

Verbesserung der Sicherheit des Betriebs- personals in Arbeits- stellen kürzerer Dauer auf Bundesautobahnen

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 170



bast

Verbesserung der Sicherheit des Betriebs- personals in Arbeits- stellen kürzerer Dauer auf Bundesautobahnen

von

Ralf Roos
Matthias Zimmermann
Sven B. Riffel
Thorsten Cypra

Institut für Straßen- und Eisenbahnwesen
Universität Karlsruhe (TH)

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 170

bast

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

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

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

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

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt beim Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bgm.-Smidt-Str. 74-76, D-27568 Bremerhaven, Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in Kurzform im Informationsdienst **BAST-Info** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos abgegeben; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt FE 03.403/2005/LRB:
Verbesserung der Sicherheit des Betriebspersonals in Arbeitsstellen kürzerer Dauer auf Bundesautobahnen

Projektbetreuung
Karl Moritz

Herausgeber
Bundesanstalt für Straßenwesen
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach
Telefon: (0 22 04) 43 - 0
Telefax: (0 22 04) 43 - 674

Redaktion
Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit

Druck und Verlag
Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH
Postfach 10 11 10, D-27511 Bremerhaven
Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0
Telefax: (04 71) 9 45 44 77
Email: vertrieb@nw-verlag.de
Internet: www.nw-verlag.de

ISSN 0943-9331
ISBN 978-3-86509-809-2

Bergisch Gladbach, Mai 2008

Kurzfassung – Abstract

Verbesserung der Sicherheit des Betriebspersonals in Arbeitsstellen kürzerer Dauer auf Bundesautobahnen

Auf der Grundlage von 951 Unfallprotokollen aus den Jahren 1997 bis 2005, bei denen Bedienstete, Fahrzeuge oder Geräte der Straßenbauverwaltungen in Arbeitsstellen kürzerer Dauer (AkD) auf Autobahnen zu Schaden kamen, wurden relevante Unfallmuster herausgearbeitet.

So konnte im Wesentlichen der Lkw als Hauptunfallverursacher mit einem Anteil von knapp 60 % am Gesamtunfallaufkommen identifiziert werden. Hauptsächlich sind AkD bei Sperrung des rechten Fahrstreifens oder des Standstreifens betroffen. Ein „Anprall von hinten“ auf dem rechten Fahrstreifen und ein „seitliches Streifen“ auf dem Standstreifen von z. B. Absperrtafeln oder Fahrzeugen treten mit etwa gleichen Anteilen am häufigsten auf. Ferner zeigen die Auswertungen, dass 2/3 aller Unfälle bei stationären AkD aufgetreten sind.

Besonders auffällig ist, dass fast 80 % der verunglückten Mitarbeiter in ihrem Fahrzeug zu beklagen sind, nur ca. 20 % der Verunglückten waren beim Unfall außerhalb der Fahrzeuge. Beim Ein- und Aussteigen sind nur 4 Unfälle dokumentiert, diese allerdings mit je zwei Getöteten und Verletzten.

Hinsichtlich der relevanten Unfallmuster wurden Maßnahmen abgeleitet, die zum einen die Unfallvermeidung und zum anderen die Unfallfolgenminderung zum Ziel haben. Im Rahmen einer Abschätzung wurden diese Maßnahmen bewertet und das erwartete Reduzierungspotenzial, einerseits bezogen auf die Anzahl vermeidbarer Unfälle und andererseits auf die Vermeidung von Verletzten, abgeleitet. Die Maßnahmen zur Erhöhung der Sicherheit des Betriebsdienstpersonals in AkD wurden hinsichtlich ihrer Wirkungsweise (optisch, akustisch, haptisch) auf den Verkehrsteilnehmer bewertet.

Aufgrund der haptischen Wirkungsweise auf die Verkehrsteilnehmer beim Überfahren von Warnschwellen könnte bei stationären AkD ein relativ großes Reduzierungspotenzial zu erreichen sein. Gleiches gilt auch beim Einsatz des Unfall-Vorwarn-Systems (UVS).

Das größte Potenzial zur Vermeidung von Unfällen stellt die aktive Fahrzeugsicherheit bei den unfall-

verursachenden Verkehrsteilnehmern dar. Würden Lkw, die als Hauptunfallverursacher in Relation zu ihrer Fahrzeuganzahl deutlich überrepräsentiert sind, mit radarbasierten Fahrgeschwindigkeitsreglern und Spurassistenzsystemen ausgestattet, könnte mit relativ geringem Aufwand ein hohes Maß an Sicherheit erzielt werden. Nutznießer einer solchen Pflichtausstattung wären darüber hinaus natürlich auch alle anderen Verkehrsteilnehmer, die bei Auffahrunfällen etc. davon profitieren würden. Auf die Installation von aktiven Sicherheitssystemen in Fahrzeuge kann nur durch entsprechende Vorgaben des Gesetzgebers Einfluss genommen werden. Empfehlenswert erscheint außerdem der Einsatz von Unfalldatenschreibern (UDS) inklusive der Dokumentation des Fahrerhaltens wie z. B. Festhalten des Lenkrades, um den Unfallhergang im Nachhinein rekonstruieren zu können.

Insgesamt bieten passive Schutzsysteme in den Betriebsdienstfahrzeugen wegen der hohen Anteile von Verunglückten in den Fahrzeugen das größte Potenzial zur Vermeidung von Verletzungen. So könnten bereits durch die generelle Empfehlung zum Anlegen des Sicherheitsgurtes, auch bei der Absicherung von Arbeitsstellen oder Kurzfahrten, rund 30 % der zu erwartenden verletzten Fahrzeuginsassen vermieden werden.

Zur Unterstreichung dieser Maßnahme sollte in entsprechenden Sicherheitsunterweisungen auf die Unfallgefahr hingewiesen werden. Diese sollten nicht nur das jederzeit gegenwärtige Gefährdungsrisiko ins Bewusstsein rufen, sondern auch die Eigensicherung, wie z. B. erhöhte Aufmerksamkeit beim Ein- und Aussteigen, das Anlegen der Sicherheitsgurte, die korrekte Sitzposition sowie die persönliche Kopfstützeinstellung, betreffen.

Ein sehr großes Vermeidungspotenzial insbesondere von HWS-Verletzungen bieten z. B. Nackenairbags, aber auch Kopfstützensysteme in Verbindung mit Gurtstraffern mit zu erwartenden Reduzierungen von über 80 % der Verunglückten in den Fahrzeugen.

Der Originalbericht enthält als Anlagen das Datenblatt zur Erfassung der Unfälle in der Unfalldatenbank (UDB) sowie drei Tabellen zur Anzahl der Unfallprotokolle nach Bundesländern und weiteren Angaben zu den Verunglückten. In der vorliegenden Veröffentlichung wurde auf die Wiedergabe dieser Anlagen verzichtet. Sie liegen bei der Bundesanstalt für Straßenwesen vor und sind dort einsehbar. Verweise darauf im Berichtstext wurden zur Information des Lesers beibehalten.

Improving the safety of operating staff at short-term work sites on federal motorways

Based on 951 accident reports from the years 1997 to 2005, where in short term work zones (AkD) on motorways staff, vehicles or devices of the highway department were suffered, accident patterns were compiled.

In 60% of the accidents lorry drivers are the main accident causer. Principally short term work zones on the right lane and the emergency lane are affected. The main accident patterns (with the same percentage) are the rear end impact on the right lane and the lateral collision on the emergency lane. The evaluation also shows, that 2/3 of all accidents happened at stationary work zones.

Result of the analysis of the workers position at the time of the accident is, that with nearly 80% a surprisingly high percentage of the staff is injured while placed in their vehicle, the smaller 20% were operating in the work zone outside the vehicle. At boarding or deboarding of the vehicle only 4 accidents were documented. In relation to the 951 accidents their number is small, but with two killed and two injured people these situations indicate a high accident severity.

Concerning the relevant accident patterns arrangements were deduced both to avoid accidents and to increase crashworthiness. The measures were evaluated and their potential for the reduction of accidents and crashworthiness have been deduced. The measures to increase safety of the maintenance personnel in short term work zones were differentiated in regard to their mode of operation concerning all road users (optical, acoustic, haptic).

The best solutions to avoid accidents are active driving safety systems installed in the vehicles of the road users. Lorries as the main causer of accidents are over-represented in relation to their participation in traffic. If these were equipped with radar-based cruise control and a lane assistance system, safety at work zones would be much higher with comparatively little effort. Beneficiary of an obligated installation of these systems would be also all other road users, example e.g. concerning rear end impacts.

However, only the legislator can influence an obligated installation of active safety systems. Even if the accidents at work zones only represent a very small part of all accidents on motorways, this result

should be used to campaign for an obligation of driving assistance systems in lorries. Also advisable seems to be the installation of automatic accident recorders including some additional aspects like the position of the steering wheel. If the driver recognises, that the driving behaviour is recorded at all times and also at crash situations, he will probably pay more attention to the traffic and be less distracted from driving.

Altogether, passive systems in vehicles of the maintenance personnel are providing the highest potential to avoid severe injuries. The general request to use a seat belt also as a driver of safety trailers in mobile work zones can reduce the number of injured passengers by 30%. As the seat belt usage rate at work zones is very low, a significant increase of the usage rate is only possible with the installation of seat belt warning systems.

To underline the demand to attach the seat belt, this specific risk of accident should be pointed out in safety instructions. Thereby not only the general hazard should be pointed out but also all aspects of personal securing like higher attention during on- and deboarding, the correct seating position or the individual headrest adjustment.

A combination of higher attention of the maintenance personnel, better technology in vehicles and safety measurements can reduce the accident risk in work zones.

Active head restraining systems and neck airbags are providing the highest potential (80%) to avoid whiplash-injuries in particular.

Upgrading the maintenance vehicles with head-restraining systems and seat belt warning systems is a relatively cheap way to upgrade vehicles and to increase crashworthiness significantly.

As appendices, the original report contains the data sheet for recording accidents in the accident database (ADB), as well as three tables containing figures for accident protocols by federal state and other information on the parties involved in the accidents. This publication does not contain the information provided in these appendices. They can be viewed at the Federal Highway Research Institute. References to these appendices in the body of the report have been retained for the reader's information."

Inhalt

1	Einleitung	9	4.7	Art der Verletzungen des Betriebsdienstpersonals in AkD	53
2	Methodisches Vorgehen	10	4.7.1	Aspekte der HWS-Distorsion sowie Unfallmuster bei einem Heckaufprall	53
3	Stand der Technik	11	4.7.2	Geschwindigkeitsänderungen und mittlere Beschleunigungen bei einem Heckaufprall	55
3.1	Sicherheit in Arbeitsstellen	11	4.7.3	Abschätzung von Geschwindigkeitsänderungen und mittleren Beschleunigungen beim Heckaufprall	57
3.1.1	Allgemeines zur Sicherheit in Arbeitsstellen	11	4.7.4	Betrachtung der Anschnallsituation der Fahrzeuginsassen	59
3.1.2	Häufigkeiten von Arbeitsstellen kürzerer Dauer	18	4.7.5	Betrachtung von aus- bzw. einsteigenden Personen	59
3.1.3	Häufigkeiten und Verteilungen von Tätigkeiten	18	5	Empfehlungen von Maßnahmen zur Erhöhung der Sicherheit in AkD	59
3.1.4	Psychische Belastungen des Betriebsdienstpersonals	19	5.1	Empfehlungen von Maßnahmen zur Unfallvermeidung	60
3.1.5	Untersuchungen zur Übermüdung im Straßenverkehr	20	5.1.1	Arbeitsstellenorganisation	60
3.2	Sicherung von Arbeitsstellen in der Praxis	22	5.1.2	Modifizierte Beschilderung in AkD	61
3.2.1	Richtlinien für die Sicherung von Arbeitsstellen an Straßen (RSA)	22	5.1.3	Arbeitsstellensicherung	61
3.2.2	Ergänzende Maßnahmen zur Absicherung von Arbeitsstellen in Deutschland	24	5.1.4	Aktive Fahrzeugsicherheit bei den Verkehrsteilnehmern	66
3.2.3	Besonderheiten der Bundesländer	31	5.2	Empfehlungen von Maßnahmen zur Unfallfolgenminderung	67
3.2.4	Methoden der Absicherung von Arbeitsstellen im Ausland	33	5.2.1	Fahrzeuge des Straßenbetriebsdienstes	67
3.2.5	Innovative Maßnahmen	38	5.2.2	Erhöhung der passiven Fahrzeugsicherheit der Betriebsdienstfahrzeuge	69
4	Unfallanalyse in Arbeitsstellen kürzerer Dauer	39	5.3	Maßnahmen zu Verhaltensänderungen beim Betriebsdienstpersonal sowie den Verkehrsteilnehmern	72
4.1	Aufbau der Unfalldatenbank	39	5.3.1	Vertiefende Führerscheinausbildung zum Verhalten in Arbeitsstellen und Information der Verkehrsteilnehmer	72
4.2	Statistische Auswertung der Unfalldatenbank	40			
4.3	Auswertung der Unfallmuster	41			
4.4	Berücksichtigung der Verkehrsbelastungen	47			
4.5	Verteilung der Tätigkeiten beim Betriebsdienst	50			
4.6	Betrachtung von Fremdfirmen	52			

5.3.2	Verhaltensänderungen und präventive Sicherheitsunterweisungen beim Betriebsdienstpersonal	72
6	Zusammenfassung und Ausblick	74
	Literatur- und Quellenverzeichnis	76
	Informationsmaterial von Firmen und Institutionen	79

Abkürzungsverzeichnis

a	mittlere Beschleunigung [m/s^2 oder g]
-a	mittlere Verzögerung [m/s^2 oder g]
AkD	Arbeitsstelle kürzerer Dauer
AID	Arbeitsstelle längerer Dauer
AM	Autobahnmeisterei
BAB	Bundesautobahn
b_{ver}	verfügbare Breite
DTV	Durchschnittlicher täglicher Verkehr [Kfz/24h]
DTV_{SV}	Durchschnittlicher täglicher Verkehr des Schwerverkehrs [Kfz/24h]
DVR	Deutscher Verkehrssicherheitsrat
FVAS	Fachverband für Verkehrsabsicherung auf Arbeitsstellen auf Straßen
GT	Getöteter
GTA	Gesamttingkeitsaufkommen
HWS	Halswirbelsäule
k	Stoßfaktor [-]
LiFS	Linker Fahrstreifen
LV	Leichtverletzter
m	Masse [t]
Pkw*	Zusammenfassung der Verkehrsteilnehmer Pkw, Kleintransporter und Motorrad
PWS	Personen-Warn-System
ReFS	Rechter Fahrstreifen
RMS	Richtlinie für die Markierung von Straßen
RSA	Richtlinien für die Sicherung von Arbeitsstellen an Straßen
SIB	Straßeninformationsbank
STS	Standstreifen
StVO	Straßenverkehrsordnung
StVZO	Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung
SV	Schwerverletzter
TMA	Track-Mounted-Attenuator
U	Unfälle [-]

UD	Unfalldichte [U/(100 km*a)]
UDB	Unfalldatenbank
ÜKS	Überkopfsignalisierung
UVS	Unfall-Vorwarn-System
V _A	Auslaufgeschwindigkeit [km/h]
V _K	Kollisionsgeschwindigkeit [km/h]
V _{rel}	Relativgeschwindigkeit [km/h]
VwV	Verwaltungsvorschrift
VzKat	Verkehrszeichenkatalog
V _{zul}	Zulässige Höchstgeschwindigkeit [km/h]
Z	Zeichen (Verkehrszeichen) gemäß StVO
ZTV-SA	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Sicherungsarbeiten an Arbeitsstellen an Straßen
ΔV	Geschwindigkeitsänderung [km/h]

1 Einleitung

Auf den Bundesautobahnen (BAB) ist seit langem eine stetig wachsende Verkehrsbelastung feststellbar. So stieg auf den BAB der durchschnittliche tägliche Verkehr (DTV) zwischen 1995 und 2004 um 12,3 % von 43.900 Kfz/24h auf 49.400 Kfz/24h. Wird hingegen das Unfallgeschehen auf BAB betrachtet, so verläuft dieses seit vielen Jahren, zumindest hinsichtlich der Unfallschwere, positiv. Nach dem BMVBW (2004) ging 2004 die Anzahl der Unfälle mit Personenschaden auf Autobahnen um ca. 15,6 % gegenüber 1995 auf 21.500 zurück. Gleichzeitig nahm die Anzahl der Getöteten von 1995 mit 978 um ca. 29 % auf 694 Getötete im Jahr 2004 ab. Mit rund 36,5 % Abnahme bei den Schwerverletzten wird auch hier der rückläufige Trend der Unfallschwere deutlich. Hinsichtlich der Unfallsituation im Zusammenhang mit Arbeitsstellen lässt sich dieser positive Trend nicht eindeutig erkennen. Werden allerdings z. B. die Zahlen aus SCHÖNBORN/SCHULTE (1995) herangezogen, so ist festzustellen, dass die zeitliche Entwicklung fremdverschuldeter Unfälle mit Betriebsdienstpersonal trotz steigender Verkehrsleistungen einen stagnierenden Verlauf der Unfallzahlen zeigt.

Insgesamt sind Unfälle im Zusammenhang mit Arbeitsstellen unter zwei Aspekten zu betrachten: So gehören zu Unfällen im Bereich von Arbeitsstellen im weiteren Sinne alle Unfälle, die sowohl innerhalb von Arbeitsstellen als auch am Ende von Stauungen, deren Ursache in einer im weiteren Streckenverlauf folgenden Arbeitsstelle liegen, dazu. Unfälle im Bereich von Arbeitsstellen im engeren Sinne betreffen Unfälle, die nur im unmittelbaren Arbeitsstellenbereich liegen, bei denen eine Gefährdung des Personals überhaupt erst auftreten kann. Insbesondere bei Beteiligung von Lkw resultieren daraus häufig schwerste Unfallfolgen. Untersuchungsschwerpunkt des vorliegenden FE-Vorhabens sind die hier im engeren Sinne gefassten Unfälle in Arbeitsstellen kürzerer Dauer (AkD).

Für die Straßenbauverwaltungen muss es ein besonderes Anliegen sein, für eine optimale Sicherheit ihrer eigenen Bediensteten im Straßenraum zu sorgen, wobei zwei Aspekte nicht aus den Augen verloren werden dürfen: Zum einen muss bei allen Maßnahmen darauf geachtet werden, dass zumindest keine systematischen Verschlechterungen der Verkehrssicherheit für die übrigen Verkehrsteilnehmer in Kauf zu nehmen sind, zum anderen müssen auch Aspekte der Wirtschaftlichkeit Beachtung finden.

Gespräche mit Straßenwärtern vor Ort, die im Rahmen einer Vielzahl von Untersuchungen für die Straßenbauverwaltung des Landes Baden-Württemberg wie auch von FE-Vorhaben des Bundes geführt wurden, und erste Auswertungen von Unfallberichten im begrenzten Kollektiv aus ZIMMERMANN/MORITZ (2004) lassen klar erkennen, dass der weitaus größte Teil der Unfälle mit Betriebsdienstpersonal bzw. -fahrzeugen bei fließendem Verkehr in der Arbeitsstelle zu beklagen ist. Dies gilt insbesondere für Unfälle mit schwerem Personenschaden. Ein generelles Problem liegt in der Abwägung gegenläufiger Ziele. Aus Sicht des Straßenbetriebsdienstpersonals wird unter Aspekten der eigenen Sicherheit eine Arbeitsstelle mit Verkehrsbehinderung präferiert. Hauptaspekte des eigenen Empfindens wie auch wesentliche, teilweise voneinander abhängende Eingangsgrößen für das Unfallgeschehen sind dabei die Verkehrsdichte vor allem im Vorfeld der Arbeitsstelle sowie die gefahrenen Geschwindigkeiten in der Annäherung wie auch bei der Durchfahrt durch die Arbeitsstelle. Dies bedeutet zwar ein relativ hohes Maß an Sicherheit für die Bediensteten, jedoch widerspricht dieses Vorgehen der volkswirtschaftlichen Betrachtung. Diese strebt aus Sicht der Nutzer eine Reduzierung von Verkehrsbehinderungen – sei es durch größtmögliche Vermeidung in Folge zeitlicher Verlegung oder die Anwendung von Maßnahmen zur Staureduktion, deren Wirksamkeit in ROOS et al. (2006) untersucht wurde – an. Gerade unter Berücksichtigung dieser Zusammenhänge erscheint es umso notwendiger, gerade Arbeitsstellen mit geringen bzw. keinen verkehrlichen Eingriffen eine besondere Aufmerksamkeit bezüglich ihrer Sicherheit für das Personal zu widmen.

Zahlreiche Untersuchungen aus der Vergangenheit belegen dabei, dass das Sicherheitsniveau für Verkehrsteilnehmer im Bereich von Arbeitsstellen längerer Dauer (AID) deutlich höher liegt als bei AkD. Nach DURTH et al. (1999), GREBE/HANKE (1991) und KÜHNEN (1995) sind allerdings trotzdem gegenüber der freien Strecke deutlich höhere Unfallraten und Unfallkostenraten zu verzeichnen.

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung liegt das Hauptaugenmerk auf AkD, bei denen insbesondere das Gefährdungspotenzial für das Straßenbetriebsdienstpersonal sehr groß ist. Hierbei gilt es, Maßnahmen und Empfehlungen zur Erhöhung der Sicherheit des Betriebsdienstpersonals bei AkD auf Bundesautobahnen zu erarbei-

ten. Zu bedenken ist, dass es sich gerade bei der betrachteten Gruppe von Bediensteten des Straßenbetriebs auf Autobahnen um Personen handelt, deren Risiko, selbst an einem solchen Unfall beteiligt zu sein oder zumindest durch Unfälle mit direkten Kollegen belastet zu werden, deutlich höher ist als für einen durchschnittlichen Verkehrsteilnehmer. Gerade die psychische Komponente ist daher gegenüber Untersuchungen von Verkehrsunfällen von Verkehrsteilnehmern untereinander deutlich höher zu bewerten. So steigt das persönliche Unfallrisiko des Betriebsdienstpersonals bedingt durch den steigenden Unterhaltungsaufwand auf den BAB an. Nach WEINSPACH (1988) liegt die Anzahl der AkD zwischen 20.000 bis 25.000 pro Jahr, die häufig durch Autobahnmeistereibedienstete durchgeführt werden. STÖCKERT (2001) schätzt die Anzahl an AkD bezogen auf das gesamte Bundesautobahnnetz auf 80.000 bis 137.000 pro Jahr. PORTUNÉ (2004) beschreibt die psychischen Belastungen der Mitarbeiter des Straßenbetriebsdienstes. Dort wird BUTTGEREIT (1994) zitiert, die im Schnitt das Risiko eines Straßenwärters, bei seiner Tätigkeit auf der Autobahn tödlich zu verunglücken, 12-mal höher einschätzt als bei anderen Erwerbstätigen. Nach Berechnungen des Landesbetriebs Straßenbau in Nordrhein-Westfalen basierend auf Unfalldaten des Jahres 2001 ist das reale Risiko eines Beschäftigten beim Straßenbetriebsdienst 48-mal höher, einem tödlichen Unfall zu erliegen, als bei anderen Beschäftigungsgruppen in der gewerblichen Wirtschaft.

Eine Verringerung der Unfallanzahl sowie vor allem der Unfallschwere bringt jedoch viele weitere Vorteile mit sich: Zunächst als direkte Folge sorgt eine günstigere Unfallbilanz auf Seiten des Betriebsdienstpersonals zwangsläufig auch für eine Erhöhung der Verkehrssicherheit für die in aller Regel unfallverschuldenden Verkehrsteilnehmer. Indirekte positive Einflüsse lassen sich vor allem durch eine Verringerung der Sperrzeiten infolge Aufräumarbeiten nach Unfällen erzielen. Die zuvor genannten Aspekte spiegeln die Notwendigkeit wider, die Unfälle und somit Unfallzahlen in Zusammenhang mit Personal der Straßenbauverwaltung weiter zu untersuchen und für eine Reduzierung des Gefährdungspotenzials zu sorgen.

2 Methodisches Vorgehen

In der Literaturanalyse wird der Stand der Technik zum einen zur Sicherheit an Arbeitsstellen und zum anderen über praktizierte Maßnahmen bzw. innovative Ansätze aufgezeigt. Ziel der internationalen Literaturanalyse ist es, innovative Ansätze, die sich – möglicherweise nur in Teilnetzen – in Erprobung befinden und über deren Wirkung auf das Unfallgeschehen im Arbeitsstellenbereich Erkenntnisse vorliegen, herauszuarbeiten. Die Ergebnisse der Literaturanalyse dienen als Grundlage für die Empfehlungen von Maßnahmen zur Verbesserung der Sicherheit in Arbeitsstellen kürzerer Dauer. Auf Basis der im Rahmen des FE-Vorhabens zur Verfügung gestellten Unfalldaten mehrerer Straßenbauverwaltungen erfolgt eine umfassende Analyse der Unfälle mit Beteiligung von Personal bzw. Fahrzeugen des Straßenbetriebsdienstes im Bereich von AkD. Hierzu werden alle relevanten Informationen wie z. B. über den Unfallhergang, beteiligte Personen, Art der Tätigkeit und beschädigte Geräte sowie Fahrzeuge der Autobahnmeistereien in einer Unfalldatenbank (UDB) erfasst. Besonderes Augenmerk liegt hierbei auf einer gezielten Untersuchung der vorliegenden Randbedingungen und weniger auf einer statistischen Betrachtung. Darauf aufbauend werden bereits praktizierte Maßnahmen und innovative Ansätze analysiert und erarbeitet, die die Sicherheit des Personals an AkD erhöhen sollen. Die zu erwartenden nachweisbaren Vorteile modifizierter Arbeitsabläufe oder auch optimierter Fahrzeugausstattungen sowie ergänzende Maßnahmen werden bewertet und in Empfehlungen für die Straßenbauverwaltungen überführt. Das methodische Vorgehen der Untersuchung ist in Bild 1 nochmals zusammengefasst.

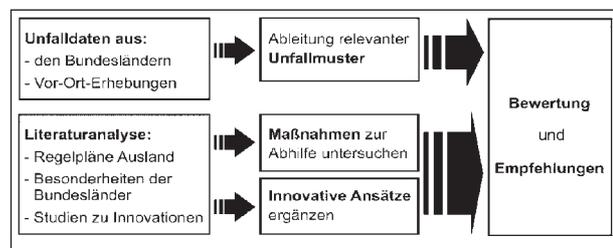


Bild 1: Methodik der Untersuchung

3 Stand der Technik

Die Darstellung des Stands der Technik und des Unfallgeschehens setzt sich im Allgemeinen aus den Teilen „Sicherheit in Arbeitsstellen“ und „praktizierter, sicherheitserhöhender Maßnahmen“ in Bereichen von Arbeitsstellen kürzerer Dauer zusammen.

3.1 Sicherheit in Arbeitsstellen

3.1.1 Allgemeines zur Sicherheit in Arbeitsstellen

Bereits in der Vergangenheit wurden verschiedene Untersuchungen zum Unfallgeschehen an Arbeitsstellen auf Autobahnen durchgeführt. Bei der Analyse der Literatur sind im Rahmen dieses Forschungsprojektes folgende Aspekte zu berücksichtigen. Zum einen befassen sich einige Untersuchungen mit dem Thema Autobahnbaustellen, d. h. Arbeitsstellen längerer Dauer (AID), deren Randbedingungen und Ergebnisse nicht ohne weiteres auf die untersuchte Problematik in AkD übertragbar sind. Zum anderen beinhalten einige Veröffentlichungen zwar AkD, jedoch wird im Unfallgeschehen kaum nach Verursacher, Lage im Querschnitt etc. unterschieden. In diesem Zusammenhang sind insbesondere DURTH et al. (1999) und GREBE/HANKE (1991) zu nennen, in denen vor allem für verschiedene Teilnetze auf BAB Unfallraten bzw. Unfallkostenraten für AkD und AID in Bezug zu den Kennwerten der freien Strecke gestellt werden. GREBE/HANKE (1991) empfehlen, wegen des relativ hohen Gefährdungspotenzials auf Standstreifen Sicherungsanhänger (mit Blinkkreuz anstatt mit Blinkpfeil) einzusetzen. Ferner wird zur Erhöhung der Sicherheit oder mindestens zur Minderung der Unfallfolge eine Geschwindigkeitsbeschränkung im Bereich kurzfristiger Arbeitsstellen vorgeschlagen. Der Einsatz von Aufpralldämpfern für Arbeitsfahrzeuge ohne hinterherfahrendes Sicherungsfahrzeug (z. B. Kehrmaschine) sei zu prüfen. Die Vorteile eines solchen Aufpralldämpfers erscheinen jedoch aufgrund der hohen kinetischen Energie bei Lkw-Unfällen als begrenzt. Die Ausführung und Aufstellung der Sicherungseinrichtungen bei eigenem Personal, aber auch bei Fremdfirmen sollten stichprobenartig kontrolliert werden und bei Bedarf auf die Einhaltung der Regelwerke hingewiesen werden. Darüber hinaus wird eine verstärkte Aufklärung der Öffentlichkeit über die Absperrmethodik und das Unfallrisiko empfohlen.

ZIMMERMANN/MORITZ untersuchten 2004 fremdverschuldete Unfälle mit Personenschäden bei Unterhaltungsarbeiten auf den Straßen Nordrhein-Westfalens (Autobahnen, Bundes- und Landstraßen). In Bild 2 sind die Gesamtzahl der Unfälle sowie die Zahl der bei den Unfällen getöteten Mitarbeiter für den Zeitraum von 1993 bis 2001 dargestellt. Die Zahl der Unfälle erscheint nahezu konstant zu sein, jedoch tendenziell eher leicht abnehmend.

Die geringe Anzahl Getöteter lässt keinen Trend erkennen. Eine Differenzierung dieser Daten bezüglich der Unfälle mit Personal des Betriebsdienstes ist nicht möglich, da die Unfallanzeigen diese Kategorie von Unfallbeteiligten nicht vorsehen. Es werden als „Verkehrsbeteiligte“ lediglich „Andere Personen“ bzw. „Übrige Kraftfahrzeuge“ unterschieden. Stehen Personen in direkter Verbindung mit dem Fahrzeug, wie z. B. der entladende Fahrer eines Lastkraftwagens oder der sein Fahrzeug schiebende Fahrzeugführer, werden diese nicht als „Fußgänger“ oder „Andere Personen“, sondern als Unfallbeteiligter (Fahrzeug bzw. Fahrzeugführer) dokumentiert.

Die Gruppe „Andere Personen“ umfasst hierbei zu Fuß Gehende, die sich durch ihr besonderes Verhalten bzw. verkehrsrechtliche Vorschriften vom normalen Fußgänger unterscheiden, wie z. B. Straßenarbeiter und Polizeibeamte sowie Personen, die – ohne Straßenbenutzer gewesen zu sein – unmittelbar unfallbeteiligt waren. Die Kategorie „Übrige Kraftfahrzeuge“ umfasst: Abschlepp-, Krankenkraft- und Kranwagen, Feuerwehr- und Stra-

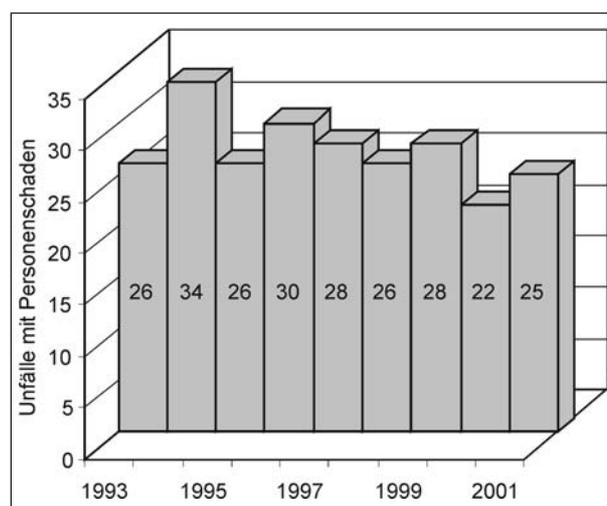


Bild 2: Unfälle mit Personenschaden durch Fremdverschulden innerhalb der Straßenbauverwaltung NRW [ZIMMERMANN/MORITZ (2004)]

ßenreinigungsfahrzeuge, Fahrzeuge für den Straßenbau und -unterhaltung usw. Der zu betrachtende Kreis von Fahrzeugen und Personal des Straßenbetriebsdienstes bildet somit nur eine Teilmenge der unter „Übrige Kraftfahrzeuge“ und „Anderere Personen“ zusammengefassten Verkehrs- und damit Unfallbeteiligten.

Bild 3 stellt die Entwicklung der Unfallzahlen der unter dem Begriff „sonstige“ Verkehrsteilnehmer zusammengefassten zwei Gruppen auf BAB im Untersuchungszeitraum 1997 bis 2001 dar. Auch hier sind keine Aussagen bezüglich eines Trends, der eine kontinuierliche Zu- oder Abnahme der Unfallzahlen beschreibt, möglich. Ein weiterer Vergleich der Zahlen der durch Dritte verursachten Unfälle mit Unterhaltungspersonal bei den beteiligten Straßenbauverwaltungen (Bild 4) sowie der bei den beteiligten Straßenbauverwaltungen verletzten und getöteten Mitarbeiter (Bild 5) lässt keine Zunahme von Unfällen mit Personenschaden mit Beteiligung

von Unterhaltungspersonal auf BAB erkennen. Werden ferner die in diesem Untersuchungszeitraum bei Unfällen beschädigten Fahrzeuge und Geräte der von den beteiligten Straßenbauverwaltungen zur Verfügung gestellten Unfalldaten betrachtet, so deuten diese wiederum auf tendenziell abnehmende Unfallereignisse hin.

Aus den ZIMMERMANN/MORITZ (2004) vorliegenden Daten kann jedoch abschließend keine zunehmende Gefährdung des Personals in Arbeitsstellen abgeleitet werden. Aus den reinen Unfallzahlen mit Mitarbeitern bzw. Fahrzeugen des Straßenbetriebsdienstes und deren aufgezeigter Entwicklung wird ein unbedingter Handlungsbedarf nicht direkt ersichtlich, da sich die Befürchtungen einer Zunahme in den letzten Jahren nicht bestätigt haben. Als Voraussetzung zur Verbesserung der Sicherheit des Personals in Arbeitsstellen muss die Verteilung der Unfälle hinsichtlich Lage im Querschnitt, Art der Verkehrsführung und Absicherung, Art der beteiligten Fahrzeuge etc. bekannt sein.

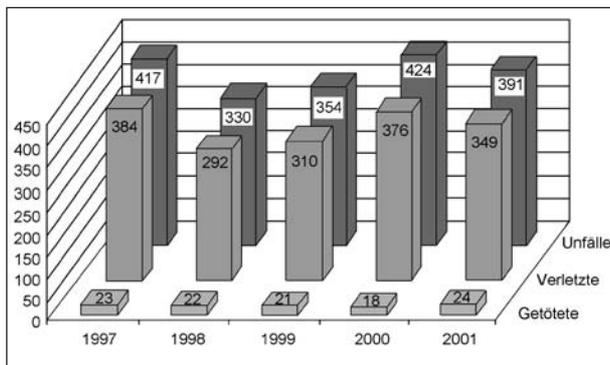


Bild 3: Unfälle mit „Anderen Personen“ und „Übrigen Kraftfahrzeugen“ auf BAB [ZIMMERMANN/MORITZ (2004)]

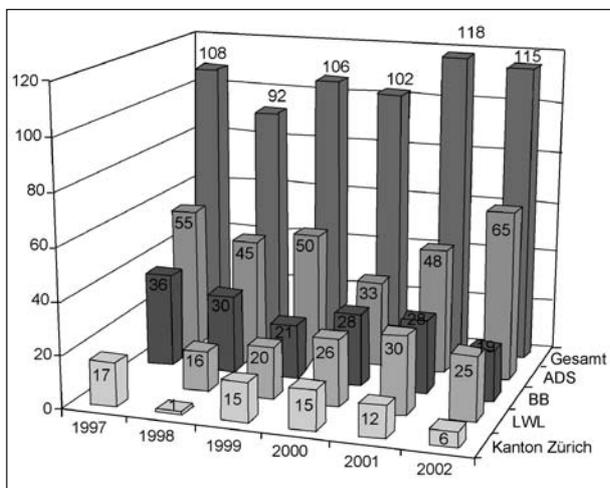


Bild 4: Unfälle mit Beteiligung von Unterhaltungspersonal bei den beteiligten Straßenbauverwaltungen (Verursacher: Dritte) [ZIMMERMANN/MORITZ (2004)]

So wurden rund 100 Unfälle aus den Jahren 1998 bis 2003 aus der heutigen Niederlassung Hamm des Landesbetriebes Straßenbau NRW (dem vormaligen Bereich des Landschaftsverbandes Westfalen-Lippe) ausgewertet. Maßgebende Untersuchungsaspekte waren hierbei die auslösenden Fahrzeuge, die Lage der Arbeitsstelle im Querschnitt und besondere Auffälligkeiten hinsichtlich durchgeführter Tätigkeiten, Unfallhergänge etc. mit dem Ziel, bestimmte Unfallmuster abzuleiten, gegen die gezielt vorgegangen werden könnte.

Inwiefern diese Unfallzahlen ein repräsentatives Bild zur Situation auf deutschen Autobahnen widerspiegeln, wird anhand der Abschätzung der Unfall-

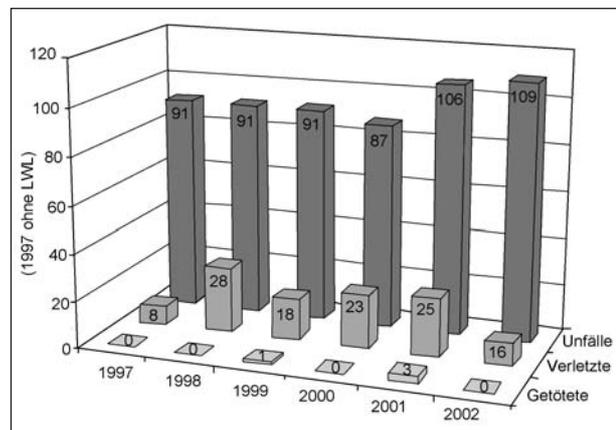


Bild 5: Verletzte und Getötete bei den beteiligten Straßenbauverwaltungen [ZIMMERMANN/MORITZ (2004)]

dichte deutlich: Unter der zugrunde gelegten Netzlänge von 914 km ergibt sich eine Unfalldichte (UD) von 2,254 U/(100km*a). Bei alleiniger Berücksichtigung der Unfälle an AkD ergibt sich bei 94 Unfällen eine UD von 2,057 U/(100km*a).

Diese Unfalldichten wurden mit den mittleren Unfalldichten aus KAYSER et al. (1993) für die Jahre 1986 bis 1991 auf dem fast vollständig erfassten damaligen Bundesautobahnnetz (1.175 Unfälle bei Betrachtungszeiträumen von durchschnittlich ca. 6,5 Jahren und 8.150 km BAB-Strecke) von 2,209 U/(100km*a) verglichen und zeigen zum einen, dass das betrachtete Unfallkollektiv sowohl vergleichbar ist, aber auch, dass eine Steigerung der Unfallzahlen in den letzten 12 Jahren nahezu ausgeschlossen werden kann.

Die Auswertung der insgesamt 107 untersuchten Unfälle in ZIMMERMANN/MORITZ (2004) ergab, dass 33 Unfälle mit Personenschaden mit insgesamt 3 Getöteten (als schwerste Unfallfolge), 14 Schwer- und 16 Leichtverletzten zu verzeichnen waren, wobei diese Zahlen Verkehrsteilnehmer und Personal umfassen. Aus den Unfalldaten ging auch hervor, dass die Anzahl der Getöteten wie auch die der Leichtverletzten je zur Hälfte auf Verkehrsteilnehmer und Personal verteilt sind. Jedoch waren die tendenziell schwereren Verletzungen mit 13 von 20 Schwerverletzten (entspricht 65 %) auf Seiten der Verkehrsteilnehmer zu verzeichnen.

Wird nach der Fahrzeugart des Hauptverursachers unterschieden, so stellen sich Lkw mit 63 Unfällen als Hauptverursacher heraus (Tabelle 1). Mit knapp 84 % (90 Unfälle) fanden die meisten Unfälle bei Tageslicht statt, bei Dunkelheit rund 15 % (16 Unfälle). Lässt man die Winterdienstunfälle (4 Unfälle) außer Acht, so kann die Anzahl der Unfälle bei Dunkelheit bezogen auf die Gesamtunfälle als nicht auffällig bezeichnet werden. Eine Aufstellung über die

Anzahl beschädigter Fahrzeuge und Geräte ist Tabelle 2 zu entnehmen. Demzufolge wurden bei den insgesamt 107 Unfällen 62 Sicherungsanhänger und 55 Lkw bzw. Unimog beschädigt. Aus Tabelle 3 folgt, dass 40 % (43 Unfälle) aller Unfälle auf dem Standstreifen zu verzeichnen sind; gegenüber 32 Unfällen auf dem linken und 23 auf dem rechten Fahrstreifen.

Die Gesamtbetrachtung der Unfallmuster weist folgende Auffälligkeiten auf:

- Die meisten schweren Verletzungen treten bei den Verkehrsteilnehmern beim Aufprall von Pkw auf Meistereifahrzeuge bzw. Sicherungsanhänger bei Arbeiten am Mittelstreifen auf, im Gegensatz zu relativ wenigen bzw. leichten Verletzungen beim Betriebsdienstpersonal. Das höhere Risiko für das Personal besteht beim Aufprall

Fahrzeugart des Hauptverursachers	
Pkw	36
Lkw	63
Motorrad	1
Unbekannt	7

Tab. 1: Fahrzeugart des Hauptverursachers [ZIMMERMANN/MORITZ (2004)]

Beschädigte Fahrzeuge und Geräte der Straßenbauverwaltung	
Lkw und Unimog	55
Kehrmaschinen	6
Sicherungsanhänger	62
Mannschaftswagen	3
Pkw	2
sonstige Fahrzeuge und Geräte	4

Tab. 2: Beschädigte Fahrzeuge und Geräte der Straßenbauverwaltung [ZIMMERMANN/MORITZ (2004)]

Lage im Querschnitt		Summe Unfälle	Anzahl Verletzter bzw. schwerste Unfallfolge			
			Getötet	Schwerverletzt	Leichtverletzt	Sachschaden
Linker Fahrstreifen	Personal	32	0	0	6	24
	Verk.-Teiln.		0	6	7	
Rechter Fahrstreifen	Personal	23	0	5	2	15
	Verk.-Teiln.		2	3	2	
Standstreifen	Personal	43	0	2	8	29
	Verk.-Teiln.		0	4	5	
Sonstige bzw. unbekannt	Personal	9	2	0	3	6
	Verk.-Teiln.		0	0	0	

Tab. 3: Übersicht der Anzahl Verletzter bzw. schwerste Unfallfolge nach Lage im Querschnitt [ZIMMERMANN/MORITZ (2004)]

von Lkw auf den Sicherungsanhänger auf dem rechten Fahrstreifen.

- Relativ viele Unfälle ereigneten sich mit Kehrmaschinen bzw. allgemein mit Fahrzeugen ohne Sicherungsanhänger auf dem Standstreifen. In beiden Fällen ist in aller Regel nur ein kleines Blinkkreuz auf der Fahrzeugrückseite angebracht.
- 2/3 der Unfälle auf dem Standstreifen haben als textliches Zusatzmerkmal die Anmerkungen „seitlicher“ bzw. „streifender“ Aufprall. Lediglich bei zwei Unfällen auf dem Standstreifen erfolgte der Aufprall eines Lkw auf den Sicherungsanhänger von hinten. Bei 12 Unfällen auf dem rechten Fahrstreifen erfolgte ein Aufprall eines Lkw von hinten auf den Sicherungsanhänger.

Es zeigt sich, dass tendenziell das Risiko für das Personal, einen Personenschaden zu erleiden, bei Arbeiten auf dem rechten Fahrstreifen und bei ungeschützten Arbeiten neben der Fahrbahn am höchsten ist.

Abgeleitet anhand der maßgeblichen Unfallmuster und der Schwere der Unfallfolgen werden von ZIMMERMANN/MORITZ (2004) folgende Vermeidungsansätze vorgeschlagen:

- Bei Tätigkeiten auf dem Standstreifen sollte auch gegenüber der aktuellen Fassung der RSA 1995 eine bessere Absicherung von Kehrmaschinen und anderen Fahrzeugen ohne Absperrtafel angestrebt werden. Gemäß D.3 (7) der RSA (1995) können bei Arbeiten auf dem Standstreifen anstelle der fahrbaren Absperrtafel auch Arbeitsfahrzeuge mit verbesserter Sicherheitskennzeichnung gemäß A.7.1 RSA (1995) eingesetzt werden (eingeschaltetes Blinkkreuz). Auch für diese Situationen ist aus Sicherheitsgründen die Absicherung nach Regelplan DIII/7, evtl. auszuführen als Zeichen 616 (fahrbare Absperrtafel mit Blinkpfeil, kleine Ausführung), zu empfehlen.
- Die meisten Unfälle weisen einen seitlichen Aufprall oder ein Streifen des Arbeitsfahrzeuges auf. Bei mobilen AkD sind die Fahrzeuge generell mit verbesserter Sicherheitskennzeichnung auszurüsten (s. o.). Bei stationären Arbeitsstellen oder beim Abstellen von Arbeitsfahrzeugen auf dem Standstreifen für Arbeiten im Straßenseitenraum wird die Verwendung von Warnschwellen empfohlen.

- Auch die Verwendung von Warnschwellen auf dem rechten Fahrstreifen stellt angesichts der aufgetretenen Unfälle durchaus ein Erfolg versprechendes Potenzial dar.

Es wurde in dieser Untersuchung deutlich, dass mit den Modifikationen der RSA 1995 noch keine signifikanten Änderungen in den Unfallanzahlen und -verteilungen zu verzeichnen waren. Entsprechende Analogien sind auch bei KAYSER et al. (1993) festzustellen. So führen insbesondere bei Lkw-Fahrern häufig Fehler in der seitlichen Spurführung zu Unfällen.

Ein weiterer Aspekt betrifft die Unfallrisiken in Abhängigkeit von der Verkehrsbelastung bzw. der Verkehrsqualität im Annäherungsbereich. Wie bereits KAYSER et al. schon 1993 darlegten treten die meisten Unfälle bei Verkehrsstärken unterhalb der größten Verkehrsnachfrage auf. So ergaben die Auswertungen der Unfallprotokolle nahezu keine Anzeichen von Unfällen bei Stauungen bzw. zähflüssigem Verkehr. Auch innerhalb der Arbeitsstellen sind quasi keine Unfälle zu verzeichnen, fast ausschließlich sind die Unfälle auf Fehlverhalten von Verkehrsteilnehmern bei der Zufahrt in einen Arbeitsstellenbereich aus freiem Zulauf zurückzuführen.

Nach WEINSPACH (1988) bewirken AkD fast immer die Sperrung eines Fahrstreifens. Der Überholfahrstreifen wird in mehr als 85 % der AkD gesperrt. Bei etwa 65 % der AkD wird hierbei mit Verkehrsstörungen gerechnet, falls keine besonderen Maßnahmen zur Aufrechterhaltung des Verkehrsflusses ergriffen werden. Die Länge einer AkD wird mit etwa 100 bis 300 m angegeben. Etwa 50 % aller Unfälle mit Personen- und schwerem Sachschaden entstehen durch das „Auffahren auf ein fahrendes Fahrzeug“, gefolgt von „Abkommen von der Fahrbahn“ mit etwa 20 %. Bei Unfällen in Baustellenbereichen sind die häufigsten Unfallursachen „Abstand“ mit ca. 30 % (auf den BAB gesamt 20 %) sowie „nicht angepasste Geschwindigkeit“ mit etwa 30 % (BAB gesamt über 30 %). Hierbei handelt es sich insbesondere um Unfallursachen durch Pkw-Fahrer. 12 % der Massen- und etwa 15 % der Serienunfälle ereignen sich in Baustellenbereichen. Dies entspricht in etwa dem Streckenanteil der BAB, dessen Verkehr durch Arbeitsstellen längere Dauer (AID) beeinflusst ist.

In KÜHNEN (1995) wird insbesondere die Struktur der Unfälle hinsichtlich Typ, Art und Ursache ausgewertet. Hierzu werden Unfälle aus dem gesamt-

ten Arbeitsstellenumfeld innerorts, auf Landstraßen und BAB inkl. Annäherung (Stauungen) betrachtet, wobei z. B. die Art der Absicherung von untergeordneter Bedeutung ist. Die Untersuchung von 272 Unfällen mit schwerem Personenschaden aus dem Jahr 1993 ergab, dass 76,8 % der Unfälle mit mehreren Beteiligten stattfanden. Häufigste Unfallursachen sind Fahren mit nicht angepasster Geschwindigkeit sowie unzureichender Sicherheitsabstand. Deutliche Unterschiede weist auch die Betrachtung der Altersstruktur der Beteiligten auf. So sind überdurchschnittlich häufig 35- bis 44-Jährige und Verkehrsteilnehmer ab 55 Jahren an Unfällen in Bereichen von Arbeitsstellen beteiligt. Die Gruppe der jungen Fahrer ist hier am unauffälligsten. Als die auffälligste Verkehrsteilnehmergruppe werden die Fahrer der Lkw identifiziert. Lediglich in einem Ausnahmefall kann die mangelhafte Arbeitsstellenabsicherung in Verbindung mit einem Unfall gebracht werden.

