

## Verbesserung der Sicherheit des Betriebspersonals in Arbeitsstellen kürzerer Dauer auf Bundesautobahnen

FA 3.403

Forschungsstelle: Universität Karlsruhe (TH), Institut für Straßen- und Eisenbahnwesen (Prof. Dr.-Ing. R. Roos)

Bearbeiter: Zimmermann, M. / Riffel, S. B. / Cypra, T.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung, Bonn

Abschluss: September 2007

### 1 Einleitung und Aufgabenstellung

Im Gegensatz zur positiven Entwicklung des Unfallgeschehens und vor allem der Verunglücktenbilanz auf deutschen Autobahnen allgemein, stagnieren die fremdverschuldeten Unfälle mit Betriebsdienstpersonal. Der Untersuchungsschwerpunkt des vorliegenden FA-Vorhabens liegt dabei auf Unfällen im unmittelbaren Arbeitsstellenbereich, d. h. z. B. nicht innerhalb von Staus im Vorfeld der Arbeitsstellen.

Insbesondere handelt es sich bei der betrachteten Gruppe von Bediensteten des Straßenbetriebs auf Autobahnen um Personen, 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. Neben dem Aspekt volkswirtschaftlicher Vorteile durch Unfall- bzw. Unfallfolgenvermeidung insgesamt kommt bei der betrachteten Gruppe hinzu, dass es sich um direkte Mitarbeiter der Straßenbauverwaltung handelt, d. h. die Verbesserungen im Straßenraum bzw. an Fahrzeugen direkt der eigenen Institution zugute kommen. Dabei ist der psychische Aspekt sowohl bei den Mitarbeitern selbst als auch innerhalb der Verwaltung nicht zu vernachlässigen.

In Deutschland erfolgt die Absicherung von Arbeitsstellen an Straßen nach den "Richtlinien für die Sicherung von Arbeitsstellen an Straßen" (RSA 95, 1995). Sie enthält Festlegungen bezüglich 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.

Ergänzend zu den RSA wurden in Untersuchungen der letzten Jahre bereits Verbesserungsmöglichkeiten analysiert, die insbesondere besser erkennbare Verkehrszeichen bzw. Sicherungselemente sowie Maßnahmen zur Erhöhung der Aufmerksamkeit umfassten. Dazu gehört die Gestaltung und erweiterte Nutzung von Leitbaken auch in Arbeitsstellen kürzerer Dauer (AkD), die Verwendung von Verkehrszeichen mit gelb hinterlegtem Hintergrund und die ergänzende Absicherung mit Warnschwellen. Insbesondere die letztgenannte Maßnahme hat in den Niederlanden dazu geführt, dass die Anzahl der Auffahrunfälle auf fahrbare Absperrtafeln deutlich zurückgegangen ist und auch die Unfallfolgen geringer ausgefallen sind.

Weitere Modifikationen wurden hinsichtlich der Absperrung von Fahrstreifen untersucht, wie z. B. das systematische Einziehen des linken Fahrstreifens auch bei Arbeitsstellen auf dem rechten Fahrstreifen. In den Untersuchungen standen die Verbesserungen der Kapazität und des Verkehrsablaufes im Vordergrund. Die Beobachtungen lassen aber vermuten, dass das Einfädeln und Abbremsen des Verkehrs aus dem linken

Fahrstreifen neben Verbesserungen im Verkehrsablauf zudem zu einer Erhöhung der Aufmerksamkeit bei den Fahrzeugführern auf dem rechten Fahrstreifen führt und vermutlich die Anzahl bzw. Schwere der Unfälle zurückgehen lässt. Die verbesserte Begreif- und Erkennbarkeit der Verkehrsführung könnte somit zur Erhöhung der Sicherheit in Arbeitsstellen beitragen.

Mit den RSA vergleichbare Regelwerke und -pläne zur Absicherung von Arbeitsstellen sind in vielen europäischen Ländern vorhanden. 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.

Im Ausland werden z. T. auch bei AkD Geschwindigkeitsüberwachungen propagiert, deren Nutzen sich durch deutliche Geschwindigkeitsreduzierungen besonders im Zufahrtsbereich zur Arbeitsstelle zeige. Allerdings sind die Randbedingungen bezüglich der zulässigen Höchstgeschwindigkeiten in Arbeitsstellen im Ausland häufig anders als in Deutschland. Um Fahrzeuge und vor allem das Personal in Arbeitsstellen zu schützen, werden in manchen Ländern auch Sicherheitsbereiche vor und entlang der AkD eingerichtet. Insbesondere 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.

