. Damit sollte eine Verklemmung der Türen simuliert werden. Während des Versuches sollte die Türverriegelung, anders als im realen Einsatz, nicht geöffnet werden. Diese Situation soll zur besseren Vergleichbarkeit der einzelnen Versuche beitragen.

Untersuchung der Türentfernung

Die im Versuch durchgeführte dritte Phase beinhaltet das Entfernen der Türen. Aus realen Unfallszenarien und Tests ist bekannt, dass sich schon bei mittelschweren Verkehrsunfällen die deformierten Türen nicht mehr ohne Hilfsmittel öffnen lassen. Aus diesem Grund ist die Hilfeleistung beim Entfernen der Türen be-



sonders wichtig. Durch das Entfernen der Türen wird in erster Linie der Erstkontakt des Verunfallten mit den medizinischen Rettungskräften hergestellt. Durch die herausgenommene Tür kann eine therapeutische Versorgung erfolgen. Anders als im realen Unfall war es bei den Versuchen nicht gestattet, die Türen mittels Schloss zu öffnen.

Bei den meisten Fahrzeugen ist es schwierig, nach einem Unfall einen geeigneten Ansatzpunkt zum Entfernen der Türen zu finden. Deshalb ist es nötig, den Türspalt zu erweitern, denn für das erfolgreiche Ansetzen des Spreizers ist ein Spalt ab ca. 1cm nötig. Eine Möglichkeit ist die Verwendung mechanischer Werkzeuge, wie z.B. einer Brechstange. Für die Erweiterung mit Hilfe des hydraulischen Geräts gibt es verschiedene Methoden. Die häufigste Variante ist das Zusammendrücken des Kotflügels. Zu diesem Zweck wird der Kotflügel vertikal neben dem Federbein mit Hilfe des Spreizers zusammengedrückt (Abbildung 5).



Abbildung 5: Türspalterweiterung

Es zeigt sich, dass diese Variante nur bedingt zum Ziel führt. Handelt es sich bei den Materialien des Kotflügels um Kunststoff, Aluminium oder CFK, dann reißt der Spreizer das Kotflügelblech auseinander und erweitert den Türspalt nicht. Eine bessere Variante ist das Zusammendrücken der Tür. Zu diesem Zweck wird der Spreizer vertikal nach unten in die Fensteröffnung eingesetzt und anschließend die Tür zusammengedrückt. Bedingt durch das Zusammenstauchen wölbt sich die Tür nach innen und die Außenbereiche drehen sich vom Fahrzeug weg. Durch die entstandenen Spalte kann jetzt das Kotflügelblech nach vorn abgelöst werden.



Dieser Arbeitsschritt ermöglicht, dass die Ansatzpunkte für das Spreizen oder Schneiden der Scharniere ersichtlich sind. Die günstigere Variante, um das Schneiden der Bolzen zu umgehen, ist das Spreizen oder Heraussprengen der Tür. Die freigelegten Scharniere bieten einen guten und massiven Ansatzpunkt. Beim Ansetzen des Spreizers sollte darauf geachtet werden, dass die Krafrichtung annähernd der natürlichen Türöffnung entspricht. Hierfür bietet sich das Auflegen der Spreizerspitzen auf die Scharniere an. Dadurch wird die Arbeit des Gerätebedieners erleichtert und die Konzentration auf die Eigenbewegung der Tür ist höher.