Die durch KAYSER et al. (1993) an der RWTH Aachen durchgeführte Untersuchung hatte zum Ziel, Absicherungen an Autobahnarbeitsstellen zu untersuchen und Sicherheitsverbesserungen für das Unterhaltungspersonal in Form von sicherungstechnischen, organisatorischen oder ordnungspolitischen Maßnahmen zu erarbeiten. Ausgewertet wurden 1.175 Unfälle aus den Jahren 1986 bis 1991, die in einem Autobahnnetz von 8.150 km (92,5 % der damaligen Netzlänge) registriert wurden. Die Auswertungen ergaben, dass es sich überwiegend um Auffahrunfälle handelte, je zu einem Drittel auf dem Standstreifen, dem rechten Fahrstreifen und dem Überholfahrstreifen. Weiter wurde auch eine Abschätzung erarbeitet, welche Anteile der Einsatzzeit des Betriebsdienstpersonals welchen Querschnittsbereichen zuzuordnen sind. Hiernach können jeweils ca. 12 % der Einsatzzeit einem der vorhandenen Fahrstreifen und ca. 40 bis 60 % dem Standstreifen zugeordnet werden. Arbeiten außerhalb des Verkehrsraumes werden in weiteren 10 bis 20 % der Einsatzzeit durchgeführt, wobei meist Fahrzeuge auf dem Standstreifen abgestellt sind. Die restlichen ca. 10 % der Einsatzzeit werden auf Rastanlagen verbracht. Anhand der Gegenüberstellung der o. a. Verteilung der Unfälle und den Verweildauern auf den jeweiligen Fahrstreifen lässt sich für das Betriebsdienstpersonal ein höheres Risiko auf den Fahrstreifen ableiten. Die Hälfte aller Unfälle wird durch Lkw verursacht, davon ca. 80 % auf dem Standstreifen. Die Unfälle mit Todesfolge für Mitarbeiter des Betriebsdienstes verteilten sich

je zur Hälfte auf den Stand- und den rechten Fahrstreifen, mehr als Dreiviertel der Unfälle mit Personenschaden ereigneten sich dort. Weiter wurde in der Untersuchung festgestellt, dass die Verteilung der Unfälle über den Tagesverlauf vor allem die Regelarbeitszeit der Meistereien widerspiegelt. Etwa die Hälfte der Unfälle außerhalb dieser Zeitspanne sind Unfälle im Winterdienst. Ein Vergleich der Anteile an Streckentätigkeiten und der Unfälle außerhalb der Regelarbeitszeit weist auf ein geringeres Unfallrisiko für diesen Zeitraum hin. Unfallhäufungen lassen sich bei „mittleren“ Belastungen nachweisen, in Zeiten starken Verkehrsaufkommens sorgen auftretende Stauungen meist für ein geringeres Unfallrisiko – insbesondere für solche mit schwerwiegenden Unfallfolgen. Weiter zeigte sich, dass die zeitliche Entwicklung fremdverschuldeter Unfälle von Betriebspersonal trotz steigender Verkehrsleistungen einen stagnierenden Verlauf der Unfallzahlen aufweist und der allgemeinen Entwicklung für Unfälle auf Bundesautobahnen entspricht. Die Absperrtafel wird in der Untersuchung von KAYSER et al. (1993) als ein wesentliches Mittel zum Schutz des Personals wie auch als Hinweis auf die Sperrung von Teilen der Fahrbahn genannt. Zu berücksichtigen ist jedoch, dass die Absicherungen der ausgewerteten Arbeitsstellenunfälle nach RSA 1980 bzw. 1986 erfolgt waren. Die Anregung aus diesem Forschungsvorhaben, eine mittels eines Blinkkreuzes modifizierte Absperrtafel auch auf Standstreifen zum Schutz der Arbeitsstelle und des Personals einzusetzen, ist in der geltenden RSA (1995) verankert.

In der Schweiz untersuchte SCHATZMANN (2004) die Unfallsituation mit besonderem Blick auf die Hochleistungsstraßen im Kanton Bern. Eine Unterscheidung zwischen Arbeitsunfällen und Unfällen durch Fremdverschulden im Verkehr wird im Gegensatz zu den hier betrachteten Untersuchungen nicht vorgenommen. Zwar lässt sich ein Vergleich unter dieser Randbedingung nur schwer verwirklichen, jedoch sind die dort genannten Risiken insbesondere für den Todesfall beim Betriebsdienstpersonal sehr hoch: Mit fast drei Toten pro 1.000 Mitarbeitern für das individuelle Todesfallrisiko und rund 50 Verletzten pro 1.000 Mitarbeitern für das individuelle Verletzungsrisiko liegen die Werte nach Aussagen des Autors um den Faktor 10 bis 100 über den üblicherweise im Arbeitssicherheitsbereich gültigen individuellen Risiken. Das hohe Schadensausmaß wird auch hier auf Unfälle mit Fahrzeugen, die eine hohe Aufprallenergie freiset-

zen, zurückgeführt. So ist auch hier der Anteil von schwerer verletzten und getöteten Personen, bei Beteiligung von Lkw, überdurchschnittlich hoch.

Im Vergleich zu Zahlen zur Unfallstatistik im öffentlichen Dienst des Bundesverbands der Unfallkassen (2003) bzw. bei den gewerblichen Berufsgenossenschaften in Deutschland (HVBG, 2004) zeigt sich, dass sich die aus der Schweiz genannten Verletzungsrisiken mit den durchschnittlichen Verletzungsrisiken von 45,0 (öffentlicher Dienst) bzw. 32,5 (Durchschnitt aller gewerblichen Berufsgenossenschaften) je 1.000 Mitarbeiter größenordnungsmäßig her decken. Nach SCHATZMANN (2004) ist jedoch das genannte Todesfallrisiko für den Straßenbetriebsdienst viermal so hoch wie die entsprechende Kenngröße für die gewerblichen Berufsgenossenschaften von 0,687 je 1.000 Mitarbeiter. Verdeutlicht wird die Problematik durch einen weiteren Vergleich, welcher einerseits die individuellen Risiken des Straßenbetriebsdienstpersonals und andererseits der Verkehrsteilnehmer betrachtet. Selbst unter Berücksichtigung verschiedener Verweildauern im Verkehrsraum liegt das genannte Todesfallrisiko für das Betriebsdienstpersonal deutlich über der Verunglücktenbelastung mit Getöteten im Straßenverkehr von 8,3 je 100.000 Einwohner (Statistisches Bundesamt, 2003).

Nach PETERSEN (1988) führen die Geschwindigkeiten und nicht beachtete Tempolimits sowie zu kurze Fahrzeugabstände zu einer Erhöhung der Anzahl der Unfälle im Baustellenbereich. Dies gelte auch für die meistens folgenschweren Kollisionen mit dem Personal. Eine beschränkte und „flüssige“, d. h. eine möglichst homogene Geschwindigkeitsreduktion kann in der Regel vor und im Baustellenbereich eine Reduktion von Unfällen bewirken. Einflüsse auf die Verkehrssicherheit ergeben sich aus der Anordnung und Lage des Fahrstreifeneinzuges, der zur Verfügung stehenden Fahrstreifenanzahl und -breiten im Arbeitsstellenbereich, der Länge und der Dauer der Arbeitsstelle, die einen wesentlichen Einfluss auf die Anzahl der Verkehrsunfälle besitzt. Gerade die Unfallrate bei zeitlich begrenzten AkD mit großem Verkehrsaufkommen ist überdurchschnittlich hoch, besonders während der Pendlerspitzen am Abend. Zur Erhöhung der Verkehrssicherheit für Verkehrsteilnehmer sowie Personal werden folgende Maßnahmen empfohlen:

- Die Signalisierung von Arbeitsstellen (auf stark frequentierten Transitachsen) sollte besonders sorgfältig überprüft werden (z. B. aus einem fah-

renden Fahrzeug), da Verkehrszeichen häufig aus der „Fußgänger-“ anstatt der „Fahrer-Perspektive“ aufgestellt werden. Insbesondere bei AkD ist der Signalisierung trotz der kurzen Dauer der Arbeiten größte Aufmerksamkeit zu schenken. Ortskundige Fahrer werden oft durch solche Baustellen überrascht und reagieren unangemessen, was zu einem Anstieg der Unfallzahlen führen kann.

- Um Auffahrunfälle zu reduzieren, sollten Maßnahmen zur Kollisionsvermeidung z. B. mittels mobiler Stauwarnanlagen und besondere Verkehrszeichen eingesetzt werden, die rechtzeitig vor möglichen Staubildungen warnen und zu größerem Abstandhalten verpflichten. Bei großem Verkehrsaufkommen sollte zur Stau- und Auffahrunfallvermeidung nach Möglichkeit nicht die Anzahl der Fahrstreifen, sondern die Fahrstreifenbreite reduziert werden.
- Eine kontinuierlich reduzierte Geschwindigkeit im Arbeitsstellenbereich wirkt sich günstig auf die Unfallrate aus. So sind geschwindigkeitsüberwachende Maßnahmen vorzusehen.
- Besonders zu beachten sind ungünstige Witterungseinflüsse (Regen, Nebel, Eis, Schnee, Sonnenstand), die das Unfallrisiko beträchtlich erhöhen.

KOCKELKE/ROSSBANDER (1989) untersuchten das Geschwindigkeitsverhalten an Autobahnbaustellen mit dem Ziel, den Prozess der Baustellendurchfahrten anhand individueller Testfahrten zu durchleuchten. Hierzu wurde das Geschwindigkeitsverhalten der Fahrzeuge entlang der gesamten Baustellen aufgezeichnet, um mögliche Einflussgrößen, vor allem aus dem baulichen Umfeld und der Beschilderung, zu untersuchen. Gegenstand der Untersuchung waren sieben Langzeitbaustellen auf der A 3 und A 4. Lediglich eine Baustelle gehörte dem Typ 1 (Störung des Verkehrs nur in eine Richtung) an, die anderen beeinflussten den Verkehr in beide Richtungen (mit Überleitungen auf Gegenfahrbahn). Die eingesetzte Beschilderung entsprach der damaligen RSA 1986. Die Testfahrten fanden überwiegend im teilgebundenen Verkehr statt. Die Geschwindigkeitsverläufe lassen sich jeweils in drei von der Charakteristik her ähnliche Bereiche erkennen: den unbeeinflussten Annäherungsbereich, den Verzögerungsabschnitt und den Baustelleninnenbereich mit abgesenktem Geschwindigkeitsniveau. Auf Strecken ohne Beschränkung näherten sich die Fahrzeuge mit einer

mittleren Geschwindigkeit von 115 bis 130 km/h bzw. mit 110 bis 120 km/h auf Strecken mit einer Beschränkung auf 100 km/h. Insgesamt passten sich die Geschwindigkeiten mit einem gewissen Nachlauf den stufenweisen Geschwindigkeitsbeschränkungen an, jedoch lagen die langsamsten Fahrtverläufe fast immer über den zulässigen Geschwindigkeitshöchstwerten. Tendenziell zeigte sich im Vergleich der Baustellen, dass auf Strecken, in denen eine hohe Geschwindigkeit im Annäherungsbereich registriert wurde, diese auch im weiteren Verlauf der Zufahrt erhalten blieb; Überschreitungen waren dort verhältnismäßig groß. Entsprechend wurde bei langsamer angefahrenen Baustellen auch im Zulaufbereich relativ langsamer gefahren. Parallel zu den Fahrversuchen wurden 533 Unfälle erfasst. Im Vergleich gegenüber dem Vorher-Zeitraum, d. h. ohne Baustelle, ergab sich eine um etwa 40 % erhöhte Unfallrate im Baustellenbereich. Nach absoluten Zahlen erfolgten die meisten Unfälle in den beschriebenen Annäherungsbereichen und innerhalb der Baustellen. In den Annäherungsbereichen dominierte die Unfallart „Zusammenstoß mit vorausfahrenden Fahrzeugen“ (41 %). Die Hauptunfallursache war mit 25 % in allen Bereichen eine „nicht angepasste Geschwindigkeit“. Vordringliche Verbesserungsmaßnahmen müssten daher darauf ausgerichtet sein, die Einhaltung der vorgeschriebenen Geschwindigkeit zu verbessern. Neben einer verstärkten Überwachung könnten optische Maßnahmen, z. B. vertikale, torartige Elemente, den Baustellenanfang stärker betonen.

Auch WEINSPACH (1988) zufolge werden die Geschwindigkeitsbeschränkungen (Tabelle 4) in Arbeitsstellen längerer Dauer (AID) außerordentlich schlecht befolgt. Als besonders kritisch müssen Baustellen angesehen werden, für die eine durch-

V _{zul} [km/h]	Pkw	Lkw
	Anteil der Fahrzeuge, die die V _{zul} überschreiten*)	
	mittlere Überschreitung	
60	$\frac{70 - 100 \%}{\sim 16 \text{ km/h}}$	$\frac{\sim 50 \%}{\sim 5 \text{ km/h}}$
80	$\frac{\sim 60 \%}{\sim 4 \text{ km/h}}$	$\frac{\sim 0 \%}{\sim 0 \text{ km/h}}$
100	$\frac{\sim 0 \%}{\sim 0 \text{ km/h}}$	-----

*) bei Verkehrsstärken kleiner 1.200 Kfz/h und Richtungsfahrbahn

Tab. 4: Geschwindigkeitsverhalten im Bereich von länger dauernden Baustellen auf Bundesautobahnen [WEINSPACH (1988)]

gehende Geschwindigkeitsbeschränkung von 60 km/h gilt. Einzuhaltende Fahrbahnbreiten in Abhängigkeit der zugelassenen Höchstgeschwindigkeit kommen der psychischen Belastung der Kraftfahrer zugute. Ein wesentlicher Beitrag zur Verbesserung der Verkehrssicherheit wäre hierzu eine möglichst gleichartige oder zumindest ähnliche Verkehrsführung im Bereich von Arbeitsstellen, auf die sich ein Kraftfahrer einstellen kann, die ihn nicht überrascht, sondern die ihm „vertraut“ vorkommt. Stauwarnanlagen sind in hohem Maße geeignet, die Verkehrssicherheit und den Verkehrsfluss in AID zu verbessern. Eingesetzte Leitelemente (Leitwände) sollten zusammengesetzt eine Art Kette bilden, die erforderlichenfalls auch Krümmungen angepasst werden kann. Im Bereich des Geschwindigkeitstrichters vor der Baustelle könnten die zwei Fahrstreifen so eingeengt bzw. das unmittelbare Umfeld für den Fahrer so gestaltet werden, dass dadurch ein psychologischer Druck zur Geschwindigkeitsreduktion ausgeübt wird. Die Leitwirkung muss zweifelsfrei vom Fahrer erkannt werden können. Bei AkD, bei denen der linke Fahrstreifen gesperrt wird, kann der Standstreifen zur Mitbenutzung freigegeben werden. Hierzu muss zuvor der Verkehr vom Hauptfahrstreifen auf den Standstreifen übergeleitet werden. Diese Überleitung muss jedoch gefahrlos überfahren und außerdem schnell auf- und abgebaut werden können. Es wäre zu empfehlen, eine Art Lichtzeichenanlage zu entwerfen, die Einfädelungsvorgänge erleichtert und unterstützt. Über z. B. dynamisch gesteuerte Verkehrslenkungsstafeln, die optisch auffällig gestaltet sind, könnte der Verkehr in geeigneter Weise beeinflusst werden. Eine gleiche Wirkungsweise ließe sich wahrscheinlich mit kurzfristig aufzubringenden und zu beseitigenden gelben, variablen Markierungen auf der Fahrbahn erreichen. Kurzfristig aufzubringende und zu beseitigende gelbe Markierungen quer zur Fahrtrichtung, mit enger werdenden Abständen, könnten zur Geschwindigkeitsreduzierung beitragen. Besonders wenn durch dicke Folien ein „Holpern“ erreicht werden könnte, würde das sicherlich die Wirkung erhöhen.

In diesem Zusammenhang führten KRUX/DETERMANN (1995) Untersuchungen zur Verbesserung der Regelung und der baulichen Gestaltung von BAB-Arbeitsstellen zur Erreichung einer höheren Verkehrssicherheit durch. Zur Optimierung von Gestaltungsvarianten wurden u. a. die Auswirkungen von geringen Fahrstreifenbreiten und unterschiedlicher Bakenabstände sowie eines vorgeschalteten

Trichters im beschilderten Zulaufbereich auf das Fahrverhalten von Versuchspersonen untersucht. Ausgehend von den Erfahrungen des Feldversuchs wurden zwei Konzeptvarianten an zwei AID untersucht und jeweils mit dem Aufbau nach RSA (1980) verglichen. Die Untersuchung zeigte, dass sich durch eine Verengung der Fahrstreifenbreite auf 2,50 m eine deutliche Geschwindigkeitsreduzierung erreichen lässt. Diese Erkenntnis konnte jedoch nur für den Pkw-Verkehr nachgewiesen werden. Somit ist dieses Ergebnis im Wesentlichen nur auf den Überholfahrstreifen anwendbar. Eine verdichtete Beschilderung im Annäherungsbereich von Arbeitsstellen bewirkt sowohl einen homogenen Verkehrsfluss als auch eine Geschwindigkeitsreduzierung im Vergleich zu einem Aufbau nach RSA (1980). Der Trichter führte zwar zu einer homogenen Geschwindigkeitsverzögerung, allerdings waren die absoluten Geschwindigkeiten aufgrund der besseren optischen Leitwirkung höher. So wurde festgestellt, dass bei einem Längsabstand der Leitbaken über 20 m die Wirkung der Trichterform verloren geht. Die Untersuchung zeigt auch, dass optische Maßnahmen die Führung des Kraftfahrers verbessern, aber nicht unbedingt einen Beitrag zu Geschwindigkeitsreduktion liefern.

3.1.2 Häufigkeiten von Arbeitsstellen kürzerer Dauer

Nach WEINSPACH (1988) liegt die Anzahl der Arbeitsstellen kürzerer Dauer auf den Bundesautobahnen zwischen 20.000 und 25.000 pro Jahr, die häufig durch die Autobahnmeistereien mit eigenem Personal durchgeführt werden. In der Untersuchung von STEINAUER (1991) werden 3.172 Unterhaltungsmaßnahmen im Bereich der Autobahndirektion Südbayern für das Jahr 1990 aufgeführt, bei denen die Sperrung eines Fahrstreifens länger als 2 Stunden erforderlich war. Bezogen auf das damalige Autobahnnetz von 1.139 km und daraus hochgerechnet auf das heutige Bundesautobahnnetz (Stand 31.12.2004: 12.174 km) bedeutet dies ca. 34.000 AkD/a. Von rund 48.000 AkD pro Jahr wird in einem Aktionspapier des ADAC et al. (1999) ausgegangen, die „aufgrund ihres räumlich und zeitlich begrenzten Umfangs ohne aufwändige Sicherungsmaßnahmen eingerichtet werden und häufig mit einer Reduzierung der Fahrstreifenanzahl verbunden sind“.

STÖCKERT (2001) zitiert DURTH et al. (1999). Dieser wertete die im Zuständigkeitsbereich der

Autobahndirektion Südbayern gemeldeten AkD auf den BAB für das Jahr 1995 aus. Erfasst wurden hierbei nur Daten geplanter AkD, bei denen die Sperrung eines Fahrstreifens notwendig war. Insgesamt wurden 6.482 AkD erfasst (Autobahnnetzlänge 1.139 km). Werden diese auf das gesamte Bundesautobahnnetz hochgerechnet, so werden demnach etwa 69.000 AkD/a eingerichtet. So kommt STÖCKERT (2001), bezogen auf das gesamte Bundesautobahnnetz, unter Betrachtung der zuvor genannten Untersuchungen auf 80.000 bis 137.000 Arbeitsstellen kürzerer Dauer pro Jahr.

3.1.3 Häufigkeiten und Verteilungen von Tätigkeiten

Um das Gefährdungsrisiko des Betriebsdienstpersonals in Arbeitsstellen kürzerer Dauer abschätzen zu können, ist nicht nur die Anzahl der eingerichteten Arbeitsstellen, sondern auch die Häufigkeiten und Verteilungen der durchgeführten Tätigkeiten von Interesse. Laut GREBE/HANKE (1991) wird die Verteilung der Arbeitsstellen im Allgemeinen jeden Morgen vor Einsatzbeginn festgelegt und ist daher nicht längerfristig planbar. Bei allzu großer Behinderung des Verkehrs durch eine AkD wird diese kurzfristig aufgelöst. Die Auswahl des Regelplanes und der konkreten Absperrung erfolgt auch jeweils morgens und richtet sich nach dem Einsatzort, der zu sperrenden Fahrstreifenanzahl sowie nach Art und Dauer der Arbeit.

Nach KAYSER et al. (1993), die den Arbeitsablauf in zwei Autobahnmeistereien über einen Zeitraum von zwei Monaten untersuchten, der größte Teil streckenbezogene Arbeitseinsätze (einschließlich Nebenanlagen), verkehrstechnische Dienste und reine Sicherungsaufgaben (46 %). Weniger häufig handelt es sich um bauliche Unterhaltungsarbeiten (19 %), Reinigungs- (19 %) und Grünpflegearbeiten (10 %) sowie Arbeiten zur Schadensbehebung (6 %). DURTH et al. (1999) kamen auf folgende Verteilung der Tätigkeiten: Grünpflegearbeiten 19 %, Schutzplankenreparaturen 16 %, Markierungs- und Reinigungsarbeiten jeweils 9 %, Unfallsicherung (Bergung, Vollsperrungen) 5 %, bauliche Unterhaltung (Bauwerks- und Fahrbahninstandsetzung) 15 %, Wartung der Straßenausstattung 15 % sowie 12 % sonstiger Tätigkeiten.

3.1.4 Psychische Belastungen des Betriebsdienstpersonals

Neben allen Maßnahmen zur Sicherung von Arbeitsstellen muss auch der Mensch ausreichend berücksichtigt werden. Der Verband Deutscher Straßenwärter (VDStra) (1990) veröffentlichte Auszüge aus einer Untersuchung der Universität Bremen, in der ungünstige Einflüsse untersucht wurden, denen das Personal des Straßenunterhaltungsdienstes bei seiner täglichen Arbeit ausgesetzt ist. Im Rahmen der Untersuchungen wurde ein Maßnahmenkatalog für eine präventive Arbeitsplatzgestaltung verfasst. Demzufolge wird dem Arbeitsplatz „Straße“ ein erhöhtes Unfallrisiko für die Beschäftigten zugesprochen.

Um die psychologische Beanspruchung (z. B. Stress) und die Unfallgefahr für die Arbeitenden zu reduzieren, wird einerseits bei Arbeiten auf dem Standstreifen zusätzlich die Sperrung des rechten Fahrstreifens empfohlen, um für einen „fühlbaren“ Sicherheitsgewinn beim Personal zu sorgen. Andererseits wird eine Verringerung der Geschwindigkeit im Bereich von Arbeitsstellen auf maximal 60 km/h befürwortet. Da Lkw 80 % aller Unfälle in Verbindung mit Arbeiten auf dem Standstreifen verursachen, werden stärkere Kontrollen und Sanktionen von Fehlverhalten gefordert. Besonders die Einhaltung von Lenk- und Ruhezeiten ist in diesem Zusammenhang zu nennen. Zur Sicherheit des Personals sollten verstärkt Geschwindigkeitskontrollen durchgeführt werden. Bereits heute könnte die Überprüfung der bestehenden Geschwindigkeitsbeschränkung von 80 km/h für Lkw eine spürbare Entschärfung der Verkehrsraumproblematik und damit mehr Sicherheit und Entlastung für das Betriebsdienstpersonals bedeuten. Weiter sollte darauf geachtet werden, dass der Abstand zwischen Absperrtafel und Arbeitskolonne groß genug ist, um bei einem möglichen Aufprall auf die Absperrtafel maximale Sicherheit für das Personal zu bieten. Auch die passive Sicherheit, d. h. Knautschzone, die sich beim Aufprall zusammenschiebt und einen Teil der kinetischen Energie aufnimmt, sollte erhöht werden. Weiter sollten nur schwere Lkw zur Absicherung verwendet werden, die ihrerseits die kinetische Energie dämpfen und das Schieben in Richtung Arbeitskolonne verhindern. Ein weiterer Aspekt der Untersuchung ist die Erfahrung, dass die ständige Konfrontation mit der Gefahr zu einer Gewöhnung bei den Bediensteten führt. Seitens der Straßenbauverwaltung sollte dafür gesorgt werden, dass durch Sicherheitsschulungen der Be-

schäftigten die bestehenden Vorschriften und notwendigen Maßnahmen zur Erhöhung der Sicherheit in Arbeitsstellen wiederholt werden. Auch die Rolle des Verkehrsteilnehmers und deren Einfluss auf die psychische Beanspruchung des Personals durch Beschimpfungen, Hupen und entsprechende Gesten sind bei der Betrachtung zur Erhöhung der Sicherheit von Bedeutung. So sollte verstärkt für mehr Verständnis für die Arbeiten und die Arbeitssituation des Betriebsdienstpersonals unter den Verkehrsteilnehmern geworben werden. Hierzu gibt es zahlreiche Vorschläge, wie z. B. Plakat-Aktionen, Falbblätter und Gesprächsforen. Weiter sollten Unfallversicherungsträger und Automobilclubs stärker zusammenarbeiten, um für mehr Sensibilisierung unter den Verkehrsteilnehmern zu sorgen. So wird in der Fachzeitschrift „Straßenwärter“ (2004) über die Bemühungen der sächsischen Straßenverwaltung berichtet, die im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit für ein rücksichtsvolles Verhalten der Verkehrsteilnehmer wirbt. Bei dieser Aktion wurden zur Erhöhung der Aufmerksamkeit und als Appell an die Verkehrsteilnehmer im Seitenraum Plakattafeln mit der Aufschrift „Ihre Rücksicht – unsere Sicherheit“ errichtet. Eine große Breitenwirkung erhofft man sich durch eine verstärkte Aufnahme in die theoretische und praktische Führerschein-Ausbildung.

KIRCHHOF (2000) führt eine derzeit zunehmende Nichtbeachtung von Richtlinien, Regelwerken und ein hohes Maß der Verantwortungslosigkeit auf. Diese Problematik tritt vermehrt in Innerortsbereichen und auf Landstraßen auf. In den 1997 in Kraft getretenen Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für Sicherungsarbeiten an Arbeitsstellen an Straßen (ZTV-SA, 1997) wird diesbezüglich eine für die Sicherheit in Arbeitsstellen verantwortliche Person gefordert. So sieht der Autor eine umfangreiche Aus- und Weiterbildung aller Beteiligten als eine Notwendigkeit an, um eine klare Übersicht, Erkennbarkeit und Sicherheit in der Arbeitsstellenabsicherung zu erreichen. Für entsprechende Aus- und Bildungsmaßnahmen kommen Institutionen wie der Deutsche Verkehrssicherheitsrat (DVR), die Berufsgenossenschaften und Fachverbände wie z. B. der Fachverband für Verkehrsabsicherung auf Arbeitsstellen auf Straßen (FVAS) infrage, die bereits teilweise tätig wurden. Entsprechende Voraussetzungen für Schulungskurse sind im „Merkblatt über Rahmenbedingungen für erforderliche Fachkenntnisse zur Verkehrssicherung Arbeitsstellen an Straßen“ (MVAS 99) gege-

ben. So muss gemäß dem Allgemeinen Rundschreiben Straßenbau Nr. 19/1999 die Qualifikation des benannten Verantwortlichen für die Sicherungsarbeiten an Arbeitsstellen bereits bei der Angebotsabgabe nachgewiesen werden.

PORTUNÉ (2004) beschreibt die psychischen Belastungen auf die Mitarbeiter des Straßenbetriebsdienstes. Im Rahmen der Untersuchungen, an denen 96 Straßenwärter teilnahmen, haben sich die Unfallproblematik sowie deren Belastungsintensität für die Beschäftigten als sehr belastend herausgestellt. So wird ein schwerer oder gar tödlicher Unfall eines Kollegen von fast 80 % der Befragten als stark bis sehr stark belastend bewertet. Auch wenn es sich hierbei um ein vergleichsweise seltenes Ereignis handelt, sollte es besonders bei der Ableitung geeigneter Maßnahmen berücksichtigt werden. Im Gegensatz hierzu ist der Anteil von knapp 40 % hochbelasteter Personen bei Unfällen mit fremden Verkehrsteilnehmern nicht ganz halb so groß. Jedoch ist die Wahrscheinlichkeit von Unfällen, bei denen fremde Verkehrsteilnehmer verletzt oder getötet werden, wesentlich höher. Weiterhin wurden Fragen zur psychischen Belastung durch Tätigkeiten im Verkehrsraum gestellt. Hierbei gaben 61 % der Befragten die Angst, selbst Unfallopfer zu werden, als stark bis sehr stark belastend an. Aber auch Belastungen durch Arbeiten im fließenden Verkehr erreichten mit 44 % einen sehr hohen Anteil. Lediglich 12 % der Befragten empfanden Beschimpfungen durch Verkehrsteilnehmer als stark bis sehr belastend. Erheblicher Handlungsbedarf besteht somit bei der Vermeidung tödlicher Unfälle, aber auch bei der Sicherung der Arbeiten im fließenden Verkehr.

3.1.5 Untersuchungen zur Übermüdung im Straßenverkehr

Im Rahmen einer dreimonatigen bundesweiten Totalerhebung wurden von EVERS/AUERBACH (2006) verhaltensbezogene Ursachen schwerer Lkw-Unfälle auf BAB untersucht. Die Klärung des Einflusses von Übermüdung auf die Entstehung von Unfällen war hierbei ein Schwerpunkt der Analyse. Im Jahr 2003 wurden insgesamt 0,5 % aller Unfälle mit Personenschaden auf Übermüdung zurückgeführt. Gerade bei Lkw-Fahrern (Berufskraftfahrern) kommen „Übermüdung“ und „Einschlafen am Steuer“ sehr viel häufiger vor, als aus der amtlichen Unfallstatistik (1,1 % aller Unfälle mit Hauptverursacher Lkw-Fahrer) zu schließen wäre. So wird der Anteil von Müdigkeitsunfällen, je nach

Untersuchungsmethodik, auf etwa 20 bis 30 % geschätzt. Demnach kann von einer hohen Dunkelziffer bei übermüdungsbedingten Unfällen ausgegangen werden. Ein Grund für die hohe Dunkelziffer liegt in der Unfallaufnahme durch die Polizei, die sich vor allem auf den Unfallhergang und die Aussagen der Unfallbeteiligten beschränken muss. Außerdem käme ein Zugeben von Müdigkeit am Steuer durch den Kraftfahrzeugführer einem Schuldanerkenntnis gleich.

Von den insgesamt 219 registrierten Unfällen im Untersuchungszeitraum waren 19 % auf „Übermüdung“ des Verursachers als Unfallursache zurückzuführen. Die meisten dieser Unfälle ereigneten sich zwischen 14:00 und 17:00 Uhr. Überdurchschnittlich häufig sind Übermüdungsunfälle durch ein Abkommen von der Fahrbahn, aufgrund nicht rechtzeitig ausgeführter Lenkbewegungen, gekennzeichnet. Das sich zu dieser Tageszeit widerspiegelnde Leistungstief kann in Kombination mit einem vergleichsweise hohen Verkehrsaufkommen zu einem erhöhten Unfallrisiko beitragen. Auch in den Nachtstunden tritt aufgrund der zirkadianen Rhythmik (Ruhephasen) dieses Phänomen gehäuft auf. Die relativ geringe Anzahl an Nachtunfällen ist in erster Linie auf das geringere Verkehrsaufkommen während der Nachtstunden zurückzuführen. Werden bei Lkw über 7,5 t nur Alleinunfälle betrachtet (33 Unfälle), so ereigneten sich nahezu 40 % dieser Unfälle zwischen 0:00 und 6:00 Uhr. So lässt sich durch diese Untersuchung ein Zusammenhang zwischen Tageszeit und müdigkeitsbedingten Unfällen belegen, indem etwa 42 % der Nachtunfälle sowie ca. 11 % der Unfälle zwischen 14:00 und 17:00 Uhr auf Übermüdung als Unfallursache zurückgeführt wurden.

ROBATSCH (2001) zufolge ereignete sich der Großteil der dort betrachteten Unfälle mit Personenschaden und Lkw (> 3,5 t) zwischen 6:00 und 18:00 Uhr; Spitzenwerte werden im Zeitraum zwischen 7:00 und 9:00 Uhr erreicht. Während in der Morgenverkehrsspitze (6:00 bis 8:00 Uhr) 13,2 % der Unfälle mit Lkw-Beteiligung erfolgten, geschehen hingegen nur 10,6 % während der Abendverkehrsspitze (16:00 bis 18:00 Uhr). Auch hier werden als Ursache für das höhere Unfallrisiko mit Lkw-Beteiligung in den Morgenstunden unter anderem die Übermüdung und die verminderte Konzentrationsfähigkeit der Lkw-Fahrer, die oft bereits seit den Nachtstunden unterwegs sind, genannt. Nach ROBATSCH (2001) erfolgen 38 % der Unfälle mit Personenschaden und Beteiligung von Lkw auf-

grund von „Fehleinschätzungen“ durch den Fahrer (Straßenführung, Witterung, eines vorausfahrenden Fahrzeugs). Auch hier ist der Anteil von Unfällen (30 %), der auf die „Vigilanz-fehlende Wachsamkeit“ (Ablenkung, Übermüdung, Einschlafen) zurückzuführen ist, relativ hoch.

EVERS/AUERBACH (2006) sehen das Abkommen von der Fahrbahn im Sinne nicht rechtzeitig ausgeführter gegensteuernder Lenkbewegungen häufig als Indikator für Übermüdung an. Einen Zusammenhang zwischen dem Abkommen von der Fahrbahn wird ebenso aufgezeigt: Bei 24 % der Hauptverursacher wurde „Abkommen von der Fahrbahn nach rechts/links“ registriert, während bei den übermüdungsbedingten Unfällen mit 43 % fast doppelt so viele der Hauptverursacher von der Fahrbahn abkamen. Noch ungünstiger fällt das Verhältnis mit 37 % gegenüber 85 % bei Lkw über 7,5 t aus. So kristallisierte sich im Rahmen dieser Untersuchung Übermüdung als eine zentrale Unfallursache heraus. Dies gilt sowohl für Lkw-Fahrer als auch und in noch stärkerem Ausmaß für Pkw-Fahrer. Nach EVERS/AUERBACH (2006), die in ihrem Bericht HORNE (1995) und REYNER (1999) zitieren, zeigen entsprechende Befunde, dass Unfälle, die ursächlich auf Übermüdung zurückgeführt wurden, häufig mit einem Abkommen von der Fahrbahn, seltener mit unangepasster Geschwindigkeit oder einem mangelnden Sicherheitsabstand in Zusammenhang standen und sich häufiger bei guten Witterungsbedingungen ereigneten, als dies in der Betrachtung aller Unfallursachen der Fall war. Im Mittelpunkt der Untersuchung von EVERS/AUERBACH (2006) stand der Schwerverkehr, entsprechend wurden Maßnahmenempfehlungen in erster Linie für diese Verkehrsteilnehmergruppe gegeben:

- Verbesserte Überwachung und Feststellung von Übermüdung durch stärkere Sensibilisierung der Polizeibeamten für die Unfallursache „Übermüdung“ bei der Unfallaufnahme und verstärkte Kontrollen der Einhaltung von Lenk- und Ruhezeiten.
- Verstärkte Entwicklungsarbeit bei der Fahrerzustandserkennung, wie z. B. Geräte zur Überprüfung der aktuellen Aufmerksamkeit des Fahrers.
- Verbesserung der Arbeitsbedingungen durch stärkere Verantwortungsübernahme der Transportunternehmen, stärkere Sensibilisierung der Lkw-Fahrer für das Thema „Müdigkeit am Steuer“ in Form von Aus- und Weiterbildungspro-

grammen und überdenken der Sozialvorschriften.

Die Schweizerische Beratungsstelle für Unfallverhütung (bfu) gab im Jahr 2003 ein Positionspapier zum Thema „Übermüdung im Straßenverkehr“ heraus. Eine Analyse der Schweizerischen Verkehrsunfallstatistik ergab, dass nur 1,4 % Übermüdungsunfälle registriert werden. Wird „Momentane Unachtsamkeit“ hinzugefügt, steigt der Anteil jedoch auf 18,3 % bei allen betrachteten Unfällen. Weiter waren 15,7 % der Fahrer unter den müdigkeitsbedingten Unfällen alkoholisiert, bei denen ohne Einwirkung der Müdigkeit lediglich 4,4 %. Das heißt, dass Personen, die in übermüdetem Zustand einen Unfall erlitten, demzufolge viermal so häufig alkoholisiert waren wie Personen, bei denen die Müdigkeit (zumindest offiziell) keine Rolle spielte. Die Untersuchungsergebnisse aus den Jahren 1992 bis 2001 beziehen sich somit nur auf Fahrer, bei denen kein Alkohol im Körper nachgewiesen werden konnte oder die nicht getestet wurden. Im Positionspapier werden auch HORNE/REYNER (1995) zitiert, die Unfälle anhand verschiedener Kriterien, wie z. B. Alkohol unterhalb der Promillegrenze, bestimmte Unfalltypen, fehlende Bremsspur, gutes Wetter und klare Sicht etc. definierten. Sie schlussfolgerten, dass 16 % der Unfälle durch Müdigkeit bzw. Einschlafen verursacht werden. In zwei weiteren Studien (GARBARINO, NOBILI, BEELKE, PHY und FERRILLO, 2001; CONNOR, NORTON, AMERATUNGA, ROBINSON, CIVIL, DUNN, BAILEY und JACKSON, 2002), deren Methoden nicht unumstritten sind, kamen die Autoren jeweils zu dem Schluss, dass der Anteil der Müdigkeitsunfälle bei rund 20 % liegen könnte.

Eine Analyse der Häufigkeitsverteilung der Müdigkeitsunfälle bezogen auf das gesamte Schweizer Straßennetz zeigt, dass sich diese vor allem nachts und über die Nachmittagszeit ereignen. Mit ca. 40 % der Müdigkeitsunfälle gegenüber 10 % aller übrigen Unfälle erfolgen diese überproportional auf Autobahnen. Wird jedoch nach verschiedenen Müdigkeitszeiten (nachts zwischen 0:30 und 5:30, nachmittags zwischen 14:30 bis 17:30, tagsüber zu allen übrigen Zeiten) und Straßentypen (innerorts, außerorts und Autobahn) unterschieden, wird deutlich, dass sich die Unfallverteilung bezogen auf die Straßentypen nachts nicht signifikant von den Unfällen tagsüber unterscheiden. Nachmittagsunfälle finden hingegen etwas häufiger auf den Autobahnen statt. Bei den mit Abstand meisten Unfällen (Nacht- 65 % und Nachmittagsunfälle 55 %) han-

delt es sich um Kollisionen mit festen Hindernissen außerhalb der Fahrbahn (was einem Abkommen von der Fahrbahn gleichzusetzen ist).

Nach dem Positionspapier (Schweizerische Beratungsstelle für Unfallverhütung, 2003) unterliegt der Schlaf so genannten circadianen Rhythmen, d. h., der Mensch ist in der Nacht am meisten müde, gefolgt von einem Müdigkeitsgipfel am Nachmittag. Diese Schlafneigung wird durch Schlafmangel verstärkt. DAWSON/REID (1997) fanden heraus, dass eine Wachperiode von 21 Stunden zur Abnahme der kognitiven Leistungsfähigkeit führt und diese einer Blutalkoholkonzentration von 0,8 Promille entspricht. Dementsprechend kann als wichtigste äußere Bedingung für Müdigkeitsunfälle der Schlafmangel bzw. das Schlafdefizit (weniger als 5 Stunden in den vergangenen 24 Stunden) identifiziert werden. Aber auch lange, monotone Fahrten mit Geschwindigkeiten über 60 km/h, trockene Straßen und eine hohe Temperatur im Fahrzeug können zu einem erhöhten Unfallrisiko führen.

3.2 Sicherung von Arbeitsstellen in der Praxis

3.2.1 Richtlinien für die Sicherung von Arbeitsstellen an Straßen (RSA)

Die Absicherung von Arbeitsstellen an Straßen erfolgt in Deutschland nach der Richtlinie für die Sicherung von Arbeitsstellen an Straßen (RSA 95, 1995). Sie enthält Festlegungen bzgl. allgemeiner Regularien wie zur Art der Beschilderung, Kenntlichmachung von Personen und Fahrzeugen etc. und darüber hinaus Regelpläne für Absicherungen in Abhängigkeit von der betrachteten Straßenkategorie, den Sichtverhältnissen und der Dauer der Arbeiten. Hierbei erfolgt eine Unterscheidung in Arbeitsstellen kürzerer und längerer Dauer ($AID > 24$ h), für die entsprechende Regelpläne vorgesehen sind. Als Arbeitsstellen kürzerer Dauer werden somit Arbeitsstellen bezeichnet, die nur über eine begrenzte Stundenanzahl, i. d. R. bei Helligkeit und nicht länger als einen Kalendertag ($AkD < 24$ h) bestehen. Die RSA 95 fasst unter den kurzzeitig, stationär eingerichteten AkD z. B. Arbeiten für Unterhaltung, Reparaturen an Schutzplanken und Beschilderungsarbeiten zusammen. Arbeiten, die in mobilen sich i. d. R. in Verkehrsrichtung kontinuierlich fortbewegenden AkD durchgeführt werden, sind z. B. Reinigungs- und Mäharbeiten. Winterdienstesätze gehören gemäß RSA (1995) nicht zu den Arbeitsstellen.

Nach der RSA 95 erfolgten die Kennzeichnung und Verkehrsführung von AkD i. d. R. ohne feste Absperrungen auf der Grundlage der Regelpläne D III/1 bis D III/6. In Abhängigkeit der örtlichen Gegebenheiten und der verkehrlichen Verhältnisse ist zu prüfen, ob zusätzlich Geschwindigkeitsbeschränkungen (zul. Höchstgeschwindigkeit $V_{zul} = 120$ km/h), Gefahrenzeichen, Warneinrichtungen oder Leitkegel erforderlich sind. Zur Sicherung von AkD werden auf der Fahrbahn grundsätzlich fahrbare Absperrtafeln mit Blinkpfeil (Z 616) eingesetzt. Nur in Ausnahmefällen und wenn die mobile Arbeitsstelle mit einer Geschwindigkeit von mehr als 5 km/h, aber weniger als 60 km/h fortschreitet, kann eine fahrbare Absperrtafel vom Arbeitsfahrzeug selbst geschleppt werden oder das Arbeitsfahrzeug selbst mit einer der fahrbaren Absperrtafel (Z 616) entsprechenden besonderen Sicherheitskennzeichnung ausgestattet werden.

Befindet sich die AkD auf oder direkt rechts neben dem Standstreifen, sind fahrbare Absperrtafeln mit Blinkkreuz einzusetzen. Anstelle der fahrbaren Absperrtafel können auf dem Standstreifen auch Arbeitsfahrzeuge mit verbesserter Sicherheitskennzeichnung gemäß A.7.1 eingesetzt werden. Bei Arbeiten auf dem Standstreifen ist stets das Blinkkreuz zu zeigen (siehe auch A.3.2.1 bzw. A.7.1). In allen Fällen sind zusätzlich Leitkegel (Höhe 750 mm) als Abgrenzung zur Fahrbahn sinnvoll (Längsabstand 10 m). Vorwarneinrichtungen gemäß A.3.2.1 (gelb blinkender Pfeil) sind in Ergänzung zu fahrbaren Absperrtafeln im Regelfall in Einsatzbereichen erforderlich, in denen sonst Geschwindigkeiten von mehr als 120 km/h zugelassen sind oder die Sicht auf die Absperrtafel weniger als 800 m beträgt. Bei zu geringer Sicht, weniger als 400 m, ist eine zweite Vorwarneinrichtung aufzustellen. Weiterhin ist, falls erforderlich, bei einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit über 120 km/h eine Geschwindigkeitsbeschränkung auf 100 km/h bzw. 80 km/h einzurichten.

Zur Verdeutlichung von Fahrstreifenverschwenkungen, bei AkD auf dem linken oder mittleren Fahrstreifen, ist i. d. R. eine aufnehmbare gelbe Markierung, eine Reihe dicht gestellter Leitkegel (Höhe 750 mm) oder eine Leitschwelle/Leitbord (Abstand der aufgesetzten kleinen Leitbaken maximal 3 m) auf einer Länge von ca. 100 m, beginnend auf der Fahrbahnbegrenzung auf Höhe der Vorwarntafel und verschwenkt auf den Fahrbahnrand, zu installieren (Regelplan D III/6). Ist bei AkD die Sicherheit oder eine leistungsfähige Verkehrsabwicklung nicht

ausreichend gewährleistet, muss die Arbeitsstelle wie eine Arbeitsstelle längerer Dauer beschildert und abgesperrt werden. Bei Dunkelheit (Ausnahmefall) oder bei witterungsbedingten schlechten Sichtverhältnissen, sind Verkehrsführungen und -regelungen in Anlehnung der Regelpläne DI oder DII unter Beachtung der erhöhten Gefährdung bei Nacht in vereinfachter Form zu gestalten. Dabei können statt Leitbaken ersatzweise auch retroreflektierende Leitkegel (Höhe 750 mm) zum Einsatz kommen.

Zur Sicherung von AkD werden nach RSA 95 folgende Absperrgeräte und Warneinrichtungen nach § 43 Abs. 3 Nr. 2 StVO sowie zur Verkehrsführung vorübergehende Markierungen (§ 41 Abs. 4 StVO und § 41 Abs. 4 VwV-StVO) und bauliche Leitelemente eingesetzt:

Absperrgeräte

- Fahrbare Absperrtafel (Z 615)
 - o Warnleuchten mit blitzendem Licht
 - o Umrandung mit rot-weißer Warnmarkierung
- Fahrbare Absperrtafel mit Blinkpfeil bzw. Blinkkreuz (Z 616)
 - o Kleine bzw. große Ausführung
 - o Warnleuchten mit blitzendem Licht
 - o Umrandung mit rot-weißer Warnmarkierung
- Leitkegel (Z 610)
 - o Höhe 750 mm
 - o Rot-weiß gestreift
 - o Ausführung voll retroreflektierend
- Leitbaken (Z 605)
 - o Regelgröße 1.000 x 250 mm
 - o Einseitig oder nach beiden Seiten fallende rot-weiße Streifen

Hinsichtlich der fahrbaren Absperrtafel (Z 615) wird nach MESEBERG (2004) durch den Einsatz waage- bzw. senkrechter (vergleichbar mit Z 600) anstatt wie bisher schräger Schraffen keine Verbesserung der Erkennbarkeit erzielt, jedoch würde hierdurch eine einheitliche Gestaltung der Leiteinrichtungen erreicht.

Warneinrichtungen

- Vorwarntafeln
 - o Anzeigen der Geschwindigkeitsbeschränkung und Verkehrsführung

- Warnwinkebaken (wird im Regelfall nicht mehr eingesetzt)
 - o Bakenblatt voll retroreflektierend
 - o Einseitig fallende rot-weiße Streifen
 - o Warnfahne weiß-rot-weiß
 - o Warnleuchte mit gelbem Blinklicht
- Kleiner gelber Blinkpfeil
 - o Warnleuchte mit gelbem Blinklicht
 - o Ausstattung mit 13/15-Warnleuchten

Vorübergehende Markierungen

- Aufnehmbare gelbe Markierung bzw. gelbe Markierungsknopfreiheiten nach StVO bzw. RMS (1993)

Bauliche Leitelemente

- Leitschwelle
 - o Höhe 25 – 120 mm
 - o Zusätzlich aufsetzbare Leitbaken (Größe 500 x 125 mm)
- Leitbord
 - o Höhe 120 – 250 mm
 - o Zusätzlich aufsetzbare Leitbaken (Größe 500 x 125 mm)
- Leitwand
 - o Höhe mindestens 500 mm

Nach SCHULTE (2005) wird mit umfangreichen Änderungen bei der StVO, VwV-StVO und VzKat wahrscheinlich im Jahr 2006 zu rechnen sein. Durch die Änderungen gewinnt auch die RSA an wesentlicher Bedeutung. Bereits jetzt kann mit der Aufnahme der folgenden Punkte in die neuen Verordnungen gerechnet werden:

- Künftig werden in der StVO Leitschwellen und -borde den vorübergehenden Markierungen gleichgestellt werden.
- Gemäß VwV-StVO wird es künftig möglich sein statt den bisher eingesetzten „Leitbaken“ die so genannten „Pfeilbaken“ mit pfeilartiger Anordnung der rot-weißen Schraffur anzuwenden.
- Es ist geplant, das Zeichen 615 (fahrbare Absperrtafel in kleiner Ausführung mit Z 222) zu streichen und stattdessen nur noch Absperrtafeln mit Blinkpfeil (Z 616) in kleiner Ausführung einzusetzen. In diesem Zusammenhang wird dann wegen der besseren Kreuzdarstellung auch nur noch die Blinkkreuzvariante

der RSA mit 15 Warnleuchten zur Anwendung kommen.

- Die Warnwinkebakke, als Element der Vorwarnung, soll wieder aus dem Regelwerk herausgenommen werden.
- Schon bald kann mit der Empfehlung von Warnschwellen als zusätzlichem Schutz zur Sicherung von stationären AkD auf Autobahnen gerechnet werden.
- Die ZTV-SA (1997) kann zukünftig nur noch begrenzt angewendet werden, da sich eine Vielzahl von Bezügen sowie Anforderungen ändern wird.

3.2.2 Ergänzende Maßnahmen zur Absicherung von Arbeitsstellen in Deutschland

Zur Verbesserung der Sicherheit in Arbeitsstellen wurden bereits einige ergänzende Systeme in Deutschland getestet.

Gestaltung von Leitbaken

Nach MESEBERG (1997) wurden insgesamt 75 Kraftfahrer befragt, die aus vorgegebenen Maßnahmen diejenigen nennen sollten, die sie als geeignet ansahen, um die Verkehrssicherheit an Arbeitsstellen zu verbessern. So wünschten 45,6 % der Befragten verbesserte Warnbaken zur deutlicheren Darstellung der Verkehrsführung. 40 % erachteten eine geschwindigkeitsabhängige Geschwindigkeitsanzeige zur Erhöhung der Verkehrssicherheit als sinnvoll. Von der Aufstellung zusätzlicher Verkehrszeichen versprach sich niemand eine Verbesserung der Verkehrssicherheit, 60 % der Befragten befürchteten sogar eine Verschlechterung. Knapp 60 % der Befragten maßen einer nächtlichen Beleuchtung der Arbeitsstellenbereiche eine hohe Bedeutung zu. Aus den Untersuchungsergebnissen lässt sich ableiten, dass richtungweisende Leiteinrichtungen, die aus Pfeilmustern bestehen sowie in die vorgegebene Richtung zeigen (z. B. Pfeilbaken), von den Verkehrsteilnehmern am besten verstanden, wahrgenommen und erkannt werden. So ist der Richtungsbezug bei Verwendung von Pfeilmustern ohne weiteres verständlich und selbsterklärend. Durch die verbesserte visuelle Führung wird auch eine Verbesserung des Fahrverhaltens der Kraftfahrzeugführer erreicht. Aufgrund der niedrigen Wahrnehmbarkeits- und Erkennbarkeitschwellen verbleibt dem Kraftfahrer mehr Zeit, um die von den Warn- bzw. Pfeilbaken vermittelte In-

formation in ein entsprechendes Fahrmanöver umzusetzen, d. h., die Vorausschauzeit wird vergrößert.

SCHMIDT-CLAUSEN/AULBACH (1994) führten Untersuchungen zur Erkennbarkeit und Wirkung von Baustellengestaltungselementen bei AID durch. Der Schwerpunkt der Forschungsarbeit lag in der Untersuchung verschiedener Leitbaken. So wurden im Überleitungsbereich eine hohe Leitwirkung und Erkennbarkeit durch hohe Elemente an der Kurvenaußenseite und niedrige Elemente an der Kurveninnenseite erreicht. Empfohlen wird, auf den hohen Elementen ein Pfeilmuster anzubringen, um die Überleitungsrichtung noch eindeutiger zu signalisieren. Abschließend wird vorgeschlagen, niedrigere Elemente zu benutzen als die heute eingesetzten relativ hohen Baken. Zur optischen Führung sei eine optimale Höhe von ca. 0,8 m angemessen, da deren Größe eine ausreichende Fläche aufweist, um wahrgenommen zu werden. Ist die Erkennbarkeit aus großer Entfernung erforderlich, werden Elemente mit einer Höhe von 1,50 m vorgeschlagen. Bei Fahrstreifenüberleitungen oder Fahrbahnverschwenkungen sollten Baken mit Pfeilmustern verwendet werden. Die verbesserte Erkennbarkeit führt zu einer Reduktion der hohen Geschwindigkeiten und vermeidet starke Verzögerungen in diesen Bereichen. Durch das Vorziehen, die Verlängerung des Überleitungsbereiches und die Kennzeichnung des Arbeitsstellenbeginns durch eine „Toreinfahrt“ konnte die mittlere Annäherungsgeschwindigkeit um ca. 10 km/h gesenkt werden und führte zu einer Anpassung der Geschwindigkeit und einer Harmonisierung des Verkehrsflusses.