In Österreich und den Niederlanden werden dynamische Vorwarnsysteme mit Überkopfsignalisierung eingesetzt, die den Verkehrsablauf verbessern und die Verkehrssicherheit erhöhen sollen. Belastbare Untersuchungen über die Auswirkungen und die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf deutsche Verkehrsverhältnisse liegen allerdings bislang nicht vor.

### 2 Untersuchungsmethodik: Auswertung von Unfallprotokollen hinsichtlich relevanter Unfallmuster

Auf der Grundlage von 951 Unfallprotokollen aus den Jahren 1997 bis 2005, bei denen Bedienstete, Fahrzeuge oder Geräte der Straßenbauverwaltungen in 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 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.

In Tabelle 1 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 Unfallverursacher betrachtet, so erfolgt 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 Unfallverursacher und der genannten Unfallursache 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.

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.

Wie aus Tabelle 2 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 ist der Anteil an Getöteten oder Schwerverletzten sowie die Unfallschwere bei Personen, die sich hierbei außerhalb eines Fahrzeugs aufhielten, auffällig hoch. Außergewöhnlich hoch ist der Anteil an leicht verletzten Fahrzeuginsassen bei der Streckenwartung von 84 %. 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. Im Rahmen der Untersuchung konnten keine Zusammenhänge zwischen den durchgeführten Tätigkeiten und den Unfallhergängen erkannt werden.

Die Betrachtung der Verteilung der Art der Arbeitsstelle weist bezogen auf den DTV pro Fahrstreifen und Stunde keine signifikanten Unterschiede auf. Demzufolge können keine Abhängigkeiten zwischen Art der Arbeitsstelle, DTV und Unfallanzahl abgeleitet werden. Somit kann das Gefährdungsrisiko für das Personal in Abhängigkeit des DTV sowohl bei mobilen als auch stationären Arbeitsstellen als gleich hoch angesehen werden. 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, sodass davon ausgegangen werden muss, dass vor dem Unfall Staus bzw. Stockungen an der Arbeitsstelle aufgetreten sind. Die durchschnittliche Verkehrsbelastung je verfügbarem Fahrstreifen liegt noch weitaus niedriger, daher wird die These bestätigt, dass es nicht nur kaum Unfälle aus staugefährdeten Verkehrsbelastungen heraus gibt, sondern vielmehr besonders bei geringen Verkehrsbelastungen von einem relativ hohen Unfallrisiko ausgegangen werden muss.

Ein besonderes Augenmerk wird in dieser Untersuchung auf die

Art der Verletzungen des Betriebsdienstpersonals insbesondere im Fahrzeug gelegt, da hierin ein großes Vermeidungspotenzial zu vermuten ist.

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, Brustkorb, Kopf oder Rippen (32 Nennungen), Nacken- und Rückenschmerzen (10 Nennungen), Verletzungen im Kopf-, Halswirbel- und Rückenbereich (9 Nennungen), Gehirnerschütterung (8 Nennungen), Schock (7 Nennungen). Brüche wie z. B. Nasenrücken-, Schädelbasis-, Unterarm- und Rippenbrüche sind verhältnismäßig selten zu verzeichnen. Prellungen im Brust-, Hüften- und Rippenbereich können, müssen aber nicht, auf einen angelegten Sicherheitsgurt zurückgeführt werden. Bei den insgesamt 7 Getöteten (6 Unfälle) sind keinerlei Angaben zu den Verletzungen vorhanden. 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.

### 3 Empfehlungen von Maßnahmen zur Unfallvermeidung in AkD

Anhand der Untersuchungsergebnisse sollten zu empfehlende Maßnahmen zur Erhöhung der Sicherheit des Betriebsdienstpersonals in Arbeitsstellen kürzerer Dauer die Unfallvermeidung sowie die Minderung der Unfallfolgen bzw. Unfallschwere beinhalten.

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 und mit unterschiedlichen Reduzierungspotenzialen belegt.

Die beschriebenen Potenzialabschätzungen beziehen sich auf die in Tabelle 3 – Maßnahmen zur Unfallvermeidung – und Tabelle 4 – Maßnahmen zur Unfallfolgenminderung – dargestellten Ergebnisse. Die absoluten Potenzialabschätzungen wurden jeweils auf ein Musterjahr mit insgesamt 228 Unfällen pro Jahr bezogen. Denkbare Optimierungen der Arbeitsstellenorganisation versprechen nur ein relativ niedriges Vermeidungspotenzial, da sie zumindest z. T. auch Risiken bergen, wie z. B. durch Verlagerungseffekte bei der Sperrung kompletter Streckenabschnitte in das nachgeordnete Netz.