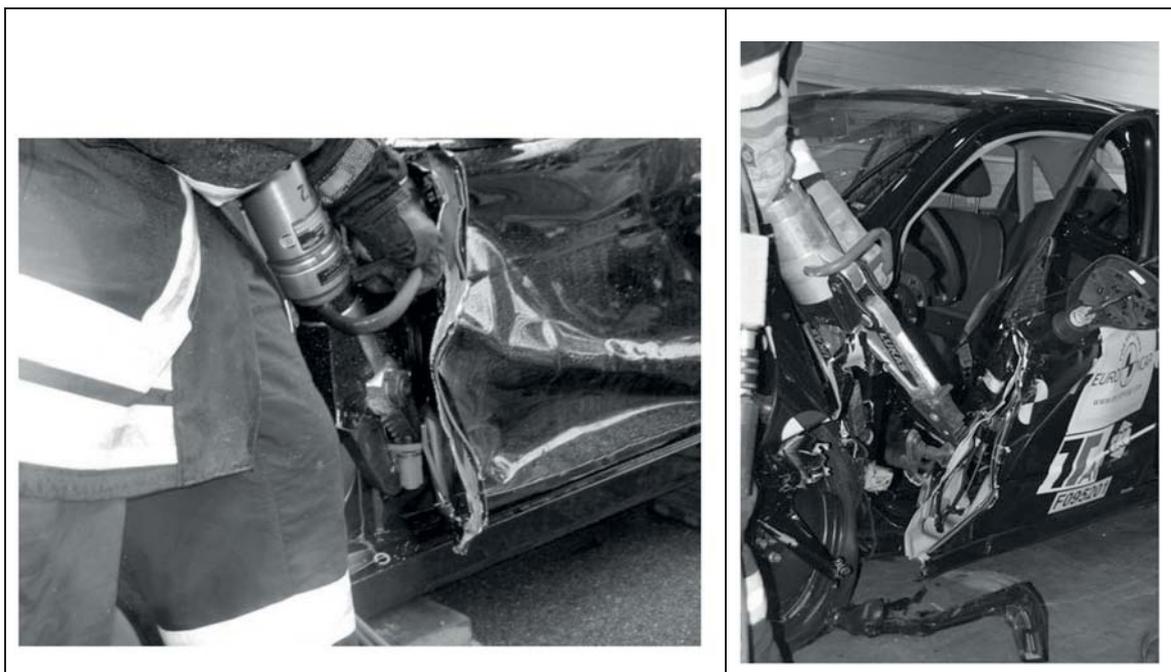


Abbildung 6: Heraustrennen der Türscharniere (li.:Schneiden; re.:Spreizen)

Durch die gehärteten Bolzen im Scharnier wird die Tür schlagartig herausgesprengt. Dieser Umstand sollte beim Halten oder Gegenlehnen an die Tür beachtet werden. Dazu kommt, dass das Heraussprengen mit einem lauten Knall verbunden ist, weshalb der Gerätebediener dies im Vorfeld verkünden sollte. Das Schneiden der Türscharniere sollte, bedingt durch die große benötigte Kraft, nur mit geeignetem Schneidgerät erfolgen. Zum erfolgreichen Schneiden ist es außerdem nötig, die zweite Druckstufe auszunutzen.

Sobald die Türen an der Scharnierseite getrennt sind, erfolgt das vollständige Entfernen der Tür. Hierfür kann unterschieden werden zwischen Schneiden und Spreizen. Das Schneiden der Schlösser ist ohne vorheriges Spreizen nicht möglich, deshalb wurde in den meisten Fällen versucht, das Schloss aufzuspreizen. Besonders problematisch stellte sich wiederum das Finden eines geeigneten Ansatzpunktes heraus. Einige Fahrzeuge zeigten durch das „Auffleddern“ der Türen besonders große Schwierigkeiten. Wie in den nachfolgenden Abbildungen ersichtlich, schälte sich das Schloss meistens bei den hinteren Türen aus dem Kotflügelblech. Hierdurch entstehen weitere gefährliche Schnittkanten, welche bei der Rettung den Verunfallten sowie die Rettungskräfte gefährden können. Außerdem muss durch das Abschälen der Spreizer mit



seinem vollem Öffnungsweg oder mehrmaligen Nachsetzen angewendet werden. Es besteht die Option, die „fleddernden“ Bleche mit der Hydraulischschere zu zerteilen. Dies ist allerdings nur möglich, wenn die Scherenmesser scharf und nicht verbogen sind. Sind die Scheren nicht gut gewartet, kann es vorkommen, dass sich das Blech in die Schere eindreht und nicht schneidet.