Querabspernung mit Leitbaken

STEINAUER et al. untersuchten 2004 als Alternative zum Einsatz von Warnschwellen auch die Wirksamkeit einer Querabspernung mit Leitbaken. Die Leitbaken sollten hierzu 150 m vor der fahrbaren Absperrtafel angeordnet werden, um durch die zusätzliche Querabspernung die Verkehrsteilnehmer auf die Fahrstreifenreduktion aufmerksam zu machen bzw. zu warnen. Um die Leitwirkung zu verbessern sowie die Verkehrsführung zu verdeutlichen werden, Baken mit Pfeilmustern (Pfeilbaken) vorgeschlagen. Zur Sperrung und Verdeutlichung des Fahrstreifenwechsels sind fünf Leitbaken ausreichend. Weiterhin wird vorgeschlagen, sich selbst aufrichtende Klappbaken zu verwenden. Selbst aufrichtende Klappbaken eignen sich jedoch nur für

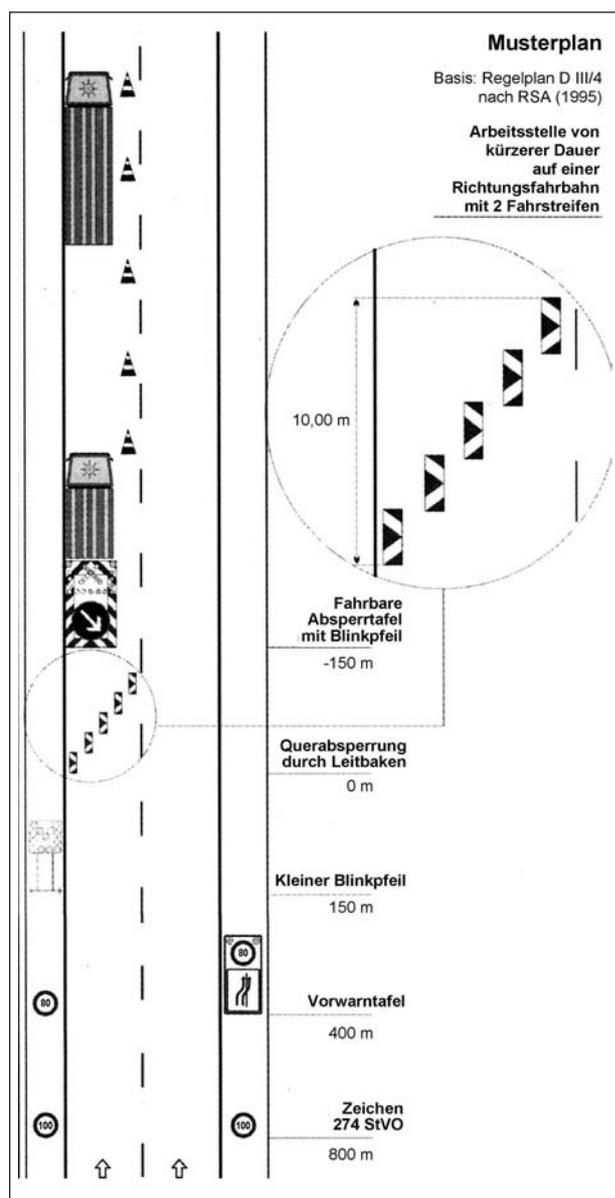


Bild 6: Beispiel der Absicherung der AkD mit Sperrung des linken Fahrstreifens durch Querabspernung mit Pfeilbaken [STEINAUER (2004)]

einen stationären und länger dauernden Einsatz (AID), da diese mit der Fahrbahn verbunden werden müssen. Untersucht wurden sowohl eine zusätzliche Querabspernung bei Sperrung des rechten Fahrstreifens als auch eine bei Sperrung des linken Fahrstreifens und Standstreifenmitbenutzung (Bild 4). Der Einsatz der Querabspernung führt sowohl bei Sperrung des rechten wie auch des linken Fahrstreifens zu keinem signifikanten Einfluss auf das Geschwindigkeitsniveau. Beim Einsatz von Leitbaken wurde zudem eine hohe Anzahl an kritischen Fahrmanövern beobachtet. Diese führten teilweise zu erheblichen Behinderungen der anderen Verkehrsteilnehmer.

Verkehrszeichen mit gelb hinterlegtem Hintergrund

In der Schweiz wurden von BÜHLMANN/LAUBE (2005) die Wirkungen gelb hinterlegter Verkehrszeichen auf die Verkehrsteilnehmer untersucht. Untersuchungen im Ausland ergaben bereits, dass das Fahrerverhalten bei Baustellen durch gelb hinterlegte Beschilderung positiv beeinflusst wird. Ziel der Forschungsarbeit war die Beantwortung der grundlegenden Fragen über die Wirkung gelb hinterlegter Verkehrszeichen auf die Verkehrsteilnehmer, die Auswirkungen auf das Erscheinungsbild bei einer massenhaften Verbreitung sowie deren Anwendbarkeit. Weiter wurden die maßgebenden Faktoren der „Wahrnehmung bis zur Ausführung der richtigen Handlung“ in die Untersuchung mit einbezogen. Zielorientiertes Fahrverhalten erfordert konkrete, verlässliche und möglichst präzise Informationen. Die Feldversuche zeigten, dass die Erkennbarkeit bei gelb hinterlegten Verkehrszeichen zu einer deutlich verbesserten Erinnerungsquote führt. Der gelbe Hintergrund weist eine spektrale Wellenlänge auf, auf welche die chromatischen Rezeptoren der Netzhaut besonders empfindlich reagieren. So erscheinen bei gleicher Leuchtstärke die Farben Gelb oder Grün Heller als Rot oder Blau. Durch die Erhöhung des chromatischen sowie des Helligkeitskontrastes aufgrund des gelben Hintergrundes wird die Wahrnehmung begünstigt. Eine vergrößerte Oberfläche erzielt dieselbe Wirkung. Zwar wurde bei den gelb hinterlegten Verkehrszeichen bei allen Versuchspersonen eine sehr gute Erinnerungsquote festgestellt, jedoch ging deren verbesserte Erkennbarkeit zu Lasten der Erkennbarkeit der angrenzenden, standardmäßigen Verkehrszeichen. So heißt es auch, dass „die bessere Erkennbarkeit eines Verkehrszeichens keine Garantie für das richtige Verhalten der Fahrzeuglenkenden ist. Die Beachtungsquote der Beschilderung kann nicht nur auf die Erkennbarkeit zurückgeführt werden“ (BÜHLMANN/LAUBE, 2005). So könnten aus biologischen Gründen nicht alle Verkehrszeichen infolge der hohen Signalisationsdichte wahrgenommen werden. Die menschliche Kapazitätsgrenze für das Aufnehmen und Verarbeiten der Informationen bildet hier eine obere Schranke. Ein genereller Einsatz gelb hinterlegter Verkehrszeichen wird somit nicht empfohlen, da eine häufige Anwendung des gelben Hintergrundes bei Verkehrszeichen dessen Wirksamkeit deutlich reduzieren könnte. Potenzial wird dagegen im temporären Einsatz gesehen, wie z. B. bei geänderter Ver-

kehrsführung oder bei AkD, deren Wirkung auf die Verkehrsteilnehmer im Rahmen der Forschungsarbeit nicht untersucht wurde.

Nach JAINSKI (1985) werden 95 % aller Informationen, die der Mensch von seiner Umgebung erhält, durch das Auge vermittelt. Somit spielt das Auge als Empfänger visueller Informationen eine sehr große Rolle im Zusammenwirken von Mensch und Umwelt. JAINSKI (1985) geht der Fragestellung nach, inwieweit sich durch ein sinnvolles Zusammenspiel von Sender sowie Empfänger eine optimale Verkehrssicherheit erreichen lässt. Grundsätzlich werden als Sender visueller Informationen Lichtsignale und Verkehrszeichen aller Art verstanden. So senden sie „kodierte“ Informationen aus, die das Fahrerverhalten beeinflussen und zu einer größeren Verkehrssicherheit beitragen können. Charakteristisch für die Informationsübermittlung ist bei Verkehrszeichen die Leuchtdichte auf den Zeichen, die geometrische Form, die Beschriftung, die Symbole sowie die Farben und deren Kombinationen zu nennen. Entsprechend muss der Sender technisch und lichtphysiologisch den Optima der Grundsehfunktionen des Auges (Empfänger) angepasst bzw. weitgehend angenähert werden.

Durch Verkehrszeichen werden wesentlich höhere Anforderungen an das Sehen gestellt, da sich die „ausgestrahlte“ Information bei Verkehrszeichen aus vier Einzelinformationen zusammensetzt: der Wahrnehmbarkeit (bei Annäherung aus großem Abstand), der Formerkennbarkeit, der Farberkennbarkeit (nimmt jeweils bei abnehmendem Abstand zu) und der Lesbarkeit. Bei den Verkehrszeichen werden die vier Grundsehfunktionen entsprechend den vier Einzelinformationen durch die vorhandene Leuchtdichte beeinflusst. Bei Tageslicht wird generell ein Optimum erreicht, bei Dunkelheit werden die Aufnahme und Verarbeitung der Informationen wesentlich beeinflusst. So können das Sehen eines Kraftfahrers und dessen Fahrverhalten durchaus verbessert werden, wenn die am Auge von einem Verkehrszeichen erzeugte Beleuchtungsstärke bei Annäherung möglichst konstant bleibt. Entsprechend nimmt z. B. die Beleuchtungsstärke am Auge durchleuchteter (transparenter) Verkehrszeichen mit abnehmendem Abstand zu. Das Rückstrahlvermögen und somit die am Auge „ankommende“ Beleuchtungsstärke sind bei Verkehrszeichen ohne eigene Beleuchtung im Wesentlichen von der Art der Beschichtung (retroreflektierend) sowie den Kraftfahrzeugscheinwerfern abhängig.

Zu der Gruppe der Verkehrszeichen gehören auch die Fahrbahnmarkierungen, deren Wirkung gerade bei Dunkelheit und insbesondere bei Nässe sehr problematisch ist. Grundsätzlich könnte hier nur Abhilfe geschaffen werden, wenn sehr gute, retroreflektierende Markierungsstoffe verwendet würden. Bei der Verwendung von Verkehrszeichen mit gelbem Hintergrund ist nur ein geringer Mehraufwand bei Einrichtung und Abbau der AkD erforderlich. Die „weiße“ Beschilderung müsste in Deutschland nicht ungültig gemacht werden. Sollten Verkehrszeichen mit gelbem Hintergrund eingeführt werden, müsste in der StVO die vorrangige Geltung der „gelben“ Beschilderung geregelt werden.

Nach MESEBERG (1997) weist die in Deutschland (und vielen anderen Ländern) für Leiteinrichtungen verwendete Farbkombination Rot-Weiß die größte Warnwirkung und Auffälligkeit auf, die keiner Änderung bedarf. Die einzige Farbkombination, deren Warnwirkung und Auffälligkeit Rot-Weiß am nächsten kommt, wäre Rot-Gelb. Diese könnte in Verbindung mit der gelben Fahrbahnmarkierung zur Arbeitsstellenbeschilderung eingesetzt werden. Aufgrund der schlechten Erkennbarkeit bei Nacht werden Farbkombinationen mit Schwarz nicht befürwortet. Bei Überleitungs- und Ankündigungstafeln von Arbeitsstellen sollten andere Farbkombinationen verwendet werden. Vorgeschlagen wird, bei Verwendung in Arbeitsstellen, die Farbkombination schwarze Schrift auf orangefarbenem Hintergrund. Bei Verwendung der Farbkombination Schwarz auf Gelb, die als die Farbkombination mit der höchsten Warnwirkung ermittelt wurde, müsste jedoch für die Außerorts-Dauerbeschilderung eine neue Farbkombination eingeführt werden (Situationsäquivalent).

BAIER et al. führten 2006 Untersuchungen zur Sicherheitswirkung von fluoreszierenden Materialien bei Leiteinrichtungen in Arbeitsstellen durch. Im Rahmen dieser Untersuchung wurden Elemente der Arbeitsstellenbeschilderung mit fluoreszierenden Materialien versehen und sowohl im Feldversuch mit Probanden als auch in einem Pilotversuch erprobt. Ein dosierter Einsatz von fluoreszierenden Materialien dient zur Verbesserung der Erkennbarkeit von Verkehrszeichen und Leitelementen und ermöglicht ein situationsangepasstes Verhalten der Verkehrsteilnehmer. Bei Tageslicht und besonders bei Dämmerung wurden die verbesserten Eigenschaften der Erkennbarkeit nachgewiesen. Gegenüber der konventionellen Ausführung (RSA, 1995) konnten keine nachteiligen Auswirkungen bei

Dunkelheit erkannt werden. Deshalb wird der Einsatz fluoreszierender Elemente bei der Sicherung von Arbeitsstellen grundsätzlich empfohlen. Die Untersuchungen zum Geschwindigkeitsverhalten zeigen, dass es zu weniger Geschwindigkeitsüberschreitungen im Arbeitsstellenzulauf kommt. Insbesondere bei Dämmerung konnte eine deutliche geschwindigkeitsreduzierende Wirkung festgestellt werden. Jedoch sind die nachgewiesenen Effekte vermutlich auf den Einsatz ungewöhnlich gestalteter Beschilderungen zurückzuführen. Der Einsatz von fluoreszierenden Materialien sollte nur gezielt zur „Markierung besonderer Bereiche“, die vom Verkehrsteilnehmer eine aktive Handlung (z. B. Richtungsänderung) erfordern, erfolgen.

Weiterhin konnte beim Zeichen 123 nach StVO („Baustelle“) keine Verbesserung der Erkennbarkeit festgestellt werden. Somit wird von einer Modifikation mehrfarbiger Verkehrszeichen, z. B. Zeichen 274 StVO („Beschränkung der zul. Höchstgeschwindigkeit“), abgeraten. Der Einsatz fluoreszierender Materialien ist in AkD bei Vorwarn- und Absperrtafeln vorstellbar.

Absicherung mit Warnschwellen

In den Niederlanden werden bereits seit 15 Jahren transportable Warnschwellen (Andreasstreifen) zur Erhöhung der Sicherheit bei Arbeitsstellen kürzerer Dauer eingesetzt (Bild 7). Hierzu werden drei Warnschwellen in einem Abstand von 5 m untereinander und 150 m vor der fahrbaren Absperrtafel auf dem gesperrten Fahr- bzw. dem Seitenstreifen verlegt. Beim Überfahren der Warnschwellen werden unachtsame Fahrer haptisch gewarnt. Nach dem Überfahren der Warnschwellen verbleibt noch genügend Zeit, um vor der Absperrtafel den Fahrstreifen zu wechseln bzw. im Extremfall noch rechtzeitig vor der Absperrtafel anhalten zu können. Die



Bild 7: Einsatz von Warnschwellen auf dem rechten Fahrstreifen [STEINAUER et al. (2004)]

positiven Erfahrungen führten 2001 dazu, dass in den Niederlanden eine Richtlinie eingeführt wurde, die den Einsatz von Warnschwellen bei AkD auf Autobahnen vorschreibt. Zusätzlich werden Vorgaben für die Vorgehensweise bei Einrichtung und Räumung der Arbeitsstelle gegeben. Aufgrund dieser insgesamt positiven Erfahrungen aus den Niederlanden wurde im Rahmen eines FE-Vorhabens der Einsatz von Warnschwellen auch bei AkD auf Bundesautobahnen erprobt. Zielsetzung war hierbei, Empfehlungen zur unmittelbaren Umsetzung in der Praxis ableiten zu können. BAIER et al. (2005) führten hierzu Untersuchungen mit einer zusätzlichen Absicherung durch Warnschwellen bei verschiedenen Autobahnbaustellen in Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz durch. Anhand der Ergebnisse der Pilotversuche können die Auswirkungen auf den Verkehrsablauf und die Verkehrsteilnehmer insgesamt als unkritisch angesehen werden, auch wenn vereinzelt Fahrstreifenwechsel erst nach dem Überfahren der Warnschwellen erfolgten. Grundsätzlich wird das Überfahren für alle Fahrzeugarten, auch für Motorräder, als unproblematisch beschrieben. Selbst nach zahlreichen Überfahrten durch Fahrzeuge bleiben die Warnschwellen ohne bzw. nur mit geringen Verschiebungen auf der Fahrbahn liegen. Der optimale Abstand der Warnschwellen untereinander wurde auf der Fahrbahn auf 3 m und auf dem Seitenstreifen auf 5 m festgelegt. Wesentlicher Einfluss auf das Fahrverhalten, hauptsächlich bei Fahrstreifenwechseln, hat die Anordnung des kleinen Blinkpfeils gezeigt. Er sorgt für eine zusätzliche Aufmerksamkeitserhöhung unter den Kraftfahrern. Empfohlen wird, den kleinen Blinkpfeil 150 m vor den Warnschwellen aufzustellen, um auch bei geringen Sichtweiten oder hohen Verkehrsbelastungen frühzeitig auf die Fahrstreifensperrung hinzuweisen. Befragungen von Kraftfahrern zeigten, dass der Einsatz der Warnschwellen zur Erhöhung der Aufmerksamkeit als sehr sinnvoll erachtet wird. Nach STEINAUER et al. (2004) halten auch alle befragten Straßenwärter den Einsatz von Warnschwellen für sinnvoll, um unachtsame Kraftfahrer zu warnen, und sehen hierbei eine deutliche Erhöhung ihrer eigenen Sicherheit.

Im Rahmen der Untersuchungen von BAIER et al. (2005) werden für den Einsatz von Warnschwellen Regelpläne für AkD auf Bundesautobahnen vorgeschlagen, die unterschiedlich für Streckenabschnitte mit einer ständigen Geschwindigkeitsbeschränkung auf 100 km/h und Streckenabschnitte ohne ständige Geschwindigkeitsbeschränkungen ange-

wendet werden. Um ein homogenes Geschwindigkeitsniveau zu erreichen, d. h., um die Geschwindigkeit der Pkw an die des Schwerverkehrs anzugleichen, sehen die Regelpläne bei Arbeitsstellen mit Fahrstreifensperrung eine Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf 80 km/h vor. Die Warnschwellen können problemlos aufgebaut werden. Problematischer ist jedoch der Abbau. Hierzu muss das Personal vor der Absperrtafel mit reduzierter Absicherung die Warnschwellen auf dem Fahrstreifen abbauen und ist in dieser Zeit einem erhöhten Unfallrisiko ausgesetzt. Abhilfe könnte ein weiteres Fahrzeug zur Sicherung der AkD bieten, das für den Abbau in Fahrtrichtung vor den Warnschwellen aufgestellt wird. Allerdings erfordert dies ein zusätzliches Fahrzeug bzw. einen Mehraufwand für das Personal, da die Stelle, an der die Warnschwellen liegen, erneut angefahren werden müsste. Für den Einsatz bei mobilen AkD sind Warnschwellen nicht geeignet, da deren „Mitwandern“ mit der AkD nicht möglich ist.

So ist nach STEINAUER et al. (2004), durch den Einsatz der Warnschwellen in den Niederlanden, die Anzahl der Auffahrunfälle auf fahrbare Absperrtafeln deutlich zurückgegangen; um mehr als 60 % bei Tageslicht, um über 80 % bei Dunkelheit und auch die Unfallfolgen fallen geringer aus. Der Einsatz der Warnschellen führt bei Sperrung des rechten Fahrstreifens zu keinem signifikanten Einfluss auf das Geschwindigkeitsniveau. Bei Nachtbaustellen hatte die Reduzierung der Geschwindigkeit auf 60 km/h beim Einsatz von Warnschwellen keinen Einfluss auf das Geschwindigkeitsniveau. Bei Dunkelheit wird die zulässige Höchstgeschwindigkeit im Mittel um 20 km/h überschritten. Weiter wurde durch die Kombination von Warnschwellen mit dem kleinen Blinkpfeil bei über 63 % der Kraftfahrer ein frühzeitiger Fahrstreifenwechsel bis ca. 400 m vor der Absperrtafel festgestellt; ohne Blinkpfeil waren es knapp 51 %. Beim Einsatz von Warnschwellen auf dem linken Fahrstreifen bei AkD mit und ohne Seitenstreifenmitbenutzung liegen die mittleren Geschwindigkeiten mit 20 bis 40 km/h deutlich über der zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h. Bei weiterer Annäherung an die Arbeitsstelle werden die Geschwindigkeiten stark reduziert, bis sie auf Höhe der Warnschwellen nahezu bzw. mit leichten Überschreitungen der vorgegebenen Höchstgeschwindigkeit entsprechen. Der Fahrstreifenwechsel (ca. 200 m vor der Absperrtafel) wird von rund 40 % der Kraftfahrer deutlich später vorgenommen. Deutlichen Einfluss besitzt auch der Einsatz des kleinen Blinkpfeils auf die Fahrstreifen-

wechsellvorgänge und ist somit unbedingt in Kombination mit den Warnschwellen einzusetzen.

Einziehen des linken Fahrstreifens bei AkD

KLEIN et. al. (2004) führten Untersuchungen zum systematischen Einziehen des linken Fahrstreifens mit anschließender Verschwenkung des Verkehrs an AkD in Baden-Württemberg durch. Hierzu wird auf einer zweistreifigen Richtungsfahrbahn zuerst der linke Fahrstreifen eingezogen (erste Absperrtafel) und anschließend der rechte Fahrstreifen verschwenkt (zweite Absperrtafel) (Bild 8). Auf dreistreifigen Richtungsfahrbahnen ist der Einsatz ebenso denkbar, wurde jedoch im Rahmen der Untersuchung nicht eingehender betrachtet. In den Versuchen wurde keine Überforderung der Fahrzeugführer durch diese Verkehrsführung erkannt. Durch die Verschwenkung konnten eine Kapazitätserhöhung sowie eine Homogenisierung der Geschwindigkeiten erreicht werden. Bezüglich der Sicherheit ergeben sich, besonders bei einem hohen Schwerververkehrsanteil, zwei Aspekte: Zum einen sind die auf der rechten Seite der Fahrbahn stehenden Vorwarnanhänger aufgrund sehr dichten

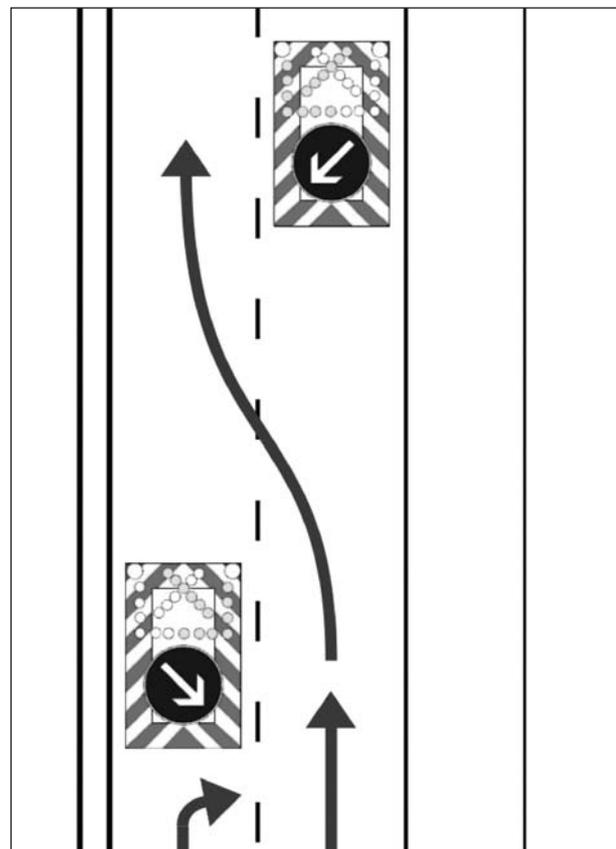


Bild 8: Einzug des linken Fahrstreifens bei AkD (Prinzipiskizze) [KLEIN et. al. (2004)]

Schwerverkehrs für die Fahrzeugführer auf dem linken Fahrstreifen häufig nicht zu sehen, zum anderen führt zu dichtes Auffahren auf das vorausfahrende Fahrzeug zu späten Reaktionen, wenn z. B. der Vordermann wegen einer Absperrtafel auf dem rechten Fahrstreifen ausweichen muss. Durch die auf dem linken Fahrstreifen stehende Absperrtafel wird eine beidseitige Vorwarnung im Vorfeld zur Arbeitsstelle erreicht.

Laut KLEIN et. al. (2004) führen das Einfädeln und Abbremsen des Verkehrs aus dem linken Fahrstreifen zudem zu einer Erhöhung der Aufmerksamkeit bei den Fahrzeugführern auf dem rechten Fahrstreifen und lassen vermutlich die Anzahl bzw. Schwere der Unfälle zurückgehen. Die verbesserte Begreif- und Erkennbarkeit der Verkehrsführung könnten somit zur Erhöhung der Sicherheit in Arbeitsstellen beitragen. Aus fahrdynamischen, aber auch aus Sicherheitsgründen – insbesondere für das Personal – wird eine Begrenzung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf 100 km/h vorgeschlagen. Ein weiterer Vorteil: Der Einsatz der Absicherung mit Verschwenkung ist sowohl bei mobilen als auch bei stationären AkD möglich.

Vorwarntafel-Anhänger mit LED-Technik

Aufgrund der Erfahrungen in anderen Ländern sowie aus Tests in Baden-Württemberg (Regierungspräsidium Tübingen, 2005) ist anzunehmen, dass es mit einer dynamischen Darstellung der gewünschten Verkehrsführung auf den Vorwarntafeln (RSA 1995, A 3.2.1, Bild A-4) mit LED-Technik möglich ist, eine wesentlich höhere Akzeptanz der angezeigten Empfehlungen wie Fahrstreifenwechsel oder Standstreifenmitbenutzung zu erzielen. Versuchsweise wurden bei mehreren Autobahnmeistereien Vorwarnanhänger mit LED-Technik eingesetzt. Im Rahmen des Versuches sollten Kenntnisse über die Wirksamkeit, die Akzeptanz der Standstreifenmitbenutzung, die Verbesserung des Einfädelvorgangs, das Vorfahren bis zur Engstelle und das Gefährdungspotenzial gewonnen werden. Die Ergebnisse wurden in einem Erfahrungsbericht des Regierungspräsidiums Tübingen zusammengefasst. Als Vorteil der LED-Anzeigetafel gegenüber den Standard-Vorwarntafeln wird die Handhabung gesehen, für deren Aufstellung nur wenige Handgriffe erforderlich sind und somit das Gefährdungspotenzial für das Betriebsdienstpersonal reduziert wird. Aufgrund der tief eingelegten LED ist die Erkennbarkeit der Anzeigen des Vorwarntafel-Anhän-

gers durch den dadurch resultierenden geringen Sichtwinkel eingeschränkt. So ist die Erkennbarkeit der Anzeige vom dritten Fahrstreifen weniger gut und verschwindet früher aus dem Sichtbereich als auf den übrigen Fahrstreifen. Dies führt dazu, dass in Linkskurven der LED-Anhänger (Bild 9) in Richtung Fahrstreifen gedreht werden muss.

Somit muss geprüft werden, wie eine Verbesserung der Erkennbarkeit erreicht werden kann. Aus den Versuchen ging hervor, dass eine dynamische Anzeige mit LED-Technik zu einer weitaus höheren Akzeptanz der vorgesehenen Verkehrslenkung wie z. B. Fahrstreifenreduzierung oder Verkehrsverschwenkung unter den Verkehrsteilnehmern führt. Der Fahrstreifenwechsel sowie die „zweistreifige Verkehrsführung unter Einbeziehung des Standstreifens“ werden durch die dynamische Darstellung vom Verkehrsteilnehmer wesentlich besser erkannt, verstanden bzw. akzeptiert und dadurch fle-

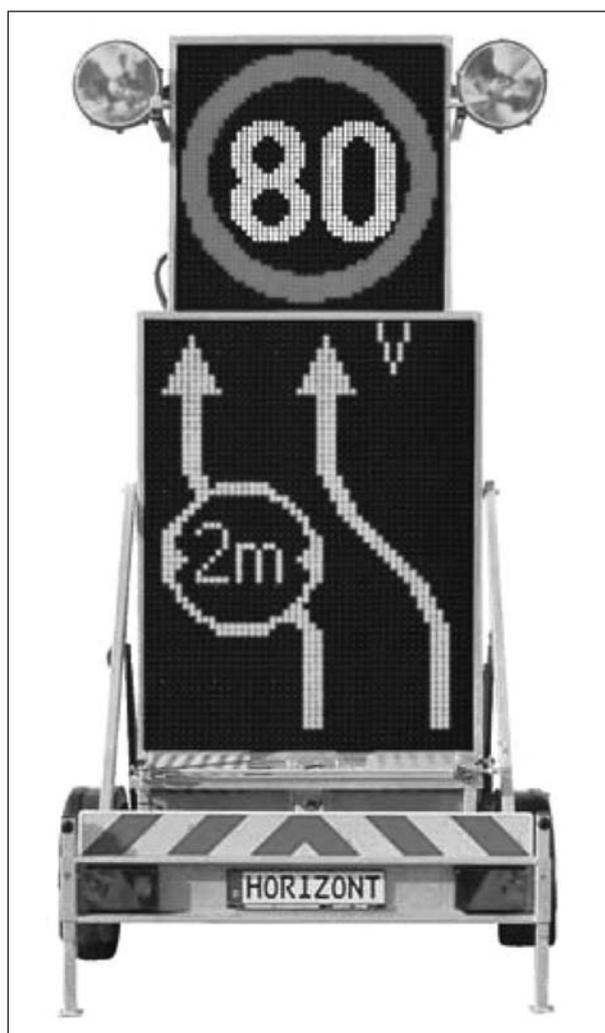


Bild 9: Vorwarntafel mit LED-Technik [Bildquelle: HORIZONT (2006)]

xibler und schneller vollzogen. So konnte ein starkes Abbremsen bzw. eine starke Geschwindigkeitsreduzierung, die bei starren Anzeigen (Standard-Vorwarntafel) öfters vorkommen, kaum beobachtet werden. Gerade bei Dunkelheit erweisen sich die großen LED-Anzeigen durch die gute Erkennbarkeit der Verkehrsführung und den daraus resultierenden Sicherheitsgewinn für Personal und Verkehrsteilnehmer als vorteilhaft. Zusammenfassend ist zu bemerken, dass nach der gültigen RSA 95 in den Regelplänen nur die statischen Vorwarntafeln vorgesehen sind. So ist die dynamische Beschilderung auf Basis der LED-Technik weder Bestandteil der StVO noch der RSA 95. Nach den gültigen Richtlinien können die LED-Vorwarntafeln nur zusätzlich zu den starren Vorwarntafeln eingesetzt werden. Im Hinblick auf die hohen Beschaffungskosten der LED-Vorwarntafeln sollte durch eine Ergänzung der RSA 95 erreicht werden, dass diese bei hochbelasteten Streckenabschnitten die starren Vorwarntafeln ersetzen können, um auf das zusätzliche Aufstellen einer weiteren Vorwarntafel verzichten zu können.

Personen-Warn-System

Ein Personen-Warn-System (PWS) erfasst Fahrzeuge im Annäherungsbereich einer Arbeitsstelle. Überwacht wird hierbei die gefahrene Fahrzeuggeschwindigkeit und ob durch deren Fahrverhalten ein vorgesehener Fahrstreifenwechsel erkennbar wird. Nach einem bestimmten Entscheidungsalgorithmus wird die Wahrscheinlichkeit eines Aufpralls berechnet. Fährt ein Fahrzeug zu dicht auf, werden akustische Warnsignale (Signalhorn) bzw. optische Signale (Blitz-Kennleuchte) gegeben, die mit abnehmendem Abstand häufiger werden. Durch eine zusätzliche, mobile Warnstation, die in einem entsprechenden Abstand vor der fahrbaren Absperrtafel oder einem Sicherungsfahrzeug aufgestellt wird, wird der Fahrzeugführer bei Gefahr durch ein akustisches Signal auf die Arbeitsstelle aufmerksam gemacht. Die Anbringung des Laserdetektors kann entweder an der fahrbaren Absperrtafel (Bild 10), einem Sicherungsfahrzeug oder frei im Straßenraum am Rand der Arbeitsstelle erfolgen.

Nach SACHSE et al. (1993) muss das vorrangige Ziel eines PWS in der Warnung der Personen, die sich in einem Gefahrenbereich befinden, liegen. Es kann jedoch nicht verhindern, dass ein näherndes Fahrzeug auf ein Hindernis, wie z. B. eine fahrbare Absperrtafel, auffährt. Beobachtungen ergaben, dass sich die Fahrzeuge entsprechend der StVO §

7 Abs. 4 bis kurz vor dem Sicherungsfahrzeug nähern, um dann in eine Lücke auf dem nicht gesperrten Fahrstreifen zu wechseln. Daher wurde als zusätzliche Entscheidungsgröße die Beschleunigung eingeführt, um anhand der entweder positiven oder negativen Beschleunigung die Absicht des Fahrers ableiten zu können. Da häufige Fehlalarme die Aufmerksamkeit des Betriebsdienstpersonals mindern und die Akzeptanz herabsetzen, muss die getroffene Entscheidung, ein Warnsignal zu geben, sicher sein. In Zusammenarbeit mit der AM Weilerswist wurde das PWS auf der Bundesautobahn A 61 in stationären Arbeitsstellen getestet. Untersuchungsschwerpunkt waren hierbei der Verkehrsablauf und das Detektionsverhalten des Systems auf Geraden und in Kurven. Es zeigte sich, dass auf BAB selbst in Kurven noch eine ausreichende Sicht gegeben ist, um das System uneingeschränkt nutzen zu können. In allen untersuchten Fällen ergab sich eine nahezu 100%ige Erkennungsrate der Lkw. Vorrang hatte hierbei die Erfassung von Lkw. Geringere Bedeutung besitzen hierbei Pkw, da die Auswirkungen eines Auffahrunfalls wesentlich geringer sind und Pkw-Fahrer meist bewusst sehr

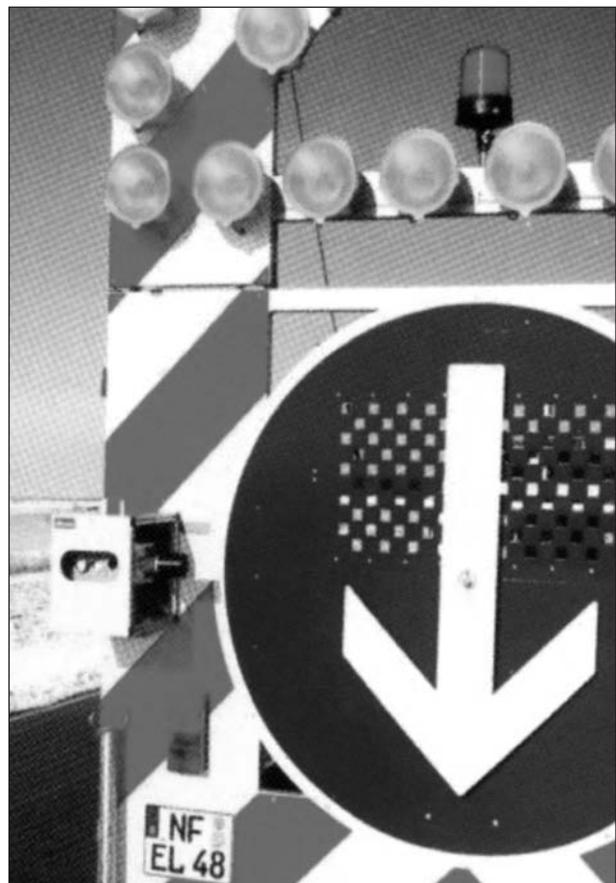


Bild 10: Anbringung des Laserdetektors an einer fahrbaren Absperrtafel [Bildquelle: NISSEN (2006)]

dicht auf das Hindernis auffahren und somit eine Warnung auslösen würden. Das PWS wurde in mehreren Autobahnmeistereien sowie von Autobahnbetrieben in Deutschland, Frankreich, Österreich und der Schweiz erprobt. Positive Erfahrungen aus diesen Tests führten dazu, dass das System von einigen Behörden bereits bei der Absicherung von Baustellen gefordert wird. Die weiterentwickelte Version gestattet den Einsatz auch bei mobilen AkD. Hierbei wird der Laserdetektor über eine Fernsteuerung im Führerhaus justiert und reduziert somit das Gefahrenrisiko bei der Einrichtung der Absicherung.

Aufpralldämpfer (TMA)

Durch das Sicherheitssystem TMA (truck-mounted attenuator, Bild 11) kann das Verletzungsrisiko bei Auffahrunfällen auf Absperrtafeln verringert werden. Ein ca. 2 x 2 m großes „Kissen“ aus nachgiebigen Aluminiumwaben, das am Heck des Absicherungsfahrzeugs montiert wird, dämpft beim Aufprall die kinetische Energie des auffahrenden Fahrzeugs und bremst dieses ab. Selbst bei einer Aufprallgeschwindigkeit von bis zu 140 km/h bei Pkw und 95 km/h bei Lkw besteht für die Fahrzeuginsassen noch eine gute Chance, den Unfall unverletzt zu überstehen. Bei zu hohen kinetischen Energien, wie sie durch einen beladenen Lkw hervorgerufen werden können, kann der TMA keinen ausreichenden Schutz mehr bieten. Hauptsächlich dient der TMA dem Schutz der Verkehrsteilnehmer und nicht dem hier betrachteten Betriebsdienstpersonal. Innerhalb kürzester Zeit kann der TMA an ein entsprechendes Absicherungsfahrzeug an- und abgebaut werden. Gerade zur Absicherung mobiler AkD bietet das System den Vorteil, dass es am Fahrzeug befestigt und somit während der Arbeiten mitgeführt werden kann.



Bild 11: Sicherheitssystem TMA [Bildquelle: SCHWARZ (2006)]

3.2.3 Besonderheiten der Bundesländer

Autobahnen mit bzw. ohne umgenutzten Standstreifen als zusätzlichen Fahrstreifen – Bündelung von Tätigkeiten in einer Arbeitsstelle

MORITZ/WIRTZ (2003) befragten 22 Leiter ausgewählter Autobahnmeistereien (AM) zu Problemen und Erfahrungen mit der Durchführung der betrieblichen Straßenunterhaltung auf BAB ohne bzw. mit umgenutzten Standstreifen als weiteren Fahrstreifen. Neben Empfehlungen für eine optimale Organisation und eine kostengünstige Durchführung werden auch Sicherheitsaspekte bei der Durchführung der Arbeiten betrachtet. Aus organisatorischer Sicht wurde die Möglichkeit des Zusammenlegens verschiedener Unterhaltungsmaßnahmen betrachtet. Hierbei zeigte sich, dass eine Bündelung verschiedener Unterhaltungsmaßnahmen in einer Arbeitsstelle wegen unterschiedlicher Arbeitsgeschwindigkeiten der eingesetzten Geräte nicht allgemein üblich ist. So werden standardmäßig das Kehren und Reinigen der Ablaufschächte in einer Arbeitsstelle gebündelt.

Bei fehlendem Standstreifen werden von 14 Autobahnmeistereien auch andere Arbeiten in einer Arbeitsstelle zusammengefasst. Überwiegend werden Grünpflege- (vor und hinter der Schutzplanke) und Reinigungsarbeiten (Kehren, Ablaufschächte reinigen, Leitpfosten waschen, Papier einsammeln) zusammengelegt. Auch die Kombination von Mäh- und Kehrarbeiten wird in mobilen AkD praktiziert. Als sinnvoll erweist sich nach Aussage einiger Meistereileiter bei der Durchführung zusammengelegter Unterhaltungsmaßnahmen, dass das Arbeitsgerät mit der höheren Geschwindigkeit als Erstes fährt. Werden mobile Arbeitsstellen betrachtet, so kann dieses Vorgehen jedoch dazu führen, dass der Abstand des voranfahrenden, schnelleren Arbeitsgerätes so groß wird, dass faktisch zwei Arbeitsstellen bestehen, von denen dann die vordere ungesichert wäre. Aus diesem Grund erscheint es vorteilhaft, dass das schnellere Arbeitsgerät an zweiter Stelle fährt. Auf Streckenabschnitten ohne Standstreifen werden von 13 der befragten Autobahnmeistereien nach wie vor Unterhaltungsarbeiten in Form mobiler Arbeitsstellen durchgeführt und entsprechend Regelplan D III/7 gesichert. Als zusätzliche Sicherungsmaßnahmen, je nach Sichtweite, wird ein zusätzliches Vorwarnfahrzeug, je nach Streckenverlauf sogar stationär, eingesetzt. Vorhandene Verkehrsbeeinflussungsanlagen (VBA), über die auch

eine Standstreifenfreigabe möglich ist, werden zur zusätzlichen Sicherung von mobilen AkD eingesetzt. Acht Meistereien führen Arbeiten bei fehlendem Standstreifen grundsätzlich nur als stationäre Arbeitsstellen mit Absicherung nach Regelplan D III/2a/b durch.

Der Mehraufwand für die Sicherung von Arbeitsstellen auf Streckenabschnitten ohne Standstreifen scheint sich zu lohnen. Es liegen zwar keine Erhebungen über Unfälle mit Beteiligung des Betriebsdienstes als Folge von Unterhaltungstätigkeiten vor, jedoch stellen 15 der befragten Meistereien fest, dass keinerlei Hinweise auf eine höhere Unfallrate vorliegen. So geben drei Meistereien an, dass die Unfallgefahr geringer ist, da zum einen das Betriebsdienstpersonal aufgrund der besonderen Situation mit erhöhter Aufmerksamkeit agiert, zum anderen die Lkw-Fahrer sich auf den engeren Fahrstreifen (Standstreifen) mehr konzentrieren müssen. Jedoch stellten vier Meistereien eine Zunahme der Sachschäden wie z. B. beschädigte Vorwarnanhänger u. Ä. fest. Auf hochbelasteten Strecken bewirken Arbeitsstellen i. d. R. zumindest eine Zähflüssigkeit des Verkehrs, welche sich positiv auf die Sicherheit des Betriebsdienstpersonals auswirkt. Empfohlen wird daher, zusätzlich zu den in den Regelplänen (D III/2a/b und 7) aufgeführten Sicherungsmaßnahmen mindestens eine weitere Vorwarntafel oder weiteres Vorwarnfahrzeug aufzustellen. Bei Streckenabschnitten ohne Standstreifen, auf denen mobile AkD eingerichtet werden, hat sich ein zusätzliches Sicherungsfahrzeug als notwendig erwiesen. Allerdings nutzen Ortskundige Fahrer, insbesondere Lkw, auf Streckenabschnitten, auf denen der Standstreifen nur durch Prismenwender zu bestimmten Zeiten als Fahrstreifen freigegeben wird, den Standstreifen häufig auch dann als Fahrstreifen, wenn keine Freigabe erfolgt ist. Infolge dessen sollten auf solchen Strecken, wegen des erhöhten Risikos, Arbeitsstellen mit demselben Sicherungsaufwand betrieben werden wie auf Strecken mit dauerhaft ungenutzten Standstreifen.

Ergänzungen zur RSA (1995) in Brandenburg

Das Brandenburgische Autobahnamt (BABA) führte 2002 ergänzende Bestimmungen zu den RSA 95 (1995) und den „Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für Sicherungsarbeiten an Arbeitsstellen an Straßen (ZTV-SA 97)“ ein (ERSA – BABA, 2002). Darin heißt es:

- „Vor dem beabsichtigten Einsatz mobiler Arbeitsstellen ist stets zu prüfen, ob diese durch stationäre Arbeitsstellen, ggf. unter Zusammenfassung mehrerer Arbeitsstellen, ersetzt werden können.
- Um die mit dem Ab- bzw. Ankoppeln fahrbarer Absperrtafeln im Verkehrsbereich beschäftigten Personen rechtzeitig vor Gefahren warnen zu können, ist ein Warnposten einzusetzen.
- Der Mindestabstand zwischen der Fahrstreifen- bzw. Fahrbahnbegrenzung beträgt 0,60 m, gemessen von der Außenkante der Gelb- bzw. Innenkante der Weißmarkierung und der Leitbakekante, anstatt der nach RSA 95 empfohlenen 0,25 m.
- Die Applikation von Markierungsknöpfen erfolgt grundsätzlich auf Markierungsfolie oder in Verbindung mit Markierungsfarbe. Ist der Einsatz von Markierungsfolie oder Markierungsfarbe witterungsbedingt nicht möglich, muss die alleinige Verwendung von Markierungsknöpfen vor Beginn der Applikation von der anordnenden Behörde ausdrücklich bestätigt werden.
- Bei Einsatz von Leitkegeln (Z 610-40, Höhe = 50 cm) auf BAB ist zu beachten, dass maximal 10 m Aufstellabstand zur Längsabsperzung innerhalb von AkD, maximal 18 m Aufstellabstand zur Sicherung von frischer Fahrbahnmarkierung vor dem Befahren, maximal 2 m Aufstellabstand beim Einsatz als provisorische Fahrbahnbegrenzung (Verschwenkung auf Standstreifen entsprechend Regelplan D III/4) eingehalten werden.
- Die in Arbeitsstellen eingesetzten Absperrgeräte müssen bezüglich der lichttechnischen Eigenschaften mindestens den Anforderungen der Bauart Typ 2 (DIN 67520-2) genügen. Werden Leitkegel zur Sicherung von frischer Fahrbahnmarkierung eingesetzt, müssen diese mindestens den Anforderungen der Bauart Typ 1 (DIN 67520-2) entsprechen. Die kleinen Leitbaken auf Leitschwellen und –borden sind in Bauart Typ 2 auszuführen“.

Ergänzungen zur RSA (1995) im Saarland

Im gemeinsamen Erlass des Ministeriums für Inneres und Sport – oberste Straßenverkehrsbehörde – und des Ministeriums für Wirtschaft – oberste Straßenbaubehörde – vom 24. Juni 1998, ergänzt

am 12.03.2004, sind im Saarland folgende Ergänzungen zur RSA 95 festgelegt (MFW, 2004):

- Bedingt durch die topographischen Verhältnisse, die Linienführung des Straßenverlaufs, die teilweise fehlenden Standstreifen und die dichte Anschlussstellenfolge ist bei AkD auf BAB mindestens Regelplan D III/2a anzuordnen.
- Werden zwei oder drei Vorwarntafeln verwendet, kann auf die Aufstellung des Zeichens Z 274 StVO verzichtet werden. I. d. R sind mit der ersten Vorwarntafel das Zeichen Z 274-60 StVO ($V_{zul} = 100 \text{ km/h}$) und mit der zweiten sowie eventuell dritten Vorwarntafel das Zeichen Z 274-58 StVO ($V_{zul} = 80 \text{ km/h}$) anzuzeigen.
- Bei mobilen AkD zur Durchführung von Mäh- oder Kehrarbeiten ist nach Regelplan D III/7 am Arbeitsfahrzeug ein „kleiner Blinkpfeil“ anzubringen, wenn auf die fahrbare Absperrtafel verzichtet wird. Dabei ist vom „kleinem Blinkpfeil“ auf das „Blinkkreuz“ umzuschalten.
- In Abhängigkeit einer ausreichenden Sichtweite dürfen AkD mit Einzug eines Fahrstreifens tagsüber (an Werktagen – montags bis freitags) nur in definierten Zeitfenstern erfolgen.
- Die Bauart der Verkehrszeichen und -einrichtungen muss hinsichtlich der lichttechnischen Eigenschaften den Anforderungen der Bauart 2 oder 3 (DIN 67520-2) entsprechen. Die Bauart Typ 1 darf nicht mehr eingesetzt werden.
- Die Sicherung von Arbeitsstellen an BAB, Bundes- und Landstraßen darf nur von Fachfirmen vorgenommen werden. Hierbei wird auf die Ausführungen in den ZTV-SA (1997) und des MVAS (1999) verwiesen.

3.2.4 Methoden der Absicherung von Arbeitsstellen im Ausland

Vergleichbare Regelwerke und -pläne zur Absicherung von Arbeitsstellen sind in vielen europäischen Ländern vorhanden. Allerdings unterscheidet sich die Systematik zum Teil erheblich: In einigen Ländern wird eine vergleichbare Einteilung von Arbeitsstellen nach der Dauer der Arbeiten vorgenommen. In Großbritannien, Dänemark und Finnland werden demgegenüber z. B. nur Unterscheidungen zwischen stationären und mobilen Arbeitsstellen getroffen. Der grundsätzliche Aufbau von Arbeitsstellen, die mit den AkD nach RSA (1995) vergleichbar sind, ist ähnlich. Unterschiede bestehen allerdings

hinsichtlich der zulässigen Geschwindigkeiten, der Gestaltung der Absperrtafeln und zum Teil der verwendeten, sonstigen Beschilderung sowie deren Farbgebung. Das Hauptaugenmerk liegt hierbei auf Besonderheiten in der Absicherung von Arbeitsstellen sowie Maßnahmen, die zur Erhöhung der Sicherheit des Betriebsdienstpersonals beitragen können.

Geschwindigkeitstrichter

In vielen Ländern ist ein Geschwindigkeitstrichter zur Reduzierung der Geschwindigkeiten in Arbeitsstellen vorgesehen. Bei Sperrung von Fahrstreifen wird im Regelfall eine Geschwindigkeitsreduzierung zwischen 70 km/h und 90 km/h angeordnet. Nur die Schweiz lässt in AkD eine Geschwindigkeit von 100 km/h zu (VSS, 1999). In Belgien wird im Verschwenkungsbereich die Geschwindigkeit auf 50 km/h reduziert, bevor sie im AkD-Bereich wieder auf 70 km/h angehoben wird. In Finnland wird die zulässige Höchstgeschwindigkeit von 120 km/h auf 50 km/h reduziert.

Geschwindigkeitsüberwachung

SPACEK et. al. (2005) untersuchten in der Schweiz die Zusammenhänge zwischen den Elementen der baulichen und betrieblichen Ausgestaltung des Übergangsbereichs vor Baustellen (AID) und den Merkmalen des Verkehrsablaufs verschiedener Baustellentypen. Diese empfehlen zur Homogenisierung des Verkehrsablaufs und nicht zuletzt zur Erhöhung der Sicherheit die Überwachung der Geschwindigkeiten durch stationäre Radaranlagen. Besonders im Zufahrtbereich zur Baustelle ließen sich hierdurch die Geschwindigkeiten deutlich reduzieren. Als präventive Maßnahme sollten die Radaranlagen gut sichtbar sein und mit Hinweisschildern angekündigt werden. Es wurde im Rahmen dieser Untersuchungen ersichtlich, dass nicht die gut sichtbaren Radaranlagen, sondern die Ankündigung der Geschwindigkeitsüberwachung die gefährten Geschwindigkeiten eindeutig senkt. Weiter wird auf weitere Untersuchungen der Kantonspolizei Zürich hingewiesen, in denen der positive Effekt einer Geschwindigkeitsüberwachung auf die Verkehrssicherheit in Baustellen bestätigt wird.

EHRINGER (2006) berichtet, dass in Österreich auf besonders gefährdeten Streckenabschnitten und in Baustellenbereichen eine abschnittsweise Geschwindigkeitsüberwachung durchgeführt wird.