Tabelle 1: Gegenüberstellung Hauptunfallverursacher Lkw, Anprallpunkt und Lage der Absperrung im Querschnitt (%-Angaben bezogen auf die Gesamtanzahl von Lkw-Unfällen)

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 %	

Tabelle 2: Verunglückte des Betriebsdienstpersonals, unterschieden nach Verunglückten, die sich im oder außerhalb des Fahrzeugs befanden, gegenüber der durchgeführten Tätigkeit (%-Anteile bezogen auf Gesamtverunglückten je Tätigkeit)

Verunglückte Personen des Betriebsdienstes		Gesamt	Durchgeführte Tätigkeiten							
			Reinigungsarbeiten	Bauliche Unterhaltung	Mäharbeiten	Streckenwartung	Gehölzpflege	Sonstige und Tätigkeiten mit geringen Anteilen	Unbekannt	
Gesamtverunglückte		172	44	32	31	12	3	16	34	
		100 %	26 %	18 %	18 %	7 %	2 %	9 %	20 %	
Aufenthaltsort	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 %

## 3.1 Arbeitsstellensicherung

Da einer optisch verbesserten Erkennbarkeit, die die meisten Maßnahmen im Rahmen der Arbeitsstellenabsicherung mit sich bringen, nur ein Reduzierungspotenzial von 20 % zugeordnet wird, sind die Unfallvermeidungspotenziale solcher Maßnahmen begrenzt. Prinzipiell ist zwar Maßnahmen, wie dem mobilen dynamischen Vorwarnsystemen mit Überkopfsignalisierung (ÜKS) und dem systematischen Linkseinzug an AkD, ein höheres Vermeidungspotenzial zuzutrauen, dieses ist jedoch durch Pilotversuche nachzuweisen.

Eine große Wirkung zur Erhöhung der Aufmerksamkeit der Verkehrsteilnehmer kann durch den Einsatz von Warnschwellen zur Vermeidung von Auffahrunfällen ("Anprall von hinten") in stationären AkD erzielt 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 einem 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 seitlichen Streifen, wird nur 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 vermeiden.

Durch optische bzw. akustische Warnsysteme können nicht nur die in einer Arbeitsstelle tätigen Betriebsdienstmitarbeiter, sondern auch die Verkehrsteilnehmer vor einem bevorstehenden Unfall gewarnt werden. 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. Positive Auswirkungen sind vor allem hinsichtlich Unfällen zu erwarten, bei denen der Unfallverursacher erst nach Vorwarnern und Absperrtafel in die Arbeitsstelle geprallt ist.

## 3.2 Aktive Fahrzeugsicherheit bei den Verkehrsteilnehmern

In Zukunft wird es 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.

Sogenannte 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 Un-

fällen, 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 rechten bzw. Standstreifen 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\*", bei denen Pkw, Kleintransporter und Motorrad zusammengefasst sind, 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.

Insgesamt lässt sich feststellen, dass Maßnahmen im Rahmen der Arbeitsstellensicherung nur begrenzte Potenziale aufweisen. Das höchste Unfallvermeidungspotenzial kann dabei akustisch bzw. haptisch wirkenden Maßnahmen zugewiesen 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 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.

Tabelle 3: Potenzialabschätzung bei Maßnahmen zur Unfallvermeidung

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	GT und SV [%]	LV [%]	Unfallanzahl im Musterjahr	Reduzierungspotenzial von Unfällen [%]	Reduzierungspotenzial von Verletzungen [%]	Anzahl vermeidbarer			
											Unfälle	GT / SV	LV	
Arbeitsstellensicherung	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 Fahrstreifensperrung	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 <sup>1)</sup>	10,0	15,0	4,8	20	20	1,0	0,1	0,1	
Signalisierung des AkD-Endes	st.	Lkw	ReFS	ANh/ANs/STs	26 <sup>2)</sup>	7,7	50,0	6,2	20	20	1,2	0,1	0,6	
	mob.				7 <sup>2)</sup>	14,3	28,6	1,7	20	20	0,3	0,0	0,1	
	st.	Lkw	STS	ANh/ANs/STs	69 <sup>2)</sup>	7,2	11,6	16,5	20	20	3,3	0,2	0,4	
	mob.				54 <sup>2)</sup>	7,4	31,5	12,9	20	20	2,6	0,2	0,8	
	st.	Pkw	LiFS	ANh/ANs/STs	8 <sup>2)</sup>	0,0	12,5	1,9	20	20	0,4	0,0	0,0	
	mob.				7 <sup>2)</sup>	14,3	0,0	1,7	20	20	0,3	0,0	0,0	
Aktive Fahrzeugsicherheit (Verkehrsteilnehmer)	Fahr-geschwindigkeitsregelung (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 <sup>1)</sup> Nur Lkw-Unfälle betrachtet, bei Geschwindigkeiten > 80 km/h <sup>2)</sup> Nur Unfälle betrachtet, bei denen weder Absperr- noch Vorwarntafeln beschädigt wurden.														