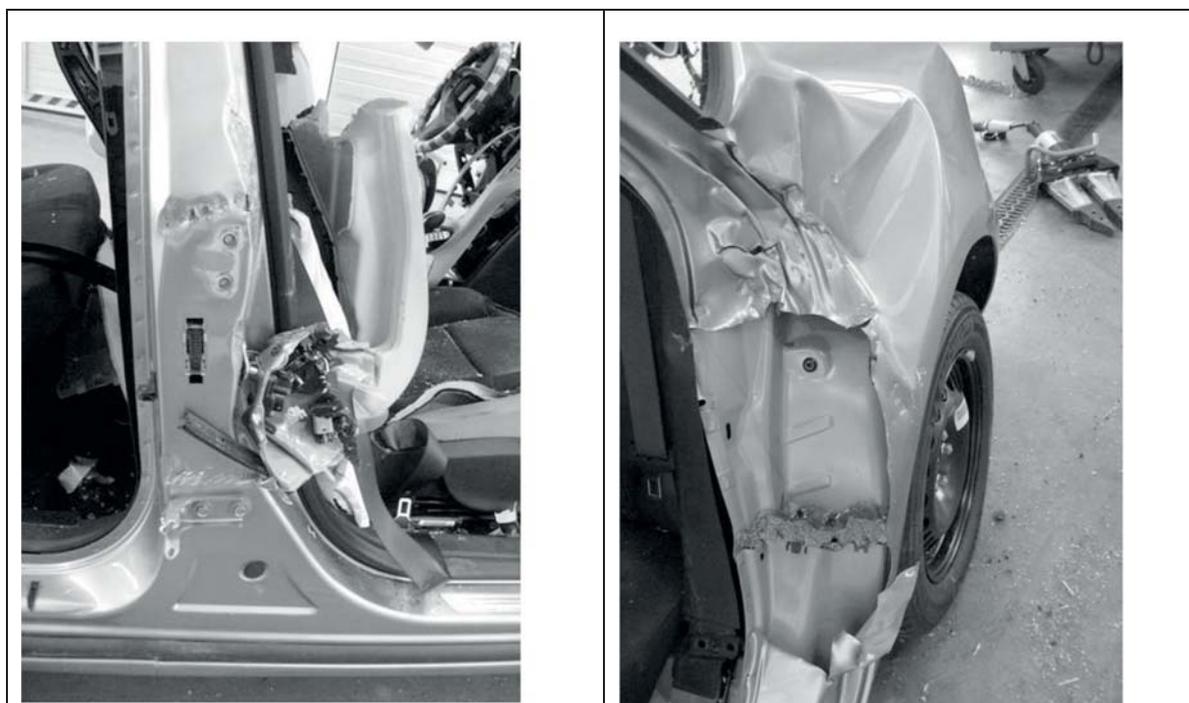


Abbildung 7: Türentfernung (li.:B-Säule; re.: Hinterer Radkasten)

Bei der Auswertung der Zeiten dieser Phase ist zu erkennen, dass das Spreizen durchschnittlich die schnellere Variante zum Entfernen der Türen ist. Es gab Versuche, bei welchen die Methode des Schneidens versagte und auf das Spreizen zurückgegriffen wurde. Die längere Dauer ist unter anderem darin begründet, dass bei der Schneidtechnik zuvor gespreizt werden musste, um die Ansatzpunkte freizulegen.

Anhand der Dokumentation ist es zeittechnisch gleich ob mit der Scharnier- oder der Schlossseite begonnen wird. Abhängig von der Situation und der Deformation muss der Einsatzleiter an der Unfallstelle die individuell beste und schnellste Möglichkeit wählen, um den Patienten zu befreien.

Um aufzuzeigen wie sich die Rettungszeiten in Abhängigkeit des Fahrzeugalters verhalten, werden im Folgenden die Fahrzeuge der durchgeführten Schneidversuche in zwei Altersklassen unterteilt. Die eine Gruppe betrifft die älteren Fahrzeuge der Baujahre 1993 bis 1997. Die zweite Gruppe bilden die aktuellen Fahrzeuge der Baujahre 2007 bis 2010. Aus den ermittelten Werten der einzelnen Phasen ist ersichtlich, dass alle Zeiten der aktuellen Neufahrzeuge erheblich angestiegen sind. Besonders kritisch sind die Phasen zu sehen, bei denen Säulen zertrennt wurden. Bedingt durch die steigenden Sicherheitsanforderungen verdoppelten sich die Zeitintervalle der Phasen Batterie, Vorderwagen – Spreizermethode, Dachabnahme und die des Entferns der B-Säule. Bei neueren Fahrzeugen benötigt die Türentfernung rund 20% mehr Zeit.



Im realen Unfallgeschehen werden die einzelnen Arbeitsschritte in der erforderlichen Rettungstaktik zusammengefasst. Hierbei zeigt sich deutlich, dass durch die Verkettung der Einzelzeiten bei Neueren Fahrzeugkonstruktionen eine deutlich längere technische Hilfeleistung nötig ist. Zudem ist ersichtlich, dass je mehr Säulen durchtrennt werden, sich die Rettungsdauer signifikant verlängert.

3. Zusammenfassung und Ausblick

Aus den Auswertungen geht die Aussage hervor, dass die Rettungsdauer einer eingeklemmten Person aus einem modernen Fahrzeug länger dauert als aus einem vergleichbaren alten Fahrzeug.

Bei der Rettungstaktik der technischen Hilfskräfte ist eine strukturierte und gleichzeitig flexible Herangehensweise nötig. Die Grundlage einer erfolgreichen Rettung stellt zum Einen der sichere Umgang mit dem erforderlichen Werkzeug dar, zum Anderem müssen die Helfer über den aktuellen Stand der Fahrzeugtechnik und dem Rettungszweck förderliche Arbeitsschritte geschult sein. Beispielsweise können leistungsstarke Rettungsscheren unroutinierte Handhabungen nicht kompensieren.

Die beste Möglichkeit Rettungsgeräte, Fahrzeugtechnik und Einsatztaktik zu erforschen und deren Einsatz zu festigen, ist die Durchführung und anschließende Auswertung von Schneidversuchen.

Türstrukturen und Scharnier stellen sich hier immer wieder als eine Herausforderung heraus. Dies wird aus Erfahrungsberichten (Fragebogen) heraus durch die Feuerwehren im Einsatzgeschehen bestätigt. Beispielsweise benötigt die Türentfernung bei neueren Modellen rund 20% mehr Zeit (ab Baujahr 2007).

Eine deutliche Verbesserung könnte durch „rettungsfreundliche“ Türstrukturen erreicht werden. So sind die Scharniere, Schlossteile und -einbaustelle und die Fügung der Türstrukturteile im Wesentlichen für die Verzögerungen bei technischen Rettungsmaßnahmen.