Hierzu wird die Durchschnittsgeschwindigkeit einzelner Fahrzeuge errechnet und bei Überschreitung das Kennzeichen automatisch erfasst. Durch eine so genannte „Section-Control-Anlage“, die im Wiener Kaisermühltunnel installiert wurde, konnte in einem Vorher-Nachher-Vergleich eine Reduktion der Durchschnittsgeschwindigkeit von rund 10 km/h erreicht werden. Nach Inbetriebnahme ging die Unfall schwere aufgrund der reduzierten Geschwindigkeiten deutlich zurück. Nach ASFINAG (2006) wird im Gegensatz zu Radargeräten mit einer „Section-Control-Anlage“ ein ganzer Abschnitt erfasst, um so ein zu schnelles Durchfahren sowie heftiges Abbremsen vor den Radargeräten systematisch zu verhindern.

Leitelemente und Verkehrszeichen

Zur Erhöhung der Aufmerksamkeit werden z. B. in Belgien, den Niederlanden, Finnland, Österreich und der Schweiz Absperrtafeln, Leitelemente (Leitkegel, -baken) und Verkehrszeichen mit einem gelben und reflektierenden Hintergrund eingesetzt. In Großbritannien (Highways Agency 2006) werden zur Verbesserung der Sichtbarkeit von Schildern diese an nichtreflektierende gelbe Schutzplatten, mit gelben Blinkleuchten an jeder Ecke, befestigt. In Dänemark (Vejdirektoratet, 2002) wird bis zu 5 km

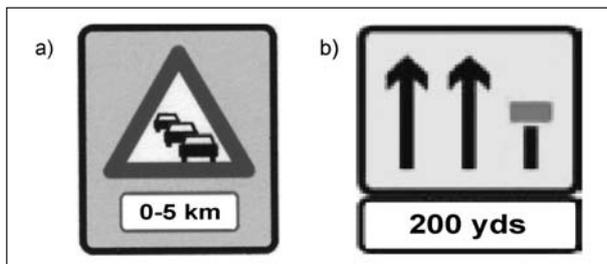


Bild 12: a) „Achtung Stau“ (Dänemark) [VEJDIREKTORATET (2002)], b) „Fahrstreifen gesperrt“ (Großbritannien) [HIGHWAYS AGENCY (2006)]

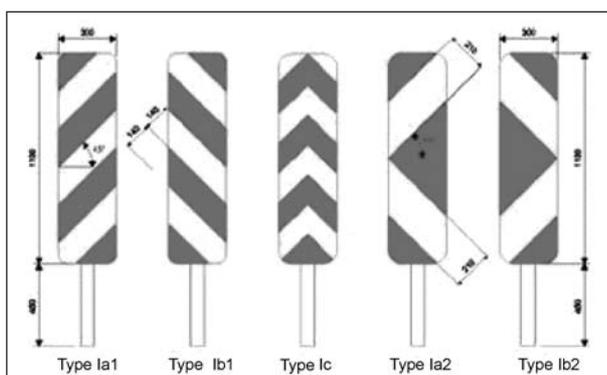


Bild 13: Leit- und Pfeilbaken (Belgien) [MINISTÈRE WALLON DE L'EQUIPEMENT ET DES TRANSPORTS (2001)]

vor der AkD ein Schild „Achtung Stau“ mit gelbem Hintergrund aufgestellt (Bild 12), in Belgien im Abstand von 2 km (Ministère Wallon de L'equipement et des Transports, 2001).

Zur Arbeitsstellenankündigung werden in Großbritannien auf dem Standstreifen Fahrzeuge mit dem Schild „Fahrbahn gesperrt!“ aufgestellt (Bild 12), wobei das erste ohne und die folgenden zwei mit entsprechender Abstandsangabe versehen sind.

Um die Erkennbarkeit der Verkehrsführung zu erhöhen, werden zum einen neben den auch in Deutschland verwendeten Leitbaken auch Pfeilbaken eingesetzt. So werden in Belgien notwendige Fahrstreifenwechsel durch Leit- und Pfeilbaken verdeutlicht (Bild 13). Zur Verziehung des Verkehrs werden in Dänemark auf dem Fahrstreifen Leitbaken mit blinkenden Warnlichtern aufgestellt.

„Portable Rumble Strips“

In den USA werden unaufmerksame Verkehrsteilnehmer durch „Portable Rumble Strips“, quergegrippte Fahrbahnrandbegrenzungen, rechtzeitig gewarnt (Bild 14). Bei „Rumble Strips“ handelt es sich um selbstklebende Streifen von ca. drei Millimeter Dicke und 10 cm Breite, welche aber nicht wieder verwendbar sind. Vor der Arbeitsstelle werden sechs parallele Streifen im Abstand von ca. 30 cm quer zur Fahrtrichtung auf die Fahrbahn geklebt. Hierdurch werden die Verkehrsteilnehmer, sowohl akustisch wie auch mechanisch, auf die Arbeitsstelle hingewiesen.

Bei Verwendung orangefarbener Streifen ist auch eine zusätzlich visuelle Warnung gegeben. Durch den Einsatz von „Rumble Strips“ könnten möglicherweise Unfälle auf dem Standstreifen vermieden werden. Kommt ein Fahrzeug von seiner Spur ab, wird der Fahrer beim Überfahren der „Rumble Strips“ durch das Geräusch sowie das Holpern des



Bild 14: Aufbringung der „Rumble Strips“ [TERNEY (2006)]

Fahrzeugs gewarnt und kann entsprechend reagieren. Als problematisch erweist sich die Haftung je nach Straßenoberflächenbeschaffenheit, besonders bei Aufbringung der „Rumble Strips“ auf nasser Fahrbahn. Deshalb sei nach STEINAUER et. al. (2004) ein Einsatz auf BAB nicht zweckmäßig. Nach TERNEY (2006) führen „Rumble Strips“ zu einer Reduzierung der Geschwindigkeit und zu einer Erhöhung der Aufmerksamkeit bei den Verkehrsteilnehmern.

Mobiler oder stationärer Aufprallschutz

In Großbritannien werden Sicherungsfahrzeuge, die im Abstand von 50 bis 100 m zur Arbeitsstelle stehen, mit einem Aufprallschutz ausgestattet, einem so genannten „Lorry mounted crash cushion“ (LMCC), vergleichbar mit dem TMA (Bild 11). Als stationärer Aufprallschutz werden in Schweden auch Reifenstapel hinter der Absperrtafel mit entsprechendem Abstand (Pufferzone) vor der Arbeitsstelle eingesetzt (Bild 15).

Aufstellung und Einsatz mehrerer versetzter Sicherungsfahrzeuge

Finden in Großbritannien Arbeiten auf einem oder zwei Fahrstreifen statt, werden zur Verbesserung der optischen Wirkung der Verschwenkung mehrere Sicherungsfahrzeuge versetzt auf den Fahrstreifen angeordnet (Bild 16).

Sicherheitsbereiche entlang der AkD

Um Fahrzeuge und vor allem das Personal in Arbeitsstellen zu schützen, werden Sicherheitsbereiche vor und entlang der AkD eingerichtet. Unterschiede finden sich in der Länge der Schutzräume



Bild 15: Reifenstapel als stationärer Aufprallschutz (Schweden) [VÄGVERKET (1998)]

vor dem Arbeitsbereich, die in Schweden (VÄGVERKET, 1998) von 25 bis 250 m in Belgien reichen. Ein seitlich entlang der Arbeitsstelle führender Sicherheitsabstand zwischen 0,5 m (Belgien) und 1,5 m (Finnland) soll ein Streifen von Betriebsdienstfahrzeugen verhindern und zusätzlich für mehr Sicherheit des Personals sorgen (Bild 17). Die Absperrung entlang der Arbeitsstelle wird entweder mit Leitkegeln oder Leitbaken vorgenommen.

Dynamisches Vorwarnsystem mit Überkopfsignalisierung

Durch den Einsatz von mobilen dynamischen Anzeigesystemen kann der Verkehrsablauf verbessert und die Verkehrssicherheit erhöht werden. Durch die variablen Wechseltextanzeigen können die Verkehrsteilnehmer besser informiert sowie verkehrlenkende Empfehlungen und „Begründungen“ für den zu erwartenden Verkehrszustand gegeben werden. Nach STEINAUER et. al. (2004) werden mobile Fahrstreifensignalisierungen (Mobile Lane Signalling Systems (MRS), Bild 18) in den Niederlanden schon seit Jahren eingesetzt. Dort ist der Einsatz mobiler Systeme zur Fahrstreifenzuweisung, unter anderem zur Fahrstreifensperrung bei der Einrichtung von AkD auf Autobahnen, vorgeschrieben, auf zweistreifigen Richtungsfahrbahnen bei einer Verkehrsbelastung von über 1.100 Kfz/h sowie auf allen dreistreifigen Richtungsfahrbahnen,

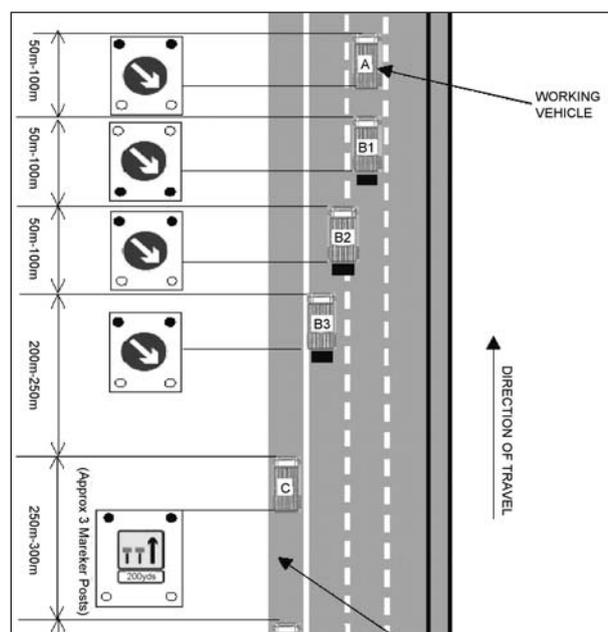


Bild 16: Versetzte Aufstellung der Sicherungsfahrzeuge (Großbritannien) [HIGHWAYS AGENCY(2006)]

sofern keine ortsfesten Schilderbrücken vorhanden sind. In den niederländischen Regelplänen ist immer der Einsatz von mindestens zwei mobilen Schilderbrücken, die im Abstand von 300 m bis 600 m angeordnet werden, vorgesehen. Zum Aufbau

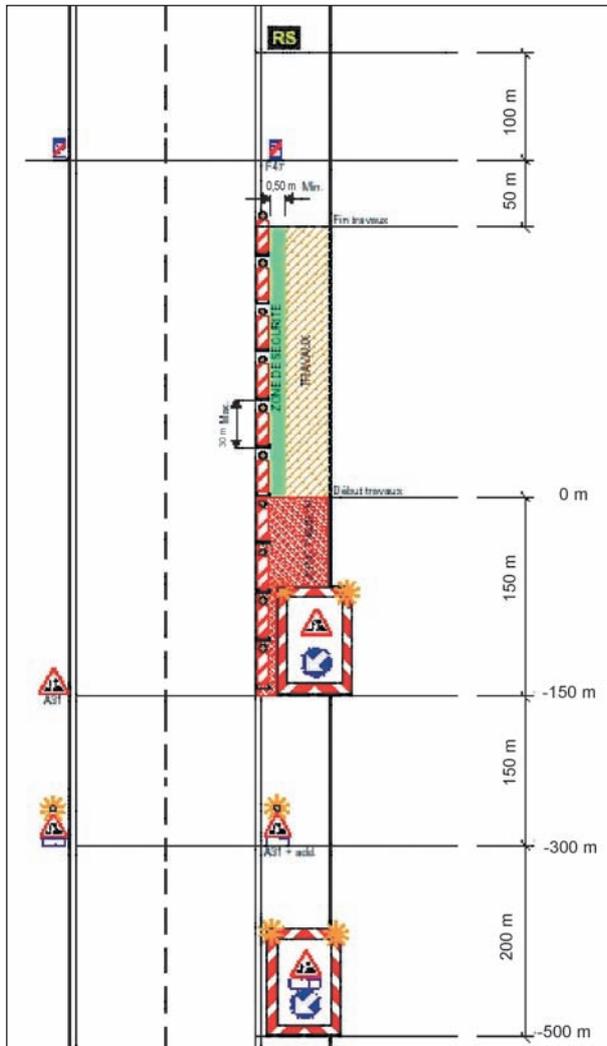


Bild 17: Ausgewiesener Sicherheitsstreifen in Arbeitsstellen (Belgien) [MINISTÈRE WALLON DE L'EQUIPEMENT ET DES TRANSPORTS (2001)]



Bild 18: Einsatz des Mobile Lane Signalling System (MRS) in den Niederlanden [Bildquelle: HYTRANS (2006)]

und Inbetriebnahme der nacheinander aufzustellenden Schilderbrücken wird nur ein Arbeiter benötigt. STEINAUER et. al. (2004) sehen im Einsatz mobiler dynamischer Anzeigesysteme eine Möglichkeit zur Verbesserung des Verkehrsablaufs und damit der Verkehrssicherheit, vor allem in besonderen Situationen, wie z. B. Arbeitsstellen. Aufgrund der hohen Verkehrsbelastungen auf deutschen BAB wird, insbesondere durch den Schwerverkehr, die Sicht auf Verkehrszeichen am rechten Fahrbahnrand oftmals eingeschränkt, sodass diese von den Fahrern auf dem linken Fahrstreifen häufig nicht bzw. zu spät wahrgenommen werden. Der Einsatz einer Überkopfsignalisierung könnte hierzu einen großen Sicherheitsgewinn leisten.

Im Jahr 2003 führte die RWTH Aachen in Zusammenarbeit mit dem Landesbetrieb Straßenbau Nordrhein-Westfalen und der HOKA B. V. aus den Niederlanden einen entsprechenden Pilotversuch zum Einsatz einer solchen mobilen Fahrstreifensignalisierung auf der BAB A 61 durch. Erkenntnisse hieraus waren, dass die Verkehrsteilnehmer die Geschwindigkeit, insbesondere im Annäherungsbereich der Arbeitsstelle, frühzeitiger reduzieren. So wurde die zulässige Höchstgeschwindigkeit im Bereich der Arbeitsstellen, im Vergleich zur konventionellen Absicherung, im Mittel um etwa 6 km/h unterschritten. Aufgrund der erhöhten Erkennbarkeit der Verkehrszeichen nehmen die Verkehrsteilnehmer die erforderlichen Fahrstreifenwechsel frühzeitiger vor.

Auch in Österreich wird in Arbeitsstellen ein mobiles dynamisches Vorwarnsystem mit Überkopfsignalisierung (ÜKS) eingesetzt (Bild 19). Im Gegensatz zum MRS aus den Niederlanden reicht der Ausleger der ÜKS nur über den ersten Fahrstreifen. Die relativ leichte und kompakte Bauart der ÜKS gegenüber dem MRS ist auch für den mobilen Einsatz geeignet. SCHWARZ (2006) führte im Rahmen ihrer Diplomarbeit



Bild 19: LED-Vorwarnsystem mit Überkopfsignalisierung (Österreich) [SCHWARZ (2006)]

beit zum Thema „Erhöhung der Sicherheit im Bereich von AkD auf Bundesautobahnen durch Maßnahmen zur frühzeitigen Erkennbarkeit“ in Österreich Feldversuche zum Einsatz einer mobilen dynamischen Überkopfsignalisierung durch. Den Schwerpunkt der Feldversuche bildeten dabei die Erfassung und Betrachtung des Annäherungs- und Verflechtungsverhaltens mit/ohne ÜKS. Daneben wurden die angezeigte Symbolik (Abweichungen zu der in Deutschland geltenden StVO) sowie auch die Sichtbarkeit der ÜKS selbst, insbesondere der Anzeigetafel, bei hohem Lkw-Anteil für Lkw wie auch Pkw-Fahrer betrachtet. Die Auswertungen erfolgten unter dem Aspekt der Erkennbarkeit von AkD durch die eingesetzte Überkopfsignalisierung. Anhand eines Vergleichs des Annäherungs- und Verflechtungsverhaltens mit/ohne Überkopfsignalisierung kam SCHWARZ (2006) zu folgenden Schlussfolgerungen:

- AkD stationär, rechter bzw. linker Fahrstreifen gesperrt

Bei ausgeklappter und aktivierter Anzeigetafel bzw. ÜKS-Ausleger (Bild 19) wechselte der überwiegende Anteil der beobachteten Lkw-Fahrer bereits 150 bis 200 m vor der Überkopfsignalisierung vom rechten auf den mittleren Fahrstreifen. Bei eingeklapptem ÜKS-Ausleger erfolgten die Wechsel weitaus später. Bei teilgebundenen oder synchronen Verkehrszuständen konnten jedoch oftmals Wechselvorgänge aufgrund von Fahrzeugkolonnen auf dem mittleren Fahrstreifen relativ spät vorgenommen werden; trotz ÜKS wird dann relativ nahe an die AkD herangefahren.

Bei den Pkw-Fahrern auf dem linken Fahrstreifen konnte weder bei ein- noch ausgeklapptem ÜKS-Ausleger eine Auswirkung auf das Fahrverhalten festgestellt werden. Vielmehr ist das Erkennen eines Hindernisses (Vorwarnanhänger) für den Einleitzeitpunkt zum Fahrstreifenwechsel ausschlaggebend. So fahren über 60 % der Pkw-Fahrer bis in den kritischen Bereich (< 150 m) vor der ÜKS ein und wechseln dann nach dem Reißverschlussprinzip auf den mittleren Fahrstreifen. Bei abnehmender Verkehrsdichte nahmen die Wechselvorgänge im kritischen Bereich zu.

- AkD mobil, linker Fahrstreifen gesperrt

Zwischen stationären und mobilen Arbeitsstellen bei Sperrung des linken Fahrstreifens sind keine Unterschiede erkennbar; Ergebnisse bei gesperrten rechten Fahrstreifen stehen nicht zur Verfügung.

Da die Überkopfsignalisierung als Vorwarnanhänger auf dem Standstreifen aufgestellt wird, reicht der Ausleger in einer Höhe von 4,80 m rund 2/3 über den rechten Fahrstreifen. Aufgrund seiner Höhe ist der Ausleger bis zu einem Abstand von rund 60 m auch von Pkw-Fahrern auf dem mittleren und linken Fahrstreifen zu sehen, selbst wenn der Vorwarnanhänger durch Lkw auf dem rechten Fahrstreifen verdeckt wird. Fahren Fahrzeuge hintereinander auf dem rechten Fahrstreifen, ist die Sicht auf den Ausleger jedoch durch vorausfahrende Lkw wesentlich eingeschränkt. Der über den rechten Fahrstreifen reichende Ausleger führt bei Arbeitsstellen auf dem Standstreifen in Rechtskurven zu einer frühzeitigeren Erkennbarkeit der AkD. Bei schlechten Witterungsverhältnissen oder Kuppen bietet die ÜKS Vorteile; allerdings nur bei freier Sicht. Demzufolge könnte auf eine zusätzliche Beschilderung wie z. B. den kleinen Blinkpfeil im Mittelstreifen verzichtet werden. Eine höhere Aufmerksamkeit der Verkehrsteilnehmer konnte jedoch nicht nachgewiesen werden.

Aufgrund zahlreicher Randbedingungen sowie organisatorischer Gründe konnten allerdings weniger Feldversuche durchgeführt werden als ursprünglich geplant waren. Offen blieben Fragestellungen wie z. B. der Einsatz der ÜKS bei Dunkelheit oder das Geschwindigkeitsverhalten im Annäherungs-, Verflechtungs- und AkD-Bereich.

Signalisierung des Arbeitsstellenendes

Nach GREBE/HANKE (1991) wird eine eindeutige Kennzeichnung der Arbeitsstelle empfohlen, um den häufigen Unsicherheiten bei den Verkehrsteilnehmern bezüglich des Arbeitsstellenendes entgegenzuwirken. Um das Ende der AkD eindeutig zu signalisieren, wird z. B. in Finnland eine „Leitschranke“ mit einer Warnleuchte (Bild 20) aufgestellt (TIELAITOS, 1998).

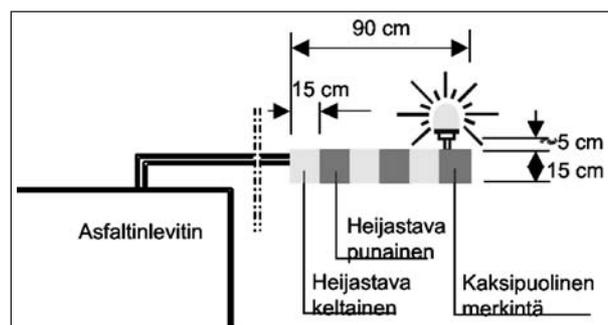


Bild 20: „Leitschranke“ am Ende der AkD (Finnland) [TIELAITOS (1998)]

3.2.5 Innovative Maßnahmen

Die innovativen Maßnahmen umfassen zwei Aspekte: zum einen Maßnahmen, die zur Verbesserung der Arbeitsstellenabsicherung dienen, zum anderen Maßnahmen, die auf Seiten der Verkehrsteilnehmer helfen sollen, Unfälle zu vermeiden.

Verbesserung der Arbeitsstellenabsicherung

- Unfall-Vorwarn-System

Ein Unfall-Vorwarn-System (UVS) (BERGHAUS-NEWS, 2006) besteht aus den zwei Komponenten Sicherheits-Schaltleiste und Unfall-Vorwarn-Gerät (Bild 21). Die Sicherheits-Schaltleiste wird in 100 m Entfernung vor der fahrbaren Absperrtafel auf die Fahrbahn gelegt und durch ein Fangseil gesichert. Das Überfahren der Sicherheits-Schaltleiste löst sofort die Sirene (Unfall-Vorwarn-Gerät) aus, die sich an der fahrbaren Absperrtafel befindet. Bei einer Geschwindigkeit von 80 km/h verbleiben dem Personal dann noch rund 4 Sekunden, vor einem möglichen Aufprall auf die Absperrtafel, um sich aus dem Gefahrenbereich in Sicherheit zu bringen. Die Einrichtung der Sicherheits-Schaltleiste erfolgt vom

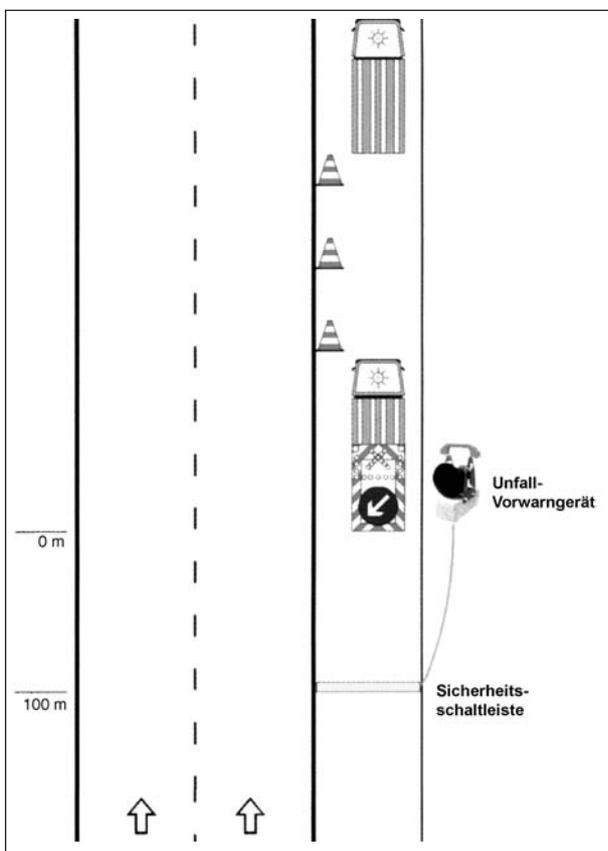


Bild 21: Beispiel: Unfall-Vorwarn-Gerät mit Sicherheits-Schaltleiste [Bildquelle: BERGHAUS-NEWS (2006)]

Fahrbahnrand aus. Dieses System ist allerdings nur in stationären AkD einsetzbar.

Verbesserung der Fahrzeugausführungen und -technik

Fahrzeuge des Betriebsdienstpersonals

- Semi-Selbstfahreinrichtung bei Fahrzeugen

Bei der Semi-Selbstfahreinrichtung kann ein Sicherungsfahrzeug von außen per Fernsteuerung gesteuert werden. Der Fahrer (hier Unimog der Firma DaimlerChrysler) steht abseits des Fahrzeugs und ist somit bei einem Aufprall durch ein Fahrzeug nicht unmittelbar betroffen. Die Semi-Selbstfahreinrichtung kann bei mobilen AkD bis maximal 6 km/h eingesetzt werden. Die Fahrspur wird hierbei durch den Spurassistenten eingehalten, welcher allerdings auf die Fahrbahnmarkierung angewiesen ist. Dies erweist sich gerade bei fehlender Markierung als problematisch. Der Unimog lässt sich zudem auch vom Beifahrersitz fahren, lenken und steuern, z. B. bei Mäharbeiten (RÖCKE, 2006).

- Rechtslenker-Fahrzeuge

Bei Tätigkeiten, in denen die Mitarbeiter mehrmals ein- bzw. aussteigen müssen (z. B. Streckenwartung), könnten Rechtslenker-Fahrzeuge das Risiko reduzieren, beim Ein- bzw. Aussteigen von einem Verkehrsteilnehmer erfasst zu werden.

- Fahrzeuge der Verkehrsteilnehmer

Im Kraftfahrzeugbau werden schon lange Möglichkeiten gesucht, um Unfälle zu vermeiden oder deren Unfallfolgen zu mindern. Unter Betrachtung des vorliegenden FE-Vorhabens werden hierzu Systeme aufgeführt, durch die sich in Zukunft auch Unfälle mit Personal des Betriebsdienstes vermeiden lassen.

- Notbremssysteme für Lkw

Immer mehr Elektronik hält bei den Nutzfahrzeugen Einzug. So gehen nach RÖCKE (2006) aktuelle Forschungsvorhaben immer stärker dazu über, den Fahrer als Fehlerquelle auszuschließen. Ab 2006 soll z. B. für schwere Lkw ein Notbremssystem, als bereits hoch entwickelte Stufe eines Assistenzsystems, zur Verfügung stehen. Beim zu schnellen Annähern an ein vorausfahrendes Fahrzeug liefert eine Abstandsregelung Daten an ein Rechnersystem, das in mehreren Stufen – mit optischen und akustischen Warnsignalen in der Kabine, bei einer 30%-Bremsung sowie bei Vollbremsung mit

optischen und akustischen Warnsignalen nach außen – in den Fahrverlauf eingreift. Durch dieses Notbremssystem können folgenschwere Auffahrunfälle vermieden werden.

- Fahrspurüberwachung für Lkw

Von verschiedenen Herstellern der Kraftfahrzeugindustrie werden so genannte Spurassistenzsysteme angeboten. So kommt es bei langen und monotonen Strecken oder Nachtfahrten vor, dass die Aufmerksamkeit des Fahrers nachlässt oder Sekundenschlaf eintritt. Das „Lane Guard System“ (LGS) der Firma MAN – Nutzfahrzeuge (2006) überwacht das korrekte Einhalten der Fahrspur und sorgt so für erhöhte Sicherheit. Über eine Videokamera wird die Fahrbahnmarkierung erfasst und die Fahrzeugposition in Bezug auf die Fahrstreifenbegrenzung ausgewertet. Wird die Fahrbahnmarkierung ohne Betätigung der Blinker überfahren, wird der Fahrer durch ein seitenrichtiges „Nagelbandrattern“ aus dem linken oder rechten Türlautsprecher akustisch gewarnt. Das System aktiviert sich bei Geschwindigkeiten über 60 km/h automatisch, kann jedoch deaktiviert werden.

- Aufmerksamkeitsassistent

Laut „SPIEGEL ONLINE“ (2006) erprobt BMW ein System, das die Gefahr des Sekundenschlafs verringern soll. Der so genannte „Aufmerksamkeits-Assistent“ wurde in Zusammenarbeit mit der Universität Würzburg entwickelt und erkennt den Wachheitszustand des Fahrers. Hierzu ist eine Infrarotkamera auf die Augen gerichtet und misst die Geschwindigkeit und Häufigkeit des Lidschlags sowie den Öffnungsgrad der Augenlider. Der Grad der Müdigkeit wird dem Fahrer durch eine optische Anzeige mitgeteilt. Ziel des Forschungsprojektes ist, die aus der Ermüdung resultierenden Gefahren für die Sicherheit möglichst früh zu erkennen und zu verringern.

4 Unfallanalyse in Arbeitsstellen kürzerer Dauer

Im Rahmen des FE-Vorhabens werden Lösungsvorschläge für eine Verbesserung der Sicherheit in Arbeitsstellen bei konkreten Gefährdungssituationen erarbeitet. Besonderes Augenmerk liegt hierbei auf einer gezielten Detailuntersuchung der vorliegenden Randbedingungen sowie maßgebender Unfallmuster. Um ein repräsentatives Datenkollektiv

zu erhalten, werden auf Grundlage von Unfallprotokollen der Jahre 1997 bis 2005, bei denen Bedienstete, Fahrzeuge oder Geräte der Straßenbauverwaltungen zu Schaden kamen, alle relevanten Informationen in einer Unfalldatenbank (UDB) erfasst. Dabei konnten Meldungen aus den Bundesländern Baden-Württemberg, Bayern, Bremen, Hamburg, Hessen, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Saarland, Sachsen, Sachsen-Anhalt, Schleswig-Holstein und Rheinland-Pfalz berücksichtigt werden; aus dem Bundesland Berlin wurde mitgeteilt, es gebe keine Unfälle in AkD.

4.1 Aufbau der Unfalldatenbank

Der Aufbau der Unfalldatenbank setzt sich aus fünf Teilen zusammen. Im ersten Teil werden relevante Informationen zum Unfall erfasst. Neben Datum, Zeit und Ort werden die Anzahl der Unfallbeteiligten, die Unfallart sowie Angaben über Lichtverhältnisse, Straßenzustand und Witterung erfasst. Bei der Unfallschwere, d. h. Leicht- und Schwerverletzte sowie Getötete, wird nach verunglückten Verkehrsteilnehmern und verunglücktem Personal unterschieden. Weiter werden Informationen zum Verkehrsteilnehmer bzw. Unfallverursacher, d. h. Fahrzeugart (Pkw, Kleintransporter, Lkw bis bzw. über 7,5 t und Krad), erfasst. Bei bekannter Aufprallgeschwindigkeit kann auch diese eingegeben werden.

Der zweite Teil beinhaltet alle Informationen zum Unfallhergang. Neben dem Anprallpunkt (von hinten, seitlich, seitliches Streifen oder sonstiger Anprallpunkt) werden Angaben zur Unfallursache (z. B. Fahrfehler, nicht angepasste Geschwindigkeit, mangelnde Aufmerksamkeit) und zusätzliche Bemerkungen (z. B. schlechte Sicht) erfasst. Um den Unfallhergang auch im Nachhinein rekonstruieren zu können, sind die Beschreibungen aus den Unfallprotokollen (Unfallanzeigen) von großer Bedeutung. Diese enthalten mehr oder weniger ausführliche Angaben über den Unfallhergang selbst, aber auch über Art der Tätigkeit, gesperrte Fahrstreifen oder Besonderheiten der AkD etc. Diese werden, falls vorhanden, durch Bildmaterial, Regelpläne und Skizzen ergänzt.

Im dritten Teil der UDB werden Informationen über die Arbeitsstelle selbst erfasst. Neben der Fahrstreifenanzahl, Angaben zu vorhandenen Standstreifen und deren Breite werden auch Angaben zur Lage der AkD im Querschnitt, d. h. gesperrte Fahr-

streifen bzw. Standstreifen, in die UDB aufgenommen. Darüber hinaus werden die Anzahl der eingesetzten Absperrtafeln und Vorwarner sowie der eventuelle Einsatz des kleinen Blinkpfeils am Mittelstreifen erfasst. Zusätzliche Angaben über verwendete Regelpläne, Standstreifenmitbenutzung oder eine in Betrieb befindliche Verkehrsbeeinflussungsanlage können ergänzend erfasst werden.

Der vierte Teil beinhaltet Informationen über die Art der Arbeitsstelle, unterschieden in mobile und stationäre Arbeitsstelle sowie Nachtbaustelle. Weiter wird die Art der ausgeführten Tätigkeit erfasst, wie z. B. Bauliche Unterhaltung, Mäharbeiten, Reinigungsarbeiten, Streckenwartung und Sicherung bei Verkehrsunfällen. Angaben über die Anzahl und Art beschädigter Fahrzeuge des Betriebsdienstes bilden den fünften Teil (Anlage 1).

Hinweis:

Um die Übersichtlichkeit der folgenden Tabellen zu verbessern, sind die im Text angegebenen Werte und Zahlen in den dazugehörigen Tabellen „fett gedruckt“ dargestellt.

4.2 Statistische Auswertung der Unfalldatenbank

Die Unfalldatenbank umfasst insgesamt 1.150 Unfälle aus den Jahren 1996 bis Mitte 2006, von denen 199 Unfälle für die vorliegende Untersuchung nicht relevant sind (z. B. Unfälle vor 1997 (31), Winterdienstseinsätze (86), Unfälle außerhalb der BAB oder Fahrzeugschäden aufgrund Steinchlags). Somit stehen insgesamt 951 Unfälle für die anstehende Untersuchung zur Verfügung. Bei etlichen Unfallprotokollen sind die Angaben nicht immer vollständig verfügbar, z. B. bei der Anzahl der gesperrten Fahrstreifen, Anprallpunkt, Unfallverursacher oder Unfallursache. Dadurch ergaben sich in den einzelnen Betrachtungen relativ hohe Anteile fehlender bzw. unbekannter Angaben. In der Analyse wird bei allen unbekanntem Angaben davon ausgegangen, dass die Verteilung der z. B. x % Unfälle bezogen auf die bekannten Tätigkeiten gleichermaßen auch für die unbekanntem Tätigkeiten gilt.

Anhand der Unfalldaten wurden die Unfalldichten (UD) berechnet, die sich für die einzelnen Jahre ergeben. Sie wurden auf die jeweilige Bundesau-

tobahnnetzlänge der betrachteten Bundesländer bezogen. Hierzu ist anzumerken, dass für die Berechnung der Unfalldichte nur Daten aus Bundesländern verwendet wurden, bei denen der Forschungsnehmer davon ausgeht, dass die zur Verfügung gestellten Unfallprotokolle aus den einzelnen Jahren komplett sind. Diese repräsentieren rund 50 % des deutschen Autobahnnetzes sowie 2/3 aller Unfälle. In Anlage 2. ist die Anzahl der aus den Bundesländern zur Verfügung gestellten Unfallprotokolle dargestellt. Hieraus ergibt sich eine Unfalldichte zwischen 1,38 und 2,21 U/(100km*a). Werden diese Zahlen auf das gesamte deutsche Bundesautobahnnetz von 12.174 km (Stand 31.12. 2004) hochgerechnet, so ergibt dies ein Unfallaufkommen in AkD bei Unfällen mit Fahrzeugen bzw. Personal des Betriebsdienstes der Größenordnung zwischen 166 und 269 U/a für die Jahre 2000 bis 2005. Werden die Unfalldichten von ZIMMERMANN/MORITZ (2004), die aus den Unfallzahlen aus dem westfälischen Teil von NRW der Jahre 1998 bis 2002 ermittelt wurden, auf das damalige deutsche Autobahnnetz (Stand 31.12.2000: 11.712 km) hochgerechnet, so ergibt sich ein Unfallaufkommen von knapp 241 U/a, das im Bereich der hier ermittelten Spannweite liegt.

Aus der Betrachtung der Unfallanzahl und der Schwere der Unfallfolgen für das Straßenbetriebsdienstpersonal sowie der Verkehrsteilnehmer im Zeitraum von 1997 bis 2005 (Bild 22) lässt sich keine eindeutige Tendenz erkennen, da für die Jahrgänge vor 2000 nicht aus allen Bundesländern Unfallmeldungen vorliegen (vgl. Anlage 2). Bei den in diesem Zeitraum erfassten 932 Unfällen wurden

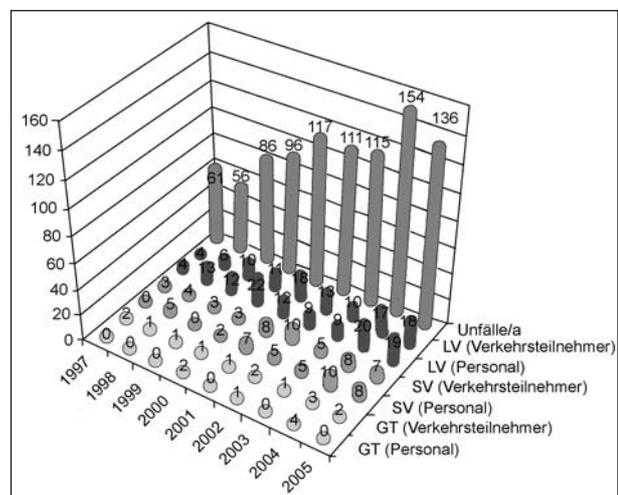


Bild 22: Anzahl der Unfälle und Verunglückten (Personal sowie Verkehrsteilnehmer) der Jahre 1997 bis 2005

21 Personen (7 Personal und 14 Verkehrsteilnehmer) getötet, 93 Personen (42 und 51) schwer und 227 Personen (120 und 107) leicht verletzt.

4.3 Auswertung der Unfallmuster

In Tabelle 5 ist die Auswertung hinsichtlich der Hauptunfallverursacher dargestellt. Werden diese Zahlen wiederum auf die Gesamtzahl aller 951 Unfälle bezogen, so wird deutlich, dass Lkw mit knapp 57 % (538 Unfälle) eindeutig Hauptunfallverursacher sind.

Rund 34 % wurden von Pkw (328 Unfälle) verursacht, Kleintransporter spielen mit rund 3 % (33 Unfälle) eher eine untergeordnete Rolle. Bei 48 Unfällen sind keine Angaben zum Unfallverursacher vorhanden. Nach FITSCHEN/KOSSMANN (2006) betrug der mittlere DTV-Wert im Jahr 2004 rund 49.800 Kfz/24h auf den BAB. Der Anteil des Schwerverkehrs lag bei etwa 15,4 % (7.600 Kfz/24h). Entsprechend ist die Verteilung der Unfallverursacher eindeutig zu Lasten der Lkw-Fahrer verschoben.

Werden die Anprallpunkte der Unfallverursacher analysiert (Tabelle 6), erfolgen ca. 24 % aller Unfälle durch Lkw, gegenüber ca. 28 % aller Unfälle

durch Pkw, von hinten. Auf gleichem Niveau liegen mit ca. 23 % Unfälle, bei denen durch Lkw ein seitliches Streifen auftrat. Alle weiteren Konstellationen weisen Anteile von weniger als 5 % auf. Werden diese Zahlen auf die einzelnen Unfallverursacher bezogen, so ist festzustellen, dass rund 43 % der durch Lkw, aber 81 % der durch Pkw verursachten Unfälle auf einen Anprall von hinten (z. B. auf Absperrtafeln) zurückzuführen sind, während ein seitliches Streifen bei Lkw mit rund 41 % gegenüber knapp 5 % bei Pkw achtmal häufiger vorkommt. Werden Kleintransporter näher betrachtet, so weisen diese ein ähnliches Muster wie die Pkw-Unfälle auf; bei ca. 79 % der Unfälle erfolgte ein Anprall von hinten und bei rund 15 % ein seitliches Streifen.

In Tabelle 7 ist die Verteilung der Art der Arbeitsstellen gegenüber der prozentualen Fahrstreifenverteilung bezogen auf das Bundesautobahnnetz 2006 (BMVBS, 2007) dargestellt. Hieraus ist ableitbar, dass Unfälle in stationären Arbeitsstellen fast doppelt so häufig auftreten wie in mobilen Arbeitsstellen (unabhängig von der Fahrstreifenanzahl). Weiterhin kann festgehalten werden, dass die Verteilung der Arbeitsstellen sowie die der Fahrstreifenanzahl gleiche Größenordnungen aufweisen und somit kein Zusammenhang zwischen Fahrstreifenanzahl bzw. Querschnitt und Anzahl der AkD-Unfälle erkennbar ist. Werden hingegen Unfälle betrachtet, bei denen sich die Verunglückten im bzw. außerhalb eines Fahrzeugs befanden, weist die Art der Arbeitsstellen bei Unfällen mit verunglückten Personen außerhalb des Fahrzeugs eine nahezu gleiche Verteilung auf (stationär 63 %, mobil 33 %). Anders zeigt sich das Verhältnis bei Unfällen mit Verunglückten im Fahrzeug (stationär 44 % und mobil 53 %). Hieraus folgt, dass das Risiko, in einem Fahrzeug zu verunglücken, bei mobilen AkD wesentlich höher ist als bei stationären AkD. In den Unfallprotokollen wer-

Fahrzeugart des Unfallverursachers	Unfälle	
	Gesamt	951
Pkw	328	34 %
Kleintransporter	33	3 %
Lkw	538	57 %
Motorrad	4	< 1 %
Unbekannt	48	5 %

Tab. 5: Fahrzeugart des Unfallverursachers

Unfallverursacher	Anprallpunkt				
	Unfälle	Anprall von hinten	Anprall seitlich	Seitliches Streifen	Sonstiger bzw. keine Angaben
Gesamt	951	548	72	252	79
	100 %	58 %	8 %	26 %	8 %
Pkw	328	28 %	2 %	2 %	3 %
Kleintransporter	33	3 %	< 1 %	< 1 %	< 1 %
Lkw	538	24 %	5 %	23 %	4 %
Motorrad	4	< 1 %	0 %	< 1 %	0 %
Unbekannt	48	3 %	0 %	1 %	1 %

Tab. 6: Unfallverursacher gegenüber Anprallpunkt (%-Angaben bezogen auf Gesamtunfallanzahl)

Fahrstreifenanzahl im Querschnitt sowie prozentualer Anteil der Fahrstreifenanzahl bezogen auf das Bundesautobahnnetz 2006	Gesamtanteil AkD	Art der Arbeitsstelle		
		Stationäre Arbeitsstelle	Mobile Arbeitsstelle	Unbekannt
Gesamtanzahl AkD-Unfälle	951	542	269	140
	100 %	57 %	28 %	15 %
weniger als 3 Fahrstreifen < 1 %	< 1 %	< 1 %	< 1 %	< 1 %
2 + 2 Fahrstreifen 75 %	72 %	40 %	20 %	12 %
3 + 3 Fahrstreifen 24 %	26 %	16 %	7 %	2 %
4 + 4 Fahrstreifen < 1 %	< 1 %	< 1 %	< 1 %	0 %

Tab. 7: Verteilung der Art der Arbeitsstelle gegenüber der Fahrstreifenanzahl im Querschnitt sowie dem prozentualen Anteil der Fahrstreifenanzahl bezogen auf das Bundesautobahnnetz 2006 (%-Angaben bezogen auf Gesamtanzahl AkD-Unfälle)

den insgesamt zehn Nachtbaustellen angegeben, bei denen weder Angaben zu der Art der Arbeitsstelle noch zu den durchgeführten Tätigkeiten vorliegen; diese wurden jeweils zur Spalte „Unbekannt“ hinzuaddiert. Die Betrachtung der insgesamt 7 Unfälle, bei denen eine Freigabe des Standstreifens erfolgte (Standstreifenmitbenutzung), weist keine Auffälligkeiten auf.

Rund 90 % der Unfälle ereigneten sich bei Tageslicht (856 Unfälle). Bei Dämmerung fanden etwas mehr als 1 % (13 Unfälle) und bei Dunkelheit ca. 7 % (68 Unfälle) statt. Bei 13 Unfällen fehlt die Angabe der Uhrzeit. Somit wird deutlich, dass die vorhandenen Lichtverhältnisse zur Unfallzeit i. d. R. als gut eingeschätzt werden können. Mögliche Einflüsse wie Blendung durch die Sonne oder Nebel wurden nicht ausgewertet bzw. überprüft. Da bei fast der Hälfte aller Unfälle keine Tätigkeiten bekannt sind, kann basierend auf den verfügbaren Daten kein Zusammenhang zwischen der Unfallanzahl, den Lichtverhältnissen und der ausgeführten Tätigkeit hergestellt werden.

Die in Bild 23 dargestellte Verteilung der Unfälle über die Wochentage spiegelt sehr gut die Arbeitswoche des Betriebsdienstes wieder. Um den Heimreiseverkehr zum Wochenende hin möglichst wenig zu beeinträchtigen, werden i. d. R. freitagnachmittags keine oder nur wenige AkD eingerichtet; dieser Zusammenhang ist deutlich an den zurückgehenden Unfallzahlen am Freitag zu erkennen. Aus den Unfallprotokollen geht ferner hervor, dass die an Samstagen und Sonntagen zu verzeichnenden Unfälle sich – nicht wie vielleicht zu erwarten – bei Pannen- oder Unfallstellenabsicherungen ereigneten, sondern vielmehr bei ganz alltäglichen Tätigkeiten des Betriebsdienstes; diese lassen jedoch aufgrund der geringen Datenlage keine Vergleiche zu den restlichen Wochentagen zu.

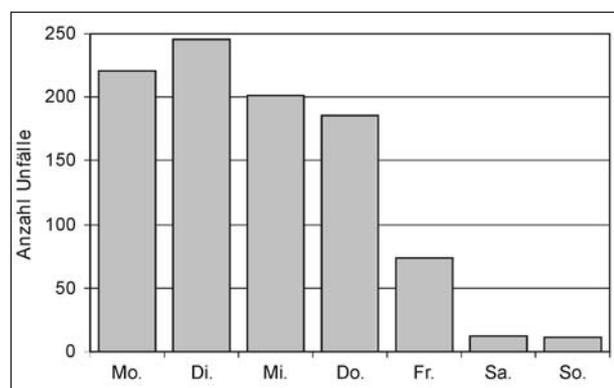


Bild 23: Verteilung der Unfälle über die Wochentage

Die Betrachtung von Unfallverursacher und Lage der AkD im Querschnitt (Tabelle 8), d. h. der Position der Absperrung auf dem Fahr- bzw. Standstreifen, zeigt, dass die meisten Unfälle auf dem Standstreifen (26 %) und rechten Fahrstreifen (18 %) durch Lkw verursacht werden. Auf dem linken Fahrstreifen hingegen liegt die Hauptlast beim Pkw (19 %). Bei gleichzeitiger Sperrung des linken und mittleren bzw. mittleren und rechten Fahrstreifens sind verhältnismäßig wenige Unfälle zu verzeichnen. Gleichwohl spiegelt sich in diesen Zahlen auch die Verteilung der Fahrzeuge über den Querschnitt wider. In der Regel fahren Lkw auf dem rechten Fahrstreifen, bei zweistreifigen BAB vereinzelt auch auf dem linken Fahrstreifen. Pkw hingegen verteilen sich auf den linken und rechten Fahrstreifen sowie bei dreistreifigen BAB auf den Mittelfahrstreifen. Werden auch hier Kleintransporter gesondert betrachtet, so weisen sie auf den relevanten Fahrstreifen ähnliche Werte wie Pkw auf.

Die Verteilung der betrachteten Unfälle in Bezug auf den Anprallpunkt (Tabelle 6) und die Lage der Absperrung im Querschnitt (Tabelle 8) in Verbindung mit den Verunglückten nach Tabelle 9 zeigt, dass das Risiko für das Betriebsdienstpersonal, bei

Unfallverursacher	Gesamtunfälle	Lage der Absperrung im Querschnitt						
		Linker Fahrstreifen	Linker und mittlerer Fahrstreifen	Mittlerer und rechter Fahrstreifen	Rechter Fahrstreifen	Standstreifen	Alle Fahrstreifen gesperrt	Unbekannt
Gesamt	951	223	8	3	240	315	7	155
Pkw	328	19 %	< 1 %	< 1 %	5 %	5 %	< 1 %	4 %
Kleintransporter	33	1 %	0 %	0 %	1 %	< 1 %	0 %	< 1 %
Lkw	538	3 %	< 1 %	0 %	18 %	26 %	< 1 %	9 %
Motorrad	4	0 %	< 1 %	0 %	< 1 %	< 1 %	0 %	0 %
Unbekannt	48	< 1 %	0 %	0 %	< 1 %	1 %	0 %	2 %

Tab. 8: Hauptunfallverursacher gegenüber Lage der Absperrung im Querschnitt (%-Angaben bezogen auf Gesamtunfallanzahl)

Verunglückte	Gesamt	Lage der Absperrung im Querschnitt							
		Linker Fahrstreifen	Linker und mittlerer Fahrstreifen	Mittlerer und rechter Fahrstreifen	Rechter Fahrstreifen	Standstreifen	Alle Fahrstreifen gesperrt	Neben der Fahrbahn	Unbekannt
Gesamtunfälle	951	223	8	3	240	315	7	2	153
Gesamt (Personal)	175	27	0	0	40	87	6	4	11
Gesamt (Verkehrsteilnehmer)	176	51	0	0	61	54	2	0	8
Getötete (Personal)	7	0 %	0 %	0 %	0 %	57 %	0 %	29 %	14 %
Schwerverletzte (Personal)	43	7 %	0 %	0 %	37 %	49 %	5 %	0 %	2 %
Leichtverletzte (Personal)	125	19 %	0 %	0 %	19 %	50 %	3 %	2 %	7 %
Getötete (Verkehrsteilnehmer)	14	7 %	0 %	0 %	50 %	36 %	0 %	0 %	7 %
Schwerverletzte (Verkehrsteilnehmer)	52	19 %	0 %	0 %	37 %	39 %	2 %	0 %	3 %
Leichtverletzte (Verkehrsteilnehmer)	110	36 %	0 %	0 %	32 %	26 %	1 %	0 %	6 %

Tab. 9: Verunglückte gegenüber der Lage der Absperrung im Querschnitt (% bezogen auf die Gesamtverunglückten beim Personal bzw. den Verkehrsteilnehmern)

Arbeiten auf dem Stand- und rechten Fahrstreifen durch einen Lkw zu verunfallen, größer ist als auf dem mittleren bzw. linken Fahrstreifen. Im Gegensatz hierzu ist das Risiko, durch einen Pkw zu verunfallen, auf dem linken Fahrstreifen am größten; die Werte für den rechten Fahr- und Standstreifen sind deutlich kleiner. Weiterhin wird aus Tabelle 9 ersichtlich, dass die Unfallschwere auf dem Standstreifen eindeutig zu Lasten des Personals geht, gegenüber den Verkehrsteilnehmern, bei denen dies hauptsächlich auf dem rechten Fahrstreifen der Fall ist. Grund hierfür ist die eindeutig höhere kinetische Energie, die bei einem Aufprall eines Lkw auf ein Hindernis freigesetzt wird. Da Pkw zwar i. d. R. höhere Geschwindigkeiten, aber bei einem Auf-

prall wesentlich geringere kinetische Energien aufweisen, kommt es hierbei eher zu Verletzungen bei den Verkehrsteilnehmern (linker Fahrstreifen) als beim Personal. Es ist anzumerken, dass die Gesamtzahl der verunglückten Personen leicht von den Zahlen der Verunglückten (Bild 22) abweicht, da für diese Betrachtung alle verfügbaren 951 Unfälle aus den Jahren 1997 bis Mitte 2006 herangezogen wurden.