Auf die Installation von aktiven Sicherheitssystemen in Fahrzeugen 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.

#### 4 Empfehlungen von Maßnahmen zur Unfallfolgenminderung

Modifikationen an den Fahrzeugen des Straßenbetriebsdienstes weisen mit Ausnahme der passiven Schutzsysteme relativ geringe Potenziale auf. So ist der Einsatz von heute verfügbaren Aufpralldämpfern wegen Lkw als häufigstem Unfallverursacher wenig zielführend. Der Einsatz z. B. von Rechtslenkerfahrzeugen oder Fahrzeugen mit Schiebetüren kann demgegenüber nur bei einem sehr geringen Unfallanteil Nutzen bringen, sodass das Gesamtpotenzial eher gering ist.

Der Einsatz von Semi-Selbstfahreinrichtungen bei mobilen AkD verspricht allerdings insbesondere angesichts der großen Anzahl von Verunglückten im Fahrzeug ein relativ hohes Potenzial hinsichtlich der Unfallfolgenvermeidung. Analog dazu sollte an stationären Arbeitsstellen darauf hingewirkt werden, dass der scheinbar sichere Platz im Sicherungsfahrzeug möglichst verlassen wird.

##### 4.1 Erhöhung der passiven Fahrzeugsicherheit der Betriebsdienstfahrzeuge

Die in Kapitel 2 aufgezeigten Verletzungen 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.

Der überwiegende Teil der verunglückten Fahrzeuginsassen weist HWS-Verletzungen auf. Um diese Verletzungen zu mindern oder gegebenenfalls auch völlig zu verhindern, sollten Fahrzeugsitze mit entsprechenden Kopfstützensystemen in Kombination mit Gurtstraffern und -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 in der Regel nicht ausgelöst werden.

Eine Reduzierung von 70 % der Verunglückten in Fahrzeugen des Betriebsdienstes wird bei Einsatz einer Kopfstützenergänzung kombiniert mit einem Gurtwarner erwartet; hauptsächlich durch die Reduktion von auftretenden HWS-Verletzungen. 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 aufwendiger. Prinzipiell ist bei solchen Systemen auch ein Gurtstraffer Bestandteil der Fahrzeugsitzausstattung. Angenommen wird, dass sich hierdurch ein Reduzierungspotenzial von 80 % erreichen lässt.

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 Unfallfolge 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.

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

##### 4.2 Verhaltensänderungen und präventive Sicherheitsunterweisungen beim Betriebsdienstpersonal

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 Kopfstützeinstellung 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.

Nach Möglichkeit sollten die Betriebsdienstmitarbeiter bei stationären AkD aus den Sicherungsfahrzeugen aussteigen. Zur Unterstreichung dieser Maßnahme sollte in entsprechenden Sicherheitsunterweisungen auf die Unfallgefahr und das jederzeit gegenwärtige Gefährdungsrisiko hingewiesen werden. Bei mobilen AkD könnten Semi-Selbstfahreinrichtungen eingesetzt werden, um Verunglückte zu vermeiden.

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

Tabelle 4: Potenzialabschätzung bei Maßnahmen zur Unfallfolgenminderung

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	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	0,5
Semi-Selbstfahreinrichtung	mob.	Pkw* + Lkw	div. FS	ANh/ ANs/ STs	28 <sup>1)</sup>	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 <sup>2)</sup>	28,2	96,1	24,7	0	30,0	-	2,1	7,1
	Gurtwarner + Sicherheitsgurt	st. / mob				103 <sup>2)</sup>	28,2	96,1	24,7	0	50,0	-	3,5	11,9
	Gurtstraffer + Sicherheitsgurt	st. / mob				103 <sup>2)</sup>	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 <sup>2)</sup>	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 <sup>2)</sup>	28,2	96,1	24,7	0	70,0	-	4,9	16,6
	Kopfstützensysteme + Gurtstraffer	st. / mob				103 <sup>2)</sup>	28,2	96,1	24,7	0	80,0	-	5,6	19,0
	Nackenaibag + Gurtstraffer	st. / mob	Pkw* + Lkw	div. FS	ANh/ ANs/	86 <sup>2)</sup>	32,6	104,7	20,6	0	80,0	-	5,4	17,3

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