Zum Vergleich sind in Anlage 3 in Abhängigkeit des Hauptunfallverursachers Lkw die Anzahl an Verunglückten sowie deren prozentuale Verteilung bezogen auf die Verunglückten aufgeführt. Auffällig ist hierbei, dass von insgesamt 175 Verunglückten des

Hauptunfallverursacher Lkw		Gesamtunfälle	Lage der Absperrung im Querschnitt						
			Linker Fahrstreifen	Linker und mittlerer Fahrstreifen	Mittlerer und rechter Fahrstreifen	Rechter Fahrstreifen	Standstreifen	Alle Fahrstreifen gesperrt	Unbekannt bzw. neben der Fahrbahn
Gesamt		538	24	3	0	169	249	4	89
		100 %	5 %	< 1 %	0 %	31 %	46 %	< 1 %	17 %
Anprallpunkt	Anprall von hinten	229	15	1	0	111	65	3	34
		42 %	3 %	< 1 %	0 %	21 %	12 %	< 1 %	6 %
	Anprall seitlich	53	4	1	0	18	28	0	2
		10 %	< 1 %	< 1 %	0 %	3 %	5 %	0 %	< 1 %
	Seitliches Streifen	219	4	0	0	37	152	0	25
		41 %	< 1 %	0 %	0 %	7 %	28 %	0 %	5 %
	Sonstiger bzw. Unbekannt	41	1	1	0	5	4	1	28
		7 %	< 1 %	< 1 %	0 %	< 1 %	< 1 %	< 1 %	5 %

Tab. 10: Gegenüberstellung Hauptunfallverursacher Lkw, Anprallpunkt und Lage der Absperrung im Querschnitt (%-Angaben bezogen auf die Gesamtanzahl von Lkw-Unfällen)

Betriebsdienstpersonals 126 Personen (72 %) bei einem Unfall durch einen Lkw verunglückten, gegenüber 176 zu 84 (rund 48 %) verunglückten Verkehrsteilnehmern. Die Betrachtung der Unfälle auf dem Standstreifen zeigt deutlich, dass hier insbesondere Personal zu Schaden kommt, andererseits auf dem rechten Fahrstreifen hauptsächlich Verkehrsteilnehmer betroffen sind. In Tabelle 10 ist der Hauptunfallverursacher Lkw gegenüber dem Anprallpunkt und der Lage der Absperrung im Querschnitt dargestellt. Hieraus ist abzuleiten, dass ein Anprall von hinten hauptsächlich auf dem rechten Fahrstreifen erfolgt (ca. 21 %) gegenüber 12 % auf dem Standstreifen. Erfolgt ein seitliches Streifen von Fahrzeugen oder Geräten, findet dieses überwiegend auf dem Standstreifen statt (ca. 28 %). Werden diese beiden Anprallmöglichkeiten, die mit jeweils rund 40 % gleich oft erfolgen, auf die von Lkw verursachten Unfälle bezogen, so wird deutlich, dass diese einen Anteil von über 4/5 aller Lkw-Unfälle darstellen. Werden hingegen die Pkw als Hauptunfallverursacher betrachtet, so erfolgen knapp die Hälfte aller Pkw-Unfälle auf dem linken Fahrstreifen und ca. 14 % auf dem rechten Fahrstreifen mit einem Anprall von hinten. So ist bei insgesamt 4/5 aller Pkw-Unfälle allein ein Anprall von hinten zu verzeichnen.

Die Betrachtung der Hauptunfallverursacher und der genannten Unfallursachen zeigt, dass hauptsächlich mangelnde Aufmerksamkeit (ca. 62 %) aller Nennungen, Fahrfehler (ca. 13 %) und nicht angepasste Geschwindigkeit (ca. 9 %) als Unfallursache angegeben werden. Tendenziell treten Fahrfehler und nicht angepasste Geschwindigkeit bei Pkw und Kleintransportern häufiger auf. Diese sind zum einen darauf zurückzuführen, dass Pkw

im Gegensatz zu Lkw keine Drosselung ihrer maximal erzielbaren Geschwindigkeit haben, und zum anderen darauf, dass es sich bei den meisten Lkw-Fahrern um Berufskraftfahrer handelt, die wesentlich mehr Fahrpraxis im Vergleich zu den Pkw-Fahrern aufweisen. Allen gemein ist der hohe Anteil an mangelnder Aufmerksamkeit als Auslöser für einen Unfall. Hierbei ist allerdings zu vermuten, dass die Angabe „mangelnde Aufmerksamkeit“ relativ häufig von den Polizeibeamten vor Ort als Unfallursache angegeben wird, wenn keinerlei weitere Indizien für eine andere Unfallursache sprechen.

Unter der Unfallursache „Sonstige“ wurden auch die Unfälle zusammengefasst, die auf Übermüdung der Fahrer zurückgeführt wurden (12 Unfälle). Diese wurden, bis auf einen Unfall, durch einen Lkw ausgelöst. Nach EVERS/AUERBACH (2006) (vgl. Kapitel 3.1) kann jedoch eine mangelnde Aufmerksamkeit in sehr vielen Fällen auf eine Übermüdung des Fahrers oder Sekundenschlaf zurückgeführt werden, sodass vermutlich ein sehr hoher Anteil an Unfällen, die durch Lkw aufgrund mangelnder Aufmerksamkeit hervorgerufen werden, auch auf Übermüdung zurückzuführen sind. Nur bei 14 Unfällen war Alkoholkonsum als Unfallursache aufgeführt. Bei rund 45 % aller Unfälle sind keine Angaben zur Unfallursache vorhanden. Weiterhin ist anzumerken, dass in den Protokollen Mehrfachnennungen der Unfallursachen möglich waren.

Eine Übersicht der verunglückten Personen des Betriebsdienstes hinsichtlich der Frage, ob sich die Person im oder außerhalb eines Fahrzeuges befindet, bezogen auf die Lage der Absperrung im Querschnitt, stellt Tabelle 11 dar. Nicht unbedingt

Verunglückte Personen des Betriebsdienstes		Gesamt	Lage der Absperrung im Querschnitt								
			Linker Fahrstreifen	Linker und mittlerer Fahrstreifen	Mittlerer und rechter Fahrstreifen	Rechter Fahrstreifen	Standstreifen	Alle Fahrstreifen gesperrt	Neben der Fahrbahn	Unbekannt	
Gesamtverunglückte		168	26	0	0	42	83	6	4	7	
		100 %	15 %	0 %	0 %	25 %	49 %	4 %	2 %	4 %	
Aufenthaltssort	im Fahrzeug	Gesamtunfallanzahl	101	12	0	0	29	53	1	1	5
		Getötete	1 (1 %)	0 %	0 %	0 %	0 %	1 %	0 %	0 %	0 %
		Schwerverletzte	28 (17 %)	0 %	0 %	0 %	9 %	7 %	1 %	0 %	0 %
		Leichtverletzte	99 (59 %)	8 %	0 %	0 %	13 %	30 %	2 %	1 %	4 %
	außerhalb Fahrzeug	Gesamtunfallanzahl	18	5	0	0	3	8	0	2	0
		Getötete	4 (2 %)	0 %	0 %	0 %	0 %	1 %	0 %	1 %	0 %
		Schwerverletzte	15 (9 %)	2 %	0 %	0 %	2 %	5 %	0 %	0 %	0 %
		Leichtverletzte	20 (12 %)	5 %	0 %	0 %	1 %	5 %	0 %	1 %	0 %

Tab. 11: Verunglückte Personen des Betriebsdienstes (im oder außerhalb Fahrzeug) gegenüber Lage der Absperrung im Querschnitt (% bezogen auf die Gesamtverunglückten beim Personal)

erwartbar ist der Anteil von fast 80 % verunglückter Personen im Fahrzeug einschließlich 59 % Leichtverletzter. Demgegenüber liegt die Anzahl an getöteten Personen bei Unfällen, bei denen sich Personen außerhalb eines Fahrzeugs aufhielten, etwas höher. Einen hohen Anteil an schweren Verletzungen (rund 17 %) weisen Personen, die sich im Fahrzeug befanden, gegenüber rund 9 % der Verunglückten, die sich außerhalb eines Fahrzeuges befanden, auf. So liegt das Verletzungsrisiko in einem Fahrzeug höher als außerhalb eines Fahrzeuges. Bei sieben Verunglückten sind keine Angaben zum Aufenthalt der verunglückten Person vorhanden. In stationären AkD erfolgten 42, in mobilen AkD 54 Unfälle. Somit hätten immerhin rund 40 % der in einem Fahrzeug Verunglückten vermieden werden können, hätten diese sich zum Unfallzeitpunkt außerhalb des Fahrzeugs aufgehalten.

Tabelle 12 zeigt die Anzahl der Unfälle in Abhängigkeit der durchgeführten Tätigkeiten. Bei nur knapp 64 % aller Unfälle (610 Unfälle) sind Angaben zu den Tätigkeiten vorhanden, d. h., dass ein Drittel der durchgeführten Tätigkeiten unbekannt ist. Relativ häufig ereigneten sich Unfälle bei der baulichen Unterhaltung (21 %), Mäh- (19 %) und Reinigungsarbeiten (24 %). Erwartungsgemäß kam es bei Markierungsarbeiten und Schutzplankenreparaturen zu relativ wenigen Unfällen, was darauf zurückzuführen ist, dass diese Tätigkeiten i. d. R. an Dritte (Fremdfirmen) vergeben werden.

Tabelle 13 zeigt, dass Lkw bzw. Geräteträger sowie Sicherungsanhänger die Fahrzeuge und Geräte sind, die mit großem Abstand am häufigsten be-

Ausgeführte Tätigkeiten	Anzahl Unfälle bei bekannter Tätigkeit	
Gesamt	610	100 %
Absicherung Fremdfirmen	31	5 %
Bauliche Unterhaltung	125	21 %
Gehölzpflege	39	6 %
Mäharbeiten	113	19 %
Markierungsarbeiten	16	2 %
Reinigungsarbeiten	143	24 %
Schutzplankenreparaturen	14	2 %
Sicherung Pannenfahrzeuge	11	2 %
Sicherung von Unfallstellen	42	7 %
Streckenwartung	32	5 %
Wartungsarbeiten	16	3 %
Sonstige Tätigkeiten	28	4 %

Tab. 12: Anzahl der Unfälle bei bekannter Tätigkeit (%-Angaben bezogen auf die Gesamtanzahl der genannten Tätigkeiten)

Beschädigte Fahrzeuge und Geräte der Straßenbauverwaltung	Anzahl	Prozentuale Verteilung bezogen auf die Gesamtunfälle (951 Unfälle)
Lkw und Geräteträger	591	62 %
Kehrmaschine	45	5 %
Vorwarntafel	31	3 %
Sicherungsanhänger	578	61 %
Mannschaftswagen	32	3 %
Pkw	32	3 %
Sonstige	25	3 %

Tab. 13: Beschädigte Fahrzeuge und Geräte (%-Angaben bezogen auf die Gesamtunfallanzahl)

schädigt werden. So ist der Anteil an beschädigten Lkw bzw. Geräteträgern sowie Sicherungsanhän-

gern mit jeweils ca. 2/3, bezogen auf die Gesamtunfallanzahl, etwa gleich hoch. Auffällig ist hier, dass Kehrmaschinen mit 45 Beschädigungen einen noch relativ hohen Anteil (5 %) haben.

Nahezu 90 % aller Kehrmaschinen wurden beim Einsatz auf dem Standstreifen beschädigt. Seitliches Streifen tritt hierbei bei über der Hälfte aller Kehrmaschinenunfälle auf, der Anteil „Anprall von hinten“ beträgt hingegen nur knapp über 1/4. Von den Bundesländern Bayern und Nordrhein-Westfalen wurden Daten zur Standstreifenverfügbarkeit sowie -breiten aus den entsprechenden Straßeninformationsbanken (SIB) zur Verfügung gestellt. Nach Möglichkeit wurden die relevanten Unfälle, d. h. Unfälle bei Sperrung des Standstreifens und beschädigter Kehrmaschine, den betreffenden Streckenabschnitten zugeordnet.

Aus Bayern konnten lediglich 2 von 4 Unfällen, bei denen es ausschließlich zu einem seitlichen Streifen der Kehrmaschinen kam, in Bezug zur Standstreifenbreite gesetzt werden. Die ermittelte verfügbare Breite (b_{ver}) setzt sich aus der Standstreifen – inklusive Trennstreifenbreite abzüglich der Breite der Fahrstreifenmarkierung (0,30 m) zusammen und beträgt jeweils 3,00 m. In Nordrhein-Westfalen sind insgesamt 16 Unfälle mit Kehrmaschinen bei Sperrung des Standstreifens zu verzeichnen; eine Zuordnung ist bei 13 Unfällen möglich. Die Auswertung ergab, dass bei 8 Unfällen die verfügbare Breite (b_{ver}) 2,70 m bzw. 2,75 m und bei 5 Unfällen $b_{\text{ver}} = 2,95$ m betragen. Hierbei kam es bei 3 Unfällen (2 Unfälle, $b_{\text{ver}} = 2,70$ m; 1 Unfall $b_{\text{ver}} = 2,95$ m) zu einem seitlichen Anprall auf die Kehrmaschine. Bis auf einen Unfall, bei dem es zu einem Anprall von hinten kam ($b_{\text{ver}} = 2,95$ m), wurde die Kehrmaschine seitlich gestreift (9 Unfälle). Bei rund der Hälfte dieser 15 betrachteten Unfälle wird eine mangelnde Aufmerksamkeit der Lkw-Fahrer als Unfallursache aufgeführt; allerdings ist bei 1/3 dieser Unfälle die Unfallursache unbekannt.

Bei einer anzunehmenden Kehrmaschinenbreite von 2,50 m (max. zul. Fahrzeugbreite nach StVZO 2,55 m) und unter der Annahme, dass die Kehrmaschine zum Unfallzeitpunkt mittig auf der verfügbaren Breite fuhr, schwankt deren Abstand zur Fahrstreifenmarkierung in Abhängigkeit der verfügbaren Breite zwischen 0,10 bis 0,25 m. Würde die Fahrbahnmarkierung als zusätzlicher „Sicherheitsabstand“ angerechnet, so stehen zwischen Kehrmaschine und Verkehrsteilnehmer auf dem rechten Fahrstreifen 0,40 bis 0,55 m zur Verfügung. Relativ

zahlreich kann auf BAB beobachtet werden, dass Lkw-Fahrer mit den rechten Rädern nicht links, sondern rechts neben der Fahrstreifenmarkierung, d. h. auf dem Trenn- bzw. Standstreifen, fahren; diese somit als „Orientierungslinie bzw. -hilfe“ nutzen. Aber auch unbeabsichtigt kommen Lkw vom eigenen, rechten Fahrstreifen ab. Mögliche Ursachen könnten Änderungen der Fahrbahnquerneigung, Annäherung an Kurvenbereiche und/oder mangelnde Aufmerksamkeit sein. In solchen Fällen können die oben ermittelten Abstände als nicht ausreichend bewertet werden; generell gilt dies für alle Unfälle, bei denen der Standstreifen gesperrt wurde und es zu einem seitlichen Anprall oder Streifen kam. Hinsichtlich des Einsatzes von Kehrmaschinen, die i. d. R. durch kein Sicherungsfahrzeug abgesichert werden, ist bei Absicherung durch ein zusätzliches Sicherungsfahrzeug zu erwarten, dass i. d. R. dann hauptsächlich dieses (Absperrtafel) und nicht die vorausfahrende Kehrmaschine beschädigt wird.

Bei 343 Unfällen wurden weder Sicherungsanhänger (Absperrtafeln) noch Vorwarntafeln beschädigt, d. h., der Unfallverursacher muss zuerst an der Vorwarntafel und am Sicherungsanhänger vorbeigefahren sein, bevor es zu einem Anprall kam. Auch hier weist der Lkw als Hauptunfallverursacher Auffälligkeiten auf. So wurden 247 Unfälle durch Lkw verursacht (72 %). Hierbei trat mit rund 42 % „seitliches Streifen“ am häufigsten auf. Ein „Anprall von hinten“, was einem „Einfahren in die Arbeitsstelle“ gleichzusetzen ist, tritt nur in rund 17 % der verursachten Unfälle auf; knapp 12 % durch Pkw. Weiterhin war bei fast 2/3 aller Lkw-Unfälle der Standstreifen gesperrt. Dies deutet auf ein „Abkommen vom Fahrstreifen“ nach rechts, also vom rechten Fahrstreifen Richtung Standstreifen, hin. Pkw hingegen zeigen unterschiedliche Unfallmuster auf. Bei etwas über 5 % war der linke Fahrstreifen gesperrt; also ein Einfahren vom rechts liegenden Fahrstreifen aus. War jedoch der Standstreifen gesperrt, kam es bei 7 % der hier betrachteten Pkw zu einem Unfall; bei Sperrung des rechten Fahrstreifens bei rund 4 %. Mögliche Ursachen können anhand der Unfallprotokolle jedoch nicht erkannt werden.

Wie aus Tabelle 14 hervorgeht, wurden bei der baulichen Unterhaltung rund 34 % der sich im Fahrzeug befindlichen Personen leicht verletzt, gegenüber knapp 12 %, die sich außerhalb eines Fahrzeugs befanden. Allerdings sind der Anteil an Getöteten oder Schwerverletzten sowie die Unfallschwere bei Personen, die sich hierbei außerhalb eines Fahr-

Verunglückte Personen des Betriebsdienstes		Gesamt	Durchgeführte Tätigkeiten						Unbekannt	
			Reini- gungs- arbeiten	Bauliche Unter- haltung	Mäh- arbeiten	Strecken- wartung	Gehölz- pflege	Sonstige und Tätigkeiten mit geringen Anteilen		
Gesamtverunglückte		172	44	32	31	12	3	16	34	
		100 %	26 %	18 %	18 %	7 %	2 %	9 %	20 %	
Aufenthaltort	im Fahrzeug	Gesamtunfallanzahl	103	25	16	19	9	2	10	22
		Getötete	1 (< 1 %)	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	3 %
		Schwerverletzte	28 (17 %)	15 %	16 %	16 %	8 %	0 %	25 %	20 %
		Leichtverletzte	99 (58 %)	57 %	34 %	65 %	84 %	100 %	50 %	65 %
	außerhalb Fahrzeug	Gesamtunfallanzahl	24	7	8	3	1	0	3	2
		Getötete	4 (2 %)	0 %	12 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
		Schwerverletzte	15 (9 %)	9 %	26 %	0 %	0 %	0 %	19 %	0 %
		Leichtverletzte	24 (14 %)	18 %	12 %	19 %	8 %	0 %	6 %	12 %

Tab. 14: Verunglückte des Betriebsdienstpersonals, unterschieden nach Verunglückte, die sich im oder außerhalb des Fahrzeugs befanden, gegenüber der durchgeführten Tätigkeit (%-Anteile bezogen auf Gesamtverunglückten je Tätigkeit)

zeugs aufhielten, auffällig hoch. Außergewöhnlich hoch ist der Anteil an Leichtverletzten bei der Streckenwartung von 84 %, wenn sich die Personen im Fahrzeug befanden. Tendenziell liegt die Unfallschwere bei Personen, die sich außerhalb eines Fahrzeugs aufhielten, höher, jedoch verunglückten die meisten Personen bei Tätigkeiten, bei denen sich die Verunglückten im Fahrzeug befanden. So sind knapp 58 % der Gesamtverunglückten, die sich zum Unfallzeitpunkt im Fahrzeug befanden, Leichtverletzte. Es ist anzumerken, dass bei neun Verunglückten keine Angaben zum Aufenthaltsort vorliegen und so die Verunglücktenanzahl von den insgesamt 181 Verunglückten des Betriebsdienstpersonals abweicht. Unter „Sonstige und Tätigkeiten mit geringen Anteilen“ wurden die Tätigkeiten Markierungsarbeiten, Absicherung für Fremdfirmen, Sicherung bei Pannen und von Unfallstellen, Schutzplanckenreparaturen, Wartungsarbeiten sowie sonstige Tätigkeiten zusammengefasst.

Ein Vergleich der Verunglückten bezogen auf die Unfallanzahl bei bekannter Tätigkeit nach Anlage 4. weist bei der Streckenwartung und allgemeinen Wartung mit jeweils 38 % ein deutlich höheres Gefährdungspotenzial als bei Reinigungs- (31 %) und Mäharbeiten (25 %) sowie der Baulichen Unterhaltung (26 %) auf. Geringer hingegen erscheint das Risiko, in einer AkD zu verunglücken, bei der Sicherung bei Pannen (9 %), der Gehölzpflege (8 %) und der Absicherung für Fremdunternehmen (6 %). Im Schnitt liegt der Anteil von Verunglückten bezogen auf die Gesamtunfallanzahl bei bekannter Tätigkeit bei 22 %. Bei Schutzplanckenreparaturen

und der Sicherung von Unfällen sind keine Verunglückten, sondern ausschließlich Sachschäden zu verzeichnen. Dies kann auch darauf zurückgeführt werden, dass hierbei nur Sicherungsarbeiten durch die Autobahnmeistereien übernommen werden. Ferner ist anzumerken, dass Schutzplanckenreparaturen und Markierungsarbeiten i. d. R. an Fremdfirmen vergeben werden und folglich deren Anteil am Gesamttätigkeitsaufkommen (GTA) relativ gering ist.

4.4 Berücksichtigung der Verkehrsbelastungen

Im Folgenden werden einzelne bereits durchgeführte Auswertungen nochmals unter Berücksichtigung der Verkehrsbelastungen betrachtet. Hierzu wurde die Unfalldatenbank basierend auf dem Autobahnverzeichnis 2004 (KÜHNEN, 2005) und der Straßenverkehrszählung 2000 (LENSING, 2003) in Abhängigkeit der Autobahn-, Kilometer- und Fahrtrichtungsangaben um die DTV- und DTV_{SV}-Werte sowie die Ganglinientypen ergänzt; fehlende Angaben wurden sinngemäß ergänzt. Die Zuordnung der DTV-Werte erfolgte über die in den Unfallprotokollen vorhandenen Angaben (Autobahn, Unfallkilometer, Uhrzeit, Fahrtrichtung und Fahrstreifenanzahl). Die 24-Stunden-Verteilung der DTV_{SV}-Werte wurde anhand einer typischen Schwerverkehrs-Ganglinie vorgenommen. Hieraus wurden die Verkehrsbelastung und die DTV_{SV}-Werte pro Fahrstreifen und Stunde ($DTV/(FS \cdot h)$ bzw. $DTV_{SV}/(FS \cdot h)$) der freien Fahrstreifen berechnet.

Bei 75 % aller Unfälle (715 Unfällen) konnten die entsprechende DTV-Zuweisung und -Berechnung erfolgen. Bei den restlichen 25 % fehlten zum einen erforderliche Angaben wie z. B. Unfallkilometer, Uhrzeit oder Fahrtrichtung, zum anderen wurden nur für diejenigen BAB DTV- und DTV_{SV} -Werte sowie Ganglinientypen in der Unfalldatenbank hinterlegt, bei denen die meisten Unfälle zu verzeichnen waren. Weiterhin wurden die in den Unfallprotokollen angegebenen Fahrstreifenanzahlen mit den in der Straßenverkehrszählung 2000 aufgeführten Fahrstreifenanzahlen verglichen. Bei 131 Unfällen (18 % von 715 Unfällen) wurde hierbei ein Widerspruch festgestellt. Diese Widersprüche lassen sich teilweise darauf zurückzuführen, dass für die Auswertungen generell die Fahrstreifenanzahl aus den Unfallprotokollen entnommen wurde und diese durch Umbaumaßnahmen nicht mehr dem heutigen Stand entsprechen könnte. Bei 23 Unfällen wurde der theoretische Wert von 1.800 Fahrzeugen pro Fahrstreifen und Stunde ($Fz/(FS \cdot h)$), ab dem es zu einem Stauereignis kommen kann, überschritten. Aufgrund der geringen Anzahl von Überschreitungen flossen auch diese 131 Unfälle, bei denen ein Widerspruch zwischen den Fahrstreifenanzahlen vorliegt, in die Betrachtung mit ein.

In Bild 24 (links) ist die Verteilung der Unfälle bezogen auf den DTV, rechts bezogen auf den DTV_{SV} dargestellt. Hieraus geht hervor, dass sich 50 % der betrachteten Unfälle bei einer Verkehrsbelastung von unter 800 $Fz/(FS \cdot h)$, 95 % bei einem DTV von < 1.800 $Fz/(FS \cdot h)$ ereigneten und somit bei fast allen Unfällen davon ausgegangen werden kann, dass es dort zu keinen Stauereignissen kam. Der theoretische Wert von 1.800 $Fz/(FS \cdot h)$ wird bei 37 Unfällen (rund 5 % der 715 Unfälle) relativ knapp überschritten, was teilweise darauf zurückgeführt werden könnte, dass DTV-Werte und Ganglinienty-

pen vom Forschungsnehmer sinnvoll ergänzt und diese eventuell zu hoch angesetzt wurden. So reduziert sich die Anzahl von Unfällen mit Überschreitungen bei 2.100 $Fz/(FS \cdot h)$ auf 14 Unfälle (2 %); bei > 3.000 $Fz/(FS \cdot h)$ auf 2 Unfälle.

Der in Bild 25 dargestellte DTV_{SV} -Anteil [%] bezieht sich auf den ermittelten DTV pro Fahrstreifen und Richtung. Demzufolge erfolgten 50 % der betrachteten Unfälle bei einem Schwerverkehrsanteil von $\leq 16\%$; 95 % der Unfälle bei $\leq 30\%$ DTV_{SV} -Anteil/ $(FS \cdot h)$. Anteile von über 30 % DTV_{SV} treten bis auf einen von insgesamt 34 Unfällen zwischen 22:30 und 5:00 Uhr, Werte bis 16 % von 5:00 bis 22:45 Uhr auf (364 Unfälle). Bei immerhin knapp der Hälfte (317 Unfälle) schwankt der DTV_{SV} -Anteil über den Tag verteilt zwischen 16 und 30 %.

Die Betrachtung der Verteilung der Art der Arbeitsstelle weist bezogen auf den DTV pro Fahrstreifen und Stunde keine signifikanten Unterschiede auf (Bild 26). Demzufolge können keine Abhängigkeiten zwischen Art der Arbeitsstelle, DTV und Unfallanzahl abgeleitet werden. Somit kann das Gefähr-

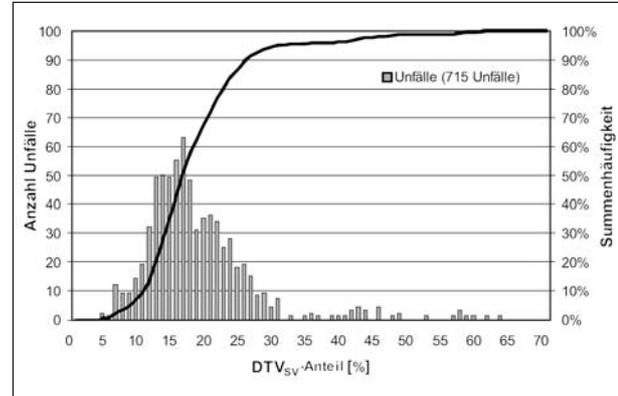


Bild 25: Verteilung der Unfälle bezogen auf den DTV_{SV} -Anteil [%] pro Fahrstreifen und Stunde

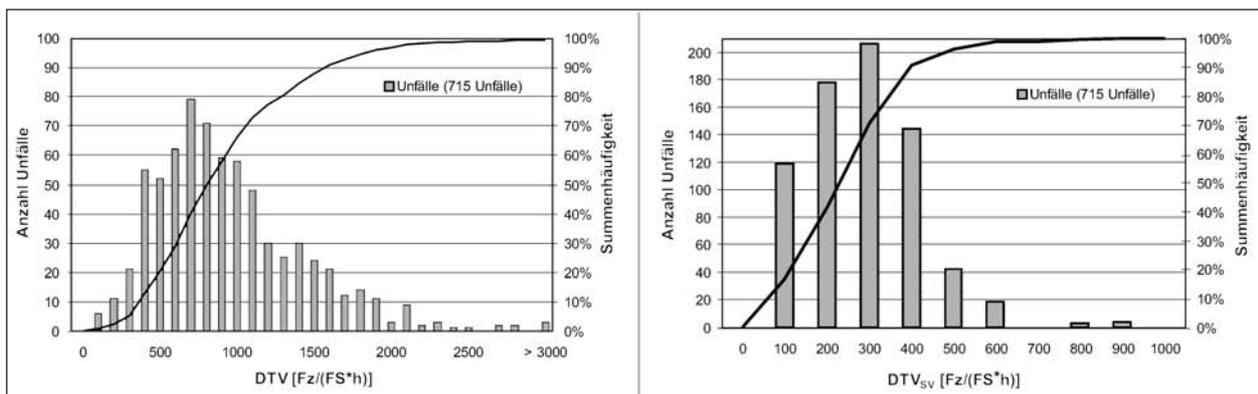


Bild 24: Verteilung der Unfälle bezogen auf den DTV (links) und DTV_{SV} (rechts) pro Fahrstreifen und Stunde

dungsrisiko für das Personal in Abhängigkeit des DTV sowohl bei mobilen als auch stationären Arbeitsstellen als gleich hoch angesehen werden.

Wie Bild 27 zeigt, ereigneten sich bei Sperrung des linken Fahrstreifens rund 90 %, bei gesperrtem rechten Fahr- 95 % und gesperrtem Standstreifen 100 % der betrachteten Unfälle bei einer Verkehrsbelastung unter 1.800 Fz/(FS*h). Während sich bei gesperrtem linken bzw. rechten Fahrstreifen der Bereich der Verkehrsbelastung zwischen 100 und > 2.200 Fz/(FS*h) bewegt, ist bei Sperrung des Standstreifens die Obergrenze bei rund 1.600 Fz/(FS*h) erreicht. Dazu ist zu bemerken, dass bei Sperrung des Standstreifens kein Eingriff in den Verkehrsablauf erfolgte, d. h., dass alle Fahrstreifen zur Verfügung standen. Laut Tabelle 7 sind rund 75 % des BAB-Netzes vierstreifig ausgebaut, d. h., dass zwei Fahrstreifen je Richtung vorhanden sind. Demzufolge kann davon ausgegangen werden,

dass in den Fällen, in denen nur der Standstreifen gesperrt war, sich die Fahrzeuge auf zwei freie Fahrstreifen verteilen konnten und somit der hieraus folgende DTV-Wert pro Fahrstreifen und Richtung entsprechend niedriger ist, als wenn einer der Fahrstreifen gesperrt gewesen wäre.

In Bild 28 ist die Unfallanzahl bezogen auf die Verkehrsbelastung und Uhrzeit dargestellt. Der Verlauf „Unfallanzahl“ spiegelt sehr gut den Arbeitstag des Betriebsdienstes wider. So ereigneten sich die meisten Unfälle zwischen 7:00 und 16:00 Uhr (829 Unfälle; 87 % aller Unfälle); von 22:00 bis 6:00 Uhr 70 Unfälle (ca. 7 %). Neben einer gut erkennbaren Mittagspause ist auch ein Anstieg der Unfallzahlen zwischen 22:00 und 2:00 Uhr erkennbar. Die trotz relativ hoher DTV-Werte geringen Unfallzahlen zwischen 17:00 und 22:00 Uhr können darauf zurückgeführt werden, dass in dieser Zeit verhältnismäßig wenige AkD eingerichtet werden.

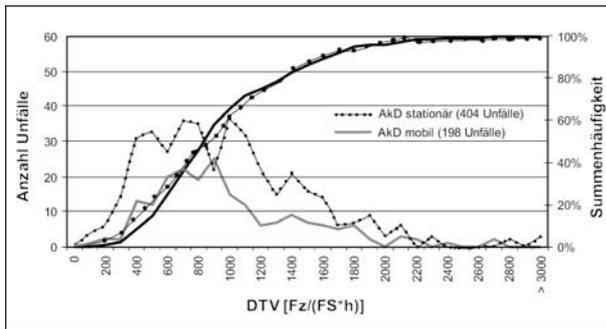


Bild 26: Verteilung der Art der Arbeitsstelle bezogen auf den DTV pro Fahrstreifen und Stunde

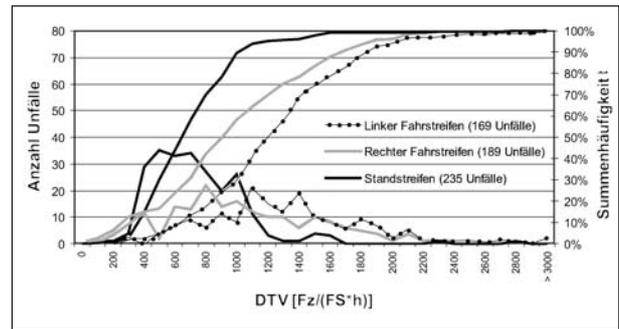


Bild 27: Verteilung der Lage der Absperrung im Querschnitt bezogen auf den DTV pro Fahrstreifen und Stunde

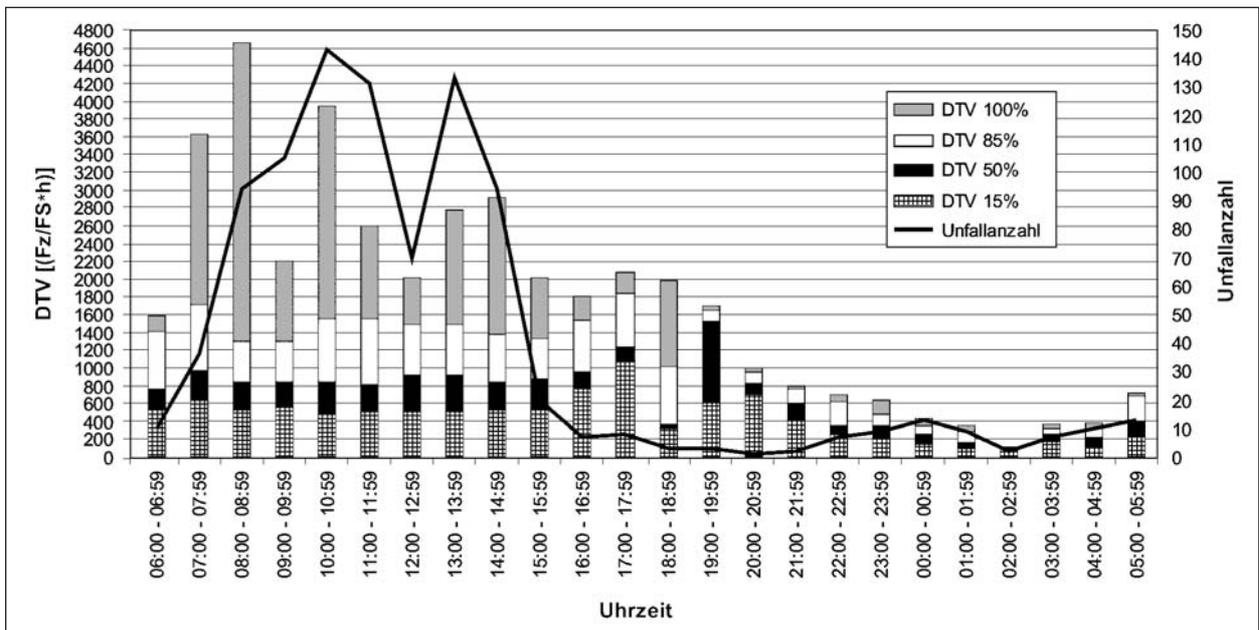


Bild 28: Verteilung der Unfälle bezogen auf den DTV pro Fahrstreifen und Stunde sowie in Abhängigkeit der Uhrzeit

Weiterhin ist als Hauptunfallverursacher der Lkw zu nennen, der zu den erwähnten Uhrzeiten den größten Anteil von Unfällen verursachte. Auch hier wird deutlich, dass sich 85 % der Unfälle bei einem DTV zwischen knapp 800 und 1.600 Fz/(FS*h) ereigneten und somit von freien bzw. teilgebundenen Verkehrsverhältnissen ausgegangen werden kann. Werden die Lichtverhältnisse in Bezug zu den Verkehrsbelastungen gesetzt, so weisen diese nahezu gleiche Ergebnisse auf. Wird nach Kapitel 4.5 davon ausgegangen, dass ein Anteil von rund 20 bis 25 % der Arbeitsstellen in der Nacht durchgeführt wird, ist demzufolge das Unfallrisiko bei Nacht zumindest auf Grundlage dieser Untersuchung nicht höher als am Tage. Einerseits ist die Anzahl der potenziellen Unfallverursacher bzw. die Verkehrsbelastung (DTV und DTV_{SV}) in den Nachtstunden wesentlich geringer und folglich die Wahrscheinlichkeit, dass es zu einem Unfall kommen könnte niedriger. Andererseits besteht jedoch die Vermutung, dass gerade nachts die Verkehrsteilnehmer (Pkw) eher mit überhöhter Geschwindigkeit fahren oder nicht genügend aufmerksam (Lkw) sind und es daher zu einem Unfall kommen könnte. Im Rahmen dieser Untersuchung kann diese Annahme nicht abschließend geklärt werden.

In Bild 29 sind die Summenhäufigkeiten der Tätigkeiten bezogen auf die Verkehrsbelastung dargestellt. Auch hier sind, abgesehen von den Schwankungsbereichen, keine Auffälligkeiten in Bezug zu den einzelnen Tätigkeiten zu erkennen; außer bei der Streckenwartung ereigneten sich rund 95 % der betrachteten Unfälle bei einem DTV von unter 1.800 Fz/(FS*h). Bei der Streckenwartung ist dieser

Wert erst bei 2.200 Fz/(FS*h) erreicht. Für diese leichten Abweichungen gibt es keine Erklärungen aus den Unfallprotokollen. Allerdings repräsentieren diese Zahlen nur 3 Unfälle mit einem DTV > 1.800 Fz/(FS*h), bei dem von einem Stauereignis ausgegangen werden kann. Abschließend können aus dieser Betrachtung keine besonders gefährdungs- und risikorelevanten Tätigkeiten abgeleitet werden.

Schlussfolgerungen

- Es gibt kaum Unfälle aus staugefährdeten Verkehrsbelastungen heraus.
- Hinsichtlich der Art der Arbeitsstelle (mobil bzw. stationär) sind keine Unterschiede zu erkennen.
- Die Betrachtung der Tätigkeiten in Bezug zu den Verkehrsbelastungen weist auch keine Unterschiede auf.

4.5 Verteilung der Tätigkeiten beim Betriebsdienst

Um die Unfallzahlen qualitativ in Verbindung mit der Häufigkeit der durchgeführten Tätigkeiten zu betrachten, wurde im September 2006 den Mitgliedern der Ad-hoc-Fachgruppe Straßenbetrieb (ehemaliger Länderfachausschuss) das vorliegende FE-Vorhaben vorgestellt sowie ein Fragebogen zur Vorgehensweise und Umsetzung der RSA 95 bei der Absicherung von Arbeitsstellen kürzerer Dauer auf BAB an die Vertreter der Bundesländer ausgegeben. Ziel der Umfrage war es, Unterschiede in

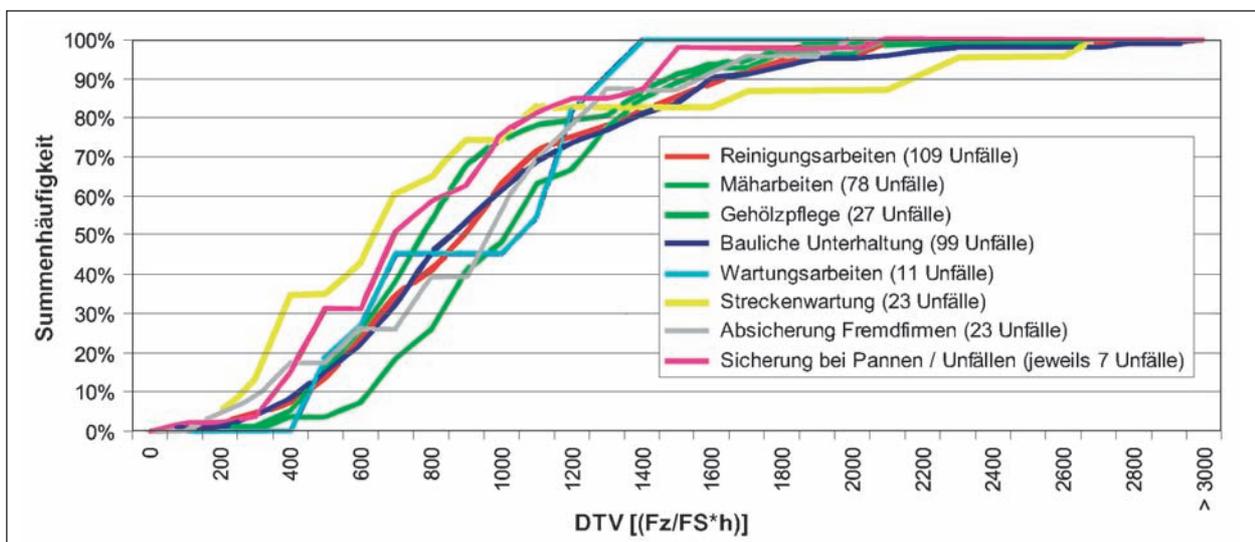


Bild 29: Summenhäufigkeit der Tätigkeiten bezogen auf den DTV pro Fahrstreifen und Stunde

der Vorgehensweise und Umsetzung der RSA 95 in den einzelnen Autobahnmeistereien zu erfassen. Die darin verfassten Fragen betrafen:

- Vorgenommene Modifikationen an den nach RSA 95 vorgegebenen Absicherungsvarianten, eventuelle Zusammenhänge mit den durchgeführten Tätigkeiten, Gründe für vorgenommene Modifikationen und hieraus erkannte Auswirkungen bzw. Einflüsse auf das Verhalten der Verkehrsteilnehmer.
- Die Absicherungsdurchführung bei fehlendem Standstreifen oder bei Kehrarbeiten bzw. beim Einsatz einer Kehrmaschine auf dem Standstreifen.
- Eventuelle Bündelungen von Tätigkeiten in einer AkD.
- Unterschiede in der Durchführung der Absicherung zwischen dem eigenen Personal und beauftragten Fremdunternehmen.
- Eigene Empfehlungen, Kritik und Verbesserungsvorschläge zur Absicherung von AkD, um die Sicherheit des Betriebsdienstpersonals zu erhöhen.

Losgelöst von den oben aufgeführten Fragestellungen wurde, um das Risikopotenzial im Bezug auf die durchgeführten Tätigkeiten in Verbindung mit den zur Verfügung stehenden Unfalldaten besser abschätzen zu können, um folgende Angaben gebeten:

- Prozentuale Verteilung der einzelnen Tätigkeitsgruppen am Gesamtarbeitsaufkommen in AkD.
- Prozentualer Anteil der durchgeführten Tätigkeiten, die an Fremdunternehmen vergeben oder in Nachtarbeit durchgeführt werden.

Aus insgesamt sechs Bundesländern gingen Rückmeldungen ein. Aus Hessen beteiligten sich 9 Meistereien, wobei nur zwei Meistereien Autobahnabschnitte betreuen.

Vom Landesbetrieb Straßenbau NRW wurde dem Forschungsnehmer eine Auflistung der prozentualen Verteilung der im Jahr 2005 gebuchten Stunden auf den nordrhein-westfälischen BAB zur Verfügung gestellt. Die aus den Fragebögen und der Auflistung aus NRW gewonnenen Daten weisen jedoch große Schwankungsbereiche auf; zum einen fehlen bei einigen Tätigkeiten Angaben zu deren Anteil am Gesamtaufwand, zum anderen unterliegt auch der Vergabeanteil von Tätigkeiten an Fremdfirmen großen Schwankungen.

Im Dezember 2006 wurden von Seiten der Betreuungsgruppe die Angaben zur Verteilung der Tätigkeiten aus NRW als repräsentativ festgelegt, um darauf aufbauend eine belastbare Abschätzung der Häufigkeit der durchgeführten Tätigkeiten durchzuführen (Tabelle 15). Diese ist für eine Bewertung des Gefährdungsrisikos bei bestimmten Tätigkeiten und Unfallsituationen notwendig. Weiterhin wurden 2005 in NRW 13.400 AkD eingerichtet, von denen rund 25 % bei Nacht durchgeführt wurden, um im Rahmen der NRW-Offensive gegen den Verkehrsstau zuvor prognostizierte Stauereignisse zu vermeiden. Mit einer Autobahnnetzlänge von 2.178 km (Stand 31.12.2005) repräsentiert NRW knapp 1/5 des gesamten Bundesautobahnnetzes. Werden diese 13.400 AkD auf das BAB-Netz von NRW bezogen, so kämen im Schnitt auf einen Kilometer ca. 6 AkD/a, d. h. 3 AkD pro Jahr und Richtung. Dies würde wiederum bedeuten, dass in der ganzen Bundesrepublik Deutschland jährlich rund 73.000 AkD eingerichtet werden (vgl. Kapitel 3.1). Die in Tabelle 15 dargestellte Verteilung der Tätigkeiten repräsentiert einen Anteil von rund 64 % der einge-

Bundesland	Reinigungsarbeiten	Mäharbeiten	Bauliche Unterhaltung	Gehölzpflege	Streckenwartung	Absicherung für Fremdfirmen	Sicherung Verkehrsunfall oder Panne	Wartungsarbeiten	Sonstiges
Unfälle	24 %	19 %	21 %	6 %	5 %	5 %	9 %	3 %	4 %
Hessen	5 %	40 %	10 %	17 %	13 %	4 %	5 %	-	6 %
Mecklenburg-Vorpommern	38 %	9 %	23 %	15 %	3 %	7 %	3 %	-	2 %
Sachsen-Anhalt	43 %	43 %	9 %	3 %	-	0 %	0 %	-	3 %
Nordrhein-Westfalen	33 %	15 %	9 %	16 %	13 %	9 %	-	5 %	-

Tab. 15: Verteilung der Tätigkeiten ermittelt aus den Fragebögen und den zur Verfügung gestellten Daten aus NRW 2005 (Tabellenwert: 0 % (Vergabeanteil beträgt 100 %); - (keine Angaben vorhanden))

richteten 13.400 AkD. Werden die aus den im Jahr 2005 gebuchten rund 1,1 Mio. Arbeitsstunden (Mannstunden) auf die durchgeführten 13.400 AkD bezogen, ergeben diese eine mittlere Verweildauer von rund 82 Mannstunden/AkD, in denen sich Personen in Arbeitsstellen befinden. (Allerdings sind darin auch die Winterdienstesätze enthalten.) Wird die mittlere Verweildauer auf die rund 73.000 AkD/a auf das gesamte BAB-Netz bezogen, ergibt dies rund 6 Mio. Mannstunden pro Jahr, in denen das Personal dem Verkehr und somit einem erhöhten Gefahrenpotenzial ausgesetzt ist. Wird die prozentuale Verteilung der Tätigkeiten nach Tabelle 15 herangezogen, so folgt, dass das Risiko, bei Reinigungsarbeiten zu verunglücken (24 % der Unfälle), mit rund 1/3 am Gesamttätigkeitsaufkommen (GTA) am niedrigsten ist. Bei der Gehölzpflege bzw. der Streckenwartung (6 bzw. 5 % der Unfälle) mit einem Anteil von 16 bzw. 13 % am GTA, liegt das Risiko zu verunglücken etwa gleich hoch. Verhältnismäßig hoch liegt das Risiko, bei der baulichen Unterhaltung (21 % der Unfälle, 9 % am GTA) oder bei Mäharbeiten (19 % der Unfälle, 15 % am GTA) zu verunglücken. Bei der baulichen Unterhaltung liegt der Schwerpunkt der Verunglückten eindeutig bei Personen, die sich außerhalb des Fahrzeugs befanden, gegenüber Mäharbeiten, bei denen eher Fahrzeuginsassen verunglückten. Werden die jeweiligen Unfallanzahlen bei bekannter Tätigkeit (Tabelle 12) auf die aus Tabelle 15 anteilmäßig in Deutschland durchgeführten AkD bezogen, relativieren sich diese Zahlen: So treten bei rund 0,12 % der Gehölzpflege und der Streckenwartung (1,2 U je 1000 AkD), bei 0,16 % der allgemeinen Wartung und bei Absicherungsarbeiten für Fremdfirmen (0,18 %) Unfälle auf. Demgegenüber sind bei 0,22 % der Reinigungsarbeiten (2,2 U je 1.000 AkD), bei knapp 0,40 % der Mäharbeiten (3,8 U je 1.000 AkD) und 0,69 % der Baulichen Unterhaltung (6,9 U je 1.000 AkD) zu erwarten. Im Schnitt ergeben sich rund 3 Unfälle je 1.000 AkD (siehe Anlage 4).

4.6 Betrachtung von Fremdfirmen

Nach GREBE/HANKE (1991) ergeben grobe Schätzungen, dass pro Zuständigkeitsbereich einer AM in Hessen eigene Kolonnen etwa 200 Arbeitstage pro Jahr im Straßenraum arbeiten, hinzu kommen nochmals etwa 50 Arbeitstage durch beauftragte Unternehmen. Daraus abgeleitet ergäbe dies einen Vergabeanteil von 20 %.

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung sollten auch Unfälle bei Arbeiten von Fremdfirmen, welche im Auftrag von Autobahnmeistereien bzw. der Bundesländer Arbeiten in AkD durchgeführt haben, betrachtet werden. Hierzu wurde von Seiten des Forschungsnehmers bei mehreren Institutionen nach Unfallprotokollen, -aufzeichnungen, -statistiken o. Ä. recherchiert: beim Fachverband Verkehrssicherung an Arbeitsstellen an Straßen e. V. (FVAS, 2006), dem Verein für Verkehrstechnik und Verkehrssicherheit e. V. (VVV, 2006), die im Industrieverband Straßenausstattung e. V. (IVSt, 2006) organisiert sind, der Berufsgenossenschaft Bau (BG BAU, 2006), dem Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG, 2006) und dem Bundesverband der Unfallkassen e. V. (2006).

Nach umfassenden Recherchen kann zum einen festgehalten werden, dass die einzelnen Fremdfirmen bzw. Subunternehmer, die z. B. Markierungsarbeiten und Schutzplankenreparaturen durchführen, verschiedenen Berufsgenossenschaften und Verbänden angehören. Hieraus ergäbe sich für eine konkrete Datenabfrage ein enormer Arbeits- und Zeitaufwand. Zum anderen müssen zwar auch Fremdfirmen ein Unfallanzeigeformular der Berufsgenossenschaften ausfüllen (z. B. BG BAU, 2006), vergleichbar den Unfallprotokollen der Bundesländer, jedoch werden in den Datenbanken der Berufsgenossenschaften die für dieses FE-Vorhaben relevanten Daten nicht bzw. nur teilweise erfasst. So werden so genannte Risikogruppen erstellt, in denen z. B. Unfälle am Gleis und der Straße zusammengefasst werden, diese sind jedoch nicht nach bestimmten Kriterien, z. B. Unfälle in AkD auf BAB und/oder nach verunglückten Personen, selektierbar (BG BAU und HVBG, 2006). Nur mit sehr großem Personal- und Zeitaufwand wäre es möglich, entsprechende Unfallanzeigen händisch zu selektieren und diese in der Unfalldatenbank (UDB) zu erfassen. In den Gesprächen mit den Ansprechpartnern der einzelnen Institutionen wurde der Wunsch nach einer „zentralen (Mit-)Erfassung“ der Unfälle mit Beteiligung von Fremdfirmen geäußert. Aus organisatorischen Gründen könnten diese von den zuständigen Autobahnmeistereien (mit-)erfasst werden. Weiter wäre durchaus denkbar, Fremdunternehmen zur Ausfüllung der Unfallprotokolle der Bundesländer unter dem Vermerk „Fremdunternehmen“ anzuweisen. Für weitere Fragestellungen könnte eine vorgegebene standardisierte zentrale Datenbank geschaffen werden.

In Zusammenarbeit mit dem FVAS (2006) wurde Ende September 2006 an rund 100 Mitgliedsfirmen ein Fragebogen zur Vorgehensweise und Umsetzung der RSA 95 bei der Absicherung von Arbeitsstellen kürzerer Dauer auf BAB versendet. Darin sollten insbesondere Daten über

- die Art und Verteilung der durchgeführten Tätigkeiten,
- die Art der Arbeitsstellen (stationär/mobil),
- die Art der eingesetzten Fahrzeuge zur Arbeits- und Absicherungsdurchführung,

erfasst werden.

Zusätzlich wurden auf diesem Weg die Fremdunternehmen gebeten, vorhandene Unfallanzeigen dem Forschungsnehmer zur Verfügung zu stellen.

Der Rücklauf erfolgte sehr spärlich; lediglich von vier der rund 100 angeschriebenen Fremdfirmen erfolgte eine Rückmeldung. Die Verteilung zwischen stationär und mobil durchgeführten Tätigkeiten schwankt hierbei zwischen 30 zu 70 % bzw. 50 zu 50 %. Die Tätigkeiten betreffen die bauliche Unterhaltung, Verkehrssicherungs- und Markierungsarbeiten. Von Seiten der Fremdfirmen wurden keine Unfallprotokolle zur Verfügung gestellt.

4.7 Art der Verletzungen des Betriebsdienstpersonals in AkD

Werden die relevanten 103 Unfälle betrachtet, bei denen sich Personen zum Unfallzeitpunkt im Fahrzeug befanden, weisen diese laut den Unfallprotokollen vor allem folgende Verletzungen auf: HWS-Syndrom (44 Nennungen), Prellungen an Armen, Beinen, Kopf, Rippen oder Brustkorb (32 Nennungen), Nacken- und Rückenschmerzen (10 Nennungen), Verletzungen am Kopf-, Halswirbel- und Rückenbereich (9 Nennungen), Gehirnerschütterung (8 Nennungen), Schock (7 Nennungen), Kopfschmerzen (5 Nennungen). Brüche wie z. B. Nasenrücken-, Schädelbasis-, Unterarm- und Rippenbrüche sind verhältnismäßig selten zu verzeichnen. Prellungen im Brust-, Hüft- und Rippenbereich können, müssen aber nicht, auf einen angelegten Sicherheitsgurt zurückgeführt werden. Bei 1/5 der 103 Unfälle sind keine Angaben zu den Verletzungen der Fahrzeuginsassen vorhanden. Die Betrachtung der Verletzungsarten lässt keine eindeutige Zuordnung zu den Unfallschweren zu. So sind bei den insgesamt 36 Unfällen mit 42 Schwerver-

letzten lediglich bei knapp der Hälfte Angaben zur Verletzung angegeben. Diese weisen jedoch im Vergleich zu den Unfällen mit leicht verletzten Personen keine Auffälligkeiten auf. Bei den insgesamt 7 Getöteten (6 Unfälle) sind keinerlei Angaben zu den Verletzungen vorhanden; abgesehen von Angaben wie „wurde beim Aussteigen getötet“ oder „klaffende Wunde“. Der überwiegende Anteil dieser Nennungen lässt aus medizinischer und auch technischer Sicht auf Verletzungen der Halswirbelsäule (HWS) schließen, die meist subjektiv von Betroffenen als HWS-Syndrom oder Schleudertrauma (HWS-Distorsion) bezeichnet werden; hierin liegt auch die Problematik der Begutachtung.

4.7.1 Aspekte der HWS-Distorsion sowie Unfallmuster bei einem Heckaufprall

Verletzungen der Halswirbelsäule werden häufig durch Frontal-, Heck- sowie Seitenkollisionen, Brems-, Ausweich- und Fahrstreifenwechsellvorgänge hervorgerufen. Ob eine HWS-Verletzung aus technischer Sicht vorliegen kann, wird anhand der Geschwindigkeitsänderung (Δv) und der mittleren Beschleunigung (a) des Fahrzeugs, in dem die zu betrachtende Person sitzt, sowie des Überschreitens einer bestimmten Belastungsgröße bestimmt. Diese Belastungsgrößen sind von der Art des Anprallpunktes bzw. der Unfallart abhängig. So wird in Auffahr- (Heckkollision) und Seitenunfall (Seitenkollision) unterschieden (BURG, 2007).

Es ist zwar anzumerken, dass die hier genannten Aspekte generell die Konfliktpartner Pkw und Pkw betreffen, es erscheint jedoch durchaus sinnvoll, diese Überlegungen auch auf die in dieser Untersuchung betrachteten Hauptunfallverursacher (Lkw) zu beziehen.

Bei einem Heckaufprall wird der Fahrzeuginsasse im vorderen gestoßenen Fahrzeug über den Kontakt mit dem Fahrersitz bzw. der Rückenlehne nach vorne beschleunigt, der Schädel verharrt aber aufgrund der ihm eigenen Massenträgheit zunächst an der ursprünglichen Position und folgt zeitlich etwas verzögert. Aufgrund der hieraus resultierenden Biegung der Halswirbelsäule schnellert der Kopf zurück und prallt eventuell gegen die Kopfstütze. Ist diese Relativbewegung zwischen Schädel und Rumpf entsprechend ausgeprägt, kann dies zu Irritationen u. a. der Nackenmuskulatur bzw. zu anderen typischen Beschwerden führen (Bild 30). Vereinfachend wird hierbei angenommen, dass die Wirkungslinie der auftretenden Kräfte jeweils durch die

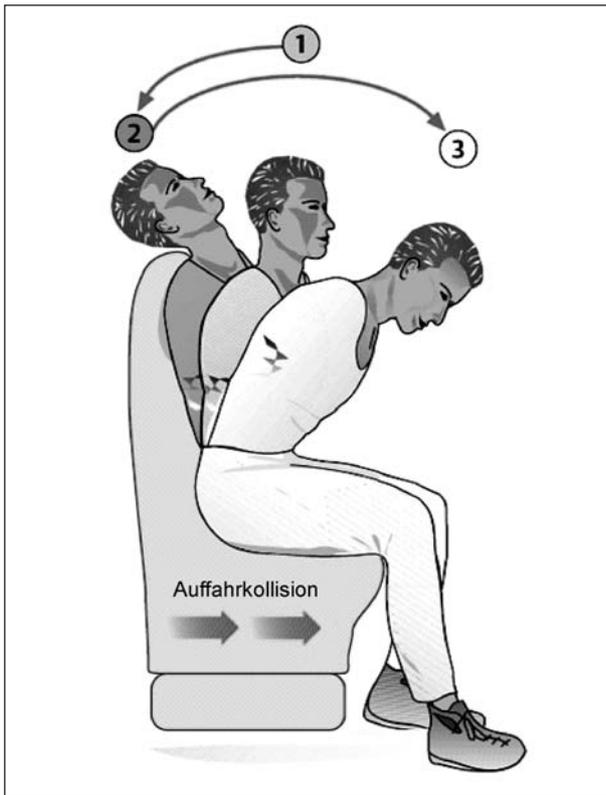


Bild 30: Bewegungsablauf (Positionen 1, 2 und 3) des Insassen beim Heckaufprall [Bildquelle: ULLRICH, 2007]

Schwerpunkte der betroffenen Fahrzeuge gehen (gerader zentraler Stoß). Dies ist jedoch i. d. R. nicht der Fall; durch einen schiefen exzentrischen Aufprallpunkt wird eine Drehbewegung bzw. Drehmoment induziert. Aufgrund dieses Drehmoments bleiben die betroffenen Fahrzeuge nicht in ihrer ursprünglichen Fahrtrichtung stehen, sondern werden mehr oder minder stark gedreht. Diese Drehbewegung überträgt sich auch auf die Körper der Insassen; die Halswirbelsäule wird somit zusätzlich auf Torsion beansprucht. Diese kombinierte Beanspruchung durch Kräfte und Drehmomente führt bei Überschreiten der vom Körper tolerierbaren Grenzen zum HWS-Distorsions-Syndrom.

Weiterhin können abhängig von Gewicht und Statur der Insassen, dem Fahrzeugtyp, der Sitzgeometrie, Airbags, Sicherheitsgurten, aber auch der Kopf- und Körperhaltung bei gleicher Geschwindigkeit der Fahrzeuge vor dem Unfall (!) die Beanspruchungen und die möglichen Verletzungen der Halswirbelsäule sehr unterschiedlich sein. Eine Zuordnung der Verletzungen zur Fahrzeuggeschwindigkeit vor einem Unfall ist deshalb nur in sehr grober Näherung und mit weiten Toleranzgrenzen möglich (Ullrich, 2007). Bei schweren Unfällen mit Geschwindigkeitsänderungen (ΔV) über 25 km/h und

mittleren Beschleunigungen bzw. Verzögerungen über 10 g ($> 100 \text{ m/s}^2$) haben die Stellung und die Festigkeit der Rückenlehne sowie die Anordnung und Gestaltung der Kopfstütze einen bedeutsamen Einfluss auf den zeitlichen Verlauf der auf die Insassen wirkenden Beschleunigung. Bei Unfällen im niedrigen Geschwindigkeitsbereich mit Geschwindigkeitsänderungen kleiner 25 km/h spielen die Härte und die Stoßdauer eine dominierende Rolle. Diese Stoßdauer hängt primär von der Strukturfestigkeit der beteiligten Fahrzeuge (z. B. vorhandene Anhängerkupplung) und der Härte der Sitzrückenlehne ab. Je härter die Fahrzeugstrukturen sind, desto kürzer wird die Stoßdauer und desto größer wird die mittlere Beschleunigung. Hiervon ist besonders bei einem als Sicherheitsfahrzeug eingesetzten Lkw auszugehen. Die HWS-Verletzung ist hier bereits eingetreten, bevor der Kopf die Kopfstütze erreicht hat.

HEUBLEIN (2007) zufolge hat sich nach Durchführung zahlreicher Untersuchungen wie auch unter Einbeziehung so genannter Realunfälle bei der unerwarteten Heckkollision (Pkw-Pkw) ein Grenzwert von $\Delta V = 13 \text{ km/h}$ herausgebildet, ab welchem leichte Beschwerden im Sinne einer HWS-Distorsion frühestens auftreten können, aber keinesfalls auftreten müssen. Ist der Fahrzeuginsasse auf das unmittelbar bevorstehende Unfallereignis bzw. Kollision (infolge der visuellen Wahrnehmbarkeit) vorbereitet, treten hierdurch eine unwillkürliche, reaktive Anspannung der Muskulatur und damit auch eine Stabilisierung der Halswirbelsäule auf. Dies bewirkt einen deutlichen Anstieg des Belastungsgrenzwertes für die Geschwindigkeitsänderung (ΔV) auf ca. 20 km/h. Bei Abfassung der genannten Grenzwerte wurden Faktoren wie z. B. ungünstige Kopf- und Sitzposition berücksichtigt. Bei einem seitlichen Anprall auf ein Fahrzeug (Seitenkollision) gelten andere Belastungsgrößen. HWS-Verletzungen können hierbei, insbesondere auf der stoßzugewandten Seite, früher als bei Auffahrunfällen eintreten. Bis heute ist noch nicht zuverlässig geklärt, welche Mechanismen zu HWS-Beschwerden oder -verletzungen führen. Zwar wurde ein Bewertungskriterium (Neck Injury Criterion, NIC) vorgeschlagen, jedoch besteht über dessen Höhe und Berechnungsweise noch Uneinigkeit in der Fachwelt.

Nach einer schwedischen Untersuchung ist bei Pkw, die ab etwa 1990 gebaut wurden, aufgrund steiferer Sitzrückenlehnen das Risiko von HWS-Verletzungen 2,7fach höher als bei älteren Fahr-

zeugen. Untersuchungen zeigen, dass bei fast jeder Pkw-Pkw-Heckkollision mit Personenschaden (Anteil: 93,5 %) eine HWS-Verletzung auftritt (SCHIMMELPFENNIG + BECKE, 2007). Nach GEIGL (2007) entstehen statistisch gesehen 50 % der HWS-Verletzungen bei Frontalkollisionen und nur 30 % bei Heckkollisionen. Werden diese jedoch auf die Häufigkeit dieser Unfallkonstellationen bezogen, so ist das Verletzungsrisiko bei der Heckkollision doppelt so hoch wie beim Frontalzusammenstoß.

Das Institut für Fahrzeugsicherheit der Technischen Universität Graz (VSI, 2007) weist je nach Fahrzeugausstattung und technischer Sicherheitseinrichtungen auf folgende Unfallverläufe bei Frontal- und Heckkollisionen hin, die zu Verletzungen führen können:

- Mit angelegtem Sicherheitsgurt kommt es zum Kopfanstoß auf das Lenkrad, Stauchung des Sprunggelenks an den Pedalen oder Mittelhandstauchung zwischen Daumen und Zeigefinger durch das Lenkrad.
- Ohne angelegten Sicherheitsgurt kommt es zum Kopfstoß in die Windschutzscheibe, Gesichtsschädelaufprall auf den oberen Lenkradkranz, Brustkorbaufprall auf Lenkrad oder Armaturenbrett, Stauchung des Sprunggelenks an den Pedalen, Knieaufprall unter das Armaturenbrett, Mittelhandstauchung zwischen Daumen und Zeigefinger durch das Lenkrad oder Handaufprall an die Windschutzscheibe.

Typische Verletzungen bei Insassen beider beteiligter Fahrzeuge sind:

- Verletzungen der Halswirbelsäule oder anderer Wirbelbereiche, Handgelenksstauchungen, Gesichtsverletzungen (Glasschnittwunden) bei nicht angeschnallten Fahrzeuginsassen oder durch Airbag-Auslösung, Prellungen im Hals-, Brustkorb- und Schulterbereich, Blutergüsse und Abschürfungen durch den Sicherheitsgurt.
- Weitere Verletzungen sind z. B.: Schädelhirnprellung, Gehirnerschütterungen, Hirnblutungen, Gesichtsschädelbruch, Atem-, Kopf- und Nackenschmerzen, Rippen-, Brustbein-, Knie-, Knie- und Oberschenkelbrüche, Fuß- und Sprunggelenksverletzungen.

Schwere HWS-Verletzungen und -Frakturen können durch Kopfstützen- und Airbag-Systeme vermieden werden. Entscheidend ist hierbei die Qualität der

Kopfstütze und der Sitzlehne. Generell kann festgehalten werden, dass mit größerem Abstand zwischen Kopf und Kopfstütze die Verletzungsgefahr ansteigt. Eine optimal eingestellte Kopfstütze sollte auf gleicher Höhe wie der Kopf sein und diesen praktisch berühren (Abstand < 3 cm), die Sitzlehne soll Kopf, Hals und Rücken fixieren (Roadcross, 2007). Weiterhin sollte beachtet werden, dass

- korrekt angebrachte Kopfstützen insbesondere bei Heckkollision eine Beschleunigung des Kopfes nach hinten verhindern,
- Sicherheitsgurt und Airbag die Beschleunigung des Fahrzeuginsassen nach vorne verzögern, sodass die Verletzungsschwere vermindert wird,
- bei optimal angepassten Sitzen bzw. Sitzgeometrien eine gleichmäßige Beschleunigung bzw. Verzögerung aller Körperteile gewährleistet wird, sodass keine Relativbeschleunigungen zwischen verschiedenen Körperteilen wie Kopf und Körper mit Folge einer HWS-Schädigung auftreten können.

4.7.2 Geschwindigkeitsänderungen und mittlere Beschleunigungen bei einem Heckaufprall

Da die Angaben in den Unfallprotokollen zur Verletzungsart der Fahrzeuginsassen neben Prellungen hauptsächlich Symptome und Nennungen für das beschriebene HWS-Syndrom aufzeigen, erfolgt im Rahmen dieser Untersuchung eine überschlägige Berechnung der bei einem Heckaufprall auf die Fahrzeuginsassen wirkenden Belastungen. Zuvor wird jedoch darauf hingewiesen, dass die erläuterten Angaben und Grenzwerte ausschließlich aus Untersuchungen von Heckkollision zwischen Pkw und Pkw stammen. In abgewandelter Form erscheinen diese jedoch auch für den Fall Lkw-Lkw sinngemäß anwendbar.

Die folgende Berechnung, wie sie auch im Rahmen von Unfallrekonstruktionen Anwendung findet, beruht auf dem Impulserhaltungssatz, mit dessen Hilfe sich die kurzfristig auftretenden Geschwindigkeitsänderungen (ΔV) und mittleren Beschleunigungen (a) (gestoßenes Fahrzeug) bzw. Verzögerungen ($-a$) (auffahrendes Fahrzeug) berechnen lassen (Gleichung 1) (VSI, 2007). Die Geschwindigkeitsänderung (ΔV) ist die Differenz aus der Geschwindigkeit vor dem Stoß (Aufprall- bzw. Kollisionsgeschwindigkeit (V_K)) und der Geschwindigkeit nach dem Stoß (Auslaufgeschwindigkeit (V_A))

(Gleichung 3). Die mittleren Beschleunigungen (a) bzw. Verzögerungen ($-a$) resultieren aus der Ableitung der Geschwindigkeitsänderung (ΔV) nach der Stoßdauer (t) (Gleichung 2).

$$m_1 \cdot V_{K,1} + m_2 \cdot V_{K,2} = m_1 \cdot V_{A,1} + m_2 \cdot V_{A,2}$$

Gleichung 1

mit:

$V_{K,1}$ [m/s] Geschwindigkeit des auffahrenden Fahrzeugs vor dem Aufprall (hier: Verkehrsteilnehmer)

$V_{K,2}$ [m/s] Geschwindigkeit des gestoßenen Fahrzeugs vor dem Aufprall (hier: Betriebsdienstfahrzeug)

$V_{A,1}$ [m/s] Geschwindigkeit des auffahrenden Fahrzeugs nach dem Aufprall (hier: Verkehrsteilnehmer)

$V_{A,2}$ [m/s] Geschwindigkeit des gestoßenen Fahrzeugs nach dem Aufprall (hier: Betriebsdienstfahrzeug)

m_1, m_2 [kg] Massen der Fahrzeuge

$$a = \frac{\Delta V}{t} \quad \text{Gleichung 2}$$

mit:

a [m/s²] Beschleunigung des gestoßenen Fahrzeugs nach dem Aufprall (hier: Betriebsdienstfahrzeug)

ΔV [m/s] Geschwindigkeitsänderung des gestoßenen Fahrzeugs

t [s] Stoßdauer

$$V_{A,2} = V_{K,2} + \frac{m_1 \cdot (1 + k) \cdot V_{rel}}{m_1 + m_2}$$

$$\Delta V = V_{A,2} - V_{K,2} = \frac{m_1 \cdot (1 + k) \cdot V_{rel}}{m_1 + m_2} \quad \text{Gleichung 3}$$

mit:

$V_{A,2}$ [m/s] Geschwindigkeit des gestoßenen Fahrzeugs nach dem Aufprall

$V_{K,2}$ [m/s] Geschwindigkeit des gestoßenen Fahrzeugs vor dem Aufprall

V_{rel} [m/s] Relativgeschwindigkeit zwischen den beteiligten Fahrzeugen $V_{rel} = V_{K,1} - V_{K,2}$

k [-] Stoßfaktor

ΔV [m/s] Geschwindigkeitsänderung des gestoßenen Fahrzeugs

Generell ist die Unfallrekonstruktion von den im Modell gewählten Eingangsparametern abhängig, die einen sehr großen Einfluss auf das Berechnungsergebnis haben. So stellen die in den Unfallprotokollen angegebenen Geschwindigkeiten, die auf vor Ort geschätzten und nicht im Nachhinein überprüften Geschwindigkeiten (Tachographen) beruhen, die häufigsten Fehlerquellen bei der Geschwindigkeitsberechnung dar; dementsprechend sind größere Toleranzen zu berücksichtigen. Die gefahrenen Geschwindigkeiten zum Aufprallzeitpunkt bestimmen die Relativgeschwindigkeit (V_{rel}) zwischen den beiden Kollisionspartnern; mit steigender Relativgeschwindigkeit nimmt auch die Geschwindigkeitsänderung (ΔV) zu. Des Weiteren sind die Auslaufgeschwindigkeiten (V_A) von den Verzögerungseigenschaften und der Auslaufrichtung der beteiligten Fahrzeuge abhängig; grundsätzlich müssen auch hier große Toleranzen berücksichtigt werden.

Ferner bestimmt das Massenverhältnis beider betroffener Fahrzeuge die resultierenden Auslaufgeschwindigkeiten. Fährt z. B. ein schweres Fahrzeug auf ein leichteres Fahrzeug auf, so ergibt sich beim leichteren Fahrzeug eine höhere Auslaufgeschwindigkeit nach der Kollision.

Demgegenüber wird ein schweres Fahrzeug bei einem Aufprall eines leichteren Fahrzeugs relativ gering beschleunigt, d. h., die Geschwindigkeitsänderung (ΔV) bleibt klein. Bei hohen Geschwindigkeitsänderungen werden die Fahrzeuginsassen stärker gegen den Sitz und die Kopfstütze bewegt, sodass sehr hohe Insassenbelastungen erreicht werden, die zu schweren Körper- und gravierenden HWS-Verletzungen führen können.

Weiterhin geht der so genannte Stoßfaktor (k) in die Berechnung mit ein und stellt ein Maß der Elastizität eines Stoßes dar. Dieser wird anhand von Unfall-Schadensbildern oder Crashtests zahlenmäßig abgeschätzt bzw. ermittelt. Der Stoßfaktor (k) kann Werte zwischen 0 und 1 annehmen; $k = 1$ entspricht einem vollkommen elastischen, $k = 0$ einem vollkommen plastischen Stoß. Prinzipiell gilt: Je größer der Stoßfaktor, desto größer ist bei gleicher Kollisionsgeschwindigkeit (V_K) die Geschwindigkeitsänderung (ΔV) des gestoßenen Fahrzeugs. Nach der Art der beteiligten Fahrzeuge ergeben sich unterschiedliche Belastungen der Fahrzeuginsassen.

Die bei einem Aufprall freigesetzte Energie wird nicht über den gesamten Geschwindigkeitsbereich gleichmäßig auf die Insassen beider Fahrzeuge verteilt. Grundsätzlich gilt, dass das vordere, gestoßene Fahrzeug gleich oder stärker beschleunigt wird als das hintere, auffahrende Fahrzeug.

Werden Pkw-Pkw-Auffahrunfälle betrachtet, so ist die Wirkung auf die Insassen des gestoßenen Pkw bei geringeren Geschwindigkeitsdifferenzen (V_{rel}) relativ größer als bei Zusammenstößen mit höheren Geschwindigkeitsdifferenzen. Grund: Bei hoher Geschwindigkeitsdifferenz wird durch die Knautschzonen des Fahrzeuges mehr Energie absorbiert als bei niedrigeren Geschwindigkeitsdifferenzen. Im Gegensatz dazu wird bei niedrigeren Geschwindigkeitsdifferenzen, also mit geringerer Beschädigung am Fahrzeug, die Energie verhältnismäßig stärker auf die Fahrzeuginsassen übertragen. Bei Pkw-Pkw-Kollisionen liegen überwiegend plastische Stöße vor. Hier kann je nach Stoßstärke der Stoßfaktor (k) zwischen 0,1 und 0,4 liegen. Des Weiteren ist der Stoßfaktor von der Überdeckung, d. h. zentraler oder exzentrischer Stoßpunkt zwischen den Fahrzeugen, und der Bauart des heckseitig angestoßenen Fahrzeuges abhängig; spezielle Anbauten wie z. B. eine Anhängerkupplung beeinflussen zusätzlich die Elastizität des Stoßes und somit auch den Stoßfaktor (SCHAFFHAUSER et al., 2007). Wenn zudem noch ein Anhänger oder z. B. eine Absperrtafel angehängt ist, erweist sich die Abschätzung des Stoßfaktors (k) noch schwieriger. Bei relativ steifen Fahrzeugkarosserien (Strukturfestigkeit) wie z. B. Lkw-Rahmen kann ein nahezu elastischer Stoß angenommen werden; $k \rightarrow 1$. Erschwerend kommt hinzu, dass aufgrund differierender Verformungssteifigkeiten der Fahrzeugkonstruktionen das Deformationsverhalten verschiedener Fahrzeugmodelle sehr unterschiedlich ist. Es besteht zudem kein direkter Zusammenhang zwischen Schadensausmaß und Geschwindigkeitsänderung; geringe Fahrzeugschäden bedeuten somit nicht, dass auch die Belastung der Fahrzeuginsassen bei einem Aufprall und damit die Verletzungsgefahr geringer sind. Die zur Berechnung der mittleren Beschleunigungen anzusetzende Stoßdauer hängt primär von der Strukturfestigkeit der beteiligten Fahrzeuge ab; anzunehmende Werte liegen zwischen 0,1 und 0,2 s.

Es ist weiter zu berücksichtigen, dass die so ermittelten Geschwindigkeitsänderungen und mittleren Beschleunigungen bzw. Verzögerungen nicht den definitiven Insassenbelastungen entsprechen, aber eine grobe Richtung der auftretenden Belastungen

darstellen und die tatsächlichen Insassenbelastungen nicht geringer, wohl aber höher sein können (SCHAFFHAUSER et al., 2007).

4.7.3 Abschätzung von Geschwindigkeitsänderungen und mittleren Beschleunigungen beim Heckaufprall

Anhand der in den Unfallprotokollen angegebenen vermutlichen Geschwindigkeiten der Unfallverursacher vor dem Unfall wurden die auftretenden Geschwindigkeitsänderungen (ΔV) [km/h] und mittleren Beschleunigungen (a) [m/s^2 bzw. g] berechnet. Die Auswertungen bezogen auf Unfälle mit Verunglückten des Betriebsdienstes, die sich zum Zeitpunkt des Unfalls im Fahrzeug befanden, zeigen, dass sich die geschätzten Geschwindigkeiten der Lkw (> 7,5 t) zwischen 80 und 90 km/h bewegen. Die geringe Anzahl an bekannten gefahrenen Geschwindigkeiten lässt keine weitere statistisch fundierte Aussage zu. Dieser Geschwindigkeitsbereich erscheint dem Forschungsnehmer relativ realistisch und wurde daher für die Berechnung übernommen. Für die überschlägige Berechnung, die nur Größenordnungen der anzunehmenden Belastungen aufzeigen sollen, wurden aufgrund der mangelnden Datenbasis folgende Annahmen getroffen:

- Der auffahrende Lkw (Unfallverursacher) besitzt eine Masse von $m = 32$ t bzw. 40 t und eine Aufprallgeschwindigkeit (V_K) von 80, 85 oder 90 km/h.
- Die Kollisionspartner befinden sich in der gleichen Rollspur, d. h. zentraler Stoßpunkt.
- Der auffahrende Lkw fährt ungebremst auf das (gestoßene) Betriebsdienstfahrzeug (ohne Absperrtafel) auf, dessen Masse $m = 7,5$ t, 10 t, 12 t oder 16 t sowie Geschwindigkeit $V = 0$ km/h beträgt.
- Bei den Kollisionspartnern (Lkw-Lkw) wird von einer relativ steifen Fahrzeugkarosserie (Lkw-Heck) ausgegangen, d. h. Stoßfaktor $k = 0,6$; die Stoßdauer beträgt $t = 0,1$ s.
- Die Luft- und Reibungswiderstände werden vernachlässigt.

Die Berechnungsergebnisse sind in Tabelle 16 dargestellt. Bezogen auf das gestoßene Fahrzeug (Betriebsdienst) weist diese für die Geschwindigkeitsänderung (ΔV) einen Schwankungsbereich zwischen 85 und 121 km/h und eine mittlere Beschleunigung (a) von 22 bis 31 g auf.

Unfallverursacher (Lkw)	Betriebsdienst- fahrzeug	Geschwindigkeitsänderung (ΔV)		Mittlere Beschleunigung (a)			
		Minimum	Maximum	Minimum		Maximum	
Masse	Masse						
[t]	[t]	[km/h]	[km/h]	[m/s ²]	[(g)]	[m/s ²]	[(g)]
32	7,5	104	117	262	(26)	295	(30)
	10	98	110	246	(25)	277	(28)
	12	93	105	235	(24)	264	(26)
	16	85	96	215	(22)	242	(24)
40	7,5	108	121	272	(27)	306	(31)
	10	102	115	259	(26)	291	(29)
	12	98	111	249	(25)	280	(28)
	16	91	103	231	(23)	260	(26)

Tab. 16: Minima und Maxima der Geschwindigkeitsänderungen (ΔV) und mittleren Beschleunigungen (a) eines Lkw mit 32 bzw. 40 t bei Aufprallgeschwindigkeiten zwischen 80 und 90 km/h

Etwa in der gleichen Größenordnung liegen die Ergebnisse bei einem Lkw-Aufprall auf einen Pkw bzw. Mannschaftswagen des Betriebsdienstes ($m = 2,8 \text{ t}$, $k = 0,4$) mit Geschwindigkeitsänderungen zwischen 110 und 121 km/h und mittleren Beschleunigungen zwischen 28 und 31 g. Nach ULLRICH (2007) und BURG (2007) können bei Werten dieser Größenordnung schwere HWS-Verletzungen auftreten; in Einzelfällen könnten diese Belastungen sogar tödlich sein. Die Ergebnisse weisen zwar die erläuterten Ungenauigkeiten auf und lassen keine direkt belastbaren Aussagen zu den auftretenden Belastungen der Fahrzeuginsassen zu, jedoch zeigen die Schwankungsbereiche entsprechende Tendenzen auf. Sind wie zur Sicherung der AkD Fahrzeuge mit Anhänger bzw. Absperrtafeln eingesetzt, können diese die auftretenden Belastungen mindern oder aber, je nach Unfallszenario und Randbedingungen, erhöhen. Weiterhin wurde vorausgesetzt, dass sich das auffahrende Fahrzeug in der gleichen Rollspur wie das gestoßene Fahrzeug befindet, d. h., ein zentraler Stoß vorliegt. Bei einem exzentrischen Stoß ergeben sich völlig andere Rahmenbedingungen und damit entsprechend andere Größenordnungen für die auftretenden Belastungen, die über den hier dargestellten Ergebnissen liegen können.

Anhand eines Vergleichs der Unfallschwere der Fahrzeuginsassen (Betriebsdienstpersonal) gegenüber der Geschwindigkeit des Hauptunfallverursachers Lkw ($> 7,5 \text{ t}$) kann keine Abhängigkeit zwischen gefahrener Geschwindigkeit und Unfallschwere festgestellt werden. Bei 50 von 538 durch Lkw verursachten Unfällen sind Angaben zur ge-

schätzten Geschwindigkeit vor dem Aufprall verfügbar; deren Bereich zwischen 60 und 105 km/h liegt. Werden nur Lkw-Unfälle betrachtet, bei denen Fahrzeuginsassen verletzt wurden, sind lediglich bei 12 Unfällen entsprechende Angaben zur Geschwindigkeit vorhanden.

So sind bei $V \leq 80 \text{ km/h}$ 2 Schwerverletzte (2 Unfälle), bei $80 \text{ km/h} \leq V \leq 85 \text{ km/h}$ 1 Schwerletzter sowie bei $V \geq 85 \text{ km/h}$ 2 Schwer- und 8 Leichtverletzte (8 Unfälle) zu verzeichnen. Im Gegensatz hierzu wurden bei insgesamt 6 Lkw-Unfällen ($< 7,5 \text{ t}$) nur 6 Personen leicht verletzt; lediglich bei einem Unfall ist die Geschwindigkeit mit $V = 85 \text{ km/h}$ angegeben. Die Betrachtung der Art der Verletzungen lässt keine direkten Verletzungsmuster in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit oder Hauptunfallverursacher erkennen. Allerdings treten bei den Lkw-Unfällen ($> 7,5 \text{ t}$) häufiger Verletzungen wie Prellungen an Armen, Beinen, Bauch und Rücken, Rippenbrüche, Schnitt- und Schürfwunden auf. Die häufigsten Nennungen betreffen jedoch Beschreibungen der Symptome einer HWS-Distorsion wie z. B. Kopf-, Rücken- und Nackenschmerzen.

Fazit

1. Sehr großen Einfluss auf die Unfallfolge hat die Masse der Kollisionspartner, d. h., eine höhere Fahrzeugmasse der Betriebsdienstfahrzeuge würde sich bei einem Aufprall deutlich positiv auf die Insassenbelastung auswirken. Allerdings müsste hierzu die Masse des gestoßenen Fahrzeugs bei weitem die Masse des auffahrenden Fahrzeugs übersteigen; dies gilt daher als äußerst unrealistisch.

2. Der Stoßfaktor (k) trägt stark zur Insassenbelastung bei, d. h., würden sich die Fahrzeuge (Lkw-Rahmen) bei einem Aufprall stärker verformen, somit die kinetische Energie stärker absorbieren (Knautschzone), hätte dies einen weiteren positiven Einfluss auf die Insassenbelastungen. Demzufolge könnte ein speziell entwickelter Anhänger oder Lkw-Rahmen, der die kinetische Energie bei einem Lkw-Aufprall absorbiert, die Fahrzeuginsassenbelastungen und somit die Verletzungen reduzieren.
3. Da die Relativgeschwindigkeit (V_{rel}) zwischen beiden Kollisionspartnern Einfluss auf die Geschwindigkeitsänderungen (ΔV) hat, weisen mobile Arbeitsstellen eine geringere Relativgeschwindigkeit zwischen den Kollisionspartnern auf und könnten somit, wenn auch nur in geringem Maße, zu geringeren Belastungen der Fahrzeuginsassen beitragen.

4.7.4 Betrachtung der Ansnallsituation der Fahrzeuginsassen

Eine Betrachtung der Unfälle, bei denen aus den Unfallprotokollen hervorgeht, ob die verunglückten Personen nicht angeschnallt waren, ergab keine nennenswerten Auffälligkeiten. So sind bei 3 Unfällen 5 Leichtverletzte zu verzeichnen, die zum Unfallzeitpunkt nicht angeschnallt waren; gegenüber 5 Unfällen mit 5 Leicht- und 1 Schwerverletzten, die angeschnallt waren. Alle hierbei betrachteten Verunglückten weisen ein HWS-Syndrom oder Prellungen verschiedenster Körperteile auf. Lediglich bei einem Unfall gab es einen Schwerverletzten; dieser weist jedoch laut Unfallprotokoll keine besonderen Verletzungen auf. Weiterhin kann kein signifikanter Unterschied zwischen den Verletzungen von Fahrern und Beifahrern erkannt werden. Bei Prellungen ist zu berücksichtigen, dass diese auch durch einen Sicherheitsgurt am Brustkorb-, Schulter- oder Hüftbereich hervorgerufen werden können. Aufgrund des zum Teil recht geringen Informationsgehaltes der Unfallprotokolle sind hierzu keine weiteren Aussagen möglich. Weiterhin können keine Zusammenhänge mit dem Unfallhergang (Anprallort), der Art der Arbeitsstelle oder mit den Tätigkeiten erkannt werden. Die geringe Quote an Nennungen der konkreten positiven Ansnallsituation lässt jedoch eine relativ geringe Gurtanlagequote vermuten.

4.7.5 Betrachtung von aus- bzw. einsteigenden Personen

Aus vier Unfallprotokollen geht hervor, dass die verunglückte Person zum Unfallzeitpunkt gerade aus- oder einsteigen wollte. In den Auswertungen wurden diese folgendermaßen behandelt: Eine Person, die zum Unfallzeitpunkt aussteigen wollte, wurde als „Person im Fahrzeug“ gezählt; dementsprechend eine Person, die einsteigen wollte, als „außerhalb des Fahrzeugs“. Bei einem Unfall wollte der Verunglückte gerade in ein Fahrzeug (Standstreifen) einsteigen, wurde jedoch durch einen Lkw erfasst und getötet. Daneben waren bei drei Unfällen die Personen gerade im Begriff aus- bzw. einsteigen (Standstreifen); 1 Getöteter und 3 Leichtverletzte (bei 2 Personen keine Angaben zu den Verletzungen). Der Unfallverursacher streifte hierbei bei allen 4 Unfällen das Betriebsdienstfahrzeug seitlich. Unter den Verunglückten befinden sich 2 Beifahrer mit jeweils leichten Verletzungen. Auch hier ist die Datenlage sehr gering, aufgrund derer keine weiteren Aussagen möglich sind. Nachdem jedoch auf Grundlage der Unfallprotokolle nur Fahrer beim Aus- bzw. Einsteigen getötet wurden, sollte zum einen beim Aus- bzw. Einsteigen durch das Personal verstärkt auf die Verkehrsteilnehmer (Rückspiegel) geachtet werden, zum anderen auch über die Anschaffung von Rechtslenker-Fahrzeugen (Ein- bzw. Aussteigen auf der verkehrsabgewandten Seite) nachgedacht werden, sofern die Fahrer häufig ihr Fahrzeug verlassen müssen.

5 Empfehlungen von Maßnahmen zur Erhöhung der Sicherheit in AkD

Aufgrund der Untersuchungsergebnisse aus Kapitel 4 sollten zu empfehlende Maßnahmen zur Erhöhung der Sicherheit des Betriebsdienstpersonals in Arbeitsstellen kürzerer Dauer die Unfallvermeidung sowie die Minderung der Unfallfolgen bzw. Unfallschwere beinhalten. Die sich jeweils ergebenden Potenziale zur Reduzierung des Gefährdungsrisikos beruhen zum einen auf Empfehlungen zur Verbesserung der Arbeitsstellensicherung und Fahrzeugausstattung des Betriebsdienstes, zum anderen der Fahrzeugausstattung der Verkehrsteilnehmer, die jedoch nicht direkt beeinflussbar ist.

Vorgehensweise zur Potenzialabschätzung

Die nachfolgenden im Text beschriebenen Potenzialabschätzungen beziehen sich auf die in Tabelle 17 „Maßnahmen zur Unfallvermeidung“ und Tabelle 18 „Maßnahmen zur Unfallfolgenminderung“ dargestellten Ergebnisse. Die absoluten Potenzialabschätzungen wurden jeweils auf das Musterjahr mit insgesamt 228 Unfällen pro Jahr bezogen, bei denen durchschnittlich 32,6 Verunglückte zu beklagen sind (vgl. Anlage 4).

In Bezug zu den Unfallverursachern wird unterschieden in Lkw und „Pkw“, bei denen Pkw, Kleintransporter und Motorrad zusammengefasst betrachtet werden. Ferner wird nach Art der Arbeitsstelle und Anprallart bzw. -ort unterschieden. Bei der überwiegenden Anzahl an Unfällen geht der Forschungsnehmer davon aus, dass diese auf eine ungenügende Aufmerksamkeit der Verkehrsteilnehmer zurückzuführen sind, gestützt wird diese Annahme durch den hohen Anteil an Nennungen mit „mangelnde Aufmerksamkeit“ bei bekannter Unfallursache in den Unfallprotokollen (rund 2/3 aller Nennungen, vgl. Kapitel 4.3). Maßnahmen zur Erhöhung der Sicherheit des Betriebsdienstpersonals in AkD sollten somit die Erhöhung der Aufmerksamkeit der Verkehrsteilnehmer zum Ziel haben.

Zur Potenzialabschätzung bei Maßnahmen zur Arbeitsstellensicherung wurden daher die Wirkungsweisen der gewählten Maßnahmen auf den Verkehrsteilnehmer herangezogen. Bei einer rein optisch wirkenden Maßnahme wird ein Reduzierungspotenzial von 20 %, bei akustischer Wirkung 30 % und bei einer haptischen Wirkungsweise (z. B. Warnschwellen) 50 % angenommen. Diese beziehen sich in Tabelle 17 auf die Unfallvermeidung und bis auf zwei Ausnahmen mit gleichen Prozentansätzen auch auf die Unfallfolgenminderung. Bei akustischer Warnung des Personals vor einem drohenden Unfall (siehe UVS) wird ein Vermeidungspotenzial von 50 % der Verunglückten angesetzt, da davon ausgegangen wird, dass neben der Unfallvermeidung durch die akustische Warnung der Verkehrsteilnehmer (30 %) auch bei den nicht vermiedenen Unfällen zumindest eine Reduzierung von Verunglückten, im Arbeitsstellenaußenbereich, erreichbar ist.

Bei den aktiven Fahrzeugsystemen der Verkehrsteilnehmer wird ein Reduzierungspotenzial von 80 % angenommen, da diese den Fahrer unterstützen und nicht direkt in den Fahrverlauf eingreifen,

d. h., der Fahrer muss letztlich durch sein Eingreifen den Unfall verhindern.

Nach Kapitel 4.3 sind die Verunglückten zu ca. 80 % im Fahrzeug zu verzeichnen. Demzufolge wurden Maßnahmen betrachtet, die dazu beitragen, die Unfallfolgen im Fahrzeug zu reduzieren oder zu mindern (Tabelle 18). Eine Reduzierung der Unfälle ist hierdurch nicht möglich (Reduzierungspotenzial der Unfälle 0 %). Bei den passiven Schutzsystemen in Betriebsdienstfahrzeugen wurde eine Abstufung der Maßnahmen von 30 % bis 80 % vorgenommen. Dies hängt damit zusammen, dass je nach Ausstattung (Maßnahme) ein höheres Reduzierungspotenzial bei den Verletzten zu erwarten ist.

Ein Potenzial von 100 % ist nur dann anzusetzen, wenn die Verunglückten keiner Gefahr ausgesetzt sind, z. B. Verlassen des Sicherungsfahrzeugs bei stationärer AkD.

5.1 Empfehlungen von Maßnahmen zur Unfallvermeidung

5.1.1 Arbeitsstellenorganisation

Bündelung von Tätigkeiten

Ein erster Schritt zur Reduzierung des Gefährdungsrisikos des Personals stellt die Bündelung der in AkD durchgeführten Tätigkeiten dar. Durch die Bündelung von Arbeitsstellen lässt sich nicht nur die Anzahl der AkD reduzieren. Durch weniger Eingriffe in den Verkehrsablauf wird ferner auch zur Stauvermeidung beigetragen. Unter diesen Aspekten sollte schon bei der Planung von AkD die Möglichkeit geprüft werden, ob entsprechende Tätigkeiten gebündelt in einer AkD durchgeführt werden können, selbst wenn hierdurch zum Teil höhere Kosten entstehen sollten. In Frage käme z. B. eine Bündelung von Mäh- oder Gehölzpflege- und Reinigungsarbeiten (MORITZ/WIRTZ, 2003). Eine Abschätzung des hieraus sinkenden Gefährdungspotenzials erweist sich als äußerst schwierig. Aus den Unfallprotokollen geht hervor, dass von allen Unfällen mit bekannter Tätigkeit in 24 % der Unfälle Reinigungsmaßnahmen durchgeführt wurden, bei 19 % der Unfälle Mäh- und bei 6 % der Unfälle Gehölzpflegearbeiten (vgl. Tabelle 12). Würde davon ausgegangen, dass 25 % der Mäh- und Gehölzpflegearbeiten zusammen mit Reinigungsarbeiten gebündelt werden könnten, könnten hierdurch rund 5 % der AkD eingespart (bezogen auf 73.000 AkD/a) bzw. 4 %

der AkD-Unfälle verhindert werden (bezogen auf ein Musterjahr mit 228 U/a; Anlage 4).

Verlegung von Tätigkeiten in verkehrsarme Zeiten (Nachtstunden)

Anhand der Auswertungen nach Kapitel 4.4 kann bei Nacht kein höheres Unfallrisiko erkannt werden. Demnach könnten bei Bedarf Arbeitsstellen in die Nachtstunden bzw. verkehrsarme Zeiten verlegt werden. Ferner ergab die Betrachtung der Unfälle in Bezug zu den Verkehrsbelastungen, dass 95 % der Unfälle bei einem $DTV < 1.800 \text{ Fz}/(\text{FS} \cdot \text{h})$ zu verzeichnen sind. Der Hauptnutzen dieser Maßnahme liegt allerdings in der Vermeidung von Staus bzw. Erhaltung der Kapazität am Tage und nicht in der Verbesserung der Sicherheit in AkD. Im Zeitraum zwischen 22:00 und 6:00 Uhr ereigneten sich 70 Unfälle. Bei knapp der Hälfte der Unfälle ist die Tätigkeit unbekannt oder handelt es sich um sonstige Tätigkeiten (4 Unfälle). Bei der Sicherung von Pannen oder Unfällen sind insgesamt 14 Unfälle zu verzeichnen. Bei 10 Unfällen wurden Tätigkeiten im Rahmen der baulichen Unterhaltung durchgeführt. Die weiteren in der Untersuchung betrachteten Tätigkeiten (z. B. Reinigungs- und Mäharbeiten, etc.) weisen jeweils keine oder maximal 3 Unfälle auf, was darauf zurückzuführen ist, dass diese Tätigkeiten i. d. R. hauptsächlich bei Tageslicht durchgeführt werden.

Da keine belastbaren Angaben zum Nacht-Anteil von AkD der einzelnen Tätigkeiten vorliegen, kann hieraus kein Potenzial zur Vermeidung von Unfällen durch die Verlegung von Arbeitsstellen in die Nacht abgeschätzt werden.

Sperrung kompletter Autobahnabschnitte

Durch die Sperrung kompletter BAB-Abschnitte ließ sich zum einen die Anzahl an AkD reduzieren und zum anderen möglichst viele Tätigkeiten bündeln. Dies ist jedoch von vielen Randbedingungen (z. B. sehr geringer DTV, Kapazität des nachgeordneten Netzes) abhängig und sollte nur in Sonderfällen erwogen werden. Die hierdurch erreichbare Reduzierung von AkD bzw. der Verweilzeit in einer AkD und somit des Gefahrenpotenzials, in einer AkD zu verunglücken, ist schwer abschätzbar und von den Möglichkeiten zur Bündelung mehrerer Tätigkeiten und den verkehrlichen Randbedingungen abhängig. Aufgrund der Vollsperrung der Richtungsfahrbahn und Ausleitung des Verkehrs muss mit einem erhöhten Risiko von Auffahrunfällen vor der Auslei-

tung gerechnet werden. Ferner muss geprüft werden, ob das nachgeordnete Netz die ausgeleiteten Verkehrsmengen zusätzlich aufnehmen kann. So ist besonders zu prüfen, ob die hierdurch erreichte Vermeidung von AkD-Unfällen nicht durch deren Verlagerung zu Lasten des nachgeordneten Netzes erfolgt, da im nachgeordneten Netz eine deutlich höhere Unfallrate als auf den Autobahnen zu erwarten ist. Wird eine komplette Sperrung von BAB-Abschnitten in Betracht gezogen, so kann diese auch in verkehrsarme Zeiten (Nacht) gelegt werden.

Prinzipiell ist diese Maßnahme nur zu empfehlen, wenn ein sehr gut ausgebautes nachgeordnetes Netz oder z. B. parallele Autobahnen vorhanden sind. Eine Potenzialabschätzung ist, wie bereits aufgeführt, von mehreren Randbedingungen abhängig und anhand des vorliegenden Datenmaterials nicht möglich.

5.1.2 Modifizierte Beschilderung in AkD

Anhand der vorliegenden Unfallprotokolle sind keine direkten Zusammenhänge zwischen der Arbeitsstelleneinrichtung sowie der Erkennbarkeit und den Unfallmustern erkennbar. Grundsätzlich erscheint der Einsatz von modifizierter Beschilderung wie z. B. Vorwarntafeln mit gelb hinterlegtem Hintergrund empfehlenswert, um die Verkehrsteilnehmer durch die höhere Erkennbarkeit und Wahrnehmbarkeit auf den folgenden Arbeitsstellenbereich hinzuweisen. Eine Erhöhung der Aufmerksamkeit der Verkehrsteilnehmer wird hierdurch jedoch nicht erzielt. Das hierdurch erzielbare Potenzial zur Erhöhung der Sicherheit in AkD wird in der verbesserten optischen Erkennbarkeit und Führung der Verkehrsteilnehmer in Arbeitsstellenbereichen gesehen (MESEBERG, 1997; BÜHLMANN/LAUBE, 2005; BAIER et al., 2006). Eine Potenzialabschätzung aufgrund der verbesserten Erkennbarkeit ist hinsichtlich der im Rahmen dieser Untersuchung zugrunde liegenden Fragestellung nicht möglich. Sicher erscheint jedoch, dass hierdurch alle Verkehrsteilnehmer gleichermaßen betroffen wären.

5.1.3 Arbeitsstellensicherung

Einsatz mobiler dynamischer Vorwarnsysteme

Durch den Einsatz mobiler dynamischer Vorwarnsysteme (Überkopfsignalisierung) kann vor allem die visuelle Erkennbarkeit der Verkehrszeichen und Vorwarntafeln, die durch Lkw-Kolonnen auf dem

rechten Fahrstreifen verdeckt werden, bzw. des nahenden Arbeitsstellenbereiches für die Verkehrsteilnehmer auf dem linken bzw. mittleren Fahrstreifen erhöht werden. Als vorteilhaft kann der Einsatz bei stationärer wie auch mobiler AkD bewertet werden. Eine Aufmerksamkeitserhöhung ist auch hierdurch nur bedingt zu erzielen.

Nach SCHWARZ (2006) können Auswirkungen durch den Einsatz der Überkopfsignalisierung (ÜKS) hauptsächlich auf Lkw bei Sperrung des rechten Fahrstreifens erkannt werden. Bei teilgebundenen und synchronen Verkehrszuständen erfolgen allerdings Fahrstreifenwechsellvorgänge aufgrund von Fahrzeugkolonnen auf dem mittleren Fahrstreifen relativ spät. Bei gesperrtem linken Fahrstreifen konnten keine Auswirkungen auf das Fahrverhalten von Pkw-Fahrern festgestellt werden. Demzufolge würde sich ein Potenzial durch einen frühzeitigeren Fahrstreifenwechsel von Lkw bei gesperrtem rechtem Fahrstreifen ergeben. Insgesamt sind 111 Unfälle zu verzeichnen, bei denen es durch einen Lkw auf dem rechten Fahrstreifen (ReFS) zu einem Aufprall von hinten kam. Aufgrund der Annahme, dass die ÜKS eine rein optische Wirkung auf die Lkw-Fahrer besitzt, ergibt sich hieraus ein Potenzial von rund 5 zu vermeidenden Unfällen im Musterjahr (228 Unfälle/a) sowie knapp 1 Getöteten (GT) bzw. Schwerverletzten (SV) und 1 Leichtverletzten (LV). Dieses Potenzial ist jedoch stark von der Verkehrsbelastung und vor allem der Verkehrszusammensetzung (DTV_{SV}-Anteil) abhängig; weitere Untersuchungen zum Einsatz und zur Wirkung der ÜKS auf die Verkehrsteilnehmer unter in Deutschland vorzufindenden Bedingungen sind zu empfehlen.

Wird angenommen, dass die ÜKS bei Pkw-Fahrern zumindest die Erkennbarkeit der angezeigten Fahrstreifenwechsel verbessert, könnten hierdurch Fahrfehler im Annäherungs- und Verflechtungsbereich der Arbeitsstellen reduziert werden, rund 3 % aller Unfälle.

Einziehen des linken Fahrstreifens bei AkD

Zur Harmonisierung der Geschwindigkeiten in Arbeitsstellen dient der Einzug des linken Fahrstreifens bei mobilen wie auch stationären AkD; nicht zuletzt kann hierdurch eine Erhöhung der Kapazität in Arbeitsstellenbereichen erreicht werden. Die höhere Erkennbarkeit der AkD durch die auf dem linken Fahrstreifen stehende Absperrtafel könnte sich auch positiv auf das Unfallgeschehen insgesamt auswirken. Angewendet wurde diese Maß-

nahme bei einer Richtungsfahrbahn mit zwei Fahrstreifen und gesperrtem rechten Fahrstreifen (KLEIN et al., 2004). Nach Tabelle 7 sind rund 75 % aller BAB in Deutschland vierstreifig (2 Fahrstreifen je Richtung), auf denen diese Maßnahme eingesetzt werden könnte. Die Verkehrsführung wird für die Verkehrsteilnehmer besser begreif- und erkennbar. Positiv könnte sich diese Maßnahme auf eine Reduzierung von Fahrfehlern im Annäherungs- und Verflechtungsbereich sowie überhöhten Geschwindigkeiten auswirken. Allerdings wird nach KLEIN et al. (2004) eine maximal zulässige Höchstgeschwindigkeit von 100 km/h vorgeschlagen. Durch den Einzug des linken Fahrstreifens ordnet sich der schnellere Verkehrsstrom in den meist langsameren Verkehrsstrom (Lkw) auf dem rechten Fahrstreifen ein, bevor dieser wieder auf den linken Fahrstreifen verschwenkt wird. Je nach Schwerverkehrsanteilen könnte hierdurch die gefahrene Geschwindigkeit der Pkw auf einen Bereich zwischen 80 und 100 km/h gesenkt werden.

Desgleichen wie bei einem Einsatz der ÜKS bietet diese Maßnahme ein vergleichbares Potenzial zur Unfallvermeidung bei stationären und mobilen AkD, wenn der rechte Fahrstreifen gesperrt wurde. Bezogen auf die 111 Unfälle mit Lkw als Unfallverursacher und Anprall von hinten ergibt sich hierbei ein ähnliches Reduzierungspotenzial von rund 5 Unfällen.

Einsatz von Warnschwellen in stationären AkD

Eine hohe Wirkung zur Erhöhung der Aufmerksamkeit der Verkehrsteilnehmer wird durch den Einsatz von Warnschwellen zur Vermeidung von Auffahrunfällen („Anprall von hinten“) in stationären AkD erzielt. Als relativ gefahrlos beim Auslegen kann der Einsatz von Warnschwellen auf dem Standstreifen gesehen werden, wenn man eine erhöhte Aufmerksamkeit des Personals beim Auslegen und Aufnehmen voraussetzt. Auch bei Sperrung des rechten Fahrstreifens könnten Warnschwellen eingesetzt werden (STEINAUER et al. 2004). Dem gegenüber steht allerdings gerade beim Wiederaufnehmen der Warnschwellen ein erhöhtes Gefahrenpotenzial. Allgemein muss beim Auslegen und Aufnehmen der Warnschwellen zur Eigensicherung das Fahrzeug zwischen Verkehrsteilnehmer und Personal stehen. Beim Abbau erfordert dies ggf. ein zusätzliches Fahrzeug bzw. Mehraufwand für das Personal, da die Stelle nochmals angefahren werden muss (BAIER et al. 2005). Beim Abbau könnten jedoch die Warnschwellen zuerst vom Standstreifen aus auf diesen gezogen und dann geladen werden.

Durchaus vermeidbar wären Unfälle, bei denen es auf dem rechten Fahrstreifen (reFS) oder Standstreifen (STS) zu einem Anprall von hinten, zu einem seitlichen Anprall oder seitlichen Streifen kam. Durch diese Maßnahme wären hauptsächlich Lkw betroffen; knapp die Hälfte aller Lkw-Unfälle. Am Gesamtunfallaufkommen (951 Unfälle) beträgt deren Anteil knapp 1/4.

In welchem Maße eine Verbesserung der Sicherheit in AkD durch den Einsatz von Warnschwellen zu erreichen ist, kann nur grob abgeschätzt werden. Bei Unfällen mit „Anprall von hinten“ wird hierbei ein Potenzial zur Unfallvermeidung von 50 % angenommen. Kam es zu einem seitlichen Anprall oder seitliches Streifen, wird ein Potenzial von 25 % angenommen, da davon ausgegangen wird, dass nicht alle Unfallverursacher die Warnschwellen überfahren oder diese nur teilweise mit einem Rad überfahren hätten. Bei Sperrung des rechten Fahr- bzw. Standstreifens ließen sich hierdurch rund 10 bzw. 5 Unfälle mit jeweils 1 Getöteten oder Schwerverletzten und 1 Leichtverletzten bei einem Anprall von hinten vermeiden.

Nach Tabelle 12 sind 24 % der Unfälle bei Reinigungs- bzw. 19 % bei Mäharbeiten sowie 21 % bei der baulichen Unterhaltung zu verzeichnen. Die Betrachtung der Art der AkD zeigt, dass nur 2/5 der Reinigungs- und 1/5 der Mäharbeiten stationär durchgeführt werden (bauliche Unterhaltung 100 %). Bezogen auf das Musterjahr ergibt dies 79 Unfälle bei bekannter Tätigkeit, bei denen Warnschwellen hätten eingesetzt werden können, was 35 % der Unfälle im Musterjahr entspricht.

Warnung des Personals und der Verkehrsteilnehmer bei einem bevorstehenden Unfall

Durch optische bzw. akustische Systeme können nicht nur die in einer Arbeitsstelle tätigen Betriebsdienstmitarbeiter, sondern auch die Verkehrsteilnehmer vor einem bevorstehenden Unfall gewarnt werden. Als zusätzliche Sicherungseinrichtung, insbesondere zur Erhöhung der Aufmerksamkeit der Verkehrsteilnehmer (akustisches Signal), könnten entsprechende Systeme eingesetzt werden. Eine neue Art der Warnung des Personals wie auch der Verkehrsteilnehmer stellt das Unfall-Vorwarn-System (UVS) dar (vgl. Kapitel 3.2). Allerdings kann dieses System nur bei stationären AkD eingesetzt werden. Möglicherweise könnte die für das UVS erforderliche Schaltleiste in eine Warnschwelle integriert werden, um zum einen eine haptische War-

nung der Verkehrsteilnehmer und zum anderen eine akustische oder auch optische Warnung des Personals zu erreichen.

Hauptsächlich könnte das UVS bei stationären AkD und gesperrtem Stand- bzw. rechtem Fahrstreifen zur Erhöhung der Sicherheit in AkD eingesetzt werden. Grundsätzlich kann das UVS bei allen Tätigkeiten eingesetzt werden, die in stationären Arbeitsstellen durchgeführt werden.

Hierbei weist das resultierende Potenzial sowohl bei Lkw als auch den „Verkehrsteilnehmern allgemein“ ein relativ gleich hohes Niveau auf. Die Wahrnehmung ist allerdings ausschließlich vom Fahrer abhängig und kann bei eingeschaltetem Radio oder Telefonieren herabgesetzt sein. So wird durch die akustische Warnung der Verkehrsteilnehmer ein Reduzierungspotenzial von 30 % angenommen. Auch hier ergibt sich ein Potenzial bei Lkw-Unfällen von insgesamt rund 10 zu vermeidenden Unfällen. Aufgrund des größeren Kollektivs weisen die „Pkw“ mehr zu vermeidende Unfälle auf (16 Unfälle). Ferner wird auch das Personal im Außenbereich der AkD und in den Fahrzeugen durch das akustische Signal gewarnt. Hierbei ist es empfehlenswert, dass sich die Personen im Außenbereich z. B. hinter den Schutzplanken in Sicherheit begeben. Da die eventuell verbleibende Zeit bis zu einem Aufprall relativ kurz sein kann, ist den Fahrzeuginsassen dringend von einem Ausstiegsversuch abzuraten, stattdessen sollte die Muskulatur angespannt werden, eine stabile Sitzposition eingenommen und die Person angeschnallt sein. Hierbei wird ein Reduzierungspotenzial der Verletzungen von 50 % angesetzt. Für Lkw ergeben sich rund 2 GT bzw. SV und 3 LV, bei „Pkw“ 3 GT bzw. SV und 3 LV.

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung konnte nicht geklärt werden, inwieweit es zu Fehlalarmen durch das Überfahren der Schaltleiste kommen und welche Folgen häufige Fehlalarme auf das Betriebsdienstpersonal in Arbeitsstellen haben könnten, z. B. Ignorieren des Warnsignals oder generelle Abschaltung des Systems.

Einrichtung eines seitlichen Sicherheitsbereiches oder Sperrung eines zusätzlichen Fahrstreifens

Der hohe Anteil an seitlich gestreiften und durch einen seitlichen Anprall beschädigter Fahrzeuge lässt die Einrichtung eines seitlichen Sicherheitsbereichs an AkD als sinnvoll erscheinen. Dies lässt

sich vor allem aus Unfällen ableiten, bei denen der Unfallverursacher zuerst an der Vorwarntafel sowie dem Sicherungsanhänger vorbeifuhr und es erst dann zu einem „Anprall von hinten“ oder einem „Seitlichen Streifen“ kam. Ein einzurichtender seitlicher Sicherheitsbereich könnte sich an den Beispielen der Länder Belgien, Finnland oder Schweden orientieren (vgl. Kapitel 3.2).

Die Einrichtung eines seitlichen Sicherheitsbereiches bei stationären wie auch mobilen AkD mindert die Wahrscheinlichkeit eines seitlichen Anpralls oder Streifens eines Fahrzeuges. Diese Maßnahme wirkt sich gleichermaßen auf alle Verkehrsteilnehmer aus. Da aus den Unfallprotokollen hervorgeht, dass häufig Unaufmerksamkeit Auslöser eines Unfalls war, ist das Reduzierungspotenzial durch diese Maßnahme schwer abzuschätzen. Erschwerend kommt hinzu, dass die zur Verfügung stehende Standstreifenbreite nur begrenzt ist und schwankt (vgl. Kapitel 4.3); teilweise sind auch keine Standstreifen vorhanden. Eventuell könnten schmalere Fahrzeuge beim Betriebsdienst eingesetzt werden.

Von den insgesamt 538 durch Lkw verursachten Unfällen wären hiervon 25 %, bei Pkw rund 5 % (328 Unfälle) betroffen. Während sich bei Pkw die prozentualen Anteile auf den linken (LiFS) und rechten Fahr- (ReFS) sowie Standstreifen (STS) etwa gleich verteilen, liegt der Hauptanteil bei Lkw eindeutig bei gesperrtem Standstreifen.

Demzufolge sticht auch hier der Lkw als Hauptunfallverursacher aus der Potenzialabschätzung heraus; 8 vermeidbare Unfälle sowie 2 Verunglückte, die vermeidbar wären. Bei Pkw ist nur knapp 1 vermeidbarer Unfall, aber keine Reduzierung bei den Verunglückten zu erwarten.

Als eine Art „erweiterter Sicherheitsbereich“ könnte auch die zusätzliche Sperrung eines Fahrstreifens, hauptsächlich des rechten Fahrstreifens bei Arbeiten auf dem Standstreifen, in Betracht kommen. Von Vorteil wäre hierbei, dass diese Maßnahme auch bei mobilen AkD angewendet werden könnte.

Die Potenzialabschätzung (50 % Reduzierungspotenzial) ergibt bei gesperrtem Standstreifen und Lkw als Unfallverursacher 8 zu vermeidende Verunglückte. Einerseits ist hierbei zu bedenken, dass durch die zusätzliche Sperrung des rechten Fahrstreifens in den fließenden Verkehr eingegriffen wird und dadurch mit Kapazitätseinbusen zu rech-

nen ist; deshalb könnte diese Maßnahme nur bei entsprechenden DTV-Werten Anwendung finden. Andererseits steigt hierdurch die Gefahr von Aufahrunfällen auf dem rechten Fahrstreifen. So käme es zwar zu weniger Unfällen, bei denen es zu einem seitlichem Streifen oder einem seitlichen Anprall auf dem Standstreifen kommt, jedoch wird erwartet, dass der Anteil von Unfällen, bei denen es zu einem Anprall von hinten auf dem rechten Fahrstreifen kommt, ansteigt.

Somit wäre zwar keine bzw. nur eine geringe Reduzierung von Unfällen zu erwarten, jedoch ist durch den größeren Abstand des fließenden Verkehrs vom Arbeitsbereich eine Vermeidung von Verunglückten durchaus möglich. Werden nach Kapitel 4.5 die Unfälle in Abhängigkeit der freien, zur Verfügung stehenden Fahrstreifen und der Verkehrsbelastung betrachtet, so bietet sich das größte Potenzial zur Sperrung eines zusätzlichen Fahrstreifens bei Tätigkeiten auf dem Standstreifen an. Hier wäre eine zusätzliche Fahrstreifensperrung (rechter Fahrstreifen) bei 161 von 192 Unfällen (rund 84 %) möglich, bevor der DTV über 1.800 Fz/(FS*h) steigt.

Geschwindigkeitsbeschränkungen und -überwachungen in AkD-Bereichen

Gut sichtbare Radargeräte im Arbeitsstellenbereich bzw. -zulauf sind gut geeignet, um dem Fahrer auch visuell zu verdeutlichen, dass er sich in einem geschwindigkeitsreduzierten Bereich befindet. Hierbei müssten die Radargeräte nicht immer aktiv sein, auch stichprobenhaft durchgeführte Kontrollen führen erfahrungsgemäß zu einer entsprechenden Wirkung bei den Verkehrsteilnehmern.

Durch eine Geschwindigkeitsanzeige im AkD-Bereich (Bild 31) könnten die Verkehrsteilnehmer auf



Bild 31: Geschwindigkeitsanzeige [Bildquelle: SIERZEGA (2006)]

ihre aktuelle Geschwindigkeit hingewiesen werden. In Kombination mit stichprobenhaften Geschwindigkeitskontrollen könnte dies einen nachhaltigen Einfluss auf die Geschwindigkeiten in AkD haben. Letztlich könnten solche Geräte auch zu einem höheren Sicherheitsgefühl beim Betriebsdienstpersonal führen. Ein weiterer Ansatz zur Harmonisierung des Verkehrs und der Geschwindigkeit wäre die Überwachung durch eine Section-Control-Anlage, die allerdings technisch zu aufwändig für den Einsatz in AkD ist. Ferner erfordern diese Anzeigen und Überwachungsanlagen eine Beschränkung der Höchstgeschwindigkeit.

Wie aus den Unfallprotokollen ersichtlich, ist bei Pkw häufiger mit nicht angepassten Geschwindigkeiten zu rechnen, allerdings wirken sich Geschwindigkeitsüberschreitungen erst bei Lkw in Zusammenhang mit deren höheren Massen und den hieraus folgenden kinetischen Kräften auf die Unfallfolgen aus (vgl. Kapitel 4.7). Die in den Regelplänen nach RSA (1995) vorgesehenen Geschwindigkeitsbeschränkungen von 100 km/h betreffen jedoch nur Pkw. Diese sind allerdings im Rahmen dieser Untersuchung als relativ unkritische „Unfallverursacher“ zu bewerten. Erst eine Geschwindigkeitsbeschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit (V_{zul}) auf unter 80 km/h würde den Hauptunfallverursacher Lkw betreffen. Dies erscheint jedoch aufgrund der Kapazitätserhaltung und einer zu erwartenden mangelnden Akzeptanz der Verkehrsteilnehmer nicht umsetzbar. Lediglich in Abschnitten, auf denen es die Verkehrsmenge zuließe – z. B. in der Nacht –, könnte eine Geschwindigkeitsbeschränkung auf $V_{zul} < 80$ km/h in Betracht kommen. Lediglich bei 32 von 328 Pkw- und 50 von 538 Lkw-Unfällen sind Angaben zur (geschätzten) gefahrenen Geschwindigkeit vor dem Unfall vorhanden (rund 9 % aller Unfälle). Für eine Geschwindigkeitsüberwachung spricht, dass immerhin bei 34 Unfällen mit Beteiligung von Lkw (> 7,5 t) eine Überschreitung der zulässigen Lkw-Höchstgeschwindigkeit (80 km/h) vorlag. Sehr hoch ist auch der Anteil der Unfälle, bei denen keine Angaben zur gefahrenen Geschwindigkeit vorliegen (rund 91 %, 446 Lkw-Unfälle (> 7,5 t)). Aufgrund der geringen Datenlage können keine hinreichend genauen Aussagen zum Überschreitungsniveau und den tatsächlich gefahrenen Geschwindigkeiten respektive deren Auswirkungen auf die Unfallfolgen erfolgen.

In Bezug auf die in Tabelle 16 berechneten Geschwindigkeitsänderungen und Beschleunigungen

würden sich durch eine reduzierte Lkw-Geschwindigkeit geringere Fahrzeuginsassenbelastungen ergeben. Das hieraus resultierende Potenzial ist jedoch von verschiedenen Faktoren abhängig und kann im Rahmen dieser Untersuchung nicht abschließend abgeschätzt werden; so sind auch nach Kapitel 4.7 keine eindeutigen Zusammenhänge zwischen den Verletzungen und den Unfallfolgen zu erkennen.

Bei stationären AkD und Sperrung des rechten bzw. Standstreifens sind bei Lkw nur 20 Unfälle zu verzeichnen. Da davon auszugehen ist, dass der Einfluss auf die Verkehrsteilnehmer zum einen über Verkehrszeichen (z. B. zul. Höchstgeschwindigkeit VZ 274) und zum anderen über Geschwindigkeitsanzeiger (Bild 31) erfolgen wird, wird hier lediglich ein Reduzierungspotenzial von 20 % angenommen (optische Wahrnehmung). Vermeidbar wäre hierdurch 1 Unfall, aber keine Verletzten.

Signalisierung des Arbeitsstellenendes

Um den Verkehrsteilnehmern eindeutig das Ende der Arbeitsstelle, d. h. den Beginn der „freien Strecke“, zu signalisieren, sollte über eine standardisierte Beschilderung bzw. Darstellung des Arbeitsstellenendes nachgedacht werden. So kam es nach Kapitel 4.3 bei 343 Unfällen zu einem Unfall, nachdem der Verkehrsteilnehmer die Vorwarn- und/oder Absperrtafel passiert hatte. Dies entspricht einem Drittel aller Unfälle. Eine Signalisierung des Arbeitsstellenendes durch eine „Leitschranke“, wie sie in Finnland praktiziert wird (vgl. Bild 20), könnte zumindest darauf hinweisen, dass sich der Verkehrsteilnehmer noch im Arbeitsstellenbereich befindet. Diese Maßnahme dient ausschließlich der Erkennbarkeit der Länge der Arbeitsstelle respektive des AkD-Endes. Die Aufmerksamkeit der Verkehrsteilnehmer wird hierdurch nicht wesentlich erhöht. Vermeidbar wären hierdurch Unfälle, bei denen der Verkehrsteilnehmer wieder zu früh auf den zuvor benutzten Fahrstreifen wechselte, bevor die AkD zu Ende war. Da die Arbeitsstellenlängen bei AkD laut WEINSPACH (1988) relativ begrenzt sind, etwa 100 bis 300 m betragen, und bei entsprechender Trassierung gut zu überschauen sind, ist eher davon auszugehen, dass die Unfallverursacher aufgrund von Unachtsamkeit zu nahe an der AkD vorbeifahren. Dementsprechend sollte ein maximal möglicher seitlicher Sicherheitsabstand bei mobilen bzw. stationären AkD eingerichtet oder bei stationären AkD Leitbaken bzw. -kegel eingesetzt werden (siehe dort).

Generell folgt aus der Potenzialabschätzung, dass durch die Signalisierung des Arbeitsstelleneodes rund 7 Unfälle hätten vermieden werden können, die möglicherweise vermeidbaren Verunglückten wären hauptsächlich bei den Leichtverletzten zu verzeichnen (rund 2 Personen).

5.1.4 Aktive Fahrzeugsicherheit bei den Verkehrsteilnehmern

Nach Kapitel 3.2 wird es in Zukunft vermehrt Systeme geben, die den Berufskraftfahrer beim Fahren unterstützen. Notbremssysteme, basierend auf der adaptiven Fahrgeschwindigkeitsregelung ACC (Adaptive Cruise Control), können zur Vermeidung von Auffahrunfällen beitragen (BOSCH, 2002). So genannte Spurassistentensysteme überwachen die Einhaltung der Rollspur. Auch die Überwachung der Aufmerksamkeit der Kraftfahrer, insbesondere des Müdigkeitszustandes, könnte in Zukunft Unfälle vermeiden helfen.

Die Entwicklungen in der Fahrzeugtechnik stellen somit ein hohes Potenzial zur Unfallvermeidung sowie Unfallfolgenminderung dar, dessen Aktivierung allerdings mit dem Modernisierungsgrad der Lkw- und Pkw-Flotte zusammenhängt. Aufgrund des hohen Anteils an vor allem ausländischen Lkw aus den ehemaligen Ostblockländern ist bis zur flächendeckenden Einführung der Systeme bei Lkw mit einem längeren Zeitraum zu rechnen. So könnten die erwähnten Systeme die Wahrscheinlichkeit von Auffahrunfällen und Unfällen, in denen vom Fahrstreifen abgekommen wurde und es hierdurch zu einem seitlichen Streifen oder seitlichen Anprall kam, verringern. Demzufolge kann hierin auch das größte Potenzial zur Unfallvermeidung gesehen werden. Zu beachten ist jedoch, dass diese Systeme den Fahrer nur unterstützen und (bis jetzt) nicht aktiv in den Fahrverlauf eingreifen. Eine genaue Potenzialabschätzung zur Unfallvermeidung ist nur schwer möglich, allerdings könnte in den nächsten Jahrzehnten mit einer Abnahme der Unfallzahlen in AkD und allgemein bei Längsverkehrsunfällen gerechnet werden.

Zur Potenzialabschätzung wird angenommen, dass alle Unfallverursacher bereits mit einer Fahrgeschwindigkeitsregelung (ACC) oder einem Spurassistentensystem ausgestattet gewesen wären und 80 % der Unfälle hätten vermieden werden können. Für Lkw ergibt sich bei gesperrtem rechtem bzw. Standstreifen hierbei ein Vermeidungspotenzial von rund 44 Unfällen im Musterjahr (entspricht

20 % von 228 Unfällen/a). Im Verhältnis zu den erzielbaren Reduzierungen durch Maßnahmen zur Arbeitsstellensicherung ist auch der Anteil vermeidbarer Verunglückter (6 GT bzw. SV und 10 LV) sehr hoch.

Zwar liegt die Anzahl vermeidbarer Unfälle durch „Pkw*“ aufgrund des etwas größeren Kollektivs höher als bei Lkw, jedoch werden hierdurch nur rund 6 Verunglückte vermieden. Somit zeigt diese Abschätzung, dass sich durch den Einsatz von Fahrgeschwindigkeitsreglern in Lkw ein wesentlich höheres Potenzial zur Unfallvermeidung und insbesondere zur Reduzierung von Verunglückten erreichen lässt als bei „Pkw*“.

Das Potenzial des Einsatzes von Spurassistentensystemen bei Lkw und gesperrtem Standstreifen umfasst rund 52 vermeidbare Unfälle sowie insgesamt 8 vermeidbare Verletzte. Zwar ist die Verunglücktenrate bei durch „Pkw*“ verursachten Unfällen mit seitlichem Anprall oder Streifen wegen der deutlich größeren Unfallanzahl sogar höher als bei Lkw, jedoch zeigt das Potenzial auf, dass der Einbau von Spurassistentensystemen in Lkw aufgrund des geringen Anteils am Gesamtfahrzeugaufkommen somit sehr viel wichtiger ist.

Schlussfolgerungen

- Eine Erhöhung der Sicherheit in AkD durch Maßnahmen im Rahmen der Arbeitsstellensicherung kann nur begrenzt erreicht werden.
- Bei stationären AkD ist durch den Einsatz von Warnschwellen bzw. durch den Einsatz des Unfall-Vorwarn-Systems (UVS) ein relativ großes Reduzierungspotenzial zu erreichen.
- Weiteres Potenzial besteht bei stationären wie auch mobilen AkD beim Einsatz der Überkopfsignalisierung (ÜKS) oder dem Einzug des linken Fahrstreifens. Allerdings sollten hierzu noch weitere Untersuchungen durchgeführt werden.
- Das größte Potenzial zur Vermeidung von Unfällen stellt die aktive Fahrzeugsicherheit bei den unfallverursachenden Verkehrsteilnehmern dar. Würden Lkw, die als Hauptunfallverursacher in Relation zu ihrer Fahrzeuganzahl deutlich überrepräsentiert sind, mit radarbasierten Fahrgeschwindigkeitsreglern (ACC) und Spurassistentensystemen ausgestattet, könnte mit relativ geringem Aufwand ein hohes Maß an Sicherheit erzielt werden. Nutznießer einer solchen Pflicht-

ausstattung wären darüber hinaus natürlich auch alle anderen Verkehrsteilnehmer, die bei Auffahrunfällen etc. davon profitieren würden.

5.2 Empfehlungen von Maßnahmen zur Unfallfolgenminderung

Folgend werden Maßnahmen betrachtet, die nicht die Vermeidung von Unfällen zum Ziel haben, sondern die Reduzierung oder Minderung der Unfallfolgen für die verunglückten Betriebsdienstmitarbeiter.

5.2.1 Fahrzeuge des Straßenbetriebsdienstes

Einsatz von Aufpralldämpfern

Der Einsatz von Aufpralldämpfern wie der TMA (vgl. Kapitel 3.2) dient hauptsächlich der Unfallfolgenminderung bei Pkw-Auffahrunfällen und deren Fahrzeuginsassen. Effektiv eingesetzt werden könnten Aufpralldämpfer bei Sperrung des linken und mittleren Fahrstreifens, bei geringem Schwerverkehrsanteil auf dem rechten Fahrstreifen oder bei Selbstsicherung. Bei einem Aufprall von Pkw reduziert der TMA die auf das Betriebsdienstfahrzeug wirkenden Belastungen und trägt somit zur Minderung der Unfallfolgen bei den Fahrzeuginsassen bei. Bei einem geschätzten Reduzierungspotenzial (Tabelle 19) von 50 % ließen sich bei 1 Unfall die Unfallfolgen mindern.

Aufgrund der Tatsache, dass aus dieser Untersuchung der Lkw als Hauptunfallverursacher hervorgeht, sollte die Entwicklung eines „Lkw-TMA“ gefördert werden, der die kinetische Energie bei einem Aufprall durch einen Lkw dämpft und somit die Unfallfolgen für beide Fahrzeuginsassen reduziert (vgl. Einsatz von Sicherungsfahrzeugen).

Wären zum Unfallzeitpunkt die Betriebsdienstfahrzeuge durch solch einen „Lkw-TMA“ geschützt gewesen, hätten bei einem Lkw-Anprall von hinten und mobiler AkD (5 Unfälle) 1 Getöteter bzw. Schwerverletzter und 2 Leichtverletzte vermieden werden können; bei stationären AkD nochmals 3 Verunglückte (1 Getöteter bzw. Schwerverletzter und 2 Leichtverletzte) bei 14 Unfällen.

Einsatz von Sicherungsfahrzeugen

Problematisch sind die hohen Fahrzeuggewichte bzw. -massen der Verkehrsteilnehmer (Lkw), die nicht beeinflusst werden können. Es ist vielmehr zu erwarten, dass das zulässige Gesamtgewicht bei

Lkw im Laufe der Zeit eher noch ansteigen könnte. Hier kann nur von Seiten der Fahrzeugtechnik durch entsprechende Bremssysteme und aktive Sicherheitssysteme für mehr Sicherheit im Straßenverkehr gesorgt werden. Eine aus kinematischer Sicht erforderliche Erhöhung der Masse der Sicherungsfahrzeuge erscheint unrealistisch.

Speziell für diesen Einsatz entwickelte Fahrzeuge (Lkw), deren Knautschzone quasi hinter der Fahrerkabine beginnt, könnten bei einem Aufprall für geringere Belastungen der Fahrzeuginsassen sorgen. Nachteil: Bei einer Heckkollision würde das Sicherungsfahrzeug vermutlich einen Totalschaden erleiden; denkbar wäre hier der Einsatz einer „getrennten Zugmaschine“. Allerdings wird in dieser Maßnahme kein realistisches Potenzial gesehen.

Einsatz von Rechtslenker-Fahrzeugen

Die Verletzungen zwischen Fahrer und Beifahrer unterscheiden sich nur geringfügig. Demzufolge könnte der Einsatz von Rechtslenker-Fahrzeugen hauptsächlich bei Tätigkeiten vorgesehen werden, bei denen vor allem der Fahrer öfter ein- und aussteigen muss (z. B. Streckenwartung). Hierdurch kann der Fahrer auf der verkehrsabgewandten Fahrzeugseite aussteigen. Dergleichen könnte auch durch eine „Durchgangsmöglichkeit“ vom Fahrer- auf den Beifahrersitz erreicht werden. Allerdings bleibt die Frage nach der Praktikabilität bei der täglichen Arbeit offen. Ferner müsste gewährleistet sein, dass die Fahrertür nicht mehr geöffnet werden kann, was jedoch aus Sicherheitsgründen (Notausstieg) nicht möglich erscheint. In Kombination mit Schiebetüren auf der Beifahrerseite könnte hierdurch eventuell weiter rechts gehalten werden, was zumindest auch theoretisch die Sicherheit vor einem seitlichen Streifen des Fahrzeugs durch einen Verkehrsteilnehmer erhöhen könnte.

Im Rahmen dieser Untersuchung wurden lediglich 4 Unfälle erfasst, bei denen ein Mitarbeiter gerade ein- bzw. aussteigen wollte, als sich der Unfall ereignete (vgl. Kapitel 4.7). Immerhin wurden dabei 4 Fahrer verletzt; zwei davon getötet.

Potenzial wird hierfür bei Sperrung des Standstreifens gesehen. Für das Musterjahr ergibt sich bei Annahmen dass der eine zu erwartende Verunglückte auf der verkehrsabgewandten Seite aussteigen kann, ein 100%iges Reduzierungspotenzial. Allerdings ist dieses Ergebnis aufgrund des sehr

Maßnahme		Angaben aus den Unfallprotokollen					Verunglücktenrate (Verunglückte/Unfallanzahl)		Potenzialabschätzung bezogen auf ein Musterjahr					
		Art der Arbeitsstelle	Unfallverursacher	Lage der Absperrung im Querschnitt	Anprallart/-ort	Unfallanzahl			Unfallanzahl im Musterjahr	Reduzierungspotenzial von Unfällen [%]	Reduzierungspotenzial von Verletzungen [%]	Anzahl vermeidbarer		
							GT und SV [%]	LV [%]				Unfälle	GT/SV	LV
Arbeitsstellsicherung	Mobiles dynamisches Vorwarnsystem (ÜKS)	st./mob.	Lkw	ReFS	ANh	111	13,5	17,1	26,6	20	20	5,3	0,7	0,9
	Einziehen des linken Fahrstreifens	st./mob.	Lkw	ReFS	ANh	111	13,5	17,1	26,6	20	20	5,3	0,7	0,9
	Einsatz von Warnschwellen in stationären AkD	st.	Lkw	STS	ANh	40	22,5	17,5	9,6	50	50	4,8	1,1	0,8
					ANs/STs	94	6,4	14,9	22,5	25	25	5,6	0,4	0,8
		Lkw	ReFS	ANh	80	10,0	12,5	19,2	50	50	9,6	1,0	1,2	
				ANs/STs	29	0,0	3,4	7,0	25	25	1,7	0,0	0,1	
	Warnung des Personals und der Verkehrsteilnehmer (UVS)	st.	Lkw	ReFS	ANh/ANs	88	9,1	11,4	21,1	30	50	6,3	1,0	1,2
					STS	54	20,4	25,9	12,9			3,9	1,3	1,7
		Pkw*	ReFS	ANh/ANs	138	5,8	8,0	33,1	30	50	9,9	1,0	1,3	
				STS	81	16,0	22,2	19,4			5,8	1,6	2,2	
	Einrichtung eines seitlichen Sicherheitsstreifens	st.	Lkw	STS	ANs/STs	94	6,4	14,9	22,5	20	20	4,5	0,3	0,7
		mob.				73	1,4	24,7	17,5			3,5	0,0	0,0
		st.	Pkw	LiFS	ANs/sS	9	0,0	0,0	2,2	20	20	0,4	0,0	0,0
		mob.				8	0,0	62,5	1,9			0,4	0,0	0,2
	Zusätzliche Fahrstreifenperrung	st.	Lkw	STS	ANh/ANs/STs	134	11,2	15,7	32,1	0	50	0,0	1,8	2,5
		mob.			93	6,5	31,2	22,3			0,0	0,7	3,5	
	Geschwindigkeitsbeschränkung u. Überwachung	st.	Lkw	ReFS + STS	ANh/ANs/STs	20 ¹⁾	10,0	15,0	4,8	20	20	1,0	0,1	0,1
	Signalisierung des AkD-Endes	st.	Lkw	ReFS	ANh/ANs/STs	262)	7,7	50,0	6,2	20	20	1,2	0,1	0,6
		mob.			7 ²⁾	14,3	28,6	1,7	20	20	0,3	0,0	0,1	
		st.	Lkw	STS	ANh/ANs/STs	69 ²⁾	7,2	11,6	16,5	20	20	3,3	0,2	0,4
mob.		54 ²⁾			7,4	31,5	12,9	20	20	2,6	0,2	0,8		
st.		Pkw	LiFS	ANh/ANs/STs	82)	0,0	12,5	1,9	20	20	0,4	0,0	0,0	
mob.				7 ²⁾	14,3	0,0	1,7	20	20	0,3	0,0	0,0		
Aktive Fahrzeugsicherheit (Verkehrsteilnehmer)	Fahrgeschwindigkeitsregelung (ACC)	st./mob.	Pkw*	div. FS	ANh	294	1,7	9,2	70,5	80	80	56,4	1,0	5,2
		st./mob.	Lkw	ReFS + STS	229	13,5	21,8	54,9	80	80	43,9	5,9	9,6	
	Spurassistentensysteme	st./mob.	Pkw*	div. FS	ANs/STs	44	0,0	18,2	10,5	80	80	8,4	0,0	1,5
		st./mob.	Lkw	STS	269	3,0	12,3	64,5	80	80	51,6	1,5	6,3	

ANh = Anprall von hinten ANs = seitlicher Anprall STs = seitliches Streifen st. = stationär mob. = mobil
LiFS/ReFS = linker bzw. rechter Fahrstreifen, STS = Standstreifen

1) Nur Lkw-Unfälle betrachtet, bei Geschwindigkeiten > 80 km/h
2) Nur Unfälle betrachtet, bei denen weder Absperr- noch Vorwarntafeln beschädigt wurden

Tab. 17: Potenzialabschätzung bei Maßnahmen zur Unfallvermeidung

geringen Anteils von 4 Unfällen von insgesamt 951 Unfällen mit Vorsicht zu betrachten. So wären durch den Einsatz von z. B. Rechtslenker-Fahrzeugen 2,3 % aller Verunglückten bzw. 3,1 % der in einem Fahrzeug verunglückten Personen, allerdings nicht der Unfall selbst, verhindert worden.

Einsatz von Semi-Selbstfahreinrichtungen bei mobilen AkD

Der Einsatz von Semi-Selbstfahreinrichtungen in Fahrzeugen reduziert beim Personal das Risiko, bei einem Unfall unmittelbar betroffen zu sein.

Neben der Möglichkeit, das Fahrzeug vom Fahrbahnrand, d. h. aus sicherer Entfernung zum Verkehr, zu steuern, könnten auch Fahrzeuge miteinander gekoppelt werden; z. B. bei mobilen AkD, wenn das Sicherungsfahrzeug dem Arbeitsfahrzeug automatisch folgt (vgl. Kapitel 3.2). Hierdurch lassen sich zwar keine Unfälle vermeiden, jedoch die Unfallfolgen mindern, da das Fahrzeug aus einem „sicheren Bereich heraus“, z. B. hinter der Schutzplanke, gesteuert werden kann. Sinnvoll wäre der Einsatz bei Sicherungsfahrzeugen in mobilen AkD. Bei mobilen AkD sind insgesamt 28 Unfälle zu verzeichnen, bei denen Sicherungsfahrzeuge betroffen waren. Hierbei wurden 7 Personen schwer und 29 leicht verletzt. Wird angenommen, dass alle Sicherungsfahrzeuge mit einer Semi-Selbstfahreinrichtung ausgestattet waren, ergibt sich ein Reduzierungspotenzial von 100 %. Bezogen auf das Musterjahr entspricht dies 7 Unfällen, bei denen hierdurch insgesamt 9 Verunglückte vermieden werden könnten.

5.2.2 Erhöhung der passiven Fahrzeugsicherheit der Betriebsdienstfahrzeuge

Die aufgezeigten Verletzungen (vgl. Kapitel 4.7) deuten hauptsächlich auf zwei wesentliche Ursachen für die hohe Anzahl an Verletzungen hin: Zum einen sind diese Verletzungen vermutlich darauf zurückzuführen, dass die Fahrzeuginsassen womöglich nicht angeschnallt waren, zum anderen darauf, dass die Fahrzeugsitze und Kopfstützen nicht richtig auf die Fahrzeuginsassen eingestellt bzw. keine Kopfstützen vorhanden waren. Entscheidend ist ferner die Sitzposition der Insassen. So konnte aufgrund der geringen Datenlage nicht näher untersucht werden, bei welchen Tätigkeiten der Fahrzeuginsasse z. B. quer zur Fahrtrichtung saß (z. B. bei Mäharbeiten).

Von den Fahrzeugherstellern sind zum Schutz der Fahrzeuginsassen verschiedene passive Schutzsysteme auf dem Markt, die die Folgen eines Unfalls reduzieren sollen. Für unterschiedliche Unfallszenarien und Verletzungsarten wurden verschiedene Systeme entwickelt; neben Fahrer- und Beifahrerairbag, Window-, Seiten- oder Kopfairbag wurden auch so genannte Nackenairbags entwickelt. Ebenso stellen Gurtstraffer und -warner zum einen sicher, dass die Person optimal im Bezug zu dem Airbag sitzt, zum anderen wird überprüft, ob überhaupt der Sicherheitsgurt angelegt wurde. Ferner wurden gerade hinsichtlich der verhältnismäßig häufig auftretenden HWS-Verletzungen entsprechende Kopfstützensysteme entwickelt: reaktive und proaktive Kopfstützen, Whiplash-Protection-System (WHIPS), Whiplash-Injury-Lessening (WIL) (ADAC, 2007).

Passive Schutzsysteme – Airbags

Der Frontairbag, meist für Fahrer und Beifahrer im Lenkradgehäuse bzw. oberhalb des Handschuhfachs untergebracht, schützt die Fahrzeuginsassen hauptsächlich bei einer Frontalkollision bzw. bei einem Aufprall bis maximal 45° versetzt zur Fahrzeuglängsachse. Dieser soll bei einem Aufprall den Kontakt von Kopf und Brust des Fahrers mit dem Lenkrad bzw. des Beifahrers mit dem Armaturenbrett verhindern oder mildern. Bei einem Heckaufprall werden Frontairbags i. d. R. nicht ausgelöst. Nach Anfrage beim Fraunhofer Institut für Chemische Technologie, Geschäftsfelder Airbag-Systementwicklung bzw. Airbag- und Gasgeneratorentechnologie (ICT, 2007), werden Airbagsysteme auf den jeweiligen Fahrzeugtyp abgestimmt; schon eine zusätzliche Anhängerkupplung oder eine daran angehängte Absperrtafel könnten zu Fehlinterpretationen in der Systemtechnik und so zu einem Fehl- oder Nichtauslösen der Airbags führen.

So genannte „Sidebags“ (Seitenairbags) sollen das Schutzpotenzial des Brustkorbs der stoßzugewandten Insassen bei einem seitlichen Aufprall erhöhen. Darüber hinaus sollen „Window-“ oder „Head-Thorax-Bags“ den Schutz des Kopfes und Oberkörpers erhöhen (Mercedes-Benz, 2007).

Der von der Firma TRW Occupant Restraint Systems entwickelte Nackenairbag soll bei einem Frontal- oder Heckaufprall das Risiko einer HWS-Verletzung reduzieren (Berliner Zeitung, 1999).

Passive Schutzsysteme – Gurtstraffer und Gurtwarner

Gurtstraffer (belt minder) werden i. d. R. vom gleichen Steuergerät ausgelöst wie auch ein Airbag, jedoch wird zusätzlich geprüft, ob der Gurt überhaupt angelegt wurde. Durch ein akustisches Warnsignal wird der Insasse während der Fahrt darauf hingewiesen, dass der Sicherheitsgurt nicht in der Halterung eingerastet respektive angelegt wurde. Der Gurtstraffer hat weiterhin den Vorteil, dass hierdurch für eine optimale Sitzposition zum Airbag gesorgt wird und der Insasse zusätzlich stärker vom Sicherheitsgurt am Autositz gehalten wird. Allgemein sind die Beschleunigungsspitzen bei einem Frontal- oder Heckaufprall für die Fahrzeuginsassen immer höher als für das Fahrzeug selbst. Um das Maximum an passiver Sicherheit zu gewähren, wird der Gurtstraffer noch vor der Zündung des Airbags aktiv. Somit wird der Insasse durch den Straffer besser abgebremst und bewegt sich kontrolliert in den bereits sich voll entfaltenden Airbag (VSI, 2007).

Passive Schutzsysteme – Kopfstützen

Der ADAC (2007) testete im Jahr 2006 insgesamt 28 Fahrzeugmodelle in Verbindung mit verschiedenen Kopfstützensystemen. Hierbei wurde der Heckaufprall auf einem Testschlitten simuliert. Zum Einsatz kam ein besonderer Heckaufprall-Dummy, dessen Wirbelsäule die gleichen dynamischen Eigenschaften wie die Wirbelsäule eines Menschen besitzt. Simuliert wurden Heckkollisionen, bei denen ein stehendes Fahrzeug einen Heckaufprall zwischen 30 und 50 km/h durch ein gleich schweres Fahrzeug erfährt (Pkw-Pkw).

Zu den passiven Kopfstützen gehören die herkömmlichen Sitz/Kopfstützenkonstruktionen. Hierbei ist entweder die Kopfstütze verstellbar mit der Sitzlehne verbunden oder fest in sie integriert. Das Problem besteht hierbei, dass bei einem größeren Abstand zwischen Kopf und Kopfstütze der Oberkörper beim Heckaufprall deutlich früher gegen die Rückenlehne prallt als der Kopf gegen die Kopfstütze. Dadurch wird der Oberkörper früher zurückgehalten als der Kopf, es entstehen eine Relativbewegung zwischen Kopf und Oberkörper und damit eine erhöhte Belastung der Halswirbelsäule.

Bei reaktiven Kopfstützen ist diese über eine Wippe mit der Rückenlehne verbunden. Wird der Oberkörper des Fahrzeuginsassen beim Heckauf-

prall gegen die Rückenlehne gedrückt, bewegt sich die Kopfstütze nach vorne und verringert so den Abstand zum Kopf. Im Gegensatz hierzu erfolgt bei einer proaktiven Kopfstütze die Vorverlagerung der Kopfstütze aktiv, z. B. durch eine vorgespannte Feder, die ab einer bestimmten Aufprallstärke von Sensoren freigegeben wird.

Das Whiplash-Protection-System (WHIPS) der Firma Volvo besteht aus einer fest integrierten Einheit aus Kopfstütze und Rückenlehne. Bei einem Heckaufprall wird diese Einheit horizontal nach hinten geschoben und die Stoßenergie absorbiert. Durch die Kombination aus frühzeitig zurückgehaltenem Kopf und Stoßabsorption wird eine Minimierung der Relativbewegung zwischen Oberkörper und Kopf erreicht, die als Folge eine entsprechend niedrige HWS-Belastung bewirkt.

Das von Toyota entwickelte System Whiplash-Injury-Lessening (WIL) beruht auf den unterschiedlichen Tragstrukturen von Rückenlehne (Rückenpolster) und Kopfstütze (Kopfstützenpolster). Auch damit lässt sich eine Reduktion der Relativbewegung zwischen Kopf und Oberkörper erreichen.

Die Testergebnisse zeigen, dass es vereinzelt Weiterentwicklungen der Kopfstützen- und Sitzkonstruktionen gibt, jedoch sind diese allein kein Garant für einen höheren Insassenschutz, da unabhängig vom Kopfstützensystem jedes Fahrzeug sehr individuell reagiert. Allerdings können spezielle Sitzlehnenkonstruktionen die Folgen eines Heckaufpralls erheblich mildern. Je nach Fahrzeughersteller schneiden die verschiedenen Kopfstützensysteme unterschiedlich ab. Als klarer Sieger geht bei dem Test des ADAC das WHIPS



Bild 32: Kopfstützensergänzung ContiCuraPlus® [Bildquelle: Continental/Contitech (2007)]

hervor; aber auch passive Kopfstützensysteme erreichten je nach Hersteller gute Ergebnisse.

Bereits 2005 führte der ADAC (2005) einen Autositz- und Kopfstützentest durch. Getestet wurde unter anderem auch die nachrüstbare Kopfstützenergänzung „ContiCuraPlus®“ (Bild 32) (Continental/Contitech, 2007). Wie die Testergebnisse zeigten, lässt sich in Fahrzeugen, in welchen konstruktionsbedingt der Abstand zwischen Kopf und Kopfstütze sehr groß ist, der Schutz vor HWS-Verletzungen deutlich verbessern. Ein klarer Vorteil wird auch in den geringen Anschaffungskosten (rund 50,- €) gesehen.

Potenzialabschätzung passiver Schutzsysteme

Nach Kapitel 4.7 weist der überwiegende Teil der verunglückten Fahrzeuginsassen HWS-Verletzungen auf. Um diese Verletzungen zu mindern oder ggf. auch völlig zu verhindern, sollten Fahrzeugsitze mit entsprechenden Kopfstützensystemen in Kombination mit Gurtstraffern u. -warnern in den Fahrzeugen des Betriebsdienstes eingesetzt werden. Diese Maßnahmen dienen zwar nicht der Unfallvermeidung, stellen jedoch ein großes Potenzial zur Unfallfolgenminderung dar. Insgesamt sind 103 Unfälle (1997 bis 2005) zu verzeichnen, bei denen Fahrzeuginsassen verletzt wurden, d. h., bei jedem zehnten Unfall verunglückten Betriebsdienstmitarbeiter. Ferner beträgt der Anteil verunglückter Fahrzeuginsassen (128 Personen) bezogen auf die Gesamtzahl Verunglückter (172 Personen) rund 75 %.

Schon durch die Umsetzung der Empfehlung, den Sicherheitsgurt immer angelegt zu haben – auch bei mobilen AkD und niedrigen Geschwindigkeiten oder auf Kurzstrecken –, wird von einem Reduzierungspotenzial von 30 % ausgegangen. Bezogen auf das Musterjahr (228 Unfälle/a) könnte diese Maßnahme 2 Getötete bzw. Schwerverletzte und 7 Leichtverletzte vermeiden. Ist das Fahrzeug zusätzlich mit einem Gurtwarner ausgestattet, so wird angenommen, dass das Potenzial auf 50 % gesteigert werden kann (4 GT/SV, 12 LV).

Ein Gurtstraffer in Kombination mit angelegtem Sicherheitsgurt stellt bei einem Unfall ein hohes Maß zur Unfallfolgenminderung dar. Bei einem angesetzten Reduzierungspotenzial von 60 % könnten hierdurch rund 18 Verunglückte vermieden werden.

Sind Fahrzeuge mit Seitenairbags, „Window-“ oder „Head-Thorax-Bags“ ausgestattet, ist zu erwarten,

dass auch Gurtstraffer zur Fahrzeugausstattung gehören. Durch den Eingriff eines bzw. mehrerer dieser Schutzsysteme wird ein Reduzierungspotenzial von vermeidbaren Verletzungen um 65 % angenommen. Frontairbags stellen bei den hier betrachteten Unfällen kein Sicherheitspotenzial dar, da diese bei einem Heckaufprall i. d. R. nicht ausgelöst werden.

Eine Reduzierung von 70 % der Verunglückten in Fahrzeugen des Betriebsdienstes wird bei Einsatz einer Kopfstützenergänzung (Continental/Contitech, 2007) kombiniert mit einem Gurtwarner erwartet; hauptsächlich durch die Reduktion von auftretenden HWS-Verletzungen (siehe Kapitel 4.7). Anhand der Potenzialabschätzung wären hierdurch 5 Getötete bzw. Schwerverletzte und 17 Leichtverletzte vermeidbar.

Gleiche Zielvorgaben, nämlich die Auswirkungen einer Kollision, die von einem folgenden Fahrzeug ausgelöst wird, zu mindern, haben die zuvor beschriebenen verschiedenen Kopfstützensysteme; allerdings technisch wesentlich aufwändiger. Prinzipiell ist bei solchen Systemen auch ein Gurtstraffer Bestandteil der Fahrzeugsitzausstattung. Angenommen wird hierbei, dass sich hierdurch ein Reduzierungspotenzial von 80 % erreichen lässt. Größtes Potenzial besteht in der Vermeidung von leicht verletzten Personen (19 Personen); gegenüber 6 Personen mit schweren Unfallfolgen (6 GT bzw. SV). Speziell für den Heckaufprall (Anprall von hinten und seitlicher Anprall) wurden Nackenairbags entwickelt. Auch durch den Einsatz dieser Nackenairbags in Verbindung mit Gurtstraffern wird ein Potenzial zur Unfallfolgenminderung von 80 % angenommen; dementsprechend können 5 GT bzw. SV und 17 LV vermieden werden.

Generelle Voraussetzung für die durch passive Schutzsysteme erreichbaren Vermeidungspotenziale ist immer ein angelegter Sicherheitsgurt. Durch den Einsatz solcher Systeme könnte somit ein hoher Grad an Reduzierung oder Minderung der Unfallfolgen erzielt werden. Weiterhin ist zu erwarten, dass sich die Unfallschwere in Richtung Leichtverletzte verschieben bzw. deren Anteil folglich ebenso sinken könnte. Diese Maßnahmen sind generell in allen Fahrzeugen einsetzbar sowie bei allen Tätigkeiten möglich und können aufgrund der einmaligen Anschaffung von Fahrzeugsitzen, Kopfstützen oder einer Kopfstützenergänzung relativ kostengünstig umgesetzt werden.

Schlussfolgerungen

- Insgesamt bieten passive Schutzsysteme das größte Vermeidungspotenzial von Verletzungen bei Fahrzeuginsassen.
- Durch generelles Anlegen des Sicherheitsgurtes könnten bereits 30 % der zu erwartenden verletzten Fahrzeuginsassen vermieden werden.
- Ein großes Potenzial stellen auch Gurtwarner oder Gurtstraffer in Verbindung mit einem angelegten Sicherheitsgurt dar.
- Ein sehr großes Vermeidungspotenzial hinsichtlich der Verletzungen, insbesondere von HWS-Verletzungen, bieten Seiten- und Nackenairbags, „Window-“ oder „Head-Thorax-Bags“; zu erwartende Reduzierungen bei über 80 % der Verunglückten.
- Relativ kostengünstig können durch eine Kopfstützenergänzung in Kombination mit Gurtwarner Unfallfolgen gemindert werden; bei über 80 % der zu erwartenden Verunglückten.
- Nahezu bei allen Verunglückten könnten durch Kopfstützensysteme (mit Gurtstraffer) die Unfallfolgen gemindert werden.
- Allgemein sind gerade in Bezug auf das hierdurch erreichbare Vermeidungspotenzial weitere Untersuchungen erforderlich.

5.3 Maßnahmen zu Verhaltensänderungen beim Betriebsdienstpersonal sowie den Verkehrsteilnehmern

Alle Unfälle können letztlich auf menschliches Fehlverhalten zurückgeführt werden, wobei i. d. R. dem Unfallverursacher das Fehlverhalten zur Last gelegt werden kann. Folglich sollten auch der Mensch und dessen Verhalten in die Überlegungen zur Verbesserung der Sicherheit des Betriebsdienstpersonals in AkD mit einbezogen werden.

5.3.1 Vertiefende Führerscheinausbildung zum Verhalten in Arbeitsstellen und Information der Verkehrsteilnehmer

Eine häufige Unfallursache waren insbesondere bei Pkw-Fahrern, aber auch bei Berufskraftfahrern, „Fahrfehler“. Diese können im Nachhinein zwar aus den vorliegenden Unfallprotokollen nicht ein-

deutig rekonstruiert werden, jedoch wird deutlich, dass vor allem das richtige Verhalten in kritischen Bereichen (Arbeitsstellen) den Verkehrsteilnehmern Probleme bereitet. Ferner scheint den Verkehrsteilnehmern oftmals nicht bewusst, welche Verantwortung sie gegenüber anderen Verkehrsteilnehmern und sich selbst haben. Darauf lassen insbesondere „Nebentätigkeiten“ mancher Berufskraftfahrer während des Fahrens schließen. Neben dem Lehren des richtigen Verhaltens in solchen kritischen Bereichen erscheinen auch präventive Verhaltensweisen beim Fahren bereits bei der Führerscheinausbildung sinnvoll. Besonders den Berufskraftfahrern, die prozentual gesehen wesentlich häufiger BAB benutzen als Pkw-Fahrer, sollte in entsprechenden Schulungen und den Medien das Problem der mangelnden Aufmerksamkeit sowie Müdigkeit im Straßenverkehr nähergebracht werden. Aktionen wie Plakatwände und Flugblätter, die die Verkehrsteilnehmer für die Arbeit des Betriebsdienstes sensibilisieren sollen, können lediglich für mehr Verständnis und Toleranz der Verkehrsteilnehmer gegenüber dem Personal in Arbeitsstellen sorgen.

5.3.2 Verhaltensänderungen und präventive Sicherheitsunterweisungen beim Betriebsdienstpersonal

Begleitend zu den Maßnahmen, die auf Seiten des Betriebsdienstes erfolgen können, sollten entsprechende präventive Sicherheitsunterweisungen im Rahmen der Unfallverhütungsvorschriften erfolgen.

Fast 80 % der verunglückten Betriebsdienstmitarbeiter befanden sich zum Zeitpunkt eines Unfalls im Fahrzeug. Eingebaute Gurtwarner könnten die Fahrzeuginsassen an das Anlegen des Sicherheitsgurtes erinnern. Die Fahrzeuginsassen können jedoch auch selbst zur Unfallfolgenminderung beitragen, indem sie sich an einige Verhaltensregeln halten. Um HWS-Verletzungen zu vermeiden, ist grundsätzlich auf Folgendes zu achten:

- Eine korrekte Sitz- und Kopfstützeneinstellung sowie eine möglichst steil eingestellte Sitzlehne.
- Eine der Körpergröße angepasste Kopfstütze; die Kopfstützenoberkante sollte auf Kopfhöhe liegen und möglichst wenig Abstand (< 3 cm) zum Kopf haben.
- Wird die Muskulatur bei einem bevorstehenden Aufprall angespannt, können hierdurch auch die Unfallfolgen gemindert werden.

Maßnahme		Angaben aus den Unfallprotokollen					Verunglücktenrate (Verunglückte/Unfallanzahl)		Potenzialabschätzung bezogen auf ein Musterjahr					
		Art der Arbeitsstelle	Unfallverursacher	Lage der Abspernung im Querschnitt	Anprallart/-ort	Unfallanzahl	GT und SV [%]	LV [%]	Unfallanzahl im Musterjahr	Reduzierungspotenzial von Unfällen [%]	Reduzierungspotenzial von Verletzungen [%]	Anzahl Minderungen		
												Unfälle	GT/SV	LV
Fahrzeuge des Betriebsdienstes	Aufpralldämpfer	st./mob.	Pkw	LiFS	ANh	6	0,0	100	1,4	0	50,0	-	0,0	0,7
	Aufpralldämpfer „Lkw-TMA“	st.	Lkw	ReFS + STS	ANh	120	9,2	12,5	28,8	0	50,0	-	1,3	1,8
		mob.				42	28,6	40,5	10,1				1,4	2,0
		Rechtslenker-Fahrzeuge	mob.	Lkw	STS	STs	4	50,0	50,0	1,0	0	100,0	-	0,5
	Semi-Selbstfahreinrichtung	mob.	Pkw* + Lkw	div. FS	ANh/ ANs/ STs	28 ¹⁾	25,5	103,6	6,7	0	100,0	-	1,7	7,0
Passive Schutzsysteme (Betriebsdienstfahrzeuge)	Empfehlung, den Sicherheitsgurt anzulegen	st./mob	Pkw* + Lkw	div. FS	ANh/ ANs/ STs	103 ²⁾	28,2	96,1	24,7	0	30,0	-	2,1	7,1
	Gurtwarner + Sicherheitsgurt	st./mob				103 ²⁾	28,2	96,1	24,7	0	50,0	-	3,5	11,9
	Gurtstraffer + Sicherheitsgurt	st./mob				103 ²⁾	28,2	96,1	24,7	0	60,0	-	4,2	14,2
	Seiten-, „Window-“, „Head-Thorax-Bag“ + Gurtstraffer	st./mob	Pkw* + Lkw	div. FS	ANh/ ANs/ STs	103 ²⁾	28,2	96,1	24,7	0	65,0	-	4,5	15,4
	Kopfstützenergänzung + Gurtwarner	st./mob	Pkw* + Lkw	div. FS	ANh/ ANs/ STs	103 ²⁾	28,2	96,1	24,7	0	70,0	-	4,9	16,6
	Kopfstützensysteme + Gurtstraffer	st./mob				103 ²⁾	28,2	96,1	24,7	0	80,0	-	5,6	19,0
		Nackenaairbag + Gurtstraffer	st./mob	Pkw* + Lkw	div. FS	ANh/ANs/	86 ²⁾	32,6	104,7	20,6	0	80,0	-	5,4

ANh = Anprall von hinten ANs = seitlicher Anprall STs = seitliches Streifen st. = stationär mob. = mobil
LiFS/ReFS = linker bzw. rechter Fahrstreifen, STS = Standstreifen
1) Nur Unfälle betrachtet, bei denen Fahrzeuginsassen in Sicherungsfahrzeugen betroffen sind
2) Nur Unfälle betrachtet, bei denen Fahrzeuginsassen verletzt wurden

Tab. 18: Potenzialabschätzung bei Maßnahmen zur Unfallfolgenminderung

Maßnahme		Angaben aus den Unfallprotokollen					Verunglücktenrate (Verunglückte/Unfallanzahl)		Potenzialabschätzung bezogen auf ein Musterjahr					
		Art der Arbeitsstelle	Unfallverursacher	Lage der Abspernung im Querschnitt	Anprallart/-ort	Unfallanzahl	GT und SV [%]	LV [%]	Unfallanzahl im Musterjahr	Reduzierungspotenzial von Unfällen [%]	Reduzierungspotenzial von Verletzungen [%]	Anzahl Minderungen		
												Unfälle	GT/SV	LV
Verhaltensänderungen	Empfehlung, aus den Sicherungsfahrzeugen auszustiegen	st.	Pkw* + Lkw	div. FS	ANh/ ANs/ STs	31 ¹⁾	22,6	90,3	7,4	0	100,0	-	1,7	7,0

ANh = Anprall von hinten ANs = seitlicher Anprall STs = seitliches Streifen st. = stationär mob. = mobil
LiFS/ReFS = linker bzw. rechter Fahrstreifen, STS = Standstreifen
1) Nur Unfälle betrachtet, bei denen Fahrzeuginsassen in Sicherungsfahrzeugen betroffen sind

Tab. 19: Potenzialabschätzung durch Verhaltensänderungen beim Betriebsdienstpersonal

Generell sollte in entsprechenden Sicherheitsunterweisungen auf die Unfallgefahr hingewiesen werden. Diese sollten nicht nur das immerwährende Gefährdungsrisiko ins Bewusstsein rufen, sondern auch die Eigensicherung, wie z. B. erhöhte Aufmerksamkeit beim Ein- und Aussteigen oder das Anlegen der Sicherheitsgurte, korrekte Sitzposition sowie die persönliche Kopfstützeinstellung, betreffen. „Negativbeispiele“ (Unfalldokumentationen) könnten die Wichtigkeit der eigenen Achtsamkeit und „Selbstsicherung“ unterstreichen.

Eine Kombination aus erhöhter Aufmerksamkeit des Personals und eingesetzter Fahrzeug- sowie Sicherungstechnik kann die Sicherheit und letztendlich das Unfallrisiko in Arbeitsstellen reduzieren.

Nach Möglichkeit sollten die Betriebsdienstmitarbeiter bei stationären AkD aus den Sicherungsfahrzeugen aussteigen (Tabelle 18). Bei mobilen AkD könnten Semi-Selbstfahreinrichtungen eingesetzt werden, um Verunglückte zu vermeiden (vgl. Einsatz von Semi-Selbstfahreinrichtungen bei mobilen AkD.)

Bei 31 Unfällen waren in stationären AkD Sicherungsfahrzeuge betroffen. Hierbei wurden 7 Personen schwer und 28 leicht verletzt; bei mobilen AkD sind bei 28 Unfällen ebenso viele Schwer- (7) und Leichtverletzte (29) zu verzeichnen.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Die aus der Unfalldatenbasis von 951 Unfällen aus den Jahren 1997 bis 2005 abgeleiteten relevanten Unfallmuster haben vor allem den Lkw als Hauptunfallverursacher mit einem Anteil von knapp 60 % am Gesamtunfallaufkommen aufgezeigt. Hauptsächlich sind AkD bei Sperrung des rechten Fahrstreifens oder Standstreifens betroffen. Ein „Anprall von hinten“ auf dem rechten Fahrstreifen und ein „seitliches Streifen“ auf dem Standstreifen von z. B. Absperrtafeln oder Fahrzeugen treten mit etwa gleichen Anteilen am häufigsten auf. Ferner zeigen die Auswertungen, dass 2/3 aller Unfälle bei stationären AkD aufgetreten sind.

Hinsichtlich der Verkehrsbelastungen bezogen auf die auch in der AkD verfügbare Fahrstreifenanzahl ist erkennbar, dass lediglich bei weniger als 5 % der Unfälle je Fahrstreifen eine Nachfrage von mehr als

1.800 Fz/((FS*h)) abgewickelt werden musste, so dass davon ausgegangen werden muss, dass vor dem Unfall Staus bzw. Stockungen an der Arbeitsstelle aufgetreten sind.

Besonders auffällig ist, dass fast 80 % der verunglückten Mitarbeiter in ihrem Fahrzeug zu beklagen sind, nur ca. 20 % der Verunglückten waren beim Unfall außerhalb der Fahrzeuge. Beim Ein- und Aussteigen sind nur 4 Unfälle dokumentiert, diese allerdings mit ebenfalls je zwei Getöteten und Verletzten.

Abgeleitet aus diesem hohen Anteil an Verletzten im Fahrzeug sollte auf zweierlei Ebenen dafür gesorgt werden, dass sich Fahrer nur in Ausnahmefällen zum Absichern von Arbeitsstellen im Fahrzeug befinden. Während dies bei stationären Arbeitsstellen durch Aussteigen des Fahrers zu erreichen ist, sind für mobile Arbeitsstellen semi-selbstfahrende Zugfahrzeuge für die Arbeitsstellenabsicherung zielführend. Vor einer Ausrüstung von Fahrzeugen des Betriebsdienstes mit dieser Technik ist vor allem das tatsächlich relevante Absicherungsaufkommen bei mobilen Arbeitsstellen zu analysieren.

Im Rahmen einer Abschätzung wurden die Maßnahmen bewertet und das erwartete Reduzierungspotenzial, einerseits bezogen auf die Anzahl vermeidbarer Unfälle und andererseits auf die Vermeidung von Verletzten, abgeleitet. Die Maßnahmen zur Erhöhung der Sicherheit des Betriebsdienstpersonals in AkD wurden hinsichtlich ihrer Wirkungsweise (optisch, akustisch, haptisch) auf den Verkehrsteilnehmer bewertet.

Insgesamt weisen die betrachteten Modifikationen an der Arbeitsstellenabsicherung relativ niedrige Potenziale auf, insbesondere aufgrund der häufig nur optischen Auswirkungen auf die Verkehrsteilnehmer. Das dafür veranschlagte Reduzierungspotenzial von 20 % ist bewusst niedrig angesetzt, denkbare höhere Potenziale wie z. B. durch Überkopfsignalisierungen und den systematischen Linkseinzug an AkD müssten in Pilotuntersuchungen überprüft werden, bevor ein systematischer Einsatz empfohlen werden kann.

Akustisch und vor allem haptisch wirksamen Maßnahmen (z. B. Warnschwellen) wird ein größeres Reduzierungspotenzial zugeordnet, allerdings ist teilweise die vermeidbare Unfallanzahl relativ gering.

Um die Akzeptanz des bereits verfügbaren Personen-Warn-Systems (PWS) beim Personal insbe-

sondere durch die Reduzierung möglicher Fehlalarme zu erhöhen, sollte über eine Modifikation des Systems nachgedacht werden. Zum einen sollte hierbei besonderes Augenmerk auf der gezielten Erfassung der sich nähernden Fahrzeuge und zum anderen auf der Ausrichtung des Warnsignals in Richtung Verkehr (potenzieller Unfallverursacher) liegen.

Das größte Potenzial zur Vermeidung von Unfällen stellt die aktive Fahrzeugsicherheit bei den unfallverursachenden Verkehrsteilnehmern dar. Würden Lkw, die als Hauptunfallverursacher in Relation zu ihrer Fahrzeuganzahl deutlich überrepräsentiert sind, mit radarbasierten Fahrgeschwindigkeitsreglern und Spurassistenzsystemen ausgestattet, könnte mit relativ geringem Aufwand ein hohes Maß an Sicherheit erzielt werden. Nutznießer einer solchen Pflichtausstattung wären darüber hinaus natürlich auch alle anderen Verkehrsteilnehmer, die bei Auffahrunfällen etc. davon profitieren würden. Es ist zwar nicht auszuschließen, dass die unterstützende Fahrzeugtechnik bei den Verkehrsteilnehmern im Einzelfall durch eine weitere Reduzierung der Aufmerksamkeit wieder kompensiert wird. Angesichts der positiven Erfahrungen bei der Verbreitung von ABS und ESP ist jedoch davon auszugehen, dass zumindest langfristig auch diese Systeme einen Sicherheitsgewinn mit sich bringen werden.

Auf die Installation von aktiven Sicherheitssystemen in Fahrzeuge kann nur durch entsprechende Vorgaben des Gesetzgebers Einfluss genommen werden. Auch wenn die in dieser Untersuchung betrachteten Unfälle nur einen geringen Anteil am Gesamtunfallaufkommen auf den Bundesautobahnen darstellen, sollte angesichts des großen Nutzens auch für alle anderen von Auffahrunfällen bedrohten Verkehrsteilnehmer die hier gewonnene Erkenntnis dazu genutzt werden, auf allen Ebenen für eine verpflichtende Einführung dieser Fahrerassistenzsysteme zu werben.

Empfehlenswert erscheint außerdem der Einsatz von Unfalldatenschreibern (UDS) inklusive der Dokumentation des Fahrerverhaltens wie z. B. Festhalten des Lenkrades, um den Unfallhergang im Nachhinein rekonstruieren zu können. Die Gewissheit, dass das Verhalten des Fahrers ständig protokolliert wird und damit im Falle eines Unfalls rekonstruierbar ist, stellt überdies einen weiteren Beitrag zur Aufmerksamkeitserhöhung und Verkehrssicherheit dar.

Insgesamt bieten passive Schutzsysteme in den Betriebsdienstfahrzeugen wegen der hohen Anteile von Verunglückten in den Fahrzeugen das größte Potenzial zur Vermeidung von Verletzungen.

So könnten bereits durch die generelle Empfehlung, den Sicherheitsgurt anzulegen, auch bei der Absicherung von Arbeitsstellen rund 30 % der zu erwartenden verletzten Fahrzeuginsassen vermieden werden. Da die Gurtanlagequote in Arbeitsstellen als relativ niedrig angesehen wird, ist eine signifikante Erhöhung vermutlich nur mit dem Einbau von Gurtwarnern zu erreichen.

Zur Unterstreichung dieser Maßnahme sollte in entsprechenden Sicherheitsunterweisungen auf die Unfallgefahr hingewiesen werden. Diese sollten nicht nur das jederzeit gegenwärtige Gefährdungsrisiko ins Bewusstsein rufen, sondern auch die Eigensicherung, wie z. B. erhöhte Aufmerksamkeit beim Ein- und Aussteigen, das Anlegen der Sicherheitsgurte, die korrekte Sitzposition sowie die persönliche Kopfstützeinstellung betreffen. Eine Kombination aus erhöhter Aufmerksamkeit des Personals und eingesetzter Fahrzeug- sowie Sicherungstechnik kann das Unfallrisiko in Arbeitsstellen reduzieren und letztendlich zur Erhöhung der Sicherheit beitragen.

Ein sehr großes Vermeidungspotenzial insbesondere von HWS-Verletzungen bieten z. B. Nackenairbags, aber auch Kopfstützensysteme in Verbindung mit Gurtstraffern mit zu erwartenden Reduzierungen von über 80 % der verletzten Fahrzeuginsassen.

Relativ kostengünstig können durch eine Kopfstützeenergänzung in Kombination mit Gurtwarnern auch als Nachrüstlösung signifikant Unfallfolgen gemindert werden.

Generell ist zu beachten, dass die Umsetzung der im Rahmen dieses Forschungsprojektes vorgeschlagenen Maßnahmen von der Marktverfügbarkeit abhängig ist.

Vor einem systematischen Einsatz sollten für einige Systeme vertiefend die Auswirkungen betrachtet werden: Insbesondere die Überkopfsignalisierung und der systematische Linkseinzug an AkD werden wegen der nicht bewiesenen Nutzen für die Verkehrssicherheit pauschal nur mit einem Reduzierungspotenzial von 20 % bewertet. Untersuchungen müssten wegen der statistisch nicht zu erwartenden realen Unfälle vor allem das Fahrverhalten

im Vorfeld zum Inhalt haben. Gleichfalls systematisch und auch hinsichtlich ihrer genauen technischen Ausgestaltung sollten die avisierten Maßnahmen im Fahrzeuginneren untersucht werden. Angesichts der relativ langlebigen Fahrzeuge im Straßenbetriebsdienst sind insbesondere Nachrüstungssysteme wie Kopfstützensergänzungen und Gurtwarner von Bedeutung. Die bislang bekannten Systeme sind jedoch nicht unbedingt auf die besonderen Anprallsituationen bei Sicherheitsfahrzeugen im Betriebsdienst ausgerichtet. Die im Rahmen dieser Untersuchung gewonnenen Erkenntnisse zur Wirkungsweise der beiden an einem Anprallunfall beteiligten Fahrzeuge sowie von Airbags etc. lassen erkennen, dass insbesondere die vorhandenen besonderen heckseitigen Knautschzonen in Form von Absperrtafeln etc. für undefinierte Zustände sorgen, die technisch in einem System zur Unfallfolgenverminderung berücksichtigt werden müssen.

Uneingeschränkt forciert werden sollten im Gegenzug Maßnahmen, die die aktive Fahrsicherheit insbesondere schwerer Lkw verbessern: radarbasierte Geschwindigkeitsregelung (ACC) sowie Spurassistentensysteme. Da beide Systeme bereits am Markt verfügbar sind, jedoch nur für einen Bruchteil der neu bestellten Fahrzeuge geordert werden, kann eine signifikant höhere Ausrüstungsquote nur über politische Forderungen oder Selbstverpflichtungen der Industrie erreicht werden.

Für zukünftige verwaltungsinterne Untersuchungen bzw. Forschungsvorhaben zu diesem Thema ist zu empfehlen, die Daten zu den relevanten Unfällen in der Detailliertheit zu archivieren, die im Rahmen dieses Forschungsvorhabens als zielführend erkannt wurde (siehe Anlage 1). Da sich gezeigt hat, dass viele dieser Detailinformationen aus den Unfallanzeigen nicht oder nur mit großem Aufwand erhoben werden konnten, würde eine solche Struktur der Daten zukünftige Auswertungen deutlich vereinfachen. Eine unmittelbare Nacherhebung der Angaben z. B. zur Art der Absperrung (Regelplan), Anzahl der verfügbaren und gesperrten Fahrstreifen etc. ist in der Regel zeitnah ohne großen Aufwand möglich.

Dazu stellt der Forschungsnehmer an geeigneter Stelle bzw. auf Anfrage auch das Erfassungsformular sowie die zugehörige Roh-Datentabelle (Microsoft Access) zur Verfügung.

Literatur- und Quellenverzeichnis

Advanced Research on Road Work Zone Safety Standards in Europe (ARROWS): Annex I to Final Report for Publication – Road Work Zone Safety – Practical Handbook, National Technical University of Athens, Department of Transportation Planning and Engineering, 1998

Afmærkning af vejarbejder: Supplerende bestemmelse på statsveje, Motorveje: Vejdirekt-Toratet, Driftsområdet, Danmark, 2002

Allgemeiner Deutscher Automobil-Club e. V. (ADAC); Verband der Automobilindustrie e. V. (VDA); Bundesministerium für Verkehr, Bau und Wohnungswesen (BMVBW); Straßenbauverwaltungen der Länder vertreten durch das Ministerium für Wirtschaft und Mittelstand, Technologie und Verkehr (MAMTV) des Landes Nordrhein-Westfalen: Weniger Stau – Mehr Mobilität/Reduzierung von Staus auf Bundesautobahnen, September, 1999

ASFiNAG: Section Control – Kontrollierte Sicherheit, URL: <http://www.vignette.at/index.php?idtopic=95>, 14.08.2006

BAIER, M. M.; HOTOP, R.; KEMPER, D.; STEINAUER, B.: Empfehlungen zum Einsatz von Warnschwellen zur Sicherung von stationären Arbeitsstellen kürzerer Dauer auf Autobahnen, Straße und Autobahn, Heft 7/2005, S. 384-394

BAIER, M. M.; KEMPER, D.; BAUR, O.; STEINAUER, B.; FRANK, H.: Sicherheitswirkung von fluoreszierenden Materialien bei Leiteinrichtungen in Arbeitsstellen, Schriftenreihe Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 945, Bonn, 2006

BÜHLMANN, F.; LAUBE, M.: Einsatz gelb hinterlegter Signale, Forschungsauftrag Nr. 1998/196, Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation, Schweiz, Zürich, 2005

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS): Längenstatistik der Straßen des überörtlichen Verkehrs, Stand: 1. Januar 2007, unveröffentlicht, Bonn, 2007

Bundesverband der Unfallkassen: Arbeitsunfallstatistik im öffentlichen Dienst, München, 2003

- BURG, H.: Beurteilung von Halswirbelsäulenverletzungen aus technischer Sicht, URL: <http://www.verkehrsunfallsachen.de/fileadmin/download/Merkblatt32004.pdf>, 31.01.2007
- Design Manual for Roads and Bridges, Part 4: The Mobile Lane Closure Technique (MLC) For Use On Motorways And Other Dual Carriageway Roads: Highways Agency, URL: www.standardsforhighways.co.uk/dmrb/vol8/section4/td4903.pdf, 16.06.2006
- DURTH, W.; STÖCKERT, R.; KLOTZ, S.: Sicherheit und Wirtschaftlichkeit von Arbeitsstellen kürzerer Dauer, Schlussbericht, Darmstadt, 1999
- Ergänzende Bestimmungen zur „Richtlinien für die Sicherung von Arbeitsstellen an Straßen (RSA 95)“ und „Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Sicherungsarbeiten an Arbeitsstellen an Straßen (ZTV-SA 97)“ (ERSA – BABA), Brandenburgisches Autobahnamt (BABA), Stolpe, 2002
- EVERS C.; AUERBACH K.: Übermüdung als Ursache schwerer Lkw-Unfälle, Zeitschrift für Verkehrssicherheit, Heft 2/2006, S. 67-70
- FEHRINGER: Section Control, Zeitschrift für Verkehrssicherheit, Heft 2/2006, S. 98-99
- FITSCHEN, A.; KOSSMANN, I.: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2004, Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Heft V 140, Köln, 2006
- GEIGL B.: Whiplash – Aktuelle Situation und Entwicklung, URL: <http://www.oeamtc.at/netautor/download/document/akvo/geigl1006.pdf>, 15.02.2007
- GREBE, N.; HANKE, H.: Verkehrssicherheit an kurzfristigen und beweglichen Arbeitsstellen auf Autobahnen, Straßenverkehrstechnik, Heft 3/1991, S. 138-144
- Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG): Arbeitsunfallstatistik 2002, Sankt Augustin, 2004
- HEUBLEIN A.: HWS-Verletzungen – häufige Fälle, URL: <http://www.dr-heublein.de/hwsverletzungen.htm>, 31.01.2007
- JAINSKI, P.: Der Mensch, ein vornehmlich optisches Wesen – Zum Wahrnehmen visueller Signale im Straßenverkehr, Straßenverkehrstechnik, Heft 1/1985, S. 22-26
- KAYSER, H. J.; FELDGES, M.; BUSCHMANN, U.; OVERKAMP, K.: Unfälle mit Straßenunterhaltungspersonal auf Bundesautobahnen, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 673, Bonn, 1993
- KIRCHHOF, H.: Absicherung an Arbeitsstellen an Straßen – aus Sicht der Praxis, Straßenverkehrstechnik, Heft 2/2000, S. 81-83
- KLEIN, A.; NORKAUER, A.; HESS, R.: Arbeitsstellen kürzerer Dauer in Baden-Württemberg – Modifizierte Absicherungen, Straßenverkehrstechnik, Heft 4/2004, S. 183-190
- KOCKELKE, W.; ROSSBANDER, E.: Untersuchungen zum Geschwindigkeitsverhalten an Autobahnbaustellen, Straße und Autobahn, Heft 3/1989, S. 99-104
- KÖRSTEN, R.: Frühwarnsystem für Arbeitsstellen auf BAB, Straßenverkehrstechnik, Heft 7/1999, S. 333-336
- KRUX, W.; DETERMANN, D.: Sicherheitsbezogene Beurteilung von Autobahnbaustellen, Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Heft V 28, Köln, 1995
- KÜHNEN, M. A.: Autobahnverzeichnis 2004 (Stand: Oktober 2004), Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Heft V 111, Köln, 2005
- KÜHNEN, M. A.: Verkehrssicherheit an Arbeitsstellen, Straßenverkehrstechnik, Heft 7/1995, S. 313-317
- LENSING N.: Straßenverkehrszählung 2000 – Ergebnisse, Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Heft V 101, Köln, 2003
- Liikenteen ohjaus, Liikenne tietyömaalla: Tielaitos, Finnland, Helsinki, 1998
- Merkblatt über Rahmenbedingungen für erforderliche Fachkenntnisse zur Verkehrssicherung Arbeitsstellen an Straßen“ (MVAS 99), Bundesministerium für Verkehr, Bonn, 1999
- MESEBERG, H.-H.: Wirksamkeit vertikaler Leitelemente für Straßenarbeitsstellen, Bericht der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft V 49, Bergisch Gladbach, 1997
- Ministerium für Wirtschaft (MFW): Gemeinsamer Erlass des Ministeriums für Inneres und Sport – oberste Straßenverkehrsbehörde – und des Ministeriums für Wirtschaft – oberste Straßenbau-

- behörde –, vom 24. Juni 1998, ergänzt am 12.03.2004, Saarbrücken, 2004
- MORITZ, K.; WIRTZ, H.: Auswirkungen von Standstreifennummern auf die betriebliche Straßenunterhaltung, Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Heft V 107, Bergisch Gladbach, 2003
- PETERSEN: Sicherheitsfragen, Kriterien und Maßnahmen bei der Ausführung von Unterhaltungsarbeiten an Autobahnen und Fernverkehrsstraßen, Straße und Verkehr 2000 – Internationale Straßen- und Verkehrskonferenz Berlin, 6.-9. Sept. 1988, Band 2/1, Straßenbau und Straßenerhaltung, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, 1988, S. 69-71
- Pom_cka pro oznaování pracovních míst na dálnicích a silnicích pro motorová vozidla, metodický pokyn: Ministerstvo dopravy a spoj, Tschechische Republik, Brno, 2002
- PORTUNÉ, R.: Psychische Belastungen im Straßenbetriebsdienst, Veröffentlichung durch den Verband Deutscher Straßenwärter (VD-Stra), Donar-Verlag, Köln, 2004
- Regierungspräsidium Tübingen, Landesstelle für Straßentechnik: Erfahrungsbericht über die Verkehrswirksamkeit von Vorwarnanhängern mit LED-Technik, Stand 06/2005
- Richtlinien für die Sicherung von Arbeitsstellen an Straßen (RSA): Bundesministerium für Verkehr, Bonn, 1995
- Roadcross, Schleudertrauma, URL: <http://www.roadcross.ch/de/alles/schleudertrauma.php>, 30.01.2007
- ROBATSCH, K.: Unfallgeschehen von Lkw auf Autobahnen, Zeitschrift für Verkehrssicherheit, Heft 2/2001, S. 79-85
- RÖCKE, M.: Die Elektronik meldet sich immer deutlicher zu Wort, Kommunale Fahrzeuge 2006, Ausgabe Januar 2006, S. 20-21
- ROOS, R.; HESS, R.; NORKAUER, A.; ZIMMERMANN, M.; ZACKOR, H.; OTTO, J.: Planung und Organisation von Arbeitsstellen kürzerer Dauer an Bundesautobahnen, Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Heft V 143, Köln, 2006
- RVS 5.42: Baustellenabsicherung, Arbeitsstellen kürzerer Dauer: Österreichische Forschungsge-
- meinschaft Straße und Verkehr (FSV), Österreich, Wien, 2001
- SACHSE, Th.; GABRIEL, H.-A.; KIRCHHOF, H.: Das Personenwarnsystem – Mehr Sicherheit auf Autobahnen, Straße und Autobahn, Heft 7/2003, S. 410-415
- SCHAFFHAUSER R., PETER E., DAEHLER M.: Ausreichender Abstand beim Hintereinanderfahren – Ansätze zu einer objektivierteren Sicht der Gefahrgeneignis u. der Verletzungswahrscheinlichkeit, Schweiz, St. Gallen, URL: http://www.advodaehler.ch/4_%20Team/41%20Anwaelte/41.001-Dateien/Abstand_%20AJP.pdf, 27.02.2007
- SCHIMMELPFENNIG + BECKE GbR, HWS-Verletzungen, URL http://www.ureko.de/Biomechanik_Text/HWS/hws.html, 31.01.2007
- SCHMIDT-CLAUSEN, H.-J.; AULBACH, J.: Teil I: Lichttechnische Gestaltung von Arbeitsstellen, Teil II: Praxiserprobung, Schriftenreihe Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 679, Bonn, 1994
- SCHÖNBORN, D.; SCHULTE, W.: RSA-Handbuch – Sicherung von Arbeitsstellen an Straßen, Band 1: RSA mit Kommentar, Kirschbaum Verlag, Bonn, 1995
- SCHULTE, W.: Verbesserungen bei der Durchführung von Arbeitsstellen kürzerer Dauer, Straßenverkehrstechnik, Heft 4/1992, S. 177-187
- SCHULTE, W.: Verkehrssicherung von Baustellen auf Straßen – Stand und aktuelle Entwicklungen, Straße und Autobahn, Heft 11/2005, S. 661-665
- SCHULTE, W.; SCHÖNBORN, D.: Ein halbes Jahrhundert „Sicherung von Arbeitsstellen auf Straßen“ und mehr, Straßenverkehrstechnik, Heft 6/2006, S. 321-331
- SCHWARZ, M.: „Erhöhung der Sicherheit im Bereich von Arbeitsstellen kürzerer Dauer auf Bundesautobahnen durch Maßnahmen zur frühzeitigen Erkennbarkeit“, Diplomarbeit, Universität Karlsruhe (TH), Karlsruhe, 2006
- Schweizerische Beratungsstelle für Unfallverhütung (bfu): Übermüdung im Straßenverkehr, Schweiz, Bern, Positionspapier, 2003

- Signalisation de chantiers et des obstacles sur la voie publique: Ministère Wallon de L'équipement et des Transports, Belgien, Brüssel, 2001
- SN Signalisation von Baustellen auf Autobahnen und Autostraßen: Vereinigung Schweizerischer Straßenfachleute (VSS), Schweizer Norm 640 885c, Schweiz, Zürich, 1999
- SPACEK, P.; LAUBE, M.; SANTEL, G.: Baustellen an Hochleistungsstraßen – Verkehrstechnische Maßnahmen zur Verbesserung der Sicherheit und des Verkehrsflusses, Forschungsauftrag VSS 1999/127 auf Antrag des Schweizerischen Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS), Schweiz, Zürich, 2005
- SPIEGEL ONLINE: Weck-Ampel für müde Fahrer, Spiegel Online, URL: <https://www.spiegel.de/auto/werkstatt/0,1518,204777,00.html>, 23.11.2006
- Statistisches Bundesamt: Verkehrsunfälle 2002, Fachserie 8, Reihe 7, Wiesbaden, September 2003
- STEINAUER, B.: Nacharbeit auf der Autobahn – Überwindung eines Sakrilegs, Straße und Autobahn, Heft 6/1991, S. 315-326
- STEINAUER, B.; BAIER, M. M.; KEMPER, D.; BAUR, O.; MEYER, A.: Einsatz neuer Methoden zur Sicherung von Arbeitsstellen kürzerer Dauer, Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Heft V 118, Köln, 2004
- STÖCKERT, R.: Auswirkungen von Arbeitsstellen kürzerer Dauer auf Autobahnen auf Sicherheit und Wirtschaftlichkeit des Verkehrsablaufs, Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 12, Nr. 457, VDI Verlag GmbH, Düsseldorf, 2001
- Straßenwärter (VDStra): Sicherheit bei der Arbeit im Verkehrsraum, Köln, Heft 12/2004
- Technische Universität Graz, Institut für Fahrzeugsicherheit (VSI), Unfallmechanik im Verkehrswesen, Österreich; Graz, URL: <http://www.vsi.tugraz.at/downloads/Lehre-/Unfallmechanik/Skriptum.pdf>, 17.02.2007
- TERNEY, B.: Rumble Strips in Work Zones, URL: <http://www.t2.unh.edu/spring02/pg3.html>, 07.08.2006
- Trafikanordnungsplaner för arbeite på väg, Exempelsamling: VÄGVERKET, Schweden, Borlänge, 1998
- ULLRICH, D.: Physikalische und biomechanische Aspekte zum HWS-Distorsions-Syndrom, Melendorf, URL: www.canoestore.de/dormeyers/biomechanik_kopfgelenksverletzung.pdf, 25.02.2007
- Verband Deutscher Straßenwärter (VDStra): Belastungen und Unfallgefahren im Straßenunterhaltungsdienst, Donar-Verlag, Köln, 1990
- Verband Deutscher Straßenwärter (VDStra): Unfallgefahr im Straßenbetriebsdienst, Donar-Verlag, Köln, 1994
- WEINSPACH, K.: Verkehrssicherheit und Verkehrsablauf im Bereich von Baustellen auf Betriebsstrecken der Bundesautobahnen, Straße und Autobahn, Heft 7/1988, S. 257-265
- ZIMMERMANN, M.; MORITZ, K.: Erhöhung des Schutzes von Straßenbetriebsdienstpersonal an Arbeitsstellen kürzerer Dauer, Straßenverkehrstechnik, Heft 10/2004, S. 499-506
- Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Sicherungsarbeiten an Arbeitsstellen an Straßen (ZTV-SA 1997): Bundesministerium für Verkehr, Bonn, 1997

Informationsmaterial von Firmen und Institutionen

- Adolf Nissen Elektrobau GmbH + Co. KG, 25832 Tönning, URL: <http://www.nissen.de>, 01.06.2006
- Allgemeiner Deutscher Automobil-Club e. V. (ADAC): Autositz- und Kopfstützentest 2005, URL: http://www.adac.de/Tests/Crash_Tests/Kopfstuetzen/2005/Curaplus/default.asp?ComponentID=109181&SourcePageID=109128, 15.02.2007
- Allgemeiner Deutscher Automobil-Club e. V. (ADAC): Crashtest: Welche Kopfstützen sind beim Heckaufprall sicher? – Um Kopf und Kracken, ADACmotorwelt, Heft 1, S. 28-30, Januar, 2007
- Berghaus-News: Albtraum Absicherung – BAB-Tagesbaustellen, Ausgabe 23, Juli/August 2006, Peter Berghaus GmbH, Kürten-Herweg, 2006, S. 3
- Berliner Zeitung: URL: <http://www.berlinonline.de/berliner-zeitung/archiv/.bin/dump.fcgi/1999/0130/autostrae/0194/index.html>, 07.02.2007

- Berufsgenossenschaft Bau (BG BAU), Berlin, URL: <http://www.bgbau.de>, 03.08.2006
- BOSCH, R. GmbH: Adaptive Fahrgeschwindigkeitsregelung ACC, Gelbe Reihe, Robert Bosch GmbH, Plochingen, Ausgabe 2002
- Bundesverband der Unfallkassen e. V., 81539 München, URL: <http://www.unfallkassen.de>, 03.08.2006
- Continental/Contitech: ContiCuraPlus® – Die Kopfstützenergänzung für mehr Sicherheit, URL: http://www.sicher-autofahren.de/index.php?main_page=page_3&curaplusmenu=115.02.2007, 15.02.2007
- Fachverband Verkehrssicherung an Arbeitsstellen auf Straßen e. V. (FVAS), Bergisch Gladbach, URL: <http://www.fvas.de>, 03.08.2006
- Fraunhofer Institut für chemische Technologie (ICT), Geschäftsfelder Airbag- und Systementwicklung bzw. Airbag- und Gasgeneratorentechnologie, Pfinztal, URL: <http://www.ict.fraunhofer.de>, 07.02.2007
- GRAMMER AG: Automotive inside – Aktive Kopfstützen steigern Komfort und Sicherheit, Amberg, URL: http://www.grammer.com/fileadmin/user_upload/ressourcen/images/media_pool/automotive/AUTOMOTIV_inside.pdf, 09.02.2007
- Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG), Sankt Augustin, URL: <http://www.hvbg.de>, 03.08.2006
- horizont group GmbH, Division Klemmfix, 34497 Korbach, URL: <http://www.horizont.com>, 01.06.2006
- Hytrans Systems b. v., Niederlande, AA Lemmer, URL: <http://www.hytrantrafficsystem.com>, 19.09.2006
- Industrieverband Straßenausstattung e. V. (IVSt), Hagen/Westfalen, URL: <http://www.ivst.de>, 03.08.2006
- MAN – Nutzfahrzeuge AG, 80995 München, URL: <http://www.man.com/de/innovationundkompetenz/innovationundkompetenz.jsp>, (04.06.2006)
- Mercedes-Benz: Sicherheitsgurte und Airbags, URL: http://www.mercedes-benz.com/content/media_library/mbcom/innovation/recentdevelopments/safety/safetyairbagsbrochure0505_de.object-Single-MEDIA.tmp/safetyairbagsbrochure0505_de.pdf, 09.02.2007
- Sierzega Elektronik GmbH, Österreich, Thening, URL: <http://www.sierzega.com>, 18.10.2006
- Verein für Verkehrstechnik und Verkehrssicherung e. V. (VVV), Kürten, URL: <http://www.vvv-ev.de>, 03.08.2006

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt
für Straßenwesen

Unterreihe „Verkehrstechnik“

2003

- V 100: Verkehrsqualität unterschiedlicher Verkehrsteilnehmerarten an Knotenpunkten ohne Lichtsignalanlage
Brilon, Miltner € 17,00
- V 101: Straßenverkehrszählung 2000 – Ergebnisse
Lensing € 13,50
- V 102: Vernetzung von Verkehrsbeeinflussungsanlagen
Kniß € 12,50
- V 103: Bemessung von Radverkehrsanlagen unter verkehrstechnischen Gesichtspunkten
Falkenberg, Blase, Bonfranchi, Cossé, Draeger, Vortisch, Kautzsch, Stapf, Zimmermann € 11,00
- V 104: Standortentwicklung an Verkehrsknotenpunkten – Randbedingungen und Wirkungen
Beckmann, Wulfhorst, Eckers, Klönne, Wehmeier, Baier, Peter, Warnecke € 17,00
- V 105: Sicherheitsaudits für Straßen international
Brühning, Löhe € 12,00
- V 106: Eignung von Fahrzeug-Rückhaltesystemen gemäß den Anforderungen nach DIN EN 1317
Ellmers, Balzer-Hebborn, Fleisch, Friedrich, Keppler, Lukas, Schulte, Seliger € 15,50
- V 107: Auswirkungen von Standstreifenumnutzungen auf den Straßenbetriebsdienst
Moritz, Wirtz € 12,50
- V 108: Verkehrsqualität auf Streckenabschnitten von Hauptverkehrsstraßen
Baier, Kathmann, Baier, Schäfer € 14,00
- V 109: Verkehrssicherheit und Verkehrsablauf auf b2+1-Strecken mit allgemeinem Verkehr
Weber, Löhe € 13,00

2004

- V 110: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2001 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen
Laffont, Nierhoff, Schmidt, Kathmann € 22,00
- V 111: Autobahnverzeichnis 2004 (erschienen 2005)
Kühnen € 21,50
- V 112: Einsatzkriterien für Betonschutzwände (vergriffen)
Steinauer, Kathmann, Mayer, Becher € 21,50
- V 113: Car-Sharing in kleinen und mittleren Gemeinden
Schweig, Keuchel, Kleine-Wiskott, Hermes, van Acken € 15,00
- V 114: Bestandsaufnahme und Möglichkeiten der Weiterentwicklung von Car-Sharing
Loose, Mohr, Nobis, Holm, Bake € 20,00
- V 115: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2002 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen
Kathmann, Laffont, Nierhoff € 24,50
- V 116: Standardisierung der Schnittstellen von Lichtsignalanlagen – Zentralrechner/Knotenpunktgerät und Zentralrechner/Ingenieurarbeitsplatz
Kroen, Klod, Sorgenfrei € 15,00
- V 117: Standorte für Grünbrücken – Ermittlung konfliktreicher Streckenabschnitte gegenüber großräumigen Wanderungen jagdbarer Säugetiere
Surkus, Tegethof € 13,50

- V 118: Einsatz neuer Methoden zur Sicherung von Arbeitsstellen kürzerer Dauer
Steinauer, Maier, Kemper, Baur, Meyer € 14,50

2005

- V 119: Alternative Methoden zur Überwachung der Parkdauer sowie zur Zahlung der Parkgebühren
Boltze, Schäfer, Wohlfarth € 17,00
- V 120: Fahrleistungserhebung 2002 – Inländerfahrleistung
Hautzinger, Stock, Mayer, Schmidt, Heidemann € 17,50
- V 121: Fahrleistungserhebung 2002 – Inlandsfahrleistung und Unfallrisiko
Hautzinger, Stock, Schmidt € 12,50
- V 122: Untersuchungen zu Fremdstoffbelastungen im Straßenseitenraum – Band 1 bis Band 5
Beer, Herpetz, Moritz, Peters, Saltzmann-Koschke, Tegethof, Wirtz € 18,50
- V 123: Straßenverkehrszählung 2000: Methodik
Lensing € 15,50
- V 124: Verbesserung der Radverkehrsführung an Knoten
Angenendt, Blase, Klöckner, Bonfranchi-Simovió, Bozkurt, Buchmann, Roeterink € 15,50
- V 125: PM₁₀-Emissionen an Außerortsstraßen – mit Zusatzuntersuchung zum Vergleich der PM₁₀-Konzentrationen aus Messungen an der A1 Hamburg und Ausbreitungsberechnungen
Düring, Bösinger, Lohmeyer € 17,00
- V 126: Anwendung von Sicherheitsaudits an Stadtstraßen
Baier, Heidemann, Klemps, Schäfer, Schuckließ € 16,50
- V 127: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2003 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen
Fitschen, Koßmann € 24,50
- V 128: Qualitätsmanagement für Lichtsignalanlagen – Sicherheitsüberprüfung vorhandener Lichtsignalanlagen und Anpassung der Steuerung an die heutige Verkehrssituation
Boltze, Reusswig € 17,00
- V 129: Modell zur Glättewarnung im Straßenwinterdienst
Badelt, Breitenstein € 13,50
- V 130: Fortschreibung der Emissionsdatenmatrix des MLuS 02 Steven
€ 12,00
- V 131: Ausbaustandard und Überholverhalten auf 2+1-Strecken
Friedrich, Dammann, Irzik € 14,50
- V 132: Vernetzung dynamischer Verkehrsbeeinflussungssysteme
Boltze, Breser € 15,50

2006

- V 133: Charakterisierung der akustischen Eigenschaften offener Straßenbeläge
Hübelt, Schmid € 17,50
- V 134: Qualifizierung von Auditoren für das Sicherheitsaudit für Innerortsstraßen
Gerlach, Kesting, Lippert € 15,50
- V 135: Optimierung des Winterdienstes auf hoch belasteten Autobahnen
Cypra, Roos, Zimmermann € 17,00
- V 136: Erhebung der individuellen Routenwahl zur Weiterentwicklung von Umlegungsmodellen
Wermuth, Sommer, Wulff € 15,00
- V 137: PM_x-Belastungen an BAB
Baum, Hasskelo, Becker, Weidner € 14,00
- V 138: Kontinuierliche Stickoxid (NO_x)- und Ozon (O₃)-Messwertaufnahme an zwei BAB mit unterschiedlichen Verkehrsparametern 2004
Baum, Hasskelo, Becker, Weidner € 14,50

- V 139: Wirksamkeit und Wirtschaftlichkeit von Taumittelsprühanlagen
Wirtz, Moritz, Thesenvitz € 14,00
- V 140: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2004 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen
Fitschen, Koßmann € 15,50
- V 141: Zählungen des ausländischen Kraftfahrzeugverkehrs auf den Bundesautobahnen und Europastraßen 2003
Lensing € 15,00
- V 142: Sicherheitsbewertung von Maßnahmen zur Trennung des Gegenverkehrs in Arbeitsstellen
Fischer, Brannoite € 17,50
- V 143: Planung und Organisation von Arbeitsstellen kürzerer Dauer an Bundesautobahnen
Roos, Hess, Norkauer, Zimmermann, Zackor, Otto € 17,50
- V 144: Umsetzung der Neuerungen der StVO in die straßenverkehrsrechtliche und straßenbauliche Praxis
Baier, Peter-Dosch, Schäfer, Schiffer € 17,50
- V 145: Aktuelle Praxis der Parkraumbewirtschaftung in Deutschland
Baier, Klemps, Peter-Dosch € 15,50
- V 146: Prüfung von Sensoren für Glättemeldeanlagen
Badelt, Breitenstein, Fleisch, Häusler, Scheurl, Wendl € 18,50
- V 147: Luftschadstoffe an BAB 2005
Baum, Hasskelo, Becker, Weidner € 14,00
- V 148: Berücksichtigung psychologischer Aspekte beim Entwurf von Landstraßen – Grundlagenstudie –
Becher, Baier, Steinauer, Scheuchenpflug, Krüger € 16,50
- V 149: Analyse und Bewertung neuer Forschungserkenntnisse zur Lichtsignalsteuerung
Boltze, Friedrich, Jentsch, Kittler, Lehnhoff, Reusswig € 18,50
- V 150: Energetische Verwertung von Grünabfällen aus dem Straßenbetriebsdienst
Rommeiß, Thrän, Schlägl, Daniel, Scholwin € 18,00

2007

- V 151: Städtischer Liefer- und Ladeverkehr – Analyse der kommunalen Praktiken zur Entwicklung eines Instrumentariums für die StVO
Böhl, Mause, Kloppe, Brückner € 16,50
- V 152: Schutzeinrichtungen am Fahrbahnrand kritischer Streckenabschnitte für Motorradfahrer
Gerlach, Oderwald € 15,50
- V 153: Standstreifenfreigabe – Sicherheitswirkung von Umnutzungsmaßnahmen
Lemke € 13,50
- V 154: Autobahnverzeichnis 2006
Kühnen € 22,00
- V 155: Umsetzung der Europäischen Umgebungslärmrichtlinie in Deutsches Recht
Bartolomaeus € 12,50
- V 156: Optimierung der Anfeuchtung von Tausalzen
Badelt, Seliger, Moritz, Scheurl, Häusler € 13,00
- V 157: Prüfung von Fahrzeugrückhaltesystemen an Straßen durch Anprallversuche gemäß DIN EN 1317
Klößner, Fleisch, Balzer-Hebborn, Ellmers, Friedrich, Kübler, Lukas € 14,50
- V 158: Zustandserfassung von Alleebäumen nach Straßenbaumaßnahmen
Wirtz € 13,50
- V 159: Luftschadstoffe an BAB 2006
Baum, Hasskelo, Siebertz, Weidner € 13,50
- V 160: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2005 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen
Fitschen, Koßmann € 25,50

- V 161: Quantifizierung staubedingter jährlicher Reisezeitverluste auf Bundesautobahnen – Infrastrukturbedingte Kapazitätsengpässe
Listl, Otto, Zackor € 14,50
- V 162: Ausstattung von Anschlussstellen mit dynamischen Wegweisern mit integrierter Stauinformation – dWiSta
Grahl, Sander € 14,50
- V 163: Kriterien für die Einsatzbereiche von Grünen Wellen und verkehrabhängigen Steuerungen
Brilon, Wietholt, Wu € 17,50
- V 164: Straßenverkehrszählung 2005 – Ergebnisse
Kathmann, Ziegler, Thomas € 15,00

2008

- V 165: Ermittlung des Beitrages von Reifen-, Kupplungs-, Brems- und Fahrbahnabrieb an den PM₁₀-Emissionen von Straßen
Quass, John, Beyer, Lindermann, Kuhlbusch, Hirner, Sulkowski, Sulkowski, Hippler € 14,50
- V 166: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2006 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen
Fitschen, Koßmann € 26,00
- V 167: Schadstoffe von Bankettmaterial – Bundesweite Datenauswertung
Kocher, Brose, Siebertz € 14,50
- V 168: Nutzen und Kosten nicht vollständiger Signalisierungen unter besonderer Beachtung der Verkehrssicherheit
Frost, Schulze € 15,50
- V 169: Erhebungskonzepte für eine Analyse der Nutzung von alternativen Routen in übergeordneten Straßennetzen
Wermuth, Wulff € 15,50
- V 170: Verbesserung der Sicherheit des Betriebspersonals in Arbeitsstellen kürzerer Dauer auf Bundesautobahnen
Roos, Zimmermann, Riffel, Cypra € 16,50

Alle Berichte sind zu beziehen beim:

Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH
Postfach 10 11 10
D-27511 Bremerhaven
Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0
Telefax: (04 71) 9 45 44 77
Email: vertrieb@nw-verlag.de
Internet: www.nw-verlag.de

Dort ist auch ein Kompletverzeichnis erhältlich